Выездная физико-математическая олимпиада МФТИ.
Январь – февраль 2021 г.
Рекомендации проверяющим и критерии оценивания. Физика

Рекомендации проверяющим

Уважаемые проверяющие! В целях уменьшения влияния Ваших индивидуальных особенностей на результаты олимпиады просим Вас при проверке работ придерживаться данных рекомендаций.

Проверяются только чистовики.

Решения школьников не обязаны совпадать с официальными. За любое решение, в котором получен и *обоснован* правильный ответ, необходимо давать полное количество баллов.

За только правильный «голый» ответ без попыток обоснования ставить 0 баллов в соответствующем вопросе задачи.

За решение, в котором нет ничего правильного, следует ставить ноль, даже если человек «много работал».

Указанные в критериях оценивания баллы даются только за полностью правильно выполненный пункт. В случае неполного или не во всём правильного решения проверяющий может поставить часть баллов в зависимости от «тяжести содеянного».

Если школьник ввёл новое обозначение (за исключением общепринятых), то он должен написать, что оно означает. Проверяющий не обязан додумывать за решающего.

Численный ответ считается правильным, если при правильном аналитическом выражении он отличается от официального не более чем на 10%. В каждом вопросе задачи за неверный численный ответ при правильном аналитическом выражении (или ходе решения) снимать 1 балл.

На олимпиаде предлагаются в каждом классе 4 задачи на 2 астрономических часа.

Критерии оценивания

Каждая задач оценивается в 10 баллов. Вся работа по физике «стоит» 40 баллов.

В задачах с двумя вопросами

Ответ на 1-й вопрос .... 4 балла

Ответ на 2-й вопрос ……………………………..…...…… 6 баллов

В задачах с тремя вопросами

Ответ на 1-й вопрос .... 3 балла

Ответ на 2-й вопрос ……………………………..…...…… 3 балла

Ответ на 3-й вопрос ……………………………..…...…… 4 балла

Выездная физико-математическая олимпиада МФТИ. Январь – февраль 2021г.
Решения. 8 класс. Физика

1.1. 1) Условие равновесия стержня: $2T+T=mg$. Отсюда $T=\frac{1}{3}mg$.

2) Условие равновесия стержня запишем для моментов сил относительно оси, проходящей через точку крепления правого конца нити: $mgx=2T\cdot\left(r+6r\right)$. Отсюда $x=\frac{14}{3}r$.

1.2. 1) Условие равновесия стержня: $2T+T=mg$. Отсюда $T=\frac{1}{3}mg$.

2) Условие равновесия стержня запишем для моментов сил относительно оси, проходящей через точку крепления правого конца нити: $mgx=2T\cdot\left(r+4r\right)$. Отсюда $x=\frac{10}{3}r$.

2.1. 1) Если в одном из сосудов уровень воды понизится на h, то в двух других он повысится на $h/2$=1см.
2) В одной и той же жидкости на одном и том же уровне давление одинаково:

$$\rho_B g\frac{3}{2}h=\rho gH.$$

Отсюда

$$\rho=\frac{3}{2}\frac{h}{H}\rho_B=\frac{3}{2}\cdot\frac{2}{5}\cdot1000=600\ \text{кг/м}^3.$$

2.2. 1) Если в двух сосудах с водой уровень поднимается на h, то в третьем он понижается на $2h$=4 см.
2) В одной и той же жидкости на одном и том же уровне давление одинаково:

$$\rho_B g3h=\rho gH.$$

Отсюда

$$H=3h\frac{\rho_B}{\rho}=3\cdot2\cdot\frac{1000}{750}=8\,\text{см}.$$

3.1. 1) Второе тело, получив 1200 Дж теплоты, нагрелось от $+20^0$С до $+30^0$С, отсюда следует ответ на первый вопрос задачи

$$q=\frac{1200}{10}=120\,\text{Дж}/^0\text{С}.$$

2) Первое тело при охлаждении от 60^0С до 30^0С отдало 1200 Дж теплоты, чтобы нагреть его «обратно» понадобится столько же теплоты. Второе тело, получив 1200 Дж теплоты, нагрелось от 20^0С до 30^0С, т.е. на 10^0С. Для нагревания на 30^0С этому телу следует сообщить втрое большее количество теплоты, равное 3600 Дж. Отсюда следует ответ на второй вопрос задачи

$$Q_1=1200+3600=4800\ \text{Дж}.$$

3.2. 1) Температура первого тела изменится на 1^0С при подведении к нему (или отведении от него)

$$q_1=\frac{2400}{80-50}=80\,\text{Дж/}^0\text{С}.$$

2) Температура второго тела изменится на 1^0С при подведении к нему (или отведении от него)

$$q_2=\frac{2400}{50-40}=240\ \text{Дж/}^0\text{С}.$$

Для нагревания системы двух тел на 1^0С к системе следует подвести

$$\tilde{q}=q_1+q_2=80+240=320\ \text{Дж/}^0\text{С}.$$

После подведения к системе $Q_1=16\,$кДж теплоты температура системы повысится на

$$\Delta t=\frac{Q_1}{\tilde{q}}=\frac{16\cdot 10^3}{320}=50\,{}^0\text{С}$$

и станет равной

$$t=50+50=100\,{}^0\text{С}.$$

4.1. По графику находим перемещения за четыре последовательных участка движения

$$S_1=\frac{0,5\cdot 8}{2}=2\,\text{м},\ S_2=\frac{(0,5+2)\cdot 8}{2}=10\,\text{м},\ S_3=\frac{(2+4)\cdot 4}{2}=12\,\text{м},\ S_4=\frac{(4+5)\cdot 4}{2}=18\,\text{м}.$$

1) Средняя скорость за первые $T=24\,$с равна

$$\langle V\rangle=\frac{S_1+S_2+S_3+S_4}{T}=\frac{2+10+12+18}{24}=1,75\,\text{м/с}.$$

2) После этого скорость велосипедиста вырастет от 5 м/с до 10 м/с за время

$$t_1=\frac{10-5}{0,5}\cdot 8=80\,\text{с}.$$

За это время велосипедист проедет

$$S_5=\frac{(5+10)80}{2}=600\,\text{м}$$

и будет находиться от точки старта на расстоянии

$$S=42+600=642\,\text{м}.$$

3) Следующие

$$\tilde{S}-S=1000-642=358\,\text{м}$$

велосипедист проедет за

$$t_2=\frac{358}{10}\approx 36\,\text{с}.$$

Искомое время

$$\tilde{T}=T+t_1+t_2=24+80+36=140\,\text{с}.$$

4.2. По графику находим перемещения за четыре последовательных участка движения

$$S_1=\frac{0,5\cdot 8}{2}=2\,\text{м},\ S_2=\frac{(0,5+2)\cdot 8}{2}=10\,\text{м},\ S_3=\frac{(2+4)\cdot 4}{2}=12\,\text{м},\ S_4=\frac{(4+5)\cdot 4}{2}=18\,\text{м}.$$

1) Средняя скорость за первые $T=24\,$с равна

$$\langle V\rangle=\frac{S_1+S_2+S_3+S_4}{T}=\frac{2+10+12+18}{24}=1,75\,\text{м/с}.$$

2) На завершающем участке разгона скорость вырастет от 5 м/с до 10 м/с за время

$$t_1=\frac{10-5}{0,5}\cdot 8=80\,\text{с}.$$

Это произойдет через $\tilde{T} = T + t_1 = 24 + 80 = 104\,\text{с}$ после старта.

3) На завершающем участке разгона велосипедист проедет

$$S_5 = \frac{(5+10)\cdot 80}{2} = 600\,\text{м}$$

и в момент начала движения с постоянной скоростью будет находиться на расстоянии

$$S = 42 + 600 = 642\,\text{м}$$

от точки старта. За следующие

$$\tau - \tilde{T} = 150 - 104 = 46\,\text{с}$$

велосипедист проедет

$$V_M\left(\tau - \tilde{T}\right) = 10\cdot 46 = 460\,\text{м}$$

и будет находиться на расстоянии

$$\tilde{S} = S + V_M\left(\tau - \tilde{T}\right) = 642 + 460 \approx 1100\,\text{м}$$

от точки старта в момент времени $\tau = 150\,\text{с}$.

Выездная физико-математическая олимпиада МФТИ. Январь – февраль 2021г.
Решения. 9 класс. Физика

1.1. 1) Продолжительность T полета мяча и максимальная высота H связаны соотношением

$$T = \sqrt{\frac{8H}{g}} = 4\,\text{с}.$$

2) Из кинематики равнопеременного движения в однородном поле тяжести следует $V_0 \sin\alpha = g\frac{T}{2}$, здесь V_0 - начальная скорость мяча, стартовавшего под углом α к горизонту. Далее находим высоту, на которой мяч ударится в стенку,

$$h = V_0 \sin\alpha\left(T-\tau\right) - \frac{g}{2}\left(T-\tau\right)^2 = \frac{g}{2}\left(T-\tau\right)\tau = 15\,\text{м}.$$

1.2. 1) Из кинематики равнопеременного движения в однородном поле тяжести следует: продолжительность T полета мяча и максимальная высота H связаны соотношением

$$H = \frac{gT^2}{8} = 11,25\,\text{м}.$$

2) Кроме этого, $V_0 \sin\alpha = g\frac{T}{2}$, здесь V_0 - начальная скорость мяча, стартовавшего под углом α к горизонту. Далее находим высоту, на которой мяч ударится в стенку,

$$h = V_0 \sin\alpha\left(T-\tau\right) - \frac{g}{2}\left(T-\tau\right)^2 = \frac{g}{2}\left(T-\tau\right)\tau = 10\,\text{м}.$$

2. 1) Пусть F - сила натяжения нити, N – сила, действующая на шарик со стороны платформы. Ускорение $a = \omega^2\left(l + 2l\cos\alpha\right) = 2\omega^2 l$. По второму закону Ньютона в проекциях на горизонтальное направление (от шарика к оси вращения) $F\cos\alpha = ma$. Тогда $F = \frac{ma}{\cos\alpha} = 4m\omega^2 l$.

2) По второму закону Ньютона в проекциях на вертикальное направление $N + F\sin\alpha - mg = 0$. Получаем $N = mg - F\sin\alpha = m\left(g - 2\sqrt{3}\omega^2 l\right)$. Отрыва не будет при $N > 0$, т.е. при $\omega < \sqrt{\frac{g}{2\sqrt{3}l}}$.

3.1. 1) Стержень действует на клин силой перпендикулярной поверхности клина и по величине равной $P = mg\cos\alpha$, тогда по второму закону Ньютона

$$F = P\sin\alpha = mg\sin\alpha\cos\alpha = 5\,\text{Н}.$$

2) Силу сняли, система пришла в движение. Из второго закона Ньютона для клина, движущегося по горизонтальной прямой, следует

$$Ma_1 = N\sin\alpha\,,$$

здесь N – сила, с которой стержень действует на клин; для стержня

$$ma_2 = mg\cos\alpha - N\,.$$

Из этих соотношений с учетом кинематической связи $a_2 = a_1 \sin\alpha$ приходим к ответу на второй вопрос задачи

$$a_1 = \frac{m \cdot \sin\alpha \cdot \cos\alpha}{M + m \cdot \sin^2\alpha} g = 1 \text{ м/с}^2.$$

3.2. 1) Система в покое. Стержень действует на клин силой перпендикулярной поверхности клина и по величине равной $P = mg\cos\alpha$. Тогда клин действует на стол вертикальной силой по величине равной

$$P = \left(M + m\cos^2\alpha\right)g = 25\,\text{Н}.$$

2) Силу сняли, система пришла в движение. Второй закон Ньютона для клина, движущегося по горизонтальной прямой, $Ma_1 = N\sin\alpha$, здесь N – сила, с которой стержень действует на клин. Второй закон Ньютона для стержня $ma = mg\cos\alpha - N$. С учетом кинематической связи $a = a_1 \sin\alpha$ приходим к ответу на второй вопрос задачи

$$a = \frac{m \cdot \sin^2\alpha \cdot \cos\alpha}{M + m \cdot \sin^2\alpha} g \approx 1{,}4 \text{ м/с}^2.$$

4.1. 1) Условие равновесия стержня: $T + 2T + T = mg$. Отсюда сила натяжения нити $T = \frac{1}{4}mg$.

2) Запишем условие равновесия стержня для моментов сил относительно оси, проходящей через точку крепления правого конца нити:

$$mgx = 2T \cdot 8r + T\left(2r + 4r + 6r\right).$$

Отсюда $x = 7r$.

4.2. 1) Условие равновесия стержня: $T + 2T + T = mg$. Отсюда сила натяжения нити $T = \frac{1}{4}mg$.

2) Запишем условие равновесия стержня для моментов сил относительно оси, проходящей через точку крепления правого конца нити:

$$mgx = 2T \cdot 10r + T\left(2r + 4r + 8r\right).$$

Отсюда $x = 8{,}5r$.

5. 1) Для шара $T + \rho Vg = 8\rho Vg$. Откуда сила натяжения нити $T = 7\rho Vg = 70\,\text{Н}$.

2) Условие равновесия сосуда с содержимым

$$N + T = mg + Mg + 8\rho Vg.$$

Здесь N - сила давления сосуда на стол. С учетом выражения для T получаем $N = \left(m + M + \rho V\right)g = 80\,\text{Н}$.

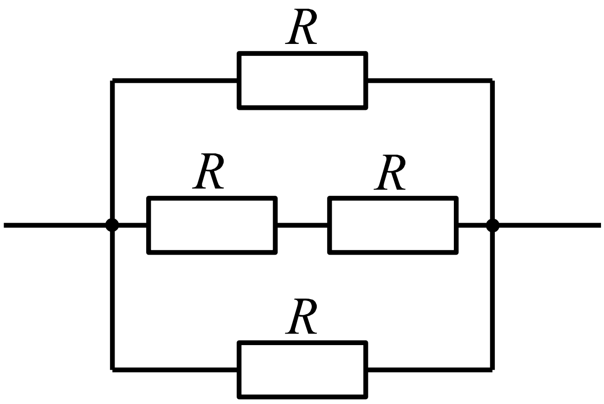
6.1. 1) Рассмотрим следующий вариант соединения резисторов: параллельно соединим резисторы с сопротивлениями 2 Ом и 5 Ом и независимо соединим параллельно резисторы с сопротивлениями 3 Ом и 4 Ом. Далее эти пары соединим последовательно. Эквивалентное сопротивление такой цепочки резисторов

$$R_{ЭКВ} = \frac{2\cdot 5}{2+5} + \frac{3\cdot 4}{3+4} = \frac{22}{7} \approx 3{,}14286 \text{ Ом.}$$

2) Относительная погрешность приближения к числу $\pi \approx 3{,}14159$ составляет

$$\varepsilon = \frac{3{,}14286 - 3{,}14159}{3{,}14} \cdot 100\% \approx 0{,}04\% .$$

6.2.



1) Рассмотрим вариант соединения четырех резисторов, представленный на схеме (здесь $R = 4$ Ом). Эквивалентное сопротивление такой цепи найдем из равенства

$$\frac{1}{R_{ЭКВ}} = \frac{1}{2R} + 2\frac{1}{R}, \quad R_{ЭКВ} = \frac{2}{5}R = \frac{2\cdot 4}{5} = 1{,}6 \text{ Ом.}$$

2) Относительная погрешность приближения к числу $\Phi \approx 1{,}618$ составляет

$$\varepsilon = \frac{1{,}618 - 1{,}600}{1{,}618} \cdot 100\% \approx 1{,}1\% .$$

Выездная физико-математическая олимпиада МФТИ. Январь – февраль 2021г.
Решения. 10 класс. Физика

1.1. 1) $S = \frac{V_0}{2}t$. Отсюда $V_0 = \frac{2S}{t} = 10$ м/с. 2) $V_1^2 = 2aS_1$, $V_0^2 = 2aS$. $V_1 = V_0\sqrt{\frac{S_1}{S}} = \frac{2S}{t}\sqrt{\frac{S_1}{S}} = 8$ м/с.

1.2. 1) $S = \frac{V_0}{2}t$. Отсюда $V_0 = \frac{2S}{t} = 12$ м/с. 2) $S = \frac{1}{2}at^2$, $S_1 = \frac{1}{2}at_1^2$. $t_1 = t\sqrt{\frac{S_1}{S}} = 3$ с.

2. 1) $N_1 = mg\cos\alpha = \frac{3}{4}mg$. 2) $N_2 = 3mg + N_1\cos\alpha = mg\left(3+\cos^2\alpha\right) = \frac{57}{16}mg$.

3.1. 1) По теореме об изменении полной механической энергии

$$0{,}5\mathrm{k}\mathrm{X}_1^2 - 0{,}5kA^2 = -\mu mg\left(A - X_1\right).$$

Здесь $\mathrm{X}_1 -$ координата точки остановки. В начале отсчета упругая сила, действующая на груз, нулевая, груз стартует из точки $\mathrm{X} = \mathrm{A}$. Из теоремы следует $\mathrm{X}_1 = -A + \frac{2\mu mg}{k}$. В рассматриваемом случае упругая сила в точке остановки равна максимальной силе трения

$$\mathrm{k}\left(A - \frac{2\mu mg}{k}\right) = \mu mg,$$

$$\mathrm{k} = \frac{3\mu mg}{A} = \frac{3\cdot 0{,}4\cdot 1\cdot 10}{0{,}2} = 60\ \text{Н/м}.$$

2) Для ответа на второй вопрос задачи повторно обратимся к теореме об изменении полной механической энергии. В любой момент времени

$$0{,}5\mathrm{k}\mathrm{X}^2 + 0{,}5mV^2 - 0{,}5kA^2 = -\mu mg\left(-X + A\right).$$

Отсюда находим зависимость скорости от координаты

$$V = \sqrt{\frac{k}{m}\left(\frac{A^2}{3} + x\left(\frac{2}{3}A - x\right)\right)}.$$

Максимум параболы лежит посередине между корнями в точке $x = \frac{A}{3}$. Отсюда приходим к ответу на второй вопрос задачи

$$\mathrm{V}_{\text{м}} = 2\cdot\sqrt{\frac{1}{3}\mu gA} = 2\cdot\sqrt{\frac{1}{3}\cdot 0{,}4\cdot 10\cdot 0{,}2} \approx 1{,}0\ \text{м/с}.$$

3.2. 1) По теореме об изменении полной механической энергии

$$0{,}5\mathrm{k}\mathrm{X}_1^2 - 0{,}5kA^2 = -\mu mg\left(A - X_1\right).$$

Здесь $X_1 -$ координата точки остановки. В начале отсчета упругая сила, действующая на груз, нулевая, груз стартует из точки $\mathrm{X} = \mathrm{A}$. Из теоремы следует $\mathrm{X}_1 = -A + \frac{2\mu mg}{k}$. В рассматриваемом случае упругая сила в точке остановки равна максимальной силе трения

$$\mathrm{k}\left(A - \frac{2\mu mg}{k}\right) = \mu mg,$$

$$\mu = \frac{\mathrm{kA}}{3mg} = \frac{100\cdot 0{,}3}{3\cdot 5\cdot 10} = 0{,}2.$$

2) Для ответа на второй вопрос задачи повторно обратимся к теореме об изменении полной механической энергии. В любой момент времени

$$0{,}5kX^2+0{,}5mV^2-0{,}5kA^2=-\mu mg(-X+A).$$

Отсюда

$$0{,}5mV^2=\frac{1}{6}kA^2+\frac{1}{2}kx\left(\frac{2}{3}A-x\right).$$

Кинетическая энергия зависит от координаты x по квадратичному закону. Максимум параболы лежит посередине между корнями в точке $x=\dfrac{A}{3}$. Отсюда приходим к ответу на второй вопрос задачи

$$K_{MAX}=\frac{2}{9}kA^2=\frac{2}{9}\cdot 100\cdot 0{,}3^2=2\ \text{Дж}.$$

4.1. 1) Количество теплоты при изобарическом расширении

$$Q_{12}=\nu\frac{5}{2}R(T_2-T_1)=\frac{5}{2}(\nu RT_2-\nu RT_1)=\frac{5}{2}(P_1V_2-P_1V_1)=\frac{5}{2}P_1(V_2-V_1)=\frac{5}{2}A.$$

2) Аналогично, при изобарическом сжатии

$$Q_{34}=\frac{5}{2}A_{34}=\frac{5}{2}\left(-\frac{A}{3}\right)=-\frac{5}{6}A.$$

Работа газа за цикл $A_C=Q_{12}+Q_{34}=\dfrac{5}{3}A$. КПД $\eta=\dfrac{A_C}{Q_{12}}=\dfrac{2}{3}$.

4.2. 1) Количество теплоты при изобарическом расширении

$$Q_{12}=\nu\frac{5}{2}R(T_2-T_1)=\frac{5}{2}(\nu RT_2-\nu RT_1)=\frac{5}{2}(P_1V_2-P_1V_1)=\frac{5}{2}P_1(V_2-V_1)=\frac{5}{2}A.$$

2) При изобарическом сжатии $Q_{34}=-\dfrac{15}{8}A$. Работа за цикл $A_C=Q_{12}+Q_{34}=\dfrac{5}{8}A$. КПД $\eta=\dfrac{A_C}{Q_{12}}=\dfrac{1}{4}$.

5. 1) Отношение плотностей пара $\rho_2/\rho_1=4$. Плотность пара увеличилась в 4 раза.

2) $P_{2H}=10^5$ Па. $P_{1H}\varphi_1=\dfrac{\rho_1}{\mu}RT_1,\ P_{2H}\varphi_2=\dfrac{\rho_2}{\mu}RT_2$. Отсюда $\varphi_2=\dfrac{P_{1H}T_2\rho_2}{P_{2H}T_1\rho_1}\varphi_1=\dfrac{3P_{1H}T_2}{P_{2H}T_1}\varphi_1\approx 3{,}7\%$.

6. 1) Закон Ома для полной цепи $E=Ir+IR$, перепишем в виде $E=\dfrac{U}{R}r+U$, здесь $U=IR$ – напряжение на зажимах батареи. Тогда в первом случае $E=\dfrac{U_1}{R}r+U_1$. Во втором случае $E=\dfrac{2U_2}{R}r+U_2$. Из приведенных соотношений следует $\dfrac{U_1}{R}r+U_1=2\dfrac{U_2}{R}r+U_2$. Отсюда находим внутреннее сопротивление $r=\dfrac{U_1-U_2}{2U_2-U_1}R=\dfrac{10-7}{2\cdot 7-10}\cdot 16=12$ Ом и ЭДС батареи $E=\dfrac{U_1}{R}r+U_1=10\left(\dfrac{12}{16}+1\right)=17{,}5$ В.

2) Мощность, рассеиваемая на внешнем сопротивлении, $P=I^2R=\left(\dfrac{E}{r+R}\right)^2R=\dfrac{E^2}{r}\cdot\dfrac{1}{2+\dfrac{R}{r}+\dfrac{r}{R}}$ достигает наибольшего значения при наименьшей величине знаменателя второго сомножителя в этой

формуле. Из неравенства $(x-1)^2 \geq 0$ при $x>0$ следует $x+\frac{1}{x} \geq 2$. Тогда наибольшая мощность в опыте достигается при $R=r=12$ Ом и равна $P_{MAX}=\frac{E^2}{4r}=\frac{17,5^2}{4\cdot 12} \approx 6,4$ Вт.

Выездная физико-математическая олимпиада МФТИ. Январь – февраль 2021г.
Решения. 11 класс. Физика

1. 1) $S=\frac{1}{2}at^2$. $a=\frac{2S}{t^2}=2$ м/с^2. 2) $V_1=\sqrt{2aS_1}=14$ м/с.

2.1. 1) $mV_0=4mV_2-mV_1$, $\frac{1}{2}mV_0^2=\frac{1}{2}\cdot 4mV_2^2+\frac{1}{2}mV_1^2$. Отсюда скорость покоившегося бруска $V_2=\frac{2}{5}V_0$, скорость двигавшегося бруска $V_1=\frac{3}{5}V_0$ - ответ.

2) $\mu mgS_1=\frac{1}{2}mV_1^2$, $\mu\cdot 4mgS_2=\frac{1}{2}\cdot 4mV_2^2$. Из записанных? уравнений с учетом выражений для скоростей находим расстояние $S=S_1+S_2=\frac{13}{50}\frac{V_0^2}{\mu g}$.

2.2. 1) $mV_0=5mV_2-mV_1$, $\frac{1}{2}mV_0^2=\frac{1}{2}\cdot 5mV_2^2+\frac{1}{2}mV_1^2$. Отсюда скорость покоившегося бруска $V_2=\frac{1}{3}V_0$ - ответ. Скорость двигавшегося бруска $V_1=\frac{2}{3}V_0$.

2) $\mu mgS_1=\frac{1}{2}mV_1^2$, $\mu\cdot 5mgS_2=\frac{1}{2}\cdot 5mV_2^2$. Из записанных уравнений с учетом выражений для скоростей находим расстояние $S=S_1+S_2=\frac{5}{18}\frac{V_0^2}{\mu g}$.

3.1. 1)Температуры в начале изобарного расширения T_0, в конце nT_0, в начале адиабатического сжатия $\frac{T_0}{n^{2/3}}$. В изобарическом процессе к одноатомному идеальному газу подводят количество теплоты $Q_H=\frac{5}{2}\nu RT_0(n-1)$, в изохорном процессе от этого газа отводят $Q_X=\frac{3}{2}\nu RT_0\left(n-n^{-2/3}\right)$. Тогда КПД цикла равен $\eta=1-\frac{Q_X}{Q_H}=1-\frac{3}{5}\cdot\frac{n-n^{-2/3}}{n-1}$. Подстановка $n=8$ в это равенство приводит к ответу на первый вопрос задачи: $\eta=\frac{47}{140}\approx 0{,}34$.

2) Для ответа на второй вопрос достаточно заметить, что последовательность $a_n=\frac{n-n^{-2/3}}{n-1}=1+\frac{1-n^{-2/3}}{n-1}$ стремится к единице сверху при $n\to\infty$. Тогда $\eta_{MAX}=1-0{,}6=0{,}4$.

3.2. 1) Расширение в процессе $\rho=\frac{\alpha}{T}$ изобарное, объем и температура увеличиваются в n раз. В начале адиабатического сжатия температура $\frac{T_0}{n^{2/3}}$. В изобарическом процессе к одноатомному идеальному газу подводят количество теплоты $Q_H=\nu\frac{5}{2}RT_0(n-1)$, в изохорном процессе от этого газа отводят $Q_X=\nu\frac{3}{2}RT_0\left(n-n^{-2/3}\right)$. На адиабате теплообмена нет. Работа газа за цикл

$$A=Q_H-Q_X=\frac{2n+3n^{-2/3}-5}{2}\nu RT_0\approx 8\cdot 10^3\text{ Дж.}$$

2) КПД цикла $\eta = \frac{A}{Q_H} = 1 - \frac{Q_X}{Q_H} = 1 - \frac{3}{5} \cdot \frac{n - n^{-2/3}}{n-1}$. Для ответа на второй вопрос достаточно заметить, что последовательность $a_n = \frac{n - n^{-2/3}}{n-1} = 1 + \frac{1 - n^{-2/3}}{n-1}$ стремится к единице сверху при $n \to \infty$. Тогда $\eta_{MAX} = 1 - 0,6 = 0,4$.

4. 1) Отношение плотностей пара $\rho_2 / \rho_1 = 3$. Плотность пара увеличилась в 3 раза.

2) $P_{2H} = 10^5$ Па. $P_{1H}\varphi_1 = \frac{\rho_1}{\mu} RT_1, P_{2H}\varphi_2 = \frac{\rho_2}{\mu} RT_2$. Отсюда $\varphi_2 = \frac{P_{1H} T_2 \rho_2}{P_{2H} T_1 \rho_1} \varphi_1 = \frac{3P_{1H} T_2}{P_{2H} T_1} \varphi_1 \approx 6\%$.

5. 1) Скорость роста энергии конденсатора $\frac{\Delta W}{\Delta t} = \frac{1}{2C} \frac{\Delta\left(q^2\right)}{\Delta t} = I_C \cdot U_C$, мощность тепловыделения на резисторе $P = I_R \cdot U_R$. Эти элементы соединены параллельно, поэтому, $U_R = U_C$. Тогда в рассматриваемый момент времени $I_R = I_C$. Далее, по второму правилу Кирхгофа $E = I_R R + 2 I_R r$. Отсюда $I_R = \frac{E}{2r + R}$.

Мощность сторонних сил в источнике $P = 2 I_R E = \frac{2E^2}{2r + R}$.

2) В любой момент времени по второму правилу Кирхгофа $E = I_R R + \left(I_R + I_C\right) r$, отсюда $I_C = \frac{E - \left(R + r\right) I_R}{r}$.

Тогда скорость роста энергии конденсатора $\frac{\Delta W}{\Delta t} = I_C U_C = I_C U_R = \frac{R \cdot (R + r)}{r} \left(\frac{E}{R + r} - I_R \right) I_R$. Максимум этой «перевернутой параболы» достигается при $I_R = \frac{E}{2\left(r + R\right)}$. В этот момент в электрическом поле конденсатора запасена энергия $Q = \frac{CU_R^2}{2} = \frac{C}{2}\left(I_R R\right)^2 = \frac{CE^2}{8} \left(\frac{R}{r + R} \right)^2$. По закону сохранения энергии ровно столько теплоты выделится на резисторе после размыкания ключа.

6.1. 1) $I_0 = \frac{E}{R + r}$.

2) При $I_R = \frac{1}{2} I_E$ по второму правилу Кирхгофа $E = I_R R + I_E r$. Отсюда $I_R = \frac{E}{R + 2r}$. Так как катушка и резистор R соединены параллельно, то $L I_L' = I_R R$. Скорость возрастания тока $I_L' = \frac{I_R R}{L} = \frac{ER}{L\left(R + 2r\right)}$.

6.2. 1) $I_0 = \frac{E}{R + r}$.

2) При $I_R = \frac{1}{3} I_E$ по второму правилу Кирхгофа $E = I_R R + I_E r$. Отсюда $I_R = \frac{E}{R + 3r}$. Так как катушка и резистор R соединены параллельно, то $L I_L' = I_R R$. Скорость возрастания тока $I_L' = \frac{I_R R}{L} = \frac{ER}{L\left(R + 3r\right)}$.

7.1. 1) $I_0 = \frac{E}{r}$.

2) Сразу после замыкания ключа ток через катушку останется $I_0 = \frac{E}{r}$. Пусть сразу после замыкания: I_1 - ток через r и направлен вверх, I_R - ток через R и направлен вниз, I_2 - ток через $3r$ и направлен вверх. По правилам Кирхгофа

$$E = I_R R + I_1 r, \quad 2E = I_R R + I_2 3r, \quad I_1 + I_2 = I_R + I_0.$$

Отсюда, с учетом выражения для $I_0 = \frac{E}{r}$, находим $I_R = \frac{2E}{4R+3r}$.

7.2. 1) $I_0 = \frac{E}{r}$.

2) Сразу после замыкания ключа ток через катушку останется $I_0 = \frac{E}{r}$. Пусть сразу после замыкания: I_1 - ток через *r* и направлен вверх, I_R - ток через *R* и направлен вниз, I_2 - ток через 2*r* и направлен вверх. По правилам Кирхгофа

$$E = I_R R + I_1 r, \quad 3E = I_R R + I_2 2r, \quad I_1 + I_2 = I_R + I_0.$$

Отсюда, с учетом выражения для $I_0 = \frac{E}{r}$, находим $I_R = \frac{3E}{3R+2r}$.

8.1. 1) При гармонических колебаниях с циклической частотой ω амплитудные значения скорости и ускорения $V_M = \omega A, \quad a_M = \omega^2 A$. Отсюда $a_M = \frac{V_M^2}{A} \approx 26$ м/с^2.

2) Для доски $\mu(8m)g \geq ma_M$. С учетом выражения для a_M, находим $\mu \geq \frac{V_M^2}{8gA} = 0,32$.

8.2. 1) При гармонических колебаниях с циклической частотой ω справедливо $V_M = \omega A, \quad \omega = \frac{2\pi}{T}$. Отсюда $T = \frac{2\pi A}{V_M} \approx 0,63$ с.

2) Для доски $\mu(10m)g \geq ma_M$. Амплитудные значения скорости и ускорения $V_M = \omega A, \quad a_M = \omega^2 A$. Отсюда $\mu \geq \frac{V_M^2}{10gA} = 0,2$.