

**Заключительный (очный) этап научно-образовательного соревнования  
Олимпиады школьников «Шаг в будущее» по профилю «Инженерное дело» специализации  
«Профессор Жуковский» (общеобразовательный предмет физика), весна 2019 г.**

**8 класс**

**Вариант 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.

**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.

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

**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.

**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 кг/м<sup>3</sup>. Ответ округлите до сотых.

## 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 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 поглощенной 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.