

**Задания и решения второго тура отборочного этапа  
Олимпиады «Ломоносов» по инженерным наукам 2017/2018  
8-9 классы**

**Задача 1 (17 баллов).**

Юные техники создают экологически чистый двигатель, топливом для которого является этиловый спирт. Мощность двигателя составляет 1 л.с., потребление спирта – 800 г в час. Юные техники хотят использовать этот двигатель для газонокосилки.

Оцените КПД двигателя.

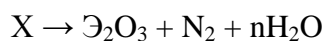
Сколько углекислого газа выделится при работе такого двигателя в течение одного часа? Кто за это время выделяет больше углекислого газа: газонокосильщик или газонокосилка? Оцените, во сколько раз.

**Решение:**

Пусть  $q = 30$  МДж/кг – удельная теплота сгорания этилового спирта ( $C_2H_5OH$ , молярная масса  $\mu = 46$  г/моль). Тогда при сгорании  $m = 800$  г спирта выделяется энергия  $Q = mq = 24$  МДж. При этом за то же время двигатель совершает работу  $A = WT = 2,65$  МДж (здесь  $W = 736$  Вт = 1 л.с. – мощность двигателя, а  $T = 3600$  с). Поэтому КПД двигателя равен  $\eta = A/Q = 0,11 = 11\%$ . Поскольку реакция горения спирта имеет вид  $C_2H_5OH + 3O_2 = 2CO_2 + 3H_2O$ , на каждый моль сгоревшего спирта выделяется два моль углекислого газа, т.е. за один час работы двигателя выделится  $\nu(CO_2) = 2\nu(C_2H_5OH) = 2 \cdot \frac{m}{\mu} = 34,8$  моль углекислого газа. С другой стороны, в зависимости от нагрузки человек при дыхании выделяет от 5 л до 18 л углекислого газа в час, т.е. менее одного моль. Таким образом, двигатель газонокосилки выделяет как минимум в 30 раз больше углекислого газа, чем человек.

**Задача 2 (17 баллов).**

Основным пигментом для зеленой краски является оксид  $Э_2O_3$  с  $W\%(Э) = 68,42\%$ , который получается при разложении вещества X по реакции:



Определите данный оксид.

Напишите уравнение реакции разложения вещества X. Чем известна данная реакция в школьной химии?

Сколько граммов  $Э_2O_3$  необходимо взять для изготовления 1 л краски с массовой долей  $Э_2O_3$ , равной 5% (плотность краски  $1,35$  г/см<sup>3</sup>)?

Оцените, сколько банок краски объемом 1 л уйдет на покраску вагона электропоезда, схематичный рисунок которого приведен ниже. Считайте, что краска нанесена ровным слоем толщиной 50 мкм, а потери при окраске составляют 10%.



**Решение:**

Исходя из массовой доли металла в оксиде, можно легко найти его молярную массу  $\mu$ :

$$\frac{2 \text{ г/моль}}{(2 \text{ г/моль} + 3 \cdot 16 \text{ г/моль})} \cdot 100\% = 68,42; \text{ отсюда } \mu = 52 \text{ г/моль, что соответствует хрому.}$$

Оксид хрома  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  действительно имеет зеленый цвет и применяется в качестве зеленого пигмента.

По продуктам реакции можно однозначно определить, что вещество X – дихромат аммония, который разлагается по реакции:  $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7 = \text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{N}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$ .

Школьникам 8-9 классов эту реакцию демонстрируют из-за ее эффектности, поскольку разложение дихромата аммония напоминает извержение вулкана:

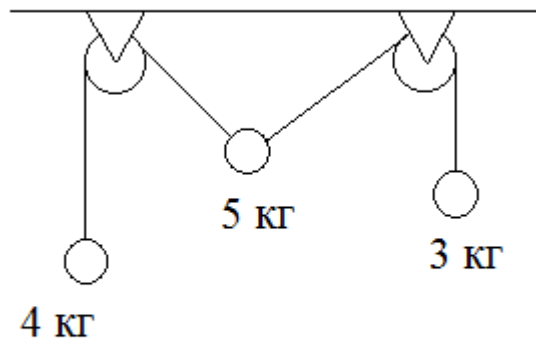


Исходя из данных о плотности краски, 1 литр краски имеет массу 1,35 кг. При содержании оксида хрома 5% на одну банку понадобится  $1350 \text{ г} \cdot 0,05 = 67,5 \text{ г}$  окиси хрома. Площадь под покраску приблизительно равна  $20 \text{ м} \cdot 3,5 \text{ м} - 6 \cdot 1 \text{ м} \cdot 1 \text{ м}$  (большие окна) –  $0,5 \text{ м} \cdot 1 \text{ м}$  (маленькое окно) =  $63,5 \text{ м}^2$  для каждой боковой стороны. Будем считать, что объем высохшей пленки равен объему нанесенной жидкой краски. Тогда объем краски, который нужно затратить, равен  $63,5 \text{ м}^2 \cdot 50 \text{ мкм} = 63,5 \text{ м}^2 \cdot (50 \cdot 10^{-6}) \text{ м} = 3,175 \text{ м}^3 \cdot 10^{-3} = 3,175 \text{ литра}$  для каждой боковой стороны. Учитывая потери при окраске, получаем 7,06 литров (8 банок краски).

**Задача 3 (17 баллов).**

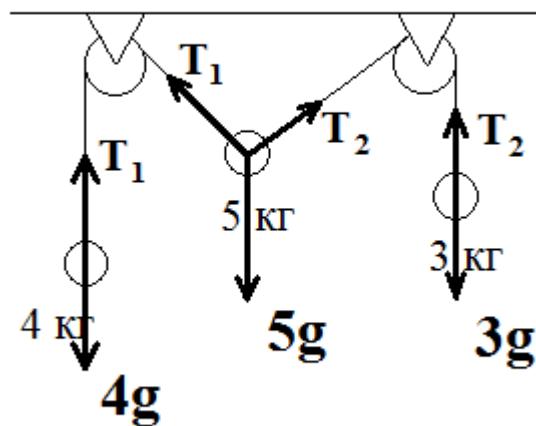
На двух тонких нерастяжимых нитях, перекинутых через неподвижные блоки, подвешены шарики с массами 3 кг, 4 кг и 5 кг, при этом шарик массой 5 кг прикреплен к обеим нитям (см. рисунок). Система находится в равновесии.

- а) Найдите угол, образуемый двумя нитями вблизи от шарика массой 5 кг.
- б) Всю систему опустили в воду, при этом положение шариков и нитей не изменилось. Объем шарика массой 5 кг равен 0,5 л. Чему равны объемы двух других шариков?



**Решение:**

- а) Расставим силы, действующие на шарики (см. рисунок):



Так как система находится в равновесии, сумма сил, приложенных к каждому из шариков, равна нулю. Отсюда  $T_1 = 4g$ ,  $T_2 = 3g$ ,  $T_1^2 + T_2^2 + 2 \cdot T_1 \cdot T_2 \cdot \cos \alpha = 25g^2$ , где  $\alpha$  – угол между нитями около шарика массой 5 кг. Соответственно,  $\cos \alpha = 0$  и  $\alpha = 90^\circ$ .

б) Систему после опускания в воду можно заменить на такую же систему в воздухе, но с массами шариков, равными  $(4 - \rho V_1)$ ,  $(3 - \rho V_2)$  и  $(5 - \rho V_3)$ , где  $\rho$  – плотность воды. Так как сумма сил, действующих на средний шарик, по-прежнему равна нулю, а направления этих сил не изменились,  $(4 - \rho V_1)/4 = (3 - \rho V_2)/3 = (5 - \rho V_3)/5$  (здесь используется единственность разложения вектора по двум направлениям). Отсюда  $V_1 = 0,4$  л,  $V_2 = 0,3$  л.

**Ответ:** а)  $90^\circ$ ; б) 0,4 л и 0,3 л.

**Задача 4 (17 баллов).**

Ножной автомобильный насос за один цикл захватывает 0,7 л воздуха. Оцените, сколько качаний потребуется для накачивания колеса легкового автомобиля до давления 2,0 атм.

**Решение:**

Считаем, что процесс изотермический. Объем воздуха в бескамерной покрышке  $V$  можно оценить так: ширина покрышки  $w \approx 20$  см, высота профиля шины  $h \approx 15$  см, диаметр колеса  $D \approx 60$  см. Тогда  $V = \pi Dh w \approx 60$  л. Поэтому число качаний равно  $N = pV/(p_0 V_0) \approx 160$ , где  $p_0 = 1$  атм – атмосферное давление, а  $p = 2,0$  атм – давление, до которого нужно накачать колесо.

**Ответ: 160.**

**Задача 5 (15 баллов).**

Перед вами пешка – самая массовая шахматная единица, которая согласно Ф. Филлидору является «душой шахматной партии». Выполните эскизы фронтальной, горизонтальной и профильной проекций пешки, изображенной на рисунке. Считайте, что фронтальная проекция – это вид спереди; горизонтальная – вид сверху; профильная – вид сбоку слева.



**Решение:**



### Задача 6 (17 баллов).

Инженер Юрий каждое утро перед уходом на работу выпивает кофе с молоком. Сначала в свою любимую кружку он наливает  $V_c = 300$  мл кофе при температуре  $T_c = 100$  °С. Затем Юрий наливает  $V_m = 100$  мл молока из холодильника при  $T_m = 6$  °С. Размешав содержимое, он добавляет в напиток  $m_s = 10$  г сахара. После его полного растворения Юрий ждет, пока кофе остынет до комнатной температуры. Однажды Юрий решил вычислить удельную теплоту растворения сахара  $q$ , измерив количество теплоты  $Q$ , отданное напитком в окружающую среду за время ожидания. Оказалось, что  $Q = 81550$  Дж. Какое значение для  $q$  получил Юрий, если в своих вычислениях он считал, что температура в комнате  $T_r = 25$  °С, удельные теплоемкости молока, кофе, а также кофе с молоком и растворенным сахаром равны  $c = 3900 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}}$ , удельная теплоемкость сахара равна  $c_s = 1,2 \frac{\text{Дж}}{\text{г} \cdot ^\circ\text{С}}$ , а плотности и молока, и кофе равны  $\rho = 1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ . Теплотой смешивания кофе и молока, а также теплообменом с окружающей средой за время их смешивания и за время растворения сахара он пренебрег. Чем плох такой метод определения удельной теплоты растворения сахара? Какой результат получился бы для  $q$ , если найденное значение  $Q$  оказалось бы вследствие неизбежных ошибок измерения всего на 0,5% больше приведенной величины?

### Решение:

После добавления в кофе молока происходит теплообмен, в результате которого смесь кофе с молоком приобретает температуру  $T_0 = \frac{m_{\text{кофе}}T_{\text{кофе}} + m_{\text{молоко}}T_{\text{молоко}}}{m_{\text{кофе}} + m_{\text{молоко}}} = 76,5$  °С. Обозначим устанавливающуюся после растворения сахара температуру напитка через  $T_s$ . Эту температуру можно найти двумя способами. Во-первых, пользуясь тем, что масса сахара  $m_s$  гораздо меньше суммарной массы кофе с молоком  $M$ , можно выразить  $T_s$  через искомую удельную теплоту  $q$  и удельную теплоёмкость сахара  $c_s$ :  $T_s = T_0 - \frac{m_s(q + c_s(T_0 - T_r))}{cM}$ . Во-вторых,  $T_s$  связано с теплотой остывания  $Q$  очевидным соотношением  $Q = c(M + m_s)(T_s - T_r)$ . Приравнивая следующее отсюда выражение для  $T_s$  величине, полученной первым способом, и еще раз пользуясь малостью  $m_s$  по сравнению с  $M$ , получаем  $q = \frac{(c(M + m_s) - c_s m_s)(T_0 - T_r) - Q}{m_s} = 18,05 \frac{\text{Дж}}{\text{г}}$ . Использованный Юрием метод определения  $q$  плох тем, что он очень чувствителен к экспериментально измеряемой величине  $Q$ : завышенное всего на 0,5% значение  $Q$  привело бы к  $q = -22,73 \frac{\text{Дж}}{\text{г}}$ , т.е. к противоположному знаку теплоты растворения, означающему, что при растворении сахара теплота не поглощается, а выделяется.