

## 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·°C, 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°C, а длина капилляра 50 мм? Коэффициент температурного расширения (показывающий, во сколько раз будет отличаться объём тела после нагрева на 1 К) ртути  $1,82 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ , плотность ртути при 30°C 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  $750$  кг/м<sup>3</sup>. 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,  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$  Вт $\cdot\text{K}^{-4}$ . 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 переведем 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:

$$m_{\text{ведра}}=1,7 \text{ кг}$$

$$V_{\text{ведра}}=15 \text{ л}$$

$$t_{\text{н}}=26^{\circ}\text{C}$$

$$m_{\text{с}}=3,5 \text{ кг}$$

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

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

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

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

$$r=2,26 \text{ МДж/кг}$$

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

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

#### 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. Найдём эту температуру:

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

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

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
		<b>Итого: 28</b>

2. (12 баллов) В автобусе электронное табло показывает температуру на улице +5 °С и в салоне — (+18 °С). Определите показания термометра в салоне, если температура на улице станет (– 5°С)? Уровень работы печи не регулируется. Температуру охлаждающей жидкости для двигателя считать равной в среднем 85° С.

### Решение задачи 2

<p>Дано:  <math>t_{y1}=5^{\circ}\text{C}</math>  <math>t_{c1}=18^{\circ}\text{C}</math>  <math>t_{y2}=-5^{\circ}\text{C}</math>  <math>t_{ж}=85^{\circ}\text{C}</math>  <math>t_{c2}=?</math></p>	<p><b>Вариант решения.</b>  Решение: разница температур пропорциональна теплоотдаче, а количество теплоты полученное от охлаждающей жидкости равно количеству теплоты, вышедшему из салона автобуса на улицу: <math>Q_1=Q_2</math>  Введём коэффициент пропорциональности <math>k</math>:  <math display="block">(t_{ж} - t_{c1}) = (t_{c1} - t_{y1})k</math> Очевидно, что при изменении температуры элементов этой системы, но не меняя самой системы, получим, что коэффициент теплопередачи сохранится.  Тогда  <math display="block">(t_{ж} - t_{c2}) = (t_{c2} - t_{y2})k</math> <math display="block">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}</math> Ответ: температура в салоне будет +10° С, когда температура на улице опустится до - 5°С.</p>
---	---

### 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: $\rho_{ст}=2500 \text{ кг/м}^3$ $\rho_{г}=1250 \text{ кг/м}^3$ $l_6=d$ $l_M=5d$ $\frac{r_6}{r_M} = 2$ $\rho_{ж} \text{ — ?}$	<p style="text-align: center;"><b>Вариант решения.</b></p> Решение: Согласно правилу равновесия рычага $F_6 l_6 = F_M l_M$ ; $(m_6 g - \rho_{г} g V_6) l_6 = (m_M g - 0,5 \rho_{ж} g V_M) l_M$ $(m_6 - \rho_{г} V_6) l_6 = (m_M - 0,5 \rho_{ж} V_M) l_M$ $\rho_{ж} = 2 \rho_{ст} - 2(\rho_{ст} - \rho_{г}) \left(\frac{r_6}{r_M}\right)^3 \frac{l_6}{l_M}$ ; $\rho_{ж} = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ Ответ: плотность жидкости, в которую погружён малый шар равна $1000 \text{ кг/м}^3$ , 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  $175 \text{ км/ч}$ . Также там указана и мощность двигателя  $108 \text{ л. с.}$  ( $1 \text{ л. с.} = 0,735 \text{ кВт}$ ). При оптимальной скорости движения в  $80 \text{ км/ч}$  расход топлива  $54 \text{ л}$  на  $725 \text{ км}$ . Удельная теплота сгорания бензина равна  $45 \text{ МДж/кг}$ . Плотность бензина  $735 \text{ кг/м}^3$ . Определите, какой путь может проделать автомобиль на предельной разрешённой скорости, заправленный указанным выше бензином при объёме бака  $55 \text{ литров}$ , если считать что сила сопротивления воздуха возрастает прямо пропорционально скорости движения.

### Решение задачи 4

Дано: $v_{max}=175 \text{ км/ч}$ $N=108 \text{ л. с.}$ $v=80 \text{ км/ч}$ $V=54 \text{ л}$ $l=725 \text{ км}$ $q=45 \text{ МДж/кг}$ $V_0=55 \text{ л}$ $F \sim v$ $l_0 \text{ — ?}$	<p style="text-align: center;"><b>Вариант решения.</b></p> Решение: по условию $F_{max} = kv_{max}$ ; $F = kv$ ; $\frac{F_{max}}{F} = \frac{v_{max}}{v}$ ; $N = \frac{Q}{t} \eta = \frac{qm\eta}{t} = \frac{q\rho V\eta}{t}$ ; $N = Fv$ ; $Fv = \frac{q\rho V\eta}{t}$ ; $F = \frac{q\rho V\eta}{l}$ ; $F_{max} = \frac{q\rho V_0\eta}{l_0}$ ; $\frac{q\rho V_0\eta}{l_0} = \frac{q\rho V\eta}{l} \frac{v_{max}}{v}$ ; $\frac{V_0}{l_0} = \frac{V}{l} \frac{v_{max}}{v}$ ; $l_0 = \frac{lV_0v}{Vv_{max}} = 337 \text{ км}$ . Ответ: при скорости $175 \text{ км/ч}$ и сопротивлению движению, пропорциональному скорости, автомобиль проедет только $337 \text{ км}$ .
---	---

#### 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> <hr/> <p><math>\frac{R_{max}}{R_{min}} ?</math></p>	<p><b>Вариант решения.</b></p> <p>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></p> $d^2 l_1 = D^2 L_2; l_1 = \frac{D^2}{d^2} L_2; l_1 = N^2 L_2; l_1 = 80$ см, что означает, что ртуть может быть в крайних положениях или только в толстой или только в тонкой трубке. $\frac{R_{max}}{R_{min}} = \frac{\frac{\rho l_1}{S_1}}{\frac{\rho L_2}{S_2}} = \frac{N^2}{\frac{1}{N^2}} = N^4 = 256$ <p>Ответ: в таких трубках сопротивление можно менять в 256 раз.</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>