

## Решение варианта 1

**1. (15 баллов)** Сосуд со смесью воды и льда в соотношении 1:1 получает к моменту времени  $t$  количество теплоты, равное  $Q(t) = 1,25 \cdot t^2$ . Найдите время, за которое вся смесь испарится, если её масса 1,5 кг. Удельная теплоёмкость воды 4200 Дж/кг·°С, удельная теплота плавления льда  $3,4 \cdot 10^5$  Дж/кг, удельная теплота парообразования воды  $2,3 \cdot 10^6$  Дж/кг. Ответ выразите в минутах и округлите до целых.

**Возможное решение:**

Выразим количество теплоты, которое получит смесь воды и льда к моменту времени  $\tau$ , когда вся смесь испарится, через затраты на плавление льда, нагрев и испарение всей воды:

$$Q = 1,25\tau^2 = m_{\text{л}}\lambda_{\text{л}} + (m_{\text{в}} + m_{\text{л}})c_{\text{в}}\Delta T + (m_{\text{в}} + m_{\text{л}})r_{\text{в}}$$

откуда выразим  $\tau$ :

$$\tau = \sqrt{\frac{m_{\text{л}}\lambda_{\text{л}} + (m_{\text{в}} + m_{\text{л}})c_{\text{в}}\Delta T + (m_{\text{в}} + m_{\text{л}})r_{\text{в}}}{1,25}} = 1862 \text{ с} \approx 31 \text{ мин}$$

**Критерии оценки:**

Записаны выражения для нагрева, плавления и испарения – 3 балла за каждое.

Верно составлено уравнение теплового баланса – 3 балла.

Верно посчитан числовой ответ – 3 балла.

**2. (25 баллов)** Ртутный термометр состоит из резервуара, в котором находится 1 грамм ртути, и капилляра диаметром 0,06 мм. До какой максимальной температуры можно проградуировать термометр, если его начальная отметка 30°С, а длина капилляра 50 мм? Коэффициент температурного расширения (показывающий, во сколько раз будет отличаться объём тела после нагрева на 1 К) ртути  $1,82 \cdot 10^{-4} \text{ К}^{-1}$ , плотность ртути при 30°С 13521 кг/м<sup>3</sup>. Ответ дайте в градусах Цельсия и округлите до десятых.

**Возможное решение:**

Увеличение объёма ртути при нагреве на  $\Delta T$  с учётом коэффициента температурного расширения  $k$  составит:

$$\Delta V = V \cdot k \cdot \Delta T = \frac{m}{\rho} \cdot k \cdot \Delta T$$

причём весь этот объём пойдёт на заполнение объёма капилляра:

$$\Delta V = l \cdot \frac{\pi d^2}{4}$$

откуда выразим  $\Delta T$ :

$$\Delta T = \frac{\pi d^2 l \rho}{4mk} \approx 10,5^\circ\text{C}$$

Тогда максимальная температура, до которой можно проградуировать такой термометр, составляет:

$$T + \Delta T = 40,5^{\circ}\text{C}$$

**Критерии оценки:**

Верно записано выражение для изменения объёма ртути – 10 баллов.

Верно записано условие заполнения капилляра – 5 баллов.

Верно составлено выражение для максимального изменения температуры – 5 баллов.

Верно посчитан численный ответ – 5 баллов.

**3. (20 баллов)** Двигатель автомобиля массой 138 кг во время прогрева при  $-10^{\circ}\text{C}$  расходует 1 литр бензина в час. Определите среднюю удельную теплоёмкость двигателя, если за 5 минут он достигает температуры  $40^{\circ}\text{C}$ . Удельная теплота сгорания бензина  $4,6 \cdot 10^7$  Дж/кг, плотность бензина  $750 \text{ кг/м}^3$ . Ответ дайте в Дж/кг $\cdot^{\circ}\text{C}$  и округлите до целых.

**Возможное решение:**

Выразим количество теплоты, выделяемое в ходе сгорания топлива за 5 минут:

$$Q = \frac{1}{12} q_{\text{бенз}} V_{\text{бенз}} \rho_{\text{бенз}}$$

Всё это количество теплоты пойдёт на нагрев двигателя:

$$Q = c_{\text{дв}} m_{\text{дв}} \Delta T$$

откуда выразим среднюю удельную теплоёмкость двигателя:

$$c_{\text{дв}} = \frac{q_{\text{бенз}} V_{\text{бенз}} \rho_{\text{бенз}}}{12 m_{\text{дв}} \Delta T} \approx 417 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}$$

**Критерии оценки:**

Верно записано выражение для количества теплоты, выделенного в ходе сгорания топлива – 7 баллов.

Верно составлено выражение для количества теплоты, полученного двигателем – 3 балла.

Верно составлено уравнение теплового баланса и выражена удельная теплоёмкость двигателя – 7 баллов.

Верно посчитан численный ответ – 3 балла.

**4. (20 баллов)** Чугунный кубик вывели на орбиту Земли и расположили так, что только одна его грань освещена Солнцем. На таком расстоянии от Солнца каждый квадратный метр абсолютно чёрного тела, расположенного перпендикулярно направлению солнечных лучей, поглощает 1300 Вт солнечной энергии; при этом каждый квадратный метр абсолютно чёрного тела излучает тепловую энергию по закону:  $N = \sigma \cdot T^4$ , где  $N$  – выделяемая мощность в ваттах,  $T$  – температура в кельвинах,  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} \cdot \text{К}^{-4}$ . Определите, до какой температуры нагреется кубик. Ответ дайте в градусах Цельсия и округлите до целых.

**Возможное решение:**

Чугунный кубик будет поглощать тепловую энергию только одной своей гранью, при этом излучать он будет всеми гранями. При нагреве до искомой температуры вся поглощаемая мощность будет излучаться:

$$6 \cdot \sigma T^4 = N_{\text{погл}}$$

Откуда выразим температуру и переведём в градусы Цельсия:

$$T = \sqrt[4]{\frac{N_{\text{погл}}}{6\sigma}} \approx 249 \text{ К} = -24^\circ\text{С}$$

**Критерии оценки:**

Верно составлено уравнение баланса поглощённой и излучаемой энергии – 12 баллов (без учёта соотношения поглощающей и излучающей площадей 6 баллов).

Верно выражена искомая температура – 4 балла.

Верно посчитан численный ответ – 4 балла.

**5. (20 баллов)** Современный электрокар расходует 62 кВт·ч энергии при перемещении на 425 км, при этом для производства 1 кВт·ч энергии на электростанции сжигается 500 граммов угля. Оцените отношение тепловой энергии, затраченной на перемещения автомобиля с расходом бензина 6 литров на 100 км, к тепловой энергии, затраченной на перемещение электрокара на то же расстояние. Удельная теплота сгорания угля  $3,6 \cdot 10^7$  Дж/кг, удельная теплота сгорания бензина  $4,6 \cdot 10^7$  Дж/кг, плотность бензина  $750 \text{ кг/м}^3$ . Ответ округлите до сотых.

**Возможное решение:**

Выразим количество тепловой энергии, необходимое для перемещения электрокара на  $S = 100$  км, если на 425 км он расходует  $Q$  кВт·ч:

$$Q_1 = Q \frac{S}{S_{425}} q_{\text{уг}} m_{\text{уг}}$$

Выразим количество тепловой энергии, необходимое для перемещения автомобиля на 100 км:

$$Q_2 = q_{\text{бенз}} V_{\text{бенз}} \rho_{\text{бенз}}$$

Составим отношение:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{q_{\text{бенз}} V_{\text{бенз}} \rho_{\text{бенз}}}{Q \frac{S}{S_{425}} q_{\text{уг}} m_{\text{уг}}} \approx 0,79$$

**Критерии оценки:**

Верно выражено количество тепловой энергии в случае с электрокаром – 6 баллов.

Верно выражено количество тепловой энергии в случае с автомобилем – 6 баллов.

Верно составлено отношение энергий – 4 балла.

Верно посчитан численный ответ – 4 балла.

### Решение варианта 4

1. (28 баллов) В железное ведро массой 1,7 кг и ёмкостью 15 л, доверху наполненное водой при температуре 26° С вливают 3,5 кг расплавленной стали при температуре плавления (1400° С). Удельная теплоёмкость стали 500 Дж/(кг·К). Удельная теплоёмкость воды 4190 Дж/(кг·К). Удельная теплота парообразования воды 2,26 МДж/кг. Плотность воды 1000 кг/м<sup>3</sup>. Плотность стали при температуре плавления 7830 кг/м<sup>3</sup>. Удельная теплота плавления стали 80 кДж/кг. Найти, какая часть первоначального количества воды превратится в пар?

#### Решение задачи 1

Дано:

$$m_{\text{ведра}}=1,7 \text{ кг}$$

$$V_{\text{ведра}}=15 \text{ л}$$

$$t_{\text{н}}=26^{\circ}\text{C}$$

$$m_{\text{с}}=3,5 \text{ кг}$$

$$t_{\text{пл}}=1400^{\circ}\text{C}$$

$$c_{\text{с}}=500 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$$

$$c_{\text{в}}=4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$$

$$\rho_{\text{с}}=7830 \text{ кг/м}^3$$

$$r=2,26 \text{ МДж/кг}$$

$$\rho_{\text{в}}=1000 \text{ кг/м}^3$$

$$\frac{m_{\text{п}}}{m_{\text{воды}}} \text{ — ?}$$

#### 1 Вариант решения.

Решение: не вызывает сомнения, что расплавленная сталь должна нагреть ведро и воду в нём. Часть воды выльется. Сама сталь отвердеет, и её температура станет такой же, как и температура воды с ведром. Найдем эту температуру:

$$m_{\text{ведра}} \cdot c_{\text{с}} \cdot (\theta - t_{\text{н}}) + \rho_{\text{в}} \left( V_{\text{ведра}} - \frac{m_{\text{с}}}{\rho_{\text{с}}} \right) \cdot c_{\text{в}} \cdot (\theta - t_{\text{н}}) = \lambda m_{\text{с}} + c_{\text{с}} m_{\text{с}} (t_{\text{пл}} - \theta)$$

$$\theta = \frac{m_{\text{с}} \rho_{\text{ж}} (\lambda + c_{\text{с}} t_{\text{пл}}) + t_{\text{нач}} (m_{\text{вед}} c_{\text{с}} \rho_{\text{с}} + \rho_{\text{с}} \rho_{\text{в}} V_{\text{в}} c_{\text{в}} - \rho_{\text{в}} c_{\text{с}} V_{\text{в}})}{m_{\text{вед}} c_{\text{с}} \rho_{\text{с}} + \rho_{\text{с}} \rho_{\text{в}} c_{\text{в}} V_{\text{вед}} - \rho_{\text{в}} c_{\text{с}} m_{\text{с}} + c_{\text{с}} m_{\text{с}} \rho_{\text{ж}}}$$

Ответ: установившаяся температура будет  $\theta=78^{\circ}\text{C}$ , поэтому испарившейся частью воды можно пренебречь, доля испарившейся воды равно 0.

#### 2 Вариант решения.

Решение: если ученик сразу предположил, что часть воды должна превратиться в пар, то тогда

$$m_{\text{ведра}} c_{\text{ж}} (\theta - t_{\text{н}}) + \rho_{\text{в}} \left( V_{\text{ведра}} - \frac{m_{\text{с}}}{\rho_{\text{с}}} \right) c_{\text{в}} (\theta - t_{\text{н}}) + r m_{\text{п}} = \lambda m_{\text{с}} + c_{\text{с}} m_{\text{с}} (t_{\text{пл}} - \theta)$$

$$r m_{\text{п}} = \lambda m_{\text{с}} + c_{\text{с}} m_{\text{с}} (t_{\text{пл}} - \theta) - m_{\text{ведра}} c_{\text{с}} (\theta - t_{\text{н}}) - \rho_{\text{в}} \left( V_{\text{ведра}} - \frac{m_{\text{с}}}{\rho_{\text{с}}} \right) c_{\text{в}} (\theta - t_{\text{н}})$$

$$\frac{m_{\text{п}}}{\rho_{\text{в}} V_{\text{вед}}} = \frac{\lambda m_{\text{с}} + c_{\text{с}} m_{\text{с}} (t_{\text{пл}} - \theta) - m_{\text{ведра}} c_{\text{с}} (\theta - t_{\text{н}}) - \rho_{\text{в}} \left( V_{\text{ведра}} - \frac{m_{\text{с}}}{\rho_{\text{с}}} \right) c_{\text{в}} (\theta - t_{\text{н}})}{r \rho_{\text{в}} V_{\text{вед}}}$$

Очевидно, что результат этой дроби будет отрицательный, что говорит о том, что в основном пар не выделится.

#### Критерии оценивания задачи 1.

№ п/п	Содержание критерия	Баллы, соответствующие этому критерию.
1.	Верно записано условие задачи	2
2.	Верно выполнен перевод единиц в СИ	1
3.	Учтено, что часть воды из ведра выльется при наливании железа.	3
4.	Верно составлено уравнение теплового баланса (в любом из двух видов).	6
5.	Есть решение в общем виде.	8
6.	Получен верный численный ответ	5
7.	Отмечено, что при контакте с раскалённым металлом часть воды испарится.	2
8.	Объяснено, что долей испарившейся воды можно пренебречь	4

2. (12 баллов) В автобусе электронное табло показывает температуру на улице  $+5^\circ\text{C}$  и в салоне —  $(+18^\circ\text{C})$ . Определите показания термометра в салоне, если температура на улице станет  $(-5^\circ\text{C})$ ? Уровень работы печки не регулируется. Температуру охлаждающей жидкости для двигателя считать равной в среднем  $85^\circ\text{C}$ .

## Решение задачи 2

Дано:

$t_{y1}=5^\circ\text{C}$

$t_{c1}=18^\circ\text{C}$

$t_{y2}=-5^\circ\text{C}$

$t_{ж}=85^\circ\text{C}$

$t_{c2}=?$

## Вариант решения.

Решение: разница температур пропорциональна теплоотдаче, а количество теплоты полученное от охлаждающей жидкости равно количеству теплоты, вышедшему из салона автобуса на улицу:  $Q_1=Q_2$

Введём коэффициент пропорциональности  $k$ :

$$(t_{ж} - t_{c1}) = (t_{c1} - t_{y1})k$$

Очевидно, что при изменении температуры элементов этой системы, но не меняя самой системы, получим, что коэффициент теплопередачи сохранится.

Тогда

$$(t_{ж} - t_{c2}) = (t_{c2} - t_{y2})k$$

$$k = \frac{t_{ж}-t_{c1}}{t_{c1}-t_{y1}}; k = \frac{t_{ж}-t_{c2}}{t_{c2}-t_{y2}}; \frac{t_{ж}-t_{c1}}{t_{c1}-t_{y1}} = \frac{t_{ж}-t_{c2}}{t_{c2}-t_{y2}}; t_{c2} = \frac{t_{ж}(t_{c1}-t_{y1})-t_{y2}(t_{ж}-t_{c1})}{t_{ж}-t_{y1}}; t_{c2} = 9,6^\circ\text{C}$$

Ответ: температура в салоне будет  $+10^\circ\text{C}$ , когда температура на улице опустится до  $-5^\circ\text{C}$ .

## Критерии оценивания задачи 2.

№ п/п	Содержание критерия	Баллы, соответствующие этому критерию.
1.	Верно записано условие и поставлен вопрос задачи	1
2.	Написано, что количество теплоты, переданное салону от охлаждающей жидкости равно количеству теплоты, переданное салоном автобуса улице.	1
3.	Учтено, что разность температур при переходе тепла пропорциональна теплоотдаче.	2
4.	Верно составлено уравнение для каждого из случаев	По 1 баллу за каждое
5.	Есть решение в общем виде.	3
6.	Получен верный численный ответ	2
7.	Проведено верное округление.	1
		<b>Итого: 12</b>

3. (16 баллов) На невесомом рычаге уравновешены два сплошных стеклянных шара. Отношение радиусов шаров равно 2. Большой шар располагается на расстоянии от оси вращения  $d$  и погружён в глицерин полностью. Малый шар располагается на расстоянии  $5d$  и погружен в неизвестную жидкость на половину своего объёма. Определите плотность этой жидкости. Плотность стекла  $2500 \text{ кг/м}^3$ , плотность глицерина  $1250 \text{ кг/м}^3$ .

### Решение задачи 3

Дано:

$$\rho_{\text{ст}} = 2500 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_{\text{г}} = 1250 \text{ кг/м}^3$$

$$l_{\text{б}} = d$$

$$l_{\text{м}} = 5d$$

$$\frac{r_{\text{б}}}{r_{\text{м}}} = 2$$

$$\rho_{\text{ж}} = ?$$

**Вариант решения.**

Решение: Согласно правилу равновесия рычага  $F_{\text{б}}l_{\text{б}} = F_{\text{м}}l_{\text{м}}$ ;  $(m_{\text{б}}g -$

$$\rho_{\text{г}}gV_{\text{б}})l_{\text{б}} = (m_{\text{м}}g - 0,5\rho_{\text{ж}}gV_{\text{м}})l_{\text{м}}$$

$$(m_{\text{б}} - \rho_{\text{г}}V_{\text{б}})l_{\text{б}} = (m_{\text{м}} - 0,5\rho_{\text{ж}}V_{\text{м}})l_{\text{м}}$$

$$\rho_{\text{ж}} = 2\rho_{\text{ст}} - 2(\rho_{\text{ст}} - \rho_{\text{г}})\left(\frac{r_{\text{б}}}{r_{\text{м}}}\right)^3 \frac{l_{\text{б}}}{l_{\text{м}}}; \rho_{\text{ж}} = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Ответ: плотность жидкости, в которую погружён малый шар равна 1000 кг/м<sup>3</sup>, значит, он погружён в воду.

### Критерии оценивания задачи 3.

№ п/п	Содержание критерия	Баллы, соответствующие этому критерию.
1.	Верно записано условие и поставлен вопрос задачи	1
2.	Верно написано условие равновесия рычага.	3
3.	Учтена сила Архимеда	3
4.	Верно учтено, что малый шар погружён наполовину	3
5.	Есть решение в общем виде.	3
6.	Получен верный численный ответ	2
7.	Проведено верное опознавание жидкости по плотности.	1
		<b>Итого: 16</b>

**4. (20 баллов)** В паспорте автомобиля указана максимальная разрешённая скорость для транспортного средства 175 км/ч. Также там указана и мощность двигателя 108 л. с. (1 л. с. = 0,735 кВт). При оптимальной скорости движения в 80 км/ч расход топлива 54 л на 725 км. Удельная теплота сгорания бензина равна 45 МДж/кг. Плотность бензина 735 кг/м<sup>3</sup>. Определите, какой путь может проделать автомобиль на предельной разрешённой скорости, заправленный указанным выше бензином при объёме бака 55 литров, если считать что сила сопротивления воздуха возрастает прямо пропорционально скорости движения.

### Решение задачи 4

Дано:

$$v_{\text{max}} = 175 \text{ км/ч}$$

$$N = 108 \text{ л. с.}$$

$$v = 80 \text{ км/ч}$$

$$V = 54 \text{ л}$$

$$l = 725 \text{ км}$$

$$q = 45 \text{ МДж/кг}$$

$$V_0 = 55 \text{ л}$$

$$F \sim v$$

$$l_0 = ?$$

**Вариант решения.**

Решение: по условию  $F_{\text{max}} = kv_{\text{max}}$ ;  $F = kv$ ;  $\frac{F_{\text{max}}}{F} = \frac{v_{\text{max}}}{v}$ ;

$$N = \frac{Q}{t} \eta = \frac{qm\eta}{t} = \frac{q\rho V\eta}{t}; N = Fv; Fv = \frac{q\rho V\eta}{t}; F = \frac{q\rho V\eta}{l}; F_{\text{max}} = \frac{q\rho V_0\eta}{l_0};$$

$$\frac{q\rho V_0\eta}{l_0} = \frac{q\rho V\eta}{l} \frac{v_{\text{max}}}{v}; \frac{V_0}{l_0} = \frac{V}{l} \frac{v_{\text{max}}}{v}; l_0 = \frac{lV_0v}{Vv_{\text{max}}} = 337 \text{ км.}$$

Ответ: при скорости 175 км/ч и сопротивлению движению, пропорциональному скорости, автомобиль проедет только 337 км.

#### Критерии оценивания задачи 4.

№ п/п	Содержание критерия	Баллы, соответствующие этому критерию.
1.	Верно записано условие и поставлен вопрос задачи	1
2.	Верно написано условие зависимости силы сопротивления от скорости	За каждый по 2
3.	Выведено соотношение между силами сопротивления и мощностями.	2
4.	Выведена зависимость мощности от расхода топлива и времени движения	3
5.	Выведена зависимость силы сопротивления от пути	4
6.	Получена зависимость между путём при низкой и высокой скоростях	5
7.	Получен верный численный ответ	1
		<b>Итого: 20</b>

5. (24 балла) Резистор для регулировки силы тока представляет собой две стеклянные трубки разного диаметра, сваренные между собой так, чтобы между ними могла находиться, не выливаясь, ртуть. Диаметры трубок отличаются в  $N=4$  раза. С обоих концов трубки закрыты поршнями, к которым подсоединены электроды. При вдвигании поршня в трубку слева, он давит на ртуть и заставляет столбик передвигаться вправо, оказывая давление и отодвигая правый поршень. Если вдвигать в трубку правый поршень, то ртуть передвинется влево и отодвинет левый электрод с поршнем. Во сколько раз можно изменить сопротивление ртути в такой системе? В начальный момент времени ртуть сосредоточена только в толстой трубке и её длина составляет 5 см. Длина тонкой трубки равна 88 см. Размером места спайки трубок и толщиной поршней пренебречь.

#### Решение задачи 5

<p>Дано:  <math>L=5</math> см  <math>l=88</math> см  <math>\frac{D}{d} = N = 4</math></p>	<p><b>Вариант решения.</b>                      Решение: ртуть не сжимаема, поэтому <math>V_1 = V_2</math>; <math>S_1 l_1 = S_2 L_2</math>; <math>\frac{\pi d^2}{4} l_1 = \frac{\pi D^2}{4} L_2</math>  <math>d^2 l_1 = D^2 L_2</math>; <math>l_1 = \frac{D^2}{d^2} L_2</math>; <math>l_1 = N^2 L_2</math>; <math>l_1 = 80</math> см,                      что означает, что ртуть может быть в крайних положениях или только в толстой или только в тонкой трубке.  <math display="block">\frac{R_{\max}}{R_{\min}} = \frac{\frac{\rho l_1}{S_1}}{\frac{\rho L_2}{S_2}} = \frac{N^2}{1} = N^4 = 256</math>                      Ответ: в таких трубках сопротивление можно менять в 256 раз.</p>
<p><math>\frac{R_{\max}}{R_{\min}} = ?</math></p>	

**Критерии оценивания задачи 5.**

№ п/п	Содержание критерия	Баллы, соответствующие этому критерию.
1.	Верно записано условие и поставлен вопрос задачи	2
2.	Верно сформулировано и написано условие несжимаемости ртути	За каждый по 2
3.	Записано соотношение зависимости сопротивления от геометрических параметров проводника.	4
4.	Найдено, что ртуть в крайних положениях может быть полностью только в левой или только в правой трубке.	4
5.	Есть решение в общем виде	7
6.	Получен верный численный ответ	3
		<b>Итого: 24</b>



**Пояснения и критерии для членов экспертной комиссии  
по проверке ситуационной задачи**

1. Членам экспертной комиссии предоставляется один из возможных вариантов решения экзаменационных задач. Решение школьника может отличаться от авторского варианта решения, предоставленного комиссии.
2. Корректная проверка решения не может быть осуществлена только по ответам. Основным критерием правильности решения является верное использование физических законов и разумный учёт технических параметров, характеристик и ограничений.

	<b>Верные элементы решения</b>	<b>Количество баллов</b>
1	Сформулирована расчётная схема (в том числе, графически), выделены и правильно формализованы все необходимые физические законы	0-9
2	Составлена система уравнений и математическая модель	0-7
3	Верно учтены технические параметры, характеристики и ограничения	0-7
4	Проведены расчеты, получен верный ответ	0-7
	Итого	max 30