Домашняя работа по физике за 10 класс

к учебнику
«Физика. 10 класс. Г.Я.Мякишев и др.
М.: Просвещение, 2002-2008г»

учебно-методическое пособие

Упражнение 1.

№ 1.

Дано:	Решение:
$x_0 = -10$ м;	$x = x_0 + vt = -10\text{ м} + 2\text{ м/с} \cdot 5\text{ с} = 0.$
$t = 5$ с;	$l = \lvert x_0 + vt - x_0 \rvert = \lvert vt \rvert = \lvert 2\text{ м/с} \cdot 5\text{ с} \rvert = 10$ м.
$v = 2$ м/с.	Ответ: $x_0 = 0$; $l = 10$ м.
Найти x_0, l.	

№ 2.

Дано:	Решение:
$x_0 = 12$ м;	$x = x_0 - vt = 12\text{ м} - 3\text{ м/с} \cdot 6\text{ с} = -6$ м;
$t = 6$ с;	$l = \lvert vt \rvert = \lvert 6\text{ с} \cdot 3\text{ м/с} \rvert = 18$ м.
$v = 3$ м/с.	Ответ: $x = -6$ м; $l = 18$ м.
Найти x, l.	

№ 3.

Дано:	Решение:
$x_1 = 8$ м;	$t = \left\lvert \dfrac{x_2 - x_1}{v} \right\rvert = \left\lvert \dfrac{-8\text{ м} - 8\text{ м}}{4\text{ м/с}} \right\rvert = 4$ с;
$x_2 = -8$ м;	
$v = 4$ м/с.	
Найти t, l.	$l = \lvert x_2 - x_1 \rvert = \lvert -8\text{ м} - 8\text{ м} \rvert = 16$ м
	Ответ: $t = 4$ с; $l = 16$ м.

№ 4.

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

2) при $t = 3 \div 7$ с; $v = 0$;

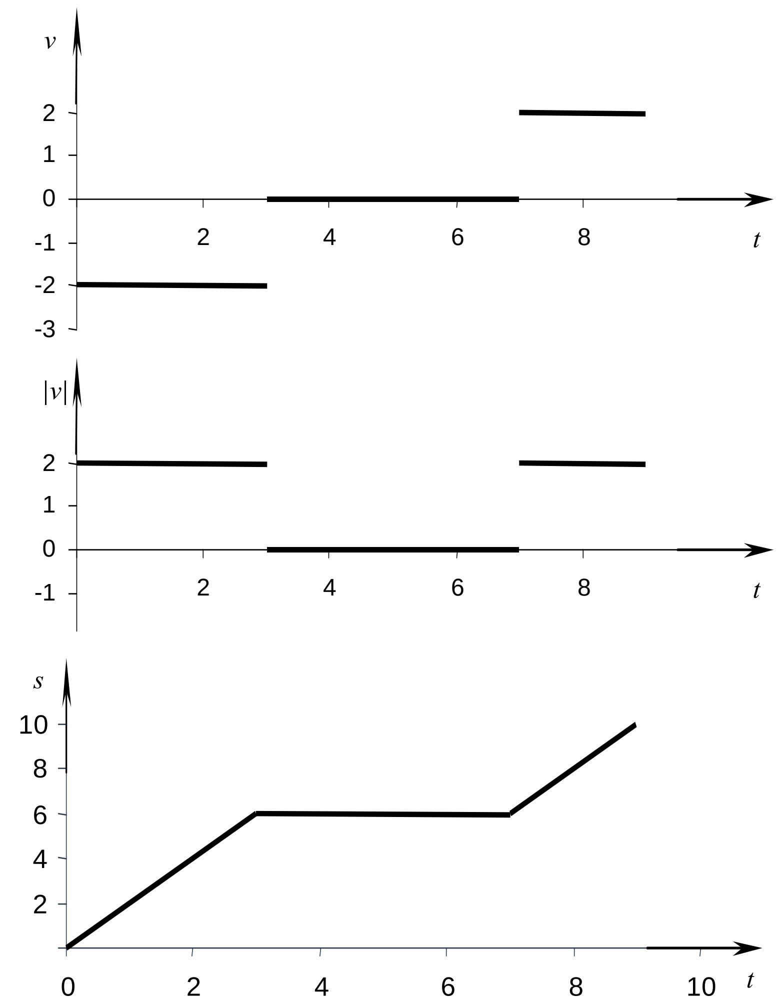
3) при $t = 7 \div 9$ с; $v = \dfrac{0\text{ м} - (-4)\text{ м}}{9\text{ с} - 7\text{ с}} = 2$ м/с.

Таким образом, получаем:

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

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

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



Упражнение 2.

№ 1.

Дано:	Решение:
v_1 = 36 км/ч = = 10 м/с; v_2 = 20 м/с.	$v_{12} = v_1 + v_2$ = 10 м/с + 20 м/с = 30 м/с; $v_{21} = -v_2 - v_1$ = –20 м/с – 10 м/с = –30 м/с. Ответ: v_{12} = 30 м/с; v_{21} = –30 м/с.
Найти v_{12}, v_{21}.	

№ 2.

Дано:	Решение:
$v_1 = 72$ км/ч $= 20$ м/с; $v_2 = 102$ км/ч ≈ 28 м/с; $l_1 = 900$ м; $l_2 = 140$ м.	$\Delta t = \dfrac{l_1 + l_2}{v_1 + v_2} = \dfrac{900\text{ м} + 140\text{ м}}{20\text{ м/с} + 28\text{ м/с}} \approx 21{,}7$ с. Ответ: $\Delta t \approx 21{,}7$ с.
Найти Δt.	

№ 3.

Дано:	Решение:
$v_р = 2$ м/с; $v = 3{,}5$ м/с.	$v_к = \sqrt{v^2 + v_р^2} = \sqrt{(2\text{ м/с})^2 + (3{,}5\text{ м/с})^2} \approx 4$ м/с.
Найти $v_к$.	Ответ: $v_к \approx 4$ м/с.

Упражнение 3.

№ 1.

Дано:	Решение:
$v_0 = 4$ м/с; $a = 2$ м/с^2; $t = 4$ с.	$v = v_0 + at = 4$ м/с $+ 2$ м/с$^2 \cdot 4$ с $= 12$ м/с. Ответ: $v = 12$ м/с.
Найти v.	

№ 2.

Дано:	Решение:
$v_0 = 20$ м/с; $t_1 = 5$ м/с; $t_2 = 7$ м/с; $a = 4$ м/с^2.	$\lvert v_1\rvert = \lvert v_0 + at_1\rvert = \lvert 20$ м/с – 4 м/с · 5 м/с$\rvert = 0$. $\lvert v_2\rvert = \lvert v_0 + at_2\rvert = \lvert 20$ м/с – 4 м/с^2 · 7 м/с$\rvert = 8$ м/с. Ответ: $\lvert v_1\rvert = 0$, $\lvert v_2\rvert = 8$ м/с.
Найти $\lvert v_1\rvert$, $\lvert v_2\rvert$.	

№ 3.

Дано:	Решение:
$x_0 = 10$ м; $v_0 = -20$ м/с; $a = 10$ м/с^2.	$x(t) = x_0 + v_0 t + \dfrac{at^2}{2} = 10 - 20t + 5t^2$.
Найти x.	1) При $t = 1$ с $x(t) = 10 - 20 \cdot 1 + 5 \cdot 1^2 = -5$ м. 2) При $t = 2$ с $x(t) = 10 - 20 \cdot 2 + 5 \cdot 2^2 = -10$ м. 3) При $t = 3$ с $x(t) = 10 - 20 \cdot 3 + 5 \cdot 3^2 = -5$ м. 4) При $t = 4$ с $x(t) = 10 - 20 \cdot 4 + 5 \cdot 4^2 = 10$ м.

№ 4.

Дано:
v_{01} = 36 км/ч = 10 м/с;
a = 2 м/с^2;
v_{02} = –72 км/ч = –20 м/с;
a = 1 м/с^2;
x_{02} = 300 м.
Найти t.

Решение:

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

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

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

Ответ: t = 10 с.

Упражнение 4.

№ 1.

Дано:
t = 2 с.
Найти h, v.

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

$v = gt = 10$ м/с^2 · 2 с = 20 м/с.

Ответ: v = 20 м/с.

№ 2.

Дано:
h = 5 м;
t_1 = 0,5 с.
Найти t, v_0.

Решение:

$$h = \frac{gt^2}{2};\ t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 5\text{ м}}{10\text{ м/с}^2}} = 1\text{ с}.$$

$$h = v_0 t_1 + \frac{gt_1^2}{2};$$

$$v_0 = \frac{h}{t_1} - \frac{gt_1}{2} = \frac{5\text{ м}}{0{,}5\text{ с}} - \frac{10\text{ м/с}^2 \cdot 0{,}5\text{ с}}{2} = 7{,}5\text{ м/с}.$$

Ответ: t = 1 с; v_0 = 7,5 м/с.

№ 3.

Дано:
v = 40 м/с.
Найти h, t.

Решение:

1) $2gh = v^2$; $h = \dfrac{v^2}{2g} = \dfrac{(40\text{ м/с})^2}{2 \cdot 10\text{ м/с}^2} = 80$ м.

2) $v = gt$; $t = \dfrac{v}{g} = \dfrac{40\text{ м/с}}{10\text{ м/с}^2} = 4$ с.

Ответ: h = 80 м, t = 4 с.

№ 4.

Дано:	Решение:
$v_0 = 30$ м/с; $t = 4$ с.	1) $v_x = v_0$; $v_y = gt$; $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{v_0^2 + g^2t^2} =$ $= \sqrt{(30\text{ м/с})^2 + (10\text{ м/с}^2)^2 \cdot (4\text{ с})^2} = 50$ м/с.
Найти v, Δx, Δy.	2) $\Delta x = v_0t = 30$ м/с · 4 с = 120 м; $\Delta y = gt^2/2 = 10\text{ м/с}^2 \cdot (4\text{ с})^2/2 = 80$ м. Ответ: $v = 50$ м/с; $\Delta x = 120$ м; $\Delta y = 80$ м.

№ 5.

Дано:	Решение:
$v_{0x} = 20$ м/с; $y_0 = 10$ м.	1) $y_0 = \frac{gt^2}{2}$; $t = \sqrt{\frac{2y_0}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 10\text{ м}}{10\text{ м/с}^2}} \approx 1{,}4$ с;
Найти t, L, v.	2) $L = v_{0x}t = v_0\sqrt{\frac{2y_0}{g}} = 20\text{ м/с} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 10\text{ м}}{10\text{ м/с}^2}} \approx 28$ м; 3) $v = \sqrt{v_{0x}^2 + (gt)^2} = \sqrt{(20\text{ м/с})^2 + (10\text{ м/с}^2 \cdot 1{,}4\text{ с})^2} \approx$ $\approx 24{,}5$ м/с. Ответ: $t \approx 1{,}4$ с; $L \approx 28$ м; $v \approx 24{,}5$ м/с.

№ 6.

Дано:	Решение:
$\alpha = 45°$; $v_0 = 20$ м/с; $t = 2$ с.	1) $t_п = \frac{v_0 \sin\alpha}{g} \Rightarrow h = v_0 t_п \sin\alpha - \frac{gt_п^2}{2} =$
Найти h, L, v, $x(t)$, $y(t)$.	$= \frac{v_0^2 \sin^2\alpha}{2g} = \frac{(20\text{ м/с})^2 \cdot \sin^2 45°}{2 \cdot 10\text{ м/с}^2} = 10$ м; 2) $L = 2t_п \cdot v_0\cos\alpha = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g} = \frac{(20\text{ м/с})^2 \cdot \sin(2 \cdot 45°)}{10\text{ м/с}} =$ $= 40$ м; 3) $v = v_0\cos\alpha = 20$ м/с · $\cos 45° \approx 14$ м/с; 4) $x(t) = v_0 t\cos\alpha = 20$ м/с · 2 с · $\cos 45° \approx 28$ м; 5) $y(t) = v_0 t\sin\alpha - \frac{gt^2}{2} =$ $= 20\text{ м/с} \cdot 2\text{ с} \cdot \sin 45° - \frac{10\text{ м/с}^2 \cdot (2\text{ с})^2}{2} \approx 8$ м. Ответ: $h = 10$ м; $L = 40$ м; $v = 14$ м/с; $x(t) \approx 28$ м; $y(t) \approx 8$ м.

Упражнение 5.

№ 1.

Дано:	Решение:
$v = 95$ м/с;	$v = 2\pi n \dfrac{d}{2} = \pi n d;$
$d = 30$ см $= 0,3$ м.	$n = \dfrac{v}{\pi d} \approx \dfrac{95\ \text{м/с}}{3,14 \cdot 0,3} \approx 100\ \text{с}^{-1}.$
Найти n.	Ответ: $n \approx 100$ с$^{-1}$.

№ 2.

Дано:	Решение:
$l = 3,5$ м;	По модулю $v(0) = v(\Delta t) = v(2\Delta t) = v(3\Delta t) =$
$T = 60$ мин;	$= \dfrac{2\pi l}{T} \approx \dfrac{2 \cdot 3,14 \cdot 3,5\ \text{м}}{60\ \text{мин}} \approx 0,37$ м/мин.
$\Delta t = 15$ мин.	
Найти $\vec{v}(0)$, $\vec{v}(\Delta t)$, $\vec{v}(2\Delta t)$, $\vec{v}(3\Delta t)$.	$\vec{v}(0)$ 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:	Решение:
$m = 0,4$ кг;	1) $a = \dfrac{v_2 - v_1}{t}$
$t = 2$ с;	2) $ma = F - mg$; $F = m(\dfrac{v_2 - v_1}{t} + g) =$
$v_1 = 2$ м/с;	$= 0,4\ \text{кг} \cdot (\dfrac{10\ \text{м/с} - 2\ \text{м/с}}{2\ \text{с}} + 10\ \text{м/с}) = 5,6$ Н.
$v_2 = 10$ м/с.	
Найти F.	Ответ: $F = 5,6$ Н.

№ 3.

Дано:	Решение:
$m = 5$ кг;	$ma = F + mg$;
$a = 15$ м/с^2.	$F = m(a - g) = 5\ \text{кг}(15\ \text{м/с}^2 - 10\ \text{м/с}^2) = 25$ Н.
Найти F.	Ответ: $F = 25$ Н.

№ 4.

Дано:	Решение:
$m = 5$ кг;	$a = \dfrac{v_2 - v_1}{t}$;
$t = 2$ с;	$ma = F + mg$;
$v_1 = 2$ м/с;	$F = m(a - g) = m(\dfrac{v_2 - v_1}{t} - g) =$
$v_2 = 8$ м/с.	$= 5\text{ кг}\,(\dfrac{8\text{ м/с} - 2\text{ м/с}}{2\text{ с}} - 10\text{ м/с}^2) = -35$ Н.
Найти F.	Ответ: $F = -35$ Н.

№ 5.

Дано:	Решение:
$m = 5$ кг;	$m\dfrac{v_2 - v_1}{t} = N - mg$; $N = m(g + \dfrac{v_2 - v_1}{t}) =$
$t = 3$ с;	$= 50\text{ кг}(10\text{ м/с}^2 + \dfrac{8\text{ м/с} - 2\text{ м/с}}{3\text{ с}}) = 600$ Н.
$v_1 = 8$ м/с;	Ответ: $N = 600$ Н.
$v_2 = 2$ м/с.	
Найти N.	

№ 6.

Дано:	Решение:
$l = 600$ м;	1) $m\dfrac{v_2 - v_1}{t} = F - F_C$;
$F = 147\text{ кН} = 1{,}47\cdot10^5$ Н;	2) $l = (v_1 + v_2)\dfrac{t}{2} \Rightarrow \dfrac{1}{t} = \dfrac{v_1 + v_2}{2l}$;
$v_1 = 36\text{ км/ч} = 10$ м/с;	3) $F_C = F - m\dfrac{v_2 - v_1}{t} = F - m\dfrac{v_2^2 - v_1^2}{2l} =$
$v_2 = 54\text{ км/ч} = 15$ м/с;	$= 1{,}47\cdot10^5\text{ Н} - 10^6\text{ кг}\cdot\dfrac{(15\text{ м/с})^2 - (10\text{ м/с})}{2\cdot600\text{ м}} \approx$
$m = 1000\text{ т} = 10^6$ кг.	$\approx 1{,}43\cdot10^5\text{ Н} = 143$ кН.
Найти F_C.	Ответ: $F_C = 143$ кН.

№ 7.

Дано:	Решение:
$m = 5\text{ т} = 5000$ кг;	$m\dfrac{v^2}{R} = N - mg$; $P = N = m(g + \dfrac{v^2}{R}) =$
$v = 72\text{ км/ч} = 20$ м/с;	$= 5000\text{ кг}\cdot(10\text{ м/с}^2 + \dfrac{(20\text{ м/с})^2}{100}) = 7\cdot10^4\text{Н} = 70\text{кН}$.
$R = 100$ м.	Ответ: $P = 70$ кН.
Найти P.	

№ 8.

Дано:
$l = 1$ м;
$m = 100$ г $= 0{,}1$ кг;
$v_1 = 2$ м/с;
$v_2 = 4$ м/с.
Найти N_1, N_2.

Решение:

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

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

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

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

№ 9.

Дано:
$R = 98$ м;
$\alpha = 45°$;
$m = 10$ кг.
Найти v, T.

Решение:

$\frac{mv^2}{R} = mgcos\alpha$;

$v = \sqrt{gR\cos\alpha} = \sqrt{10 \text{ м/с}^2 \cdot 9{,}8 \text{ м} \cdot \cos 45°} \approx 26$ м/с.

$T = \sqrt{(mg)^2 + (\frac{mv^2}{R})^2} = mg\sqrt{1 + \cos^2\alpha} =$
$= 10$ кг $\cdot$ 10 м/с^2 $\sqrt{1 + \cos^2 45°} \approx 122$ Н.

Ответ: $v = 26$ м/с;
$T = 122$ Н.

№ 10.

Дано:
$m_1 = 2$ кг;
$m_2 = 4$ кг;
$F = 84$ Н.
Найти a, T.

Решение:

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

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

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

$\frac{Fm_2}{m_1 + m_2} - m_2 g = T - m_2 g$;

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

Ответ: $a = 4$ м/с^2;
$T = 56$ Н.

Упражнение 7.

№ 1.

Дано:
$R = 3{,}7R_1$;
$m = 81m_1$;
$g = 9{,}8$ м/с^2.
Найти g_1.

Решение:

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

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

Ответ: $g_1 \approx 1{,}66$ м/с^2.

№ 2.

Дано:
$m = 100$ г $= 0{,}1$ кг;
$\Delta l = 4$ см;
$F_1 = 0{,}1$ Н;
$\Delta l_1 = 1$ см.
Найти a.

Решение:

$F_1 = kl_1 \Rightarrow k = \dfrac{F_1}{l_1}$; $ma = k\Delta l = F_1\dfrac{\Delta l}{\Delta l_1}$;

$a = \dfrac{F_1}{m}\cdot\dfrac{\Delta l}{\Delta l_1} = \dfrac{0{,}1\text{ Н}}{0{,}1\text{ кг}}\cdot\dfrac{4\text{ см}}{1\text{ см}} = 4$ м/с^2.

Ответ: $a = 4$ м/с^2.

№ 3.

Дано:
$v_0 = 20$ м/с;
$\mu = 0{,}8$.
Найти a, t.

Решение:

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

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

Ответ: $a = 8$ м/с^2;
$t = 2{,}5$ с.

№ 4.

Дано:
$m = 97$ кг;
$\mu = 0{,}2$;
$\alpha = 30°$.
Найти T_1, T_2.

Решение:

1) Нить $\begin{cases} 0 = T_1\sin\alpha - mg + N; \\ 0 = T_1\cos\alpha - \mu N; \end{cases}$

$N = mg - T_1 sin\ \alpha$; $0 = T_1 cos\ \alpha - \mu(mg - T_1 sin\ \alpha)$;

$T_1 = \dfrac{\mu mg}{\cos\alpha + \mu\sin\alpha} = \dfrac{0{,}2\cdot 97\text{ кг}\cdot 10\text{ м/с}^2}{\cos 30° + 0{,}2\sin 30°} \approx 200$ Н.

2) Стержень $\begin{cases} 0 = N - mg - T_2\sin\alpha; \\ 0 = T_2\cos\alpha - \mu N; \end{cases}$

$N = mg + T_2 sin\ \alpha$; $0 = T_2 cos\ \alpha - \mu(mg + T_2 sin\ \alpha)$;

$T_2 = \dfrac{\mu mg}{\cos\alpha - \mu\sin\alpha} = \dfrac{0{,}2\cdot 97\text{ кг}\cdot 10\text{ м/с}^2}{\cos 30° - 0{,}2\sin 30°} \approx 260$ Н.

Ответ: $T_1 = 200$ Н; $T_2 = 260$ Н.

Упражнение 8.

№ 1.

Дано:	Решение:
$m_1 = 2\cdot10^4$ кг;	По закону сохранения импульса
$m_2 = 3\cdot10^4$ кг;	$m_1v_1 + m_2v_2 = (m_1 + m_2)v$;
$v_2 = 1$ м/с;	$v = \dfrac{m_2}{m_1+m_2}v_2 = \dfrac{3\cdot10^4\text{ кг}}{2\cdot10^4\text{ кг}+3\cdot10^4\text{ кг}}\cdot 1\text{ м/с} = 0{,}6$ м/с.
$v_1 = 0$.	
Найти v.	Ответ: $v = 0{,}6$ м/с.

№ 2.

Дано:	Решение:
$m_1 = 500$ кг;	$m_1v_1 = (m_1 + m_2)v$;
$m_2 = 100$ кг;	$v = \dfrac{m_1}{m_1+m_2}v_1 = \dfrac{500\text{ кг}}{500\text{ кг}+100\text{ кг}}\cdot 0{,}2\text{ м/с} \approx 0{,}17$ м/с.
$v_1 = 0{,}2$ м/с.	
Найти v.	Ответ: $v \approx 0{,}17$ м/с.

№ 3.

Дано:	Решение:
$m_1 = 100$ кг;	По закону сохранения импульса:
$v_1 = 1$ м/с;	$m_1v_1 = (m_1 + m_2)\,V_x$;
$m_2 = 50$ кг;	$m_2v_2 = (m_1 + m_2)V_y$;
$v_2 = 1{,}5$ м/с.	По теореме Пифагора
Найти V.	$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} = \dfrac{1}{m_1+m_2}\sqrt{(m_1v_1)^2 + (m_2v_2)^2} =$
	$= \dfrac{1}{100\text{ кг}+50\text{ кг}}\sqrt{(100\text{ кг}\cdot1\text{ м/с})^2 + (50\text{ кг}\cdot1{,}5\text{ м,с})^2} \approx$
	$\approx 0{,}83$ м/с.
	Ответ: $V \approx 0{,}83$ м/с.

№ 4.

Скорость ракеты будет увеличиваться.

№ 5.

Дано:	Решение:
$m = 10$ г $= 0{,}01$ кг;	$F = m\dfrac{\Delta v}{\Delta t}$;
$v = 300$ м/с;	
$n = 300$ с$^{-1}$.	
Найти F.	$\Delta t = \dfrac{1}{n}$;
	$\Delta v = v - 0 = v$;
	$F = mvn = 0{,}01$ кг $\cdot$ 300 м/с $\cdot$ 300 с$^{-1}$ = 900 Н.
	Ответ: $F = 900$ Н.

№ 6.

Дано:	Решение:
$M = 70$ кг;	$MV = mv\cos\alpha$;
$m = 35$ г $= 0{,}035$ кг;	$V = \frac{m}{M} v\cos\alpha = \frac{0{,}035\text{ кг}}{70\text{ кг}} \cdot 320\text{ м/с} \cdot \frac{1}{2} = 0{,}08$ м/с.
$v = 320$ м/с;	
$\alpha = 60°$.	Ответ: $V = 0{,}08$ м/с.
Найти V.	

№ 7.

Дано:	Решение:
$M = 300$ кг;	$MV = mv\cos\alpha$;
$m = 30$ кг;	$V = \frac{m}{M} v\cos\alpha = \frac{30\text{ кг}}{300\text{ кг}} \cdot 200\text{ м/с} \cdot \frac{1}{2} = 10$ м/с.
$v = 200$ м/с;	
$\alpha = 60°$	Ответ: $V = 10$ м/с.
Найти V.	

Упражнение 9.

№ 1.

Потенциальная энергия керосина перешла к продуктам горения.

№ 2.

Дано:	Решение:
$F = 3$ Н;	$A = Fh = 3\text{ Н} \cdot 5\text{ м} = 15$ Дж.
$P = 1$ Н;	
$h = 5$ м.	
Найти A.	Ответ: $A = 15$ Дж.

№ 3.

Дано:	Решение:
$m = 97$ кг;	Согласно задаче 4 упражнения 7 $T \approx 200$ Н. Тогда
$\alpha = 30°$;	$A = Tl \approx 200\text{ Н} \cdot 100\text{ м} = 2 \cdot 10^4$ Дж.
$\mu = 0{,}2$;	
$l = 100$ м.	
Найти A.	Ответ: $A \approx 2 \cdot 10^4$ Дж.

№ 4.

Дано:	Решение:
$\Delta l = 10$ см $= 0{,}1$ м;	$A = \frac{k\Delta l^2}{2}$; $k = \frac{F_1}{\Delta l_1}$;
$\Delta l_1 = 1$ см $= 0{,}01$ м;	
$F_1 = 1000$ Н.	$A = \frac{F_1 \Delta l^2}{2\Delta l_1} = \frac{1000\text{ Н} \cdot (0{,}1\text{ м})^2}{2 \cdot 0{,}01\text{ м}} = 500$ Дж.
Найти A.	Ответ: $A = 500$ Дж.

№ 5.

Дано:
$M = 20000$ кг;
$\Delta l = 10$ см $= 0{,}1$ м;
$\Delta l_1 = 1$ см $= 0{,}01$ м;
$F_1 = 10000$ Н.
Найти V.

Решение: По закону сохранения энергии:

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

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

Ответ: $V = 1$ м/с.

№ 6.

Дано:
$m_1 = 500$ г $= 0{,}5$ кг;
$v_1 = 10$ м/с;
$m_2 = 200$ г $= 0{,}2$ кг.
Найти E.

Решение:
По закону сохранения импульса:

$$m_1 v_1 = (m_1 + m_2)v;\ v = \frac{m_1 v_1}{m_1 + m_2};$$

$$E = \frac{(m_1 + m_2)v^2}{2} = \frac{m_1 v_1}{2}\cdot\frac{m_1 v_1}{m_1 + m_2} =$$

$$= \frac{(m_1 v_1)^2}{2(m_1 + m_2)} = \frac{(0{,}5\,\text{кг}\cdot 10\,\text{м/с})^2}{2(0{,}5\,\text{кг} + 0{,}2\,\text{кг})} \approx 17\ \text{Дж}.$$

Ответ: $E \approx 17$ Дж.

№ 7.

Дано:
$m = 1$ т $= 1000$ кг;
$l = 20$ м;
$t = 2$ с.
Найти N.

Решение:

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

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

Ответ: $N = 10^5$ Вт.

№ 8.

Дано:
$M = 1$ кг;
$h = 1$ м;
$m = 0{,}5$ кг;
$v = 2{,}5$ м/с.
Найти E_1, E_2.

Решение:

$$E_1 = Mgh = 1\ \text{кг}\cdot 10\ \text{м/с}^2\cdot 1\ \text{м} = 10\ \text{Дж};$$

$$E_2 = \frac{mv^2}{2} = \frac{0{,}5\,\text{кг}\cdot(2{,}5\,\text{м/с})^2}{2} \approx 1{,}6\ \text{Дж};\ E_1 > E_2.$$

Ответ: $E_1 > E_2$.

№ 9.

Дано:
$v_0 = 4{,}9$ м/с.
Найти h.

Решение:

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

Ответ: $h = 0{,}61$ м.

Упражнение 10.

№ 1.

Закрепим колесо и будем его вращать с ускорением. Оно не смещается, как целое, значит, сумма сил, действующих на колесо, равна нулю. С другой стороны, оно вращается неравномерно, значит, не находится в равновесии.

№ 2.

Пружинными весами взвешивать тело, значительно выходящее за пределы шкалы, нельзя.

№ 3.

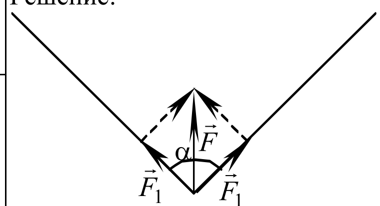
Векторная сумма сил, действующих на мяч, не равна нулю.

№ 4.

Дано:
$\alpha = 90°$;
$F_1 = 500$ Н.

Найти F.

Решение:



Из геометрических соображений

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

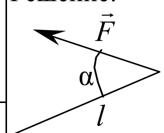
Ответ: $F \approx 700$ Н.

№ 5.

Дано:
$l = 20$ см $= 0{,}2$ м;
$F = 50$ Н;
$\alpha = 60°$.

Найти M.

Решение:



$M = Fl sin\alpha = 50\ \text{Н} \cdot 0{,}2\ \text{м} \cdot sin60° \approx 8{,}7\ \text{Н} \cdot \text{м}$.

Ответ: $M \approx 8{,}7$ Н · м.

№ 6.

Дано:
$F = 4$ Н;
$\alpha = 60°$;
$M = 3{,}5$ Н·м.

Найти l.

Решение:

См. рис. к задаче № 5 упражнения 10.

$M = Fl sin\alpha$;

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

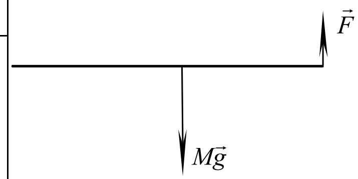
Ответ: $l \approx 1$ м.

№ 7.

Дано:
$M = 14$ кг.

Найти F.

Решение:



$Mg\dfrac{l}{2} = Fl;$

$F = \dfrac{Mg}{2} = \dfrac{14\text{ кг}\cdot 10\text{ м/с}^2}{2} = 70$ Н.

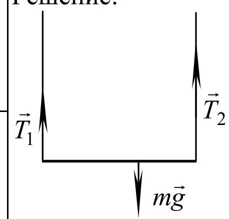
Ответ: $F = 70$ Н.

№ 8.

Дано:
$m = 60$ кг;
$x = \dfrac{1}{3}l.$

Найти T_1, T_2.

Решение:



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

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

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

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

Ответ: $T_1 = 200$ Н; $T_2 = 400$ Н.

Упражнение 11.

№ 1.

Дано:
$M = 2{,}7$ кг/моль
$\rho = 920$ кг/м^3
$N_A = 6\cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$
$V = 0{,}02$ см$^3 = 2\cdot 10^{-8}$ м^3

S_{max} – ?

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

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

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: $S_{max} = 11{,}8$ м^2.

№ 2.

По таблице Менделеева находим, что относительные атомные массы водорода и гелия равны соответственно: M_r(H) = 1, M_r(He) = 4. Химическая формула водорода — H_2. Следовательно, его относительная молекулярная масса и молярная масса равны соответственно: $M_r(H_2) = 2 \cdot 1 = 2$, $M(H_2) = 10^{-3} \cdot M_r(H_2) = 2 \cdot 10^{-3}$ кг/моль. Химическая формула гелия — He. Следовательно, его относительная молекулярная масса и молярная масса равны соответственно $M_r(He) = 4$, $M(He) = 10^{-3} \cdot M_r(He) = 4 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

№ 3.

Дано:	Решение:
$m_C = 12$ кг	$N = \nu N_A$;
$M_C = 12$ г/моль = $= 1{,}2 \cdot 10^{-2}$ кг/моль	$\nu = \frac{m}{M}$; $N = N_A \frac{m}{M}$.
$m_{O_2} = 16$ кг	$N_C = N_A \frac{m_C}{M_C}$,
$M_{O_2} = 32$ г/моль = $= 3{,}2 \cdot 10^{-2}$ кг/моль	$N_{O_2} = N_A \frac{m_{O_2}}{M_{O_2}}$.
$\frac{N_C}{N_{O_2}}$ – ?	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:
$m_{H_2O} = 1$ г $= 10^{-3}$ кг
M_H=1 г/моль $= 10^{-3}$ кг/моль
$M_O = 16$ г/моль $=$
$= 16 \cdot 10^{-3}$ кг/моль
$\nu - ?$

Решение:
$$\nu = \frac{m_{H_2O}}{M_{H_2O}}.$$
Химическая формула воды — H_2O, поэтому $M_{H_2O} = 2M_H + M_O$.

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

Ответ: $\nu \approx 0{,}056$ моль.

№ 5.

Дано:
$M_{O_2} = 32$ г/моль $=$
$= 3{,}2 \cdot 10^{-2}$ кг/моль
$N_A = 6 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$
$m_{O_2} = 10$ г $= 0{,}01$ кг
$N_{O_2} - ?$

Решение:
Воспользуемся формулой 8.8 § 59 учебника.
$$N_{O_2} = N_A \frac{m_{O_2}}{M_{O_2}} = \frac{6 \cdot 10^{23} \text{моль}^{-1} \cdot 10^{-2} \text{кг}}{3{,}2 \cdot 10^{-2} \text{кг/моль}} \approx$$
$\approx 1{,}88 \cdot 10^{23}$.

Ответ: $N_{O_2} \approx 1{,}88 \cdot 10^{23}$.

№ 6.

Дано:
$M = 0{,}028$ кг/моль
$N_A = 6 \cdot 10^{23}$ 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: $m_0 = 4{,}65 \cdot 10^{-26}$ кг.

№ 7.

Дано:
$V = 1$ м^3
$M = 0{,}0635$ кг/моль
$\rho = 9000$ кг/моль
$N_A = 6 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$
$N - ?$

Решение:
$$N = \nu N_A, \; \nu = \frac{m}{M},$$
$$m = \rho V, \; N = \frac{\rho V}{M} N_A =$$
$$= \frac{9000 \text{кг/м}^3 \cdot 1\text{м}^3}{0{,}0635 \text{кг/моль}} \cdot 6 \cdot 10^{23} \text{моль}^{-1} \approx 8{,}5 \cdot 10^{28}.$$

Ответ: $N = 8{,}5 \cdot 10^{28}$.

№ 8.

Дано:	Решение:
$\rho = 3500$ кг/м^3 $N = 10^{22}$ $N_A = 6 \cdot 10^{23}$моль$^{-1}$ $M = 0{,}012$ кг/моль	Найдем объем алмаза по формуле: $V = \dfrac{m}{\rho}$, где $m = \nu M$ – масса алмаза, ν – количество вещества, M – молярная масса алмаза.
V – ?	

$$\nu = \frac{N}{N_A}, \ \ m = M_C \frac{N}{N_A},$$

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

Ответ: $V = 5{,}7 \cdot 10^{-8}$ м^3.

№ 9.

Дано:	Решение:
$n = 3n_1$ $\overline{v_2} = \dfrac{1}{3}\overline{v_1}$	Запишем основное уравнение молекулярно-кинетической теории газа для начального и конечного состояний газа: $p_1 = \dfrac{1}{3} m_0 n_1 \overline{v_1^2}$, $p_2 = \dfrac{1}{3} m_0 n_2 \overline{v_2^2}$, откуда находим:
$\dfrac{p_2}{p_1}$ – ?	

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{\frac{1}{3} m_0 n_2 \overline{v_2^2}}{\frac{1}{3} m_0 n_1 \overline{v_1^2}} = \frac{n_2 \overline{v_2^2}}{n_1 \overline{v_1^2}} = 3 \cdot \left(\frac{1}{3}\right)^2 = \frac{1}{3}.$$

Ответ: $\dfrac{p_2}{p_1} = \dfrac{1}{3}$, т.е. давление газа уменьшится в 3 раза.

№ 10.

Дано:	Решение:
$\overline{v^2} = 10^6$ м^2/с^2 $n = 3 \cdot 10^{25}$ м$^{-3}$ $m_0 = 5 \cdot 10^{-26}$ кг.	Запишем основное уравнение молекулярно-кинетической теории газа: $p = \dfrac{1}{3} m_0 n \overline{v^2} =$ $= \dfrac{1}{3} \cdot 5 \cdot 10^{-26}$ кг $\cdot 3 \cdot 10^{25}$ м$^{-3} \cdot 10^6$ м^2/с$^2 = 5 \cdot 10^5$Па
p – ?	

Ответ: $p = 5 \cdot 10^5$ Па.

№ 11.

Дано:	Решение:
$V = 1{,}2$ л $= 1{,}2\cdot10^{-3}$ м^3 $N = 3\cdot10^{22}$ $p = 10^5$ Па	Согласно уравнению 8.15 § 65 учебника: $p = \frac{2}{3}n\overline{E},$ где $n = \frac{N}{V}$ – концентрация газа.
$\overline{E}$ – ?	

Отсюда: $\overline{E} = \frac{3}{2}\frac{p}{n} = \frac{3}{2}\frac{pV}{N} = \frac{3\cdot10^5\,\text{Па}\cdot1{,}2\cdot10^{-3}\,\text{м}^3}{2\cdot3\cdot10^{22}} = 6\cdot10^{-21}$ Дж.

Ответ: $\overline{E} = 6\cdot10^{-21}$ Дж.

№ 12.

Дано:	Решение:
$m = 6$ кг $V = 4{,}9$ м^3 p = 200 кПа = $2\cdot10^5$ Па	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.
$\overline{v^2}$ – ?	

Отсюда находим:

$$\overline{v^2} = \frac{3p}{m_0 n} = \frac{3pV}{m_0 N} = \frac{3pV}{m} = \frac{3\cdot2\cdot10^5\ \text{Па}\cdot4{,}9\ \text{м}^3}{6\ \text{кг}} = 4{,}9\cdot10^5\,\frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}.$$

Ответ: $\overline{v^2} = 4{,}9\cdot10^5\,\frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}$.

Упражнение 12.

№ 1.

Дано:	Решение:
$T_н = \frac{T}{2}$ $k = 1{,}38\cdot10^{-23}$ Дж/К	Единица температуры в СИ увеличилась в 2 раза, т.е. температуре, равной 2К в старых единицах, соответствует 1К в новых единицах.
$k_н$ – ?	

Следовательно, старая Т и новая $T_н$ температуры связаны соотношением: $T_н = \frac{T}{2}$.

Температура – мера средней кинетической энергии молекул, так как $\overline{E} = \frac{3}{2}\kappa T$. $\overline{E}$ измеряется в джоулях и от изменения температурных единиц не зависит, т.е. $\overline{E} = \frac{3}{2}\kappa T = \text{const}$, т.е. $\kappa_н T_н = \kappa T$.

Отсюда находим:

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

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

№ 2.

Дано:	Решение:
$T = 17\ °C = 290$ К	$\overline{E} = \frac{3}{2}kT = \frac{3 \cdot 1{,}38 \cdot 10^{-23}\ \text{Дж/К} \cdot 290\ \text{К}}{2} =$
$k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К	$= 6 \cdot 10^{-21}$ Дж.
$\overline{E}$ – ?	

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

№ 3.

Дано:	Решение:
$p = 1{,}3 \cdot 10^{-10}$ Па	Зависимость давления газа от концентрации его молекул и температуры выражается формулой 9.10 § 68 учебника: $p = nkT$,
$V = 1\ \text{см}^3 = 10^{-6}\ \text{м}^3$	где $n = \frac{N}{V}$, – концентрация газа.
$T = 27\ °C = 300$ К	
$k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К	
N – ?	

Отсюда: $p = \frac{N}{V}kT$,

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

Ответ: $N = 3{,}14 \cdot 10^4$.

№ 4.

Дано:	Решение:
$V_1 = 50\ \text{м}^3$	Найдем N_1 – число молекул в комнате.
$T = 20\ °C = 293$ К	$p_1 = n_1 kT = \frac{N_1}{V_1}kT \Rightarrow N_1 = \frac{p_1 V_1}{kT} =$
$p_1 = 1 \cdot 10^5$ Па	$= \frac{1 \cdot 10^5\ \text{Па} \cdot 50\ \text{м}^3}{1{,}38 \cdot 10^{-23}\ \text{Дж/К} \cdot 293\ \text{К}} \approx 1{,}24 \cdot 10^{27}.$
$V_2 = 200\ \text{см}^3 = 2 \cdot 10^{-4}\ \text{м}^3$	
$K = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К	
$\rho = 1000\ \text{кг/м}^3$	
N_1, N_2 – ?	

Найдем N_2 – число молекул воды в стакане по формуле: $N_2 = \dfrac{m_2}{m_0}$, где m_0 – масса одной молекулы воды, m_2 – масса воды в стакане. Химическая формула воды – H_2O. Следовательно, относительная молекулярная масса воды равна $M_r = 2\cdot1+16 = 18$. Молярная масса воды равна $M = 10^{-3} \cdot 18$ кг/моль $= 1{,}8 \cdot 10^{-2}$ кг/моль.

$$m_0 = \frac{M}{N_A},\ m_2 = \rho V_2,\ N_2 = \frac{\rho V_2 N_A}{M} =$$

$$= \frac{1000\ \text{кг/м}^3 \cdot 2\cdot10^{-4}\ \text{м}^3 \cdot 6{,}02\cdot10^{23}\ \text{моль}^{-1}}{1{,}8\cdot10^{-2}\ \text{кг/моль}} \approx 6{,}7\cdot10^{24}.$$

Ответ: $N_1 \approx 1{,}24 \cdot 10^{27}$, $N_2 \approx 6{,}7 \cdot 10^{24}$. Таким образом, $N_2 < N_1$ и в комнате молекул больше, чем в стакане воды.

№ 5.

Дано:	Решение:
$v = 540$ м/с $T = 20\ °C = 293$ К $k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К	Согласно формуле 9.12 § 69 учебника, запишем: $\overline{v} = \sqrt{\dfrac{3kT}{m_0}}$.
$m_0 - ?$	Отсюда выражаем m_0:

$$m_0 = \frac{3kT}{\overline{v^2}} = \frac{3\cdot1{,}38\cdot10^{-23}\ \text{Дж/К}\cdot373\ \text{К}}{(540\ \text{м/с})^2} = 5{,}3\cdot10^{-26}\ \text{кг}.$$

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

№ 6.

Дано:	Решение:
$T_1 = 37\ °C = 310\ K$ $T_2 = 40\ °C = 313\ K$	$\eta = \dfrac{\overline{v_2} - \overline{v_1}}{\overline{v_1}}\cdot100\% = \left(\dfrac{\overline{v_2}}{\overline{v_1}} - 1\right)\cdot100\%.$
$\eta - ?$	

Согласно формуле 9.12 § 69 учебника, запишем: $\overline{v_2} = \sqrt{\dfrac{3kT_2}{m_0}}$; $\overline{v_1} = \sqrt{\dfrac{3kT_1}{m_0}}$. Отсюда находим:

$$\eta = \left(\frac{\sqrt{3kT_2/m_0}}{\sqrt{3kT_1/m_0}} - 1\right)\cdot100\% = \left(\sqrt{\frac{T_2}{T_1}} - 1\right)\cdot100\% = \left(\sqrt{\frac{313\ \text{К}}{310\ \text{К}}} - 1\right)\cdot100\% \approx$$

$$\approx 0{,}5\%.$$

Ответ: $\eta \approx 0{,}5$ %.

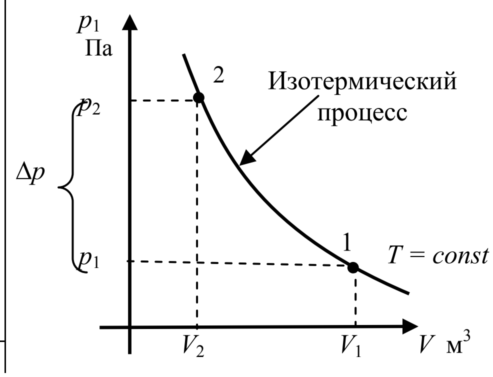
Упражнение 13.

№ 1.

Дано:
$\Delta p = 4$ кПа $= 4 \cdot 10^3$ Па
$V_1 = 8$ л
$V_2 = 6$ л
$m = const$
$T = const$

p_1 – ?

Решение:



Согласно закону Бойля-Мариотта, запишем:
$p_1V_1 = p_2V_2$.
$\Delta p = p_2 - p_1$; $p_2 = p_1 + \Delta p$.
Подставляя выражение для p_2 в закон Бойля-Мариотта, получим:
$p_1V_1 = (p_1 + \Delta p)V_2$.
Из последнего уравнения получаем:

$$p_1 = \frac{\Delta p V_2}{V_1 - V_2} = \frac{4 \cdot 10^3 \quad \text{Па} \cdot 6\text{л}}{8\text{л} - 6\text{л}} = 1{,}2 \cdot 10^4 \text{ Па} = 12 \text{ кПа}.$$

Ответ: $p_1 = 12$ кПа.

№ 2.

Дано:
$p_0 = 100$ кПа $= 1 \cdot 10^5$ Па
$V = 100$ л $= 10^{-1}$ м^3
$p = 5$ МПа $= 5 \cdot 10^6$ Па
$V_1 = 100$ см$^3 = 10^{-4}$ м^3
$m = const$
$T = const$

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.

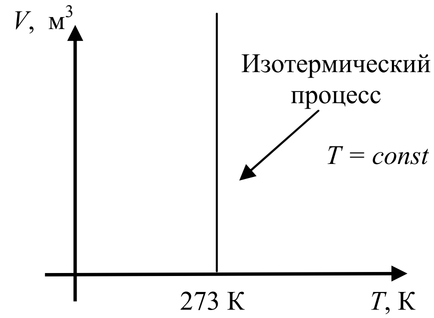
Предположим, что воздух в компрессоре не нагревается (т.е. его температура не меняется). В этом случае можно использовать закон Бойля-Мариотта.

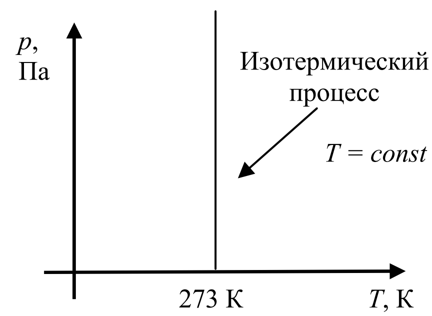
$$p_0V = pnV_1 \Rightarrow n = \frac{p_0V}{pV_1} = \frac{1 \cdot 10^5 \quad \text{Па} \cdot 10^{-1} \quad \text{м}^3}{5 \cdot 10^6 \quad \text{Па} \cdot 10^{-4} \quad \text{м}^3} = 20.$$

Ответ: $n = 20$.

№ 3.

Дано:	Решение:
$m = 2$ г $= 2 \cdot 10^{-3}$ кг $M = 2 \cdot 10^{-3}$ кг/моль $T = 0\ °C = 273$ К $R = 8{,}31 \dfrac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}}$ $m = const$ $T = const$	В координатах V, T и p, T изотермы представляют собой вертикальные прямые T = 273 К. В координатах p, V изотерма представляет собой гиперболу $pV = const$ (закон Бойля-Мариотта).
$V(T)$, $p(T)$, $p(V)$ – ?	





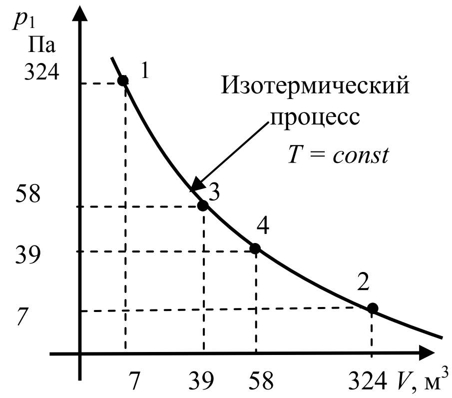
Согласно закону Менделеева-Клайперона: $pV = \dfrac{m}{M} RT$.

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: $p(V) = \dfrac{2270}{V}$.

№	V, м^3	p, Па
1	7	324,1
2	324,1	7
3	39	58,2
4	58,2	39



№ 4.

Дано:
$\Delta T = 1\ K$
$\dfrac{\Delta p}{p_1} \cdot 100\% = 0{,}4\%$
$V = const$
$m = const$

T_2 – ?

Решение:
Поскольку процесс происходит в закрытом сосуде, то $m = const$ и $V = const$. Это означает, что процесс является изохорным. Согласно закону Шарля, запишем: $\dfrac{p_1}{T_1} = \dfrac{p_2}{T_2}$.

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

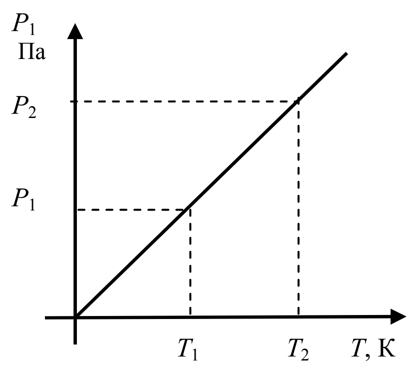
$$\frac{\Delta p}{p_1} = \frac{0{,}4\%}{100\%} = 4 \cdot 10^{-3}.$$

Отсюда:

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

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

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



Ответ: $T_2 = 250$ К.

№ 5.

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: $\frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_2V_2}{T_2} = \text{const}$. Отсюда: $\frac{V_2}{V_1} = \frac{p_1}{p_2} \cdot \frac{T_2}{T_1}$. Так как по условию задачи $p_1 > p_2$ и $T_2 > T_1$, то $\frac{V_2}{V_1} > 1$, т.е. $V_2 > V_1$. Таким образом, при переходе газа из одного состояния в другое при данных условиях объем газа увеличивается.

№ 6.

Дано:	Решение:
$\nu = 1$ моль	Запишем уравнение состояния идеального газа:
$R = 8{,}31\,\frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}}$	$pV = \nu RT \Rightarrow V = \frac{\nu RT}{p} =$
$p = 101325$ Па $= 1{,}01325 \cdot 10^5$ Па	$V = \dfrac{1 \cdot 8{,}31\,\frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}} \cdot 273\ \text{К}}{1{,}01325 \cdot 10^5\ \text{Па}} = 2{,}24 \cdot 10^{-2}\,\text{м}^3$.
$T = 273$ К	
V – ?	

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

№ 7.

Дано:	Решение:
$T = 273$ К	Воспользуемся уравнением состояния идеального газа: $pV = \frac{m}{M}RT$. Отсюда находим:
$p = 101325$ Па $= 1{,}01325 \cdot 10^5$ Па	$V = \frac{m}{pM}RT$. Найдем плотность воздуха ρ в
$M = 0{,}029$ кг/моль $= 2{,}9 \cdot 10^{-2}$ кг/моль	классе: $\rho = \frac{m}{V} = \frac{pM}{RT} =$
$R = 8{,}31\,\frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}}$	
m – ?	

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

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

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

Ответ: $m = 484$ кг.

№ 8.

Дано:
$p = 1{,}01325 \cdot 10^5$ Па
$T = 10\ ^\circ C = 283$ К
$\rho = 2{,}5$ кг/м^3
$R = 8{,}31 \dfrac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}}$

M – ?

Решение:
Воспользуемся законом Менделеева-Клапейрона:

$$pV = \frac{m}{M}RT \Rightarrow M = \frac{m}{Vp}RT = \frac{\rho}{p}RT =$$

$$= \frac{2{,}5\ \text{кг/м}^3 \cdot 8{,}31\ \ \text{Дж}/(\text{К} \cdot \text{моль}) \cdot 283\text{К}}{1{,}01325 \cdot 10^5\ \ \text{Па}} =$$

$= 0{,}058$ кг/моль.

Ответ: $M = 0{,}058$ кг/моль.

№ 9.

Дано:
$V_1 = 0{,}03$ м^3
$p_1 = 1{,}35 \cdot 10^6$ Па
$T_1 = 455\ ^\circ C = 728$ К
$p_2 = 101325$ Па
$T_2 = 0\ ^\circ C = 273$ К
$m = const$

V_2 – ?

Решение:
Запишем для данного газа уравнение Менделеева-Клапейрона:

$$\frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_2V_2}{T_2},\ V_2 = \frac{p_1T_2}{p_2T_1}V_1 =$$

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

Ответ: $V_2 = 0{,}15$ м^3.

№ 10.

Дано:
$h = 7134$ м
$p_1 = 3{,}8 \cdot 10^4$ Па
$T = 10\ ^\circ C = 273$ К
$\rho_2 = 1{,}29 \cdot$кг/м^3
$R = 8{,}31 \dfrac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}}$
$p_2 = 10^5$ Па

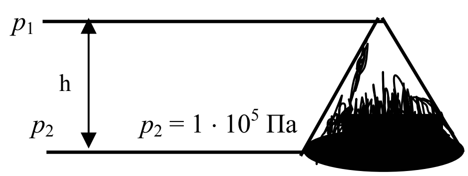
ρ_1 – ?

Решение:
Воспользуемся уравнением состояния идеального газа: $pV = \dfrac{m}{M}RT$. Отсюда находим: $\rho = \dfrac{m}{V} = \dfrac{pM}{RT}$. Для двух состояний плотности равны: $\rho_1 = \dfrac{p_1M}{RT}$, $\rho_2 = \dfrac{p_2M}{RT}$.

$$\rho_1 = \frac{p_1}{p_2}\rho_2 =$$

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

$\approx 0{,}49$ кг/м^3.



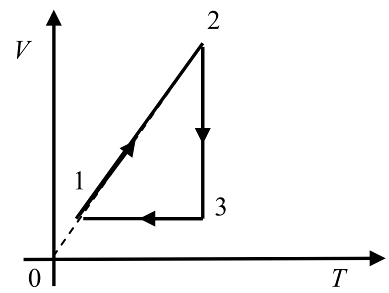
Ответ: $\rho_1 \approx 0{,}49$ кг/м^3.

№ 11.

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:



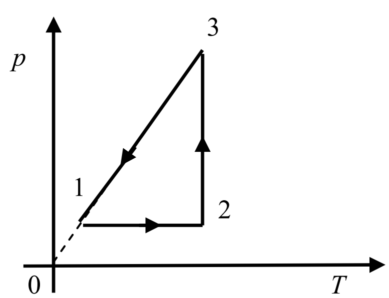
$V = \gamma T$, где $\gamma = const$ – некоторый коэффициент пропорциональности. В координатах p, V уравнение данного процесса выглядит, согласно (1), следующим образом:

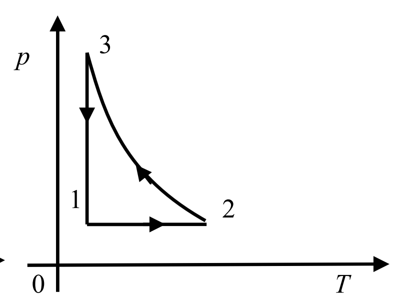
$$p = \frac{m}{M} R \frac{T}{V} = \frac{mR}{M\gamma} = \text{const}.$$

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, $p_3 > p_1$.





№ 12.

Дано:	Решение:
R, T, M	Воспользуемся основным уравнением молекулярно-кинетической теории и уравнением Менделеева-Клайперона:
$\bar{v}$ – ?	

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

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

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

№ 13.

Дано:	Решение:
$T_1 = 15\ °C = 288$ K	$p_1 V = \dfrac{m_1}{M} RT_1,\quad p_2 V = \dfrac{m_2}{M} RT_2,$
$\Delta m = 0{,}4\ m_1$	$\Delta m = m_1 - m_2,\ m_2 = m_1 - \Delta m,$
$\Delta T = 8\ °C = 8\ K$	$\Delta T = T_1 - T_2,\ T_2 = T_1 - \Delta T,$
$\dfrac{p_1}{p_2}$ – ?	

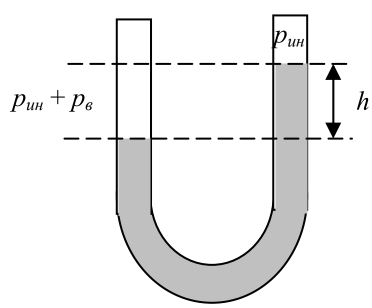
$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{m_1 T_1}{m_2 T_2} = \frac{T_1}{(1 - \frac{\Delta m}{m_1})(T_1 - \Delta T)} = \frac{1}{1 - 0{,}4} \cdot \frac{288\ \text{К}}{288\ \text{К} - 8\ \text{К}} \approx 1{,}7.$$

Ответ: $\dfrac{p_1}{p_2} \approx 1{,}7$.

Упражнение 14.

№ 1.

Чтобы существовало равновесие в обоих коленах надо чтобы существовало и равенство давлений газов над поверхностями жидкости. Разница уровней в коленах U-образной трубки должна уравновешиваться давлением воздуха. Значит в том колене, где уровень воды ниже, кроме насыщенного пара, имеется воздух.



№ 2.

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

№ 3.

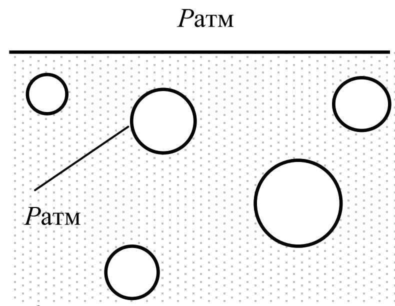
Дано:
$p_{атм}$ = 101325 Па
$R = 8{,}31\ \dfrac{Дж}{К \cdot моль}$
M = $1{,}8 \cdot 10^{-2}$ кг/моль
T = 373 К = $3{,}73 \cdot 10^{2}$ К

ρ – ?

Решение:
При кипении давление насыщенного пара внутри пузырька равно давлению в жидкости. Запишем закон Менделеева-Клайперона для насыщенного пара: $pV = \dfrac{RT}{M}$, $p = p_{атм}$.

Отсюда получаем:

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



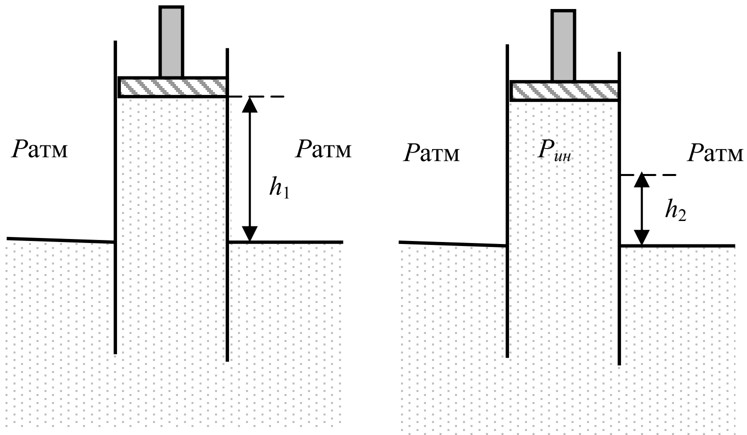
Ответ: $\rho \approx 0{,}59$ кг/м^3.

№ 4.

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 φ, тогда парциальное давление водяного пара $\varphi \cdot p_{нк}$ будет в комнате больше, чем парциальное давление водяного пара $\varphi \cdot p_{ну}$ на улице, т.е. $p_{нк} > p_{ну}$ 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.

№ 5.

Дано:	Решение:
h = 10,3 м $p_{атм}$ = 1,01 · 10^5 Па T_2 = 373 К ρ = 1000 кг/м^3 g = 9,8 м/с^2	Всасывающий насос поднимает воду до тех пор, пока гидростатическое давление водяного столба не уравновесит разность атмосферного давления и давления под поршнем. Так как поршень насоса перемещается очень медленно, то с поверхности водяного столба успевает
h_2 – ?	



испариться достаточное количество воды для того, чтобы под поршнем имелся насыщенный водяной пар.

Запишем равенство атмосферного давления $p_{атм}$ и давления в нижней точке водяного столба p, которое складывается из давления насыщенного пара $p_{нп}$ и гидростатического давления $\rho g h$:

$$p_{атм} = p_{нпх} + \rho g h_1,\ p_{атм} = p_{нпк} + \rho g h_2,$$

где $p_{нпх}$ – давление насыщенного пара холодной воды, $p_{нпк}$ – давление насыщенного пара кипящей воды. Если вода кипит при 100 °С, то атмосферное давление равно нормальному атмосферному давлению $p_{атм}$ = 1,0 1· 10^5 Па.

Из первого уравнения получим:

$$p_{нпх} = 1{,}01\cdot 10^5 \quad \text{Па} - 10^3 \quad \text{кг/м}^3 \cdot 9{,}8 \quad \text{м/с}^2 \cdot 10{,}3 \quad \text{м} \approx 0.$$

Из второго уравнения получим
(учитывая, что $p_{нпк} = p_{атм}$):

$$\rho g h_2 = 0 \ \Rightarrow\ h_2 = 0.$$

Всасывающий насос не может поднимать кипящую воду, поскольку при кипении давление насыщенного пара равно атмосферному.

Ответ: h_2 = 0.

№ 6.

Дано:	Решение:
$V = 120$ м^3 $R = 8{,}31\ \dfrac{\text{Дж}}{\text{К}\cdot\text{моль}}$ $T = 15\ °C = 288$ К $\varphi = 60\%$ $p_0 = 12{,}8$ мм.рт.ст. $=$ $= 1{,}71\cdot 10^3$ Па $M = 0{,}018$ кг/м^3	По определению относительной влажности $\varphi = \dfrac{p}{p_0}\cdot 100\%$, где p – давление пара, p_0 – давление насыщенного пара; $p_n = \dfrac{\varphi\ p_0}{100\%}$. Запишем уравнение состояния идеального газа: $pV = \dfrac{m}{M}RT$.
m – ?	

Отсюда выражаем m: $m = \dfrac{pVM}{RT} = \dfrac{\varphi p_0 VM}{100\%\cdot RT} =$

$$= \frac{60\ \%\cdot 1{,}71\cdot 10^3\ \text{Па}\cdot 120\ \text{м}^3\cdot 0{,}018\ \text{кг/моль}}{100\ \%\cdot 8{,}31\ \text{Дж}\big/\left(\text{К}\cdot\text{моль}\right)\cdot 288\ \text{К}} \approx 0{,}92\text{кг}.$$

Ответ: $m \approx 0{,}92$ кг.

№ 7.

Дано:	Решение:
$T = 293$ К $\varphi_1 = 20\%$ $\varphi_2 = 50\%$ $V = 40$ м^3 $\rho_0 = 1{,}73\cdot 10^{-2}$ кг/м^3 $T = const$	$\varphi_1 = \dfrac{p_1}{p_0}\cdot 100\%$, $\varphi_2 = \dfrac{p_2}{p_0}\cdot 100\%$. По уравнению состояния идеального газа:
Δm – ?	$p_n = \dfrac{\rho_0 RT}{M} \Rightarrow p_n = \dfrac{\rho_0 RT}{M}, \dfrac{p_n}{p_0} = \dfrac{\rho_n}{\rho_0}$, $n = 1{,}2$.

Следовательно, относительную влажность можно вычислить по формуле:

$$\varphi = \frac{\rho_n}{\rho_0}\cdot 100\%,$$

где ρ_n – плотность пара,

ρ_0 – плотность насыщенного пара.

Согласно этой формуле, запишем:

$$\varphi_1 = \frac{\rho_1}{\rho_0}\cdot 100\%\ \ (1),\quad \varphi_2 = \frac{\rho_2}{\rho_0}\cdot 100\%\ \ (2).$$

Вычтем из (2) выражение (1) и найдем изменение плотности паров воды в комнате: $\Delta\rho = \frac{(\varphi_2 - \varphi_1)\rho_0}{100\%}$. Отсюда находим:

$$\Delta m = m_2 - m_1 = \rho_2 V - \rho_1 V = \Delta\rho V = \frac{(\varphi_2 - \varphi_1)\rho_0 V}{100\%} =$$

$$= \frac{(50\% - 20\%) \cdot 1{,}73 \cdot 10^{-2} \text{ кг/м}^3 \cdot 40 \text{ м}^3}{100\%} \approx 0{,}21 \text{ кг}.$$

Ответ: $\Delta m \approx 0{,}21$ кг.

Упражнение 15.

№ 1.

Дано:
$p_2 = 3p_1$
$V_2 = \frac{1}{2} V_1$

$\frac{U_2}{U_1} - ?$

Решение:
Внутренняя энергия U одноатомного идеального газа определяется формулой: $U = \frac{3}{2}\frac{m}{M}RT$.
Воспользуемся уравнением состояния идеального газа: $p_1V_1 = \frac{m}{M}RT_1$, $p_2V_2 = \frac{m}{M}RT_2 \Rightarrow$

$$\Rightarrow U_1 = \frac{3}{2}p_1V_1,\ U_2 = \frac{3}{2}p_2V_2 \Rightarrow \frac{U_2}{U_1} = \frac{p_2V_2}{p_1V_1} = \frac{3p_1V_2/2}{p_1V_1} = \frac{3}{2} = 1{,}5.$$

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

№ 2.

Дано:
$p = 10^5$ Па
$A = 25$ Дж
$p = const$

$\Delta V - ?$

Решение:
Работа, совершенная газом при изобарном процессе, определяется формулой: $A = p\Delta V$.
Отсюда находим: $\Delta V = \frac{A}{p} = \frac{25\text{Дж}}{10^5\,\text{Па}} = 2{,}5 \cdot 10^{-4}\,\text{м}^3$.

Ответ: $\Delta V = 2{,}5 \cdot 10^{-4}$ м^3.

№ 3.

Дано:
$Q = 200$ Дж
$A = 400$ Дж

$\Delta U - ?$

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

№ 4.

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

Для вычисления ΔV воспользуемся уравнением состояния идеального газа: $pV = \dfrac{m}{M}RT$,

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

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

Ответ: А ≈ 34,4 Дж.

№ 5.

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, Δt_1 и Δt_2 –времена нагревания воды и воздуха, $\Delta T = 50°$ С– изменение температуры. Отсюда находим: $\dfrac{\Delta t_2}{\Delta t_1} = \dfrac{c_2 m_2}{c_1 m_1} = \dfrac{c_2 \rho_2}{c_1 \rho_1} < 1$, т.е. $\Delta t_2 < \Delta t_1$. Таким образом, воздух нагреется быстрее.

№ 6.

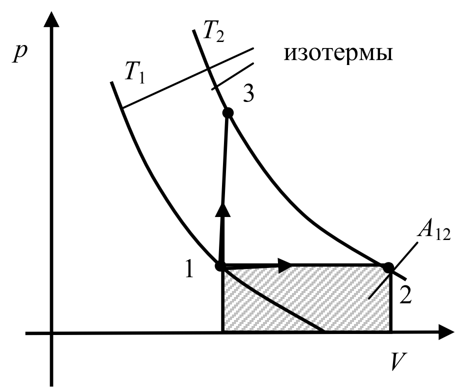
Согласно закону сохранения энергии совершение системой работы невозможно без изменения ее внутренней энергии либо без поступления энергии извне, значит, предложенный вариант вечного двигателя не будет работать. Расход внутренней энергии будет означать стремление системы к равновесию и, следовательно, остановки двигателя. Если судить по рисунку, то обмен водой между отсеками двигателя сопровождаются 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.

№ 7.

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: $Q_{31} = \Delta U < 0$.

№ 8.

Дано:	Решение:
m, M, ΔT 1) $p = const$ 2) $V = const$	Изобразим два процесса: изобарный 1–2 и изохорный 1–3 в координатах p,V. $\Delta Q = Q_{12} - Q_{13}$, $Q = \Delta U + A,$ где ΔU – изменение внутренней энергии газа, A – работа, совершенная газом.
$\Delta Q - ?$	



Так как и в процессе 1–2 и в процессе 1–3 температура газа повышается на величину $\Delta T = T_2 - T_1.$, то:

$$\Delta U_{12} = \Delta U_{13} = \Delta U = \frac{3}{2}\frac{m}{M}R\Delta T.$$

Так как процесс 1–3 – изохорный, работа газом не совершается $A_{13} = 0$. Процесс 1–2 – изобарный, при этом газ совершает работу $A_{12} = p_1(V_2 - V_1)$. В соответствии с законом Менделеева-Клайперона $pV = \frac{m}{M}RT$.

Значит, $A_{12} = \frac{m}{M}R\Delta T$.

Таким образом,

$$Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12} = \frac{5}{2}\frac{m}{M}R\Delta T,$$

$$Q_{13} = \Delta U_{13} = \frac{3}{2}\frac{m}{M}R\Delta T.$$

$$\Delta Q = Q_{12} - Q_{13} = A_{12} = \frac{m}{M}R\Delta T.$$

Ответ: теплота, переданная газу при изобарном процессе больше, чем при изохорном на $\Delta Q = \frac{m}{M}R\Delta T$.

№ 9.

Дано:	Решение:
$V = const$	При изохорном процессе ($V = const$):
$m = 4$ кг	$A = 0,\ Q = \Delta U = \frac{3}{2}\frac{m}{M}RT =$
$\Delta T = 100$ К	$= \frac{3 \cdot 4\text{кг} \cdot 8{,}31\,\text{Дж}/(\text{К} \cdot \text{моль}) \cdot 100\text{К}}{2 \cdot 0{,}004\,\text{кг}/\text{моль}} \approx$
M = 0,004 кг/моль	
$R = 8{,}31\ \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}}$	
$Q - ?$	$\approx 1{,}25 \cdot 10^6$ Дж.

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

№ 10.

Дано:	Решение:
A = 20 Дж	При изотермическом процессе ($V = const$):
T = $const$	$\Delta U = 0$,
$Q - ?$	$Q = A = 20$ Дж.
	Ответ: $Q = 20$ Дж.

№ 11.

Дано:
$m = 2$ кг
$p = const$
$\Delta T = 10\ K$
$c = 1400\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$
$M = 2\cdot 10^{-3}$ кг/моль
$R = 8{,}31\ \frac{\text{Дж}}{\text{К}\cdot\text{моль}}$

$\Delta U - ?$

Решение:
$Q = \Delta U + A,\quad \Delta U = Q - A,$
где А $= p\Delta V$ – 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 с – удельная теплоемкость.
Отсюда находим:

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

$$= (1400\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}} - \frac{8{,}31\ \text{Дж}/(\text{К}\cdot\text{моль})}{2\cdot10^{-3}\ \ \text{кг}\cdot\text{моль}})\cdot 2\ \ \text{кг}\cdot 10\ \ \text{К} = 2\cdot10^{5}\ \ \text{Дж}.$$

Ответ: $\Delta U = 2\cdot 10^5$ Дж.

№ 12.

Дано:
А = 500 Дж
$\nu = 4$ моль
$R = 8{,}31\ \frac{\text{Дж}}{\text{К}\cdot\text{моль}}$
$Q = 0$

$\Delta T - ?$

Решение:
При адиабатном процессе:
$Q = 0,$

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

Отсюда находим:

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

Ответ: $\Delta T \approx 10$ К.

№ 13.

Дано:
$m_1 = 0{,}25$ кг
$m_2 = 0{,}01$ кг
$T_1 = 298$ К
$T_2 = 373$ К
$c_в = 4{,}2\cdot10^3\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{моль}}$
$r = 2{,}256\cdot10^6\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$
$C = 10^3\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$

Т, t – ?

Решение:
После установления теплового равновесия вода нагреется до некоторой температуры Т, водяной пар конденсируется и охладится до температуры Т, температура калориметра поднимется до Т.
Запишем уравнение теплового баланса в виде: $Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0,$
где $Q_1 = c_в m_1(T - T_1)$ – теплота, которую получает вода,
$Q_2 = C(T - T_1)$ – теплота, которую получает калориметр.

$Q_3 = -rm_2 + c_в m_2 (T - T_2)$ – теплота, которую отдает пар.

Здесь $-rm_2$ – теплота конденсации,

$c_в m_2(T–T_2)$ – теплота, которую отдает вода, образовавшаяся при конденсации пара.

$$c_в m_1(T - T_1) + C(T - T_1) - rm_2 + c_в m_2(T - T_2) = 0,$$

$$T(c_в m_1 + C + c_в m_2) = rm_2 + CT_1 + c_в m_1 T_1 + c_в m_2 T_2$$

$$T = \frac{rm_2 + CT_1 + c_в(m_1 T_1 + m_2 T_2)}{c_в m_1 + C + c_в m_2},$$

$$T = \frac{2,256 \cdot 10^6 \cdot 0,01 + 10^3 \cdot 298 + 4,2 \cdot 10^3 \cdot (0,25 \cdot 298 + 0,01 \cdot 373)}{4,2 \cdot 10^3 \cdot 0,25 + 10^3 + 4,2 \cdot 10^3 \cdot 0,01} \approx$$

$$\approx 310,3K, \; t = (T - 273)^0\text{C} \approx 37,3^0\text{C}.$$

Ответ: $T \approx 310,3$ К, $t \approx 37,3$ °C.

№ 14.

Дано:	Решение:
$m_1 = 0,4$ кг $= 4 \cdot 10^{-1}$ кг $m_2 = 0,6$ кг $= 6 \cdot 10^{-1}$ кг $T_1 = 283$ К $T_2 = 233$ К $c_1 = 4,2 \cdot 10^3 \frac{Дж}{кг \cdot К}$ $c_2 = 2,1 \cdot 10^3 \frac{Дж}{кг \cdot К}$ $\lambda = 3,34 \cdot 10^5 \frac{Дж}{К}$	Сравним энергию, которую должна отдать вода для охлаждения ее до $0\ ^0$C = = 273 К = T_0: $Q_1 = c_1 m_1 (T_0 - T_1)$, и энергию, необходимую для нагревания льда до $T_0 = 273$ К: $Q_2 = c_2 m_2 (T_2 - T_0)$ $Q_1 = 1,68 \cdot 10^4$ Дж, $Q_2 = 5,04 \cdot 10^4$ Дж. $Q_2 > Q_1$.
T – ?	

Это означает, что даже когда вся вода охладится до $T_0 = 0\ ^0$С, 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 К.

Ответ: T = 273 К.

№ 15.

Дано:
$\eta_{max} = 80\%$
$T_х = 300$ К
$T_н$ – ?

Решение:
КПД тепловой машины, работающей по циклу Карно, равен:

$$\eta_{max} = \frac{T_н - T_х}{T_н} \cdot 100\%,$$

где $T_н$ – температура нагревателя,
$T_х$ – температура холодильника.

$$\frac{\eta_{max}}{100\%} = 1 - \frac{T_х}{T_н},$$

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

Ответ: $T_н = 1500$ К.

№ 16.

Дано:
$Q_1 = 1{,}5 \cdot 10^6$ Дж
$Q_2 = -1{,}2 \cdot 10^6$ Дж
$T_н = 523$ К
$T_х = 303$ К
η – ? η_{max} – ?

Решение:
По определению КПД:

$$\eta = \frac{A}{|Q_1|} \cdot 100\% =$$
$$= \frac{|Q_1| - |Q_2|}{|Q_1|} \cdot 100\% = \frac{(1{,}5\text{-}1{,}2) \cdot 10^6}{1{,}5 \cdot 10^6} \cdot 100\% =$$
$$= 20\ \%.$$

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

$$\eta_{max} = \frac{T_н - T_х}{T_н} \cdot 100\% = \frac{523 \text{ К} - 303 \text{ К}}{523 \text{ К}} \cdot 100\% \approx 42\%.$$

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

Упражнение 16.

№ 1.

Для определения знака пластмассовой ручки (наэлектризованной о шерсть) необходимо не касаясь поднести ее к стеклянной палочке с положительным зарядом. Если она притянется, то ее знак – «–», если же отталкивается, то знак – «+». В нашем случае стеклянная палочка и ручка притягивается, следовательно, знак заряда – «–».

№ 2.

Дано:	Решение:
$r = 0{,}5 \cdot 10^{-8}$ см $= 5 \cdot 10^{-11}$ м $e = -1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}\ \dfrac{\text{Кл}^2}{\text{Н}\cdot\text{м}^2}$	Согласно закону Кулона: $F = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{\lvert q_p\rvert\lvert e\rvert}{r^2} = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{e^2}{r^2} =$ $= \dfrac{1}{4\pi\cdot 8{,}85\cdot10^{-12}\,\text{Кл}^2/\text{Н}\cdot\text{м}^2}\dfrac{(1{,}6\cdot10^{-19}\,\text{Кл})^2}{(5\cdot10^{-11}\,\text{м})^2} =$
$F - ?$	

$= 9{,}2 \cdot 10^{-8}$ Н.

Ответ: $F = 9{,}2 \cdot 10^{-8}$ Н.

№ 3.

Дано:	Решение:
$m_e = 9{,}11 \cdot 10^{-31}$ кг $m_p = 1{,}67 \cdot 10^{-27}$ кг $G = 6{,}67\cdot10^{-11}$ Н·м^2/кг^2 $q_e = -1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл $q_p = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл $k = 9 \cdot 10^9$ Н·м^2/Кл^2	Воспользуемся законом всемирного тяготения и законом Кулона. $F_m = G\dfrac{m_p m_e}{r^2}$, $F_к = k\dfrac{\lvert q_e\rvert\cdot\lvert q_я\rvert}{r^2}$, $\dfrac{F_к}{F_m} = \dfrac{k\dfrac{\lvert q_e\rvert\cdot\lvert q_я\rvert}{r^2}}{G\dfrac{m_p\cdot m_e}{r^2}} = \dfrac{k\lvert q_e\rvert\cdot\lvert q_я\rvert}{G\cdot m_p\cdot m_e}$
$\dfrac{F_к}{F_m} - ?$	

$$\frac{F_к}{F_m} = \frac{9\cdot10^9\,\text{Н}\cdot\text{м}^2/\text{Кл}^2\cdot(1{,}6\cdot10^{-19}\,\text{Кл})^2}{6{,}67\cdot10^{-11}\,\text{Н}\cdot\text{м}^2/\text{кг}^2\cdot1{,}67\cdot10^{-27}\,\text{кг}\cdot9{,}11\cdot10^{-31}\,\text{кг}} \approx 2{,}3\cdot10^{39}.$$

Ответ: $\dfrac{F_к}{F_m} \approx 2{,}3\cdot10^{39}$.

№ 4.

Дано:	Решение:
$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл $r = 1$ км $= 10^3$ м $m = 0{,}03$ г $= 3 \cdot 10^{-5}$ кг $\eta = 1\%$ $N_A = 6 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$ $M = 1{,}8 \cdot 10^{-2}$ кг/моль $k = 9 \cdot 10^9$ Н·м^2/Кл^2	Согласно закону Кулона сила притяжения капель воды будет равна: $F_к = k\dfrac{q^2}{r^2}$. Найдем модуль зарядов капель: $q = \dfrac{\eta}{100\%}q_n$, где q_n – общий заряд всех электронов во второй капле воды.
$F_к - ?$	

В молекуле воды (H_2O) содержится 10 электронов: 8 – кислорода, 2 – водорода. Следовательно, $q_n = 10 \cdot e \cdot N$, где $N = N_A \dfrac{m}{M}$ – число молекул.

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

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

№ 5.

Дано:	Решение:
$q_1 = 9 \cdot 10^{-9}$ Кл $q_2 = -2 \cdot 10^{-9}$ Кл $r = 40$ см $= 4 \cdot 10^{-1}$ м $k = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{Кл}^2$	До соприкосновения заряды шариков противоположны $q_1>0$, $q_2<0$, поэтому шарики притягиваются с силой: $F_{к1} = k\dfrac{\lvert q_1\rvert \cdot \lvert q_2\rvert}{r^2} =$
F_{k1} – ? F_{k2} – ?	

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

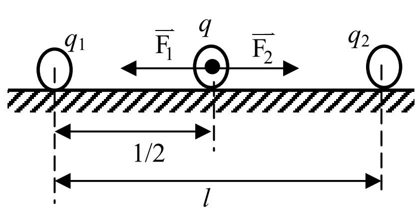
После соприкосновения заряды шариков стали одинаковые. Так как система из двух шариков замкнутая, для нее выполняется закон сохранения алгебраической суммы заряда: $q_1 + q_2 = 2q$, $q = \dfrac{q_1 + q_2}{2}$.

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

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

Ответ: $F_{k1} \approx 10^{-6}$ Н, $F_{k2} \approx 6,9 \cdot 10^{-7}$ Н.

№ 6.

Дано:	Решение:
$q_1 = 1,0 \cdot 10^{-8}$ Кл $q_2 = 2,0 \cdot 10^{-8}$ Кл $l = 1$ м $q = -3 \cdot 10^{-9}$ Кл $k = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{Кл}^2$	
F – ?	

На заряд q со стороны заряда q_2 действует сила притяжения:

$F_2 = k\dfrac{4\cdot|q|\cdot|q_2|}{l^2}$. Со стороны заряда q_1 сила притяжения: $F_1 = k\dfrac{4\cdot|q|\cdot|q_1|}{l^2}$, направленная в противоположную сторону. Равнодействующая этих сил направлена в сторону второго заряда (так как $q_2 > q_1$) и равна:

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

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

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

Упражнение 17.

№ 1.

Дано:	Решение:
$E = 1{,}3\cdot 10^5$ В/м $m = 2\cdot 10^{-12}$ кг $g = 9{,}8$ м/с^2 $q_e = -1{,}6\cdot 10^{-19}$ Кл	На капельку действуют сила тяжести $\vec{F}_T$ и кулоновская сила $\vec{F}_K$: $\vec{F}_T = m\vec{g}$, $\vec{F}_K = q\vec{E}$,
q – ? n – ?	

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

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

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

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

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 $E = k\dfrac{|q_2|}{r^2}$. 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 φ_B, φ_A – потенциал поля заряда q_2 в точках A и B. Потенциал поля точечного заряда q_2 равен: $\varphi_B = \dfrac{kq_2}{r_2}$, $\varphi_A = \dfrac{kq_2}{r_1}$, 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:

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

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

№ 4.

Дано:	Решение:
$\Delta\varphi = 1\ B$	$A = q_e(\varphi_1 - \varphi_2) = -q_e\Delta\varphi$,
$q_e = -1{,}6\cdot 10^{-19}$ Кл	По теореме о кинетической энергии
$\Delta W_к$ – ? ΔW_p – ?	$\Delta W_к = A = -q_e\Delta\varphi = 1{,}6\cdot 10^{-19}$ Дж.
	По теореме потенциальной энергии:

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

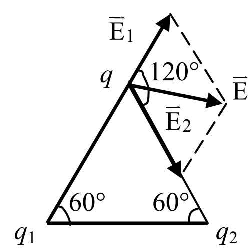
Ответ: $\Delta W_к = 1{,}6\cdot 10^{-19}$ Дж,

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

№ 5.

Дано:	Решение:
$q_1 > 0$,	Согласно принципу суперпозиций полей:
$q_2 < 0$	$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$.
R, ε, ε$_0$, E – ?	

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



$E_2 = k\frac{q_2}{\varepsilon r^2}$ так как $q_2<0$, то $\vec{E}_2$ направлена от заряда q_2.

Угол между векторами $\vec{E}_1$ и $\vec{E}_2$ равен 120^0, поэтому

$$E^2 = E_2^1 + E_2^2 - 2E_1E_2\cdot\cos(120^0) = E_1^2 + E_2^2 + E_1E_2,$$

$$E^2 = k^2\frac{q_1^2}{\varepsilon^2 r^4} + k\frac{q_2^2}{\varepsilon^2 r^4} + k\frac{q_1q_2}{\varepsilon^2 r^4} = \frac{k^2}{\varepsilon^2 r^4}(q_1^2 + q_2^2 + q_1q_2),$$

$$E = \frac{k}{\varepsilon r^2}\sqrt{q_1^2 + q_2^2 + q_1q_2}.$$

Ответ: $E = \frac{k}{\varepsilon r^2}\sqrt{q_1^2 + q_2^2 + q_1q_2}$.

№ 6.

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

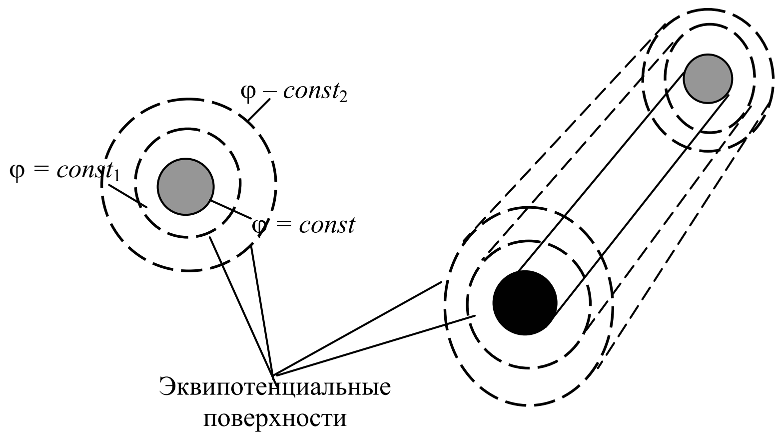
Если снизу вверх потенциал возрастает, то вектор напряженности направлен сверху вниз.

№ 7.

Дано:	Решение:
$U = 120\ B$ $d = 3$ см $= 0{,}03$ м	$E = \dfrac{U}{d} = \dfrac{120\,\text{В}}{0{,}03\,\text{м}} = 4 \cdot 10^3\ \dfrac{\text{В}}{\text{м}}.$;
$E - ?$	

Ответ: $E = 4 \cdot 10^3$ 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:
$v_1 = 1 \cdot 10^7$ м/с,
$v_2 = 3 \cdot 10^7$ м/с
$\frac{e}{m} = 1{,}76 \cdot 10^{11}$ Кл/кг

$U - ?$

Решение:
По теореме о кинетической энергии:

$$A = \Delta W_к = W_{к2} - W_{к1}, \; W_{к1} = \frac{mv_1^2}{2},$$

$$W_{к2} = \frac{mv_2^2}{2}, \; A = \Delta W_к = \frac{m}{2}(v_2^2 - v_1^2).$$

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

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

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

Упражнение 18.

№ 1.

Дано:
$C = 0{,}1$ мкФ = $= 10^{-7}$ Ф
$U = 175$ В

$\Delta q - ?$

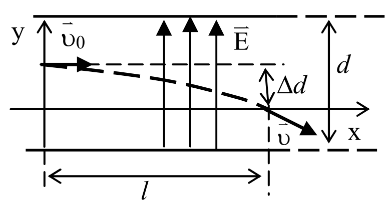
Решение:
$q_1 = U_1C, \; q_2 = U_2C; \;\; \Delta q = q_2 - q_1 = C\Delta U =$
$= 10^{-7} \cdot 175$ В $= 1{,}75 \cdot 10^{-5}$ Кл.
Ответ: $\Delta q = 1{,}75 \cdot 10^{-5}$ Кл.

№ 2.

Дано:
$v_0 = 2 \cdot 10^7$ м/с
$l = 0{,}05$ м $= 5 \cdot 10^{-2}$ м
$U = 200$ В $= 2 \cdot 10^2$ В
$d = 0{,}02$ м $= 2 \cdot 10^{-2}$ м
$\frac{e}{m} = 1{,}76 \cdot 10^{11}$ 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.

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

Вдоль оси *x* электрон движется равномерно со скоростью $v_{0x} = v_0$, а вдоль оси *y* равноускоренно с ускорением $a_y = -\dfrac{eE}{m}$.

$x = v_0 t,\ \ y = \Delta d - \dfrac{eE}{2m}t_2$, здесь $x_0 = 0,\ y_0 = \Delta d.$

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

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

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

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

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

№ 3.

Дано:	Решение:
$U_0 = 200\ В = 2\cdot 10^2\ В$ $\varepsilon = 7$ $d = 0{,}2$ мм $= 2\cdot 10^{-4}$ м $d_1 = 0{,}7$ мм $= 7\cdot 10^{-4}$ м	После того, как конденсатор отключили от источника питания, его заряд перестал меняться, и он равен: $q = CU$. Отсюда: $U_1 = \dfrac{q}{C_1} = \dfrac{C}{C_1}U.$
$U_1 - ?$	

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

$U_1 = \dfrac{Ud_1}{\varepsilon d};\ U_1 = \dfrac{7\cdot 10^{-4}\text{м}}{2\cdot 10^{-4}\text{м}\cdot 7}\cdot 200\ \text{В} = 100\ \text{В}.$

Ответ: $U_1 = 100$ 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:	Решение:
$m = 0{,}2$ кг $= 2\cdot10^{-1}$ кг $R = 0{,}2$ Ом $= 2\cdot10^{-1}$ Ом $\gamma = 8{,}9\cdot10^{3}$ кг/м^3 $\rho = 1{,}8\cdot10^{-8}$ Ом·м	Сопротивление проводника определяется формулой: $R = \rho\dfrac{l}{S}$. Объем проводника равен: $V = \dfrac{m}{\gamma} = Sl$.
l – ? S – ?	

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

$$S = \sqrt{\frac{\rho m}{R\gamma}} = \sqrt{\frac{1{,}8\cdot10^{-8}\ \text{Ом}\cdot\text{м}\cdot2\cdot10^{-1}\ \text{кг}}{2\cdot10^{-1}\ \text{Ом}\cdot8{,}9\cdot10^{3}\ \text{кг/м}^3}} \approx 1{,}4\ \text{мм}^2.$$

$$l = \frac{m}{\gamma S} = \frac{m}{\gamma}\sqrt{\frac{R\gamma}{\rho m}} = \sqrt{\frac{mR}{\rho\gamma}} = \sqrt{\frac{2\cdot10^{-1}\,\text{кг}\cdot2\cdot10^{-1}\,\text{Ом}}{1{,}8\cdot10^{-8}\,\text{Ом}\cdot\text{м}\cdot8{,}9\cdot10^{3}\,\text{кг/м}^3}} \approx 15{,}8\,\text{м}.$$

Ответ: $S \approx 1{,}4$ мм^2, $l \approx 15{,}8$ м.

№ 3.

Дано:	Решение:
$U = 36\ B = 3{,}6\cdot10\ B$ $l = 300$ м $= 3\cdot10^2$ м $\rho = 1{,}8\cdot10^{-8}$ Ом·м $n = 8{,}5\cdot10^{28}$ м$^{-3}$ $e = 1{,}6\cdot10^{-19}$ Кл	Сила тока равна: $I = enS\upsilon_{cp}$. Согласно закону Ома: $I = \dfrac{U}{R}$, где $R = \rho\dfrac{l}{S}$. Отсюда $I = \dfrac{US}{\rho l}$.
υ_{cp} – ?	

Отсюда:

$$\upsilon_{cp} = \frac{U}{\rho len} = \frac{3{,}6\cdot10}{1{,}6\cdot10^{-19}\cdot8{,}5\cdot10^{28}\cdot1{,}8\cdot10^{-8}\cdot3\cdot10^{2}} \approx 4{,}9\cdot10^{-4}\,\text{м/с}.$$

Ответ: $\upsilon_{cp} \approx 4{,}9\cdot10^{-4}$ м/с.

№ 4.

Дано:	Решение:
Q	Согласно закону Джоуля-Ленца количество теплоты, выделяемое одной плиткой за время t, равно:
Q_1 – ? Q_2 – ?	

$Q = I^2Rt$,

где I определяется в соответствии с законом Ома:

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

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

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

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

$$Q_2 = \frac{U_2}{R_2}t;\ Q_2 = \frac{2U^2}{R}t;\ Q_2 = 2Q.$$

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:	Решение:
ε, $I = 0$	Разрыв цепи означает подключение к ней бесконечно большого сопротивления. Замкнем мысленно цепь с ЭДС сопротивлением $R >> r$, где r – сопротивление и
U – ?	

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)

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

Ответ: U = ε.

№ 6.

Дано:	Решение:
ε = 12 В r = 0,01 Ом R = 0	Запишем закон Ома для полной цепи: $I = \frac{\varepsilon}{r} = \frac{12\text{ В}}{0{,}01\text{ Ом}} = 1200\text{ А}.$
I – ?	Ответ: I = 1200 А.

№ 7.

Дано:	Решение:
$R_1 = 1{,}65$ Ом $U_1 = 3{,}3$ В $R_2 = 3{,}5$ Ом $U_2 = 3{,}5$ В	Решим задачу с помощью закона Ома для полной цепи: $I = \frac{\varepsilon}{R+r}$ и закона Ома для участка цепи: $I = \frac{U}{R}$.
ε – ? 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: $r = 0{,}2$ Ом, $\varepsilon = 3{,}7$ В.

№ 8.

Дано:	Решение:
$\varepsilon_1 = 4{,}5$ В $\varepsilon_2 = 1{,}5$ В $r_1 = 1{,}5$ Ом $r_2 = 0{,}5$ Ом $R = 23$ Ом	Выберем направление обхода цепи по часовой стрелке. Тогда ЭДС цепи равно $\varepsilon = \varepsilon_2 - \varepsilon_1$. Запишем закон Ома для замкнутой цепи: $I(r_1 + r_2 + R) = \varepsilon_2 - \varepsilon_1$.
Р – ?	Найдем силу тока I:

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

Согласно закону Джоуля-Ленца:

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

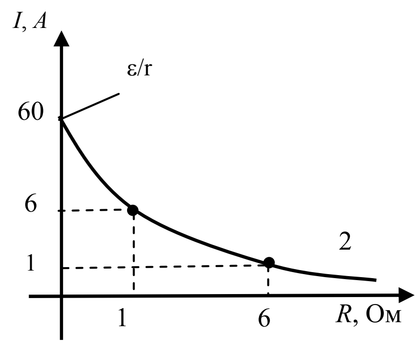
Мощность – количество теплоты, выделяемое лампой в единицу времени: $P = \dfrac{Q}{\Delta t}$, $P = I^2 R = \left(\dfrac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{r_1 + r_2 + R}\right)^2 R =$

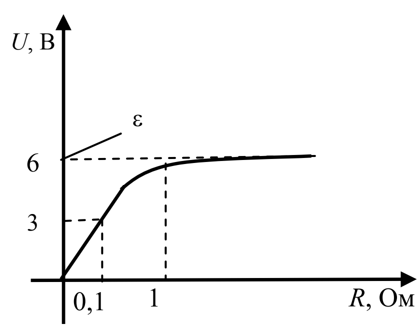
$= \left(\dfrac{4,5-1,5}{1,5+0,5+23}\right)^2 \cdot 23 \approx 0,33\text{Вт}.$

Ответ: $P \approx 0,33$ Вт.

№ 9.

Дано:	Решение:
ε = 6 В r = 0,1 Ом	$I(R) = \dfrac{\varepsilon}{R+r} = \dfrac{6}{0,1+R}$, $U(R) = IR = \dfrac{6R}{0,1+R}$ В.
$I(R)$ – ? $U(R)$ – ?	





№ 10.

Дано:	Решение:
$\varepsilon = 4{,}1$ В	Замкнем два источника ЭДС некоторым сопротив-
$r = 4$ Ом	лением R и запишем выражение для напряжения на
$\varepsilon_э$ – ? $r_э$ – ?	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.

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

Теперь закон Ома для замкнутой цепи с двумя ЭДС можно записать в виде: $I = \dfrac{\varepsilon}{R + r/2}$. Из этой формулы видно, что две ЭДС можно заменить эквивалентной ЭДС с $\varepsilon_э = 4{,}1$ В и $r_э = 2$ 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:	Решение:
$\Delta T = 60К = 6\cdot 10$ К	$U = const$.
$P_1 = 5$ кВт $= 5\cdot 10^3$ Вт	$P = \dfrac{U^2}{R}$.
$\alpha = 3{,}8\cdot 10^{-3}$ К$^{-1}$	$P_1 = \dfrac{U^2}{R_1}$,
$U = const$	
$I = const$	
P_2 – ?	$P_2 = \dfrac{U^2}{R_2}$; $P_2 = \dfrac{P_1 R_1}{R_2}$, $R_2 = \dfrac{R_1}{1 - \alpha\Delta T}$,
	$P_2 = P_1(1 - \alpha\Delta T)$,
	$P_2 = 5\cdot 10^3(1 - 6\cdot 10\cdot 3{,}8\cdot 10^{-3})$ Вт,
	$P_2 \approx 3{,}9\cdot 10^3$ Вт $\approx 3{,}9$ кВт.
	Мощность уменьшилась.

2) $I = const$.

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

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

Мощность увеличилась.

№ 4.

Дано:
$m = 0{,}01$ кг $= 1\cdot 10^{-2}$ кг
$k = 3{,}4 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл
q – ?

Решение:

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

$m = kq,\ \ q = \dfrac{m}{k};$

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

Ответ: $q = 2{,}94\cdot 10^4$ Кл.

№ 5.

Дано:
$I = 1{,}6$ А
$\Delta t = 10$ мин $= 6 \cdot 10^2$ с
$m = 0{,}316$ г $= 3{,}16 \cdot 10^{-4}$ кг
k – ?

Решение:
Согласно закону электролиза:

$m = k\Delta t,\ \ k = \dfrac{m}{I\Delta t},$

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

Ответ: $k = 3{,}3\cdot 10^{-7}$ 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:
$\Delta t = 2$ ч $= 7{,}2\cdot 10^3$ с
$I = 25\ A = 2{,}5\cdot 10\ A$
$k = 3\cdot 10^{-7}$ кг/Кл
$\rho = 8{,}9\cdot 10^3$ кг/м^3
$S = 0{,}2$ м $= 2\cdot 10^{-1}$ м^2
d – ?

Решение:
Запишем закон электролиза:

$m = k\Delta t,$

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

$d = \dfrac{k\Delta t}{\rho\cdot S};$

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

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

Ответ: $d \approx 30$ 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:	Решение:
$U_1 = 500$ В $= 5\cdot 10^2$ В $U_2 = 5000$ В $= 5\cdot 10^3$ В $e = 1{,}6\cdot 10^{-19}$ Кл $m = 9\cdot 10^{-31}$ кг $U_0 = 0$	Работа, совершенная электрическим полем, равна $A = eU$. По теореме о кинетической энергии: $A = \frac{m_e\upsilon^2}{2}$ $eU = \frac{m_e\upsilon^2}{2}$
$\upsilon_{1,2}$ – ?	

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

$$\upsilon_1 = \sqrt{\frac{2eU_1}{m_e}};\ \ \upsilon_2 = \sqrt{\frac{2eU_2}{m_e}};$$

$$\upsilon_1 = \sqrt{\frac{2\cdot 1{,}6\cdot 10^{-19}\cdot 5\cdot 10^{2}}{9\cdot 10^{-31}}}\text{м/с},\ \ \upsilon_1 \approx 1{,}33\cdot 10^7\ \text{м/с}$$

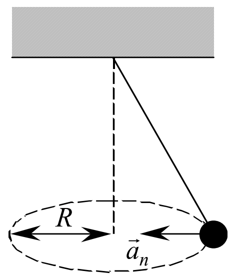
$$\upsilon_2 = \sqrt{\frac{2\cdot 1{,}6\cdot 10^{-19}\cdot 5\cdot 10^{3}}{9\cdot 10^{-31}}}\text{м/с},\ \ \upsilon_2 \approx 4{,}19\cdot 10^7\ \text{м/с}$$

Ответ: $\upsilon_1 \approx 1{,}33\cdot 10^7$ м/с, $\upsilon_2 \approx 4{,}19\cdot 10^7$ м/с.

Лабораторная работа № 1.
Изучение движения тела по окружности под действием сил упругости и тяжести

Цель работы: определение значение 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 см = 0,15 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, м	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
t, с	55	55,1	55,05	54,9	55	55,01
N	40	40	40	40	40	40

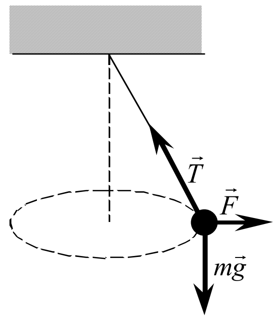
3. $T = \dfrac{t}{N} = \dfrac{55{,}01\ \text{с}}{40} = 1{,}38\ \text{с}.$

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

4. Измерим h = 55 см = 0,55 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 г = 0,3 кг, а динамометр показывает значение силы F = 0,9 Н. Отсюда находим $a = \dfrac{F}{m} = \dfrac{0{,}9\ \text{Н}}{0{,}3\ \text{кг}} = 3\ \text{м/с}^2$.



R	N	Δt	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^2	2,7 м/с^2	3,0 м/с^2

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 Н.
2. Расстояние l = 30 см.
3. Расстояние Δl = 5 см.
4. Сила F = 16 Н. $\frac{F}{2} = 8$ Н.
5. Высота падения груза
$h = l + \Delta l$ = 30 см + 5 см = 35 см = 0,35 м.
6. $E'_p = F_1(l + \Delta l)$ = 1 Н · 0,35 см = 0,35 Дж.
7. $E''_p = \frac{F\Delta l}{2}$ = 8 Н · 0,05 см = 0,4 Дж.

F_1	L	Δl	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, приближенно равны. Это подтверждает, во-первых, правильность наших измерений, а во-вторых, закон сохранения механической энергии.

Лабораторная работа № 3.
Опытная проверка закона Гей-Люссака

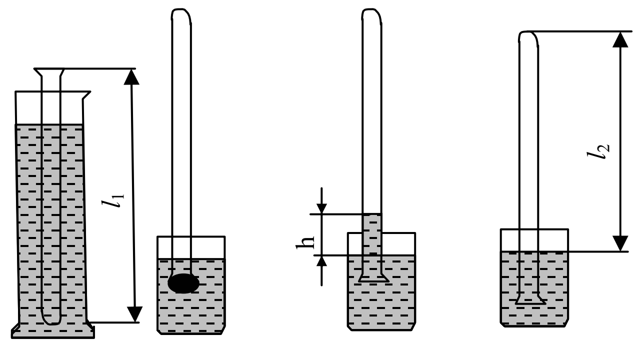
Цель работы: экспериментальным путем проверить верность закона Гей-Люссака.

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: $V = const.T$.

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 прекращения 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.



а б в г

Пример выполнения:

Измерено					Вычислено													
l_1	l_2	t_1	t_2	$\Delta_и l$	$\Delta_o l$	Δl	T_1	T_2	$\Delta_и T$	$\Delta_o T$	ΔT	$\frac{l1}{l2}$	ε_1 %	Δ1	$\frac{T_1}{T_2}$	ε_2 %	Δ2
Мм	мм	^{0}С	^{0}С	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) $\Delta_0 l$ – абсолютная погрешность отсчета $\Delta_0 l = 0{,}5$.

2) Максимальная абсолютная погрешность находится по формуле:

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

3) $T_1 = 273 + t_1 = 273 + 60 = 333$ К.

$T_2 = 273 + t_2 = 273 + 30 = 303$ К.

$\Delta_u T = 274$ К

$\Delta_o T = 273{,}5$ К

$\Delta T = 547{,}7$ К

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

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

$\Delta_1 = \frac{l_1}{l_2} \cdot \varepsilon_1 = 0{,}002$

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

$\varepsilon_2 = \frac{\Delta T}{T_1} + \frac{\Delta T}{T_2} \approx \frac{547{,}5}{333} + \frac{547{,}5}{303} \approx 3{,}5\%$

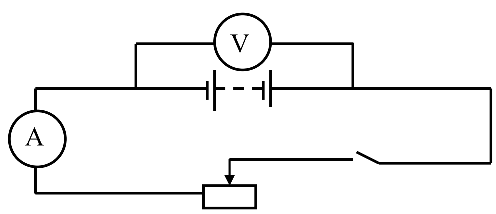
$\Delta_2 = \frac{T_1}{T_2} \cdot \varepsilon_2 = \frac{333}{303} \cdot 3{,}5\% \approx 3{,}85\,\%$

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 $R_в$ = = 900 Ом. Так как сопротивление источника обычно мало, то действительно $R_в \gg r$.

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 $r_{пр} = \dfrac{E_{пр} - U_{пр}}{I_{пр}}$. Для измерения силы тока в цепи можно использовать школьный амперметр со шкалой 0–2 А.

Пример выполнения:

№ опыта	Измерено			Вычислено											
	$U_{пр}$	$I_{пр}$	$E_{пр}$	$\Delta_и U$	$\Delta_0 U$	ΔU	ε_U	ε_E	$r_{пр}$	$\Delta_и I$	$\Delta_0 I$	ΔI	ε_I	ε_r	Δr
	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) $\Delta_и U$ – абсолютная инструментальная погрешность,

$\Delta_и U = 0{,}1$ В

$\Delta_0 U$ – абсолютная погрешность отсчета,

$\Delta_0 U = 0{,}05$ В

ΔU – максимальная абсолютная погрешность

$\Delta U = \Delta_и U + \Delta_0 U = 0{,}1$ В $+ 0{,}05$ В $= 0{,}15$ В

2) $\Delta_и I = 0{,}1$ А

$\Delta_0 I = 0{,}05$ А

$\Delta I = \Delta_и I + \Delta_0 I = 0{,}1$ В $+ 0{,}05$ В $= 0{,}15$ В

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

4) $\varepsilon_U = \dfrac{\Delta U}{U_{пр}} = \dfrac{0{,}15\ \text{Ом}}{0{,}05\ \text{Ом}} = 0{,}03$,

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

5) $\varepsilon_I = \dfrac{\Delta I}{I_{пр}} = \dfrac{0,15}{2} = 0,075,$

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

6) $\Delta r = r_{пр} \cdot \varepsilon_r = 0,475 \cdot 2,335 \approx 1,1.$

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 $\dfrac{U_1}{U_2}$ будет равно отношению $\dfrac{R_1}{R_2}$.

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: $\dfrac{1}{R} = \dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2}$.

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.