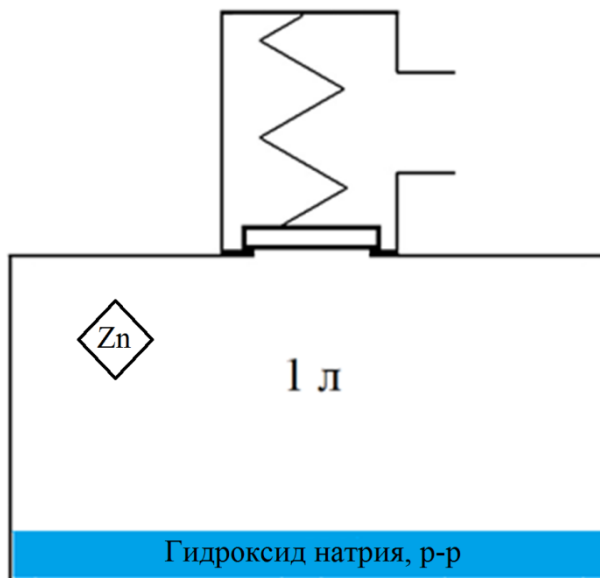


**Задания и решения первого тура отборочного этапа
Олимпиады «Ломоносов» по инженерным наукам 2017/2018
10-11 классы**

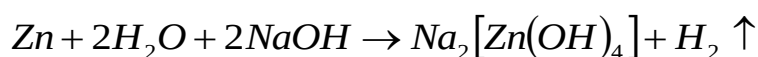
Задача 1 (19 баллов).

Пробка закрывает горлышко банки объемом 1 л. Площадь сечения горлышка равна 1 см^2 . В банке содержится раствор гидроксида натрия и 1 г цинка, который в исходном состоянии с раствором не соприкасается. Пробка закрывает горлышко, будучи прикрепленной к пружине (см. рисунок) жесткостью 500 Н/м , сжатой на 1 см. В какой-то момент времени находящиеся в банке реактивы приходят в соприкосновение, и начинается химическая реакция. Будет ли горлышко оставаться закрытым на протяжении всего процесса химической реакции? Объем раствора гидроксида натрия много меньше объема банки. Все процессы, происходящие в задаче, считать изотермическими. Температура окружающего воздуха равна 27°C .



Решение:

Запишем уравнение реакции, происходящей в банке:



Как видно из уравнения, на один моль цинка, участвующего в реакции, приходится один моль выделившегося водорода.

Определим, сколько моль цинка участвует в реакции. Для этого необходимо массу цинка поделить на его молярную массу.

$$\nu = \frac{m}{M} = \frac{1\text{г}}{65\frac{\text{г}}{\text{моль}}} = \frac{1}{65} \text{ моль}$$

Значит, в ходе реакции выделилось $\frac{1}{65}$ моль водорода.

Определим, какое давление создает $\frac{1}{65}$ моль водорода в банке объемом 1 л при температуре 27°C .

$$pV = \nu RT$$

$$p = \frac{\nu RT}{V}$$

$$p = \frac{\frac{1}{65} \text{ моль} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 300 \text{ К}}{1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3} \approx 4 \cdot 10^4 \text{ Па}$$

На пробку с одной стороны действует сила упругости, определяемая деформацией пружины, а с другой стороны сила, создаваемая давлением выделившегося водорода. Сравним между собой значения этих сил:

$$F_{\text{упр.}} = k\Delta x = 500 \frac{\text{Н}}{\text{м}} \cdot 0,01 \text{ м} = 5 \text{ Н}$$

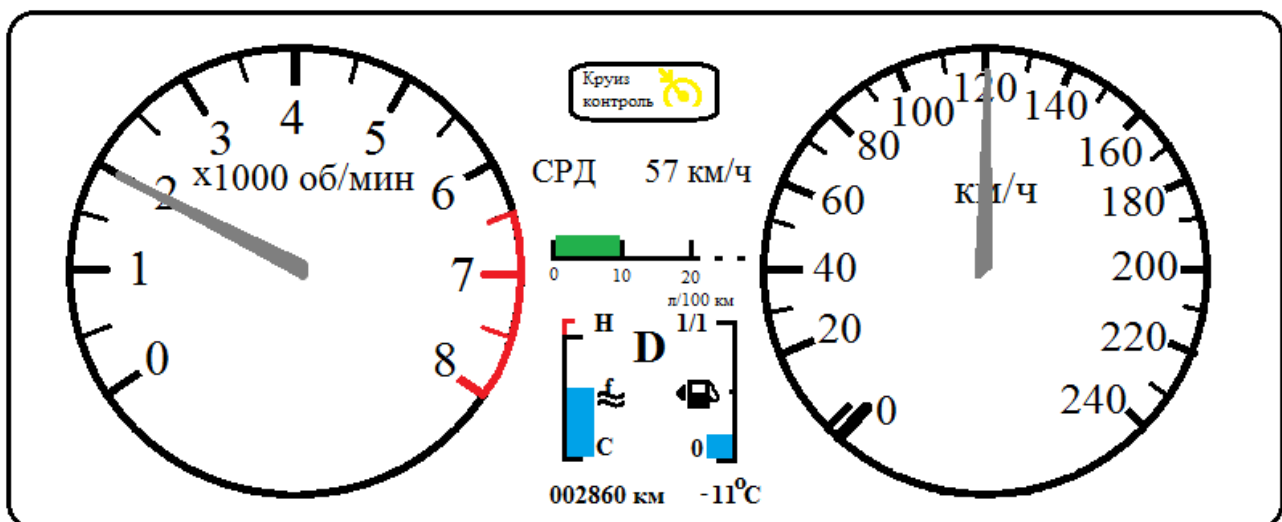
$$F_{\text{ац.}} = p_{\text{ац.}} \cdot S_{\text{пробки}} = \frac{\nu RT}{V} \cdot S \approx 4 \cdot 10^4 \text{ Па} \cdot 1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 4 \text{ Н}$$

Как видно, сила, которая прижимает пробку к горлышку, больше силы, создаваемой давлением водорода. Следовательно, горлышко будет оставаться закрытым.

Ответ: горлышко будет оставаться закрытым.

Задача 2 (15 баллов).

Вы едете в автомобиле, приборная панель которого устроена так, как показано на рисунке. Из имеющихся данных оцените, сколько бензина потребляется за один оборот коленчатого вала двигателя. Считайте, что автомобиль движется с постоянной скоростью. Опишите основные химические процессы, которые происходят при сгорании бензина в двигателе внутреннего сгорания.



Решение:

Из рисунка нам известны значения следующих величин:

скорость автомобиля $V \approx 120$ км/ч;

скорость вращения коленчатого вала $n = 2000$ об/мин;

расход бензина $q = 10$ л/100 км.

Зная скорость автомобиля и расход топлива на 100 км, можно определить, сколько потребляется бензина во время движения в течение одного часа:

$$V \cdot q = 120 \frac{\text{км}}{\text{ч}} \cdot 10 \frac{\text{л}}{100 \text{ км}} = 12 \frac{\text{л}}{\text{ч}}$$

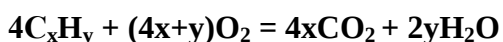
Определим, какое количество оборотов совершает коленчатый вал за один час:

$$2000 \frac{\text{об}}{\text{мин}} = 2000 \frac{\text{об}}{\frac{1}{60} \text{ ч}} = 1,2 \cdot 10^5 \frac{\text{об}}{\text{ч}}$$

Зная, сколько топлива потребляется за один час и сколько оборотов за это время совершает коленчатый вал, можно определить, сколько бензина потребляется за один оборот:

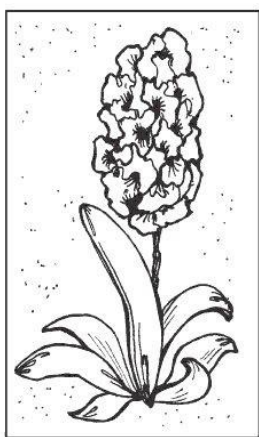
$$\frac{12 \frac{\text{л}}{\text{ч}}}{1,2 \cdot 10^5 \frac{\text{об}}{\text{ч}}} = 10^{-4} \text{ л/об} = 0,1 \text{ мл/об}$$

Бензин – это смесь легких углеводородов (алканы, циклоалканы, ароматические соединения) состава C_5 - C_{12} . Сгорание бензина можно описать следующей схемой:



Ответ: 0,1 мл.

Задача 3 (19 баллов).



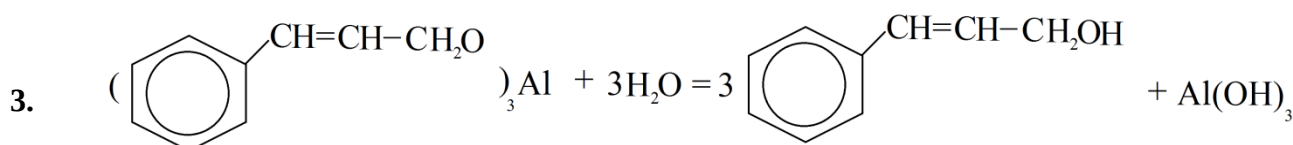
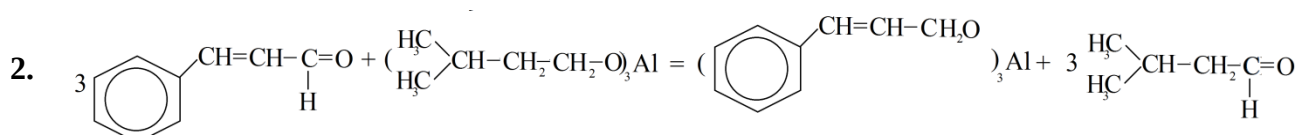
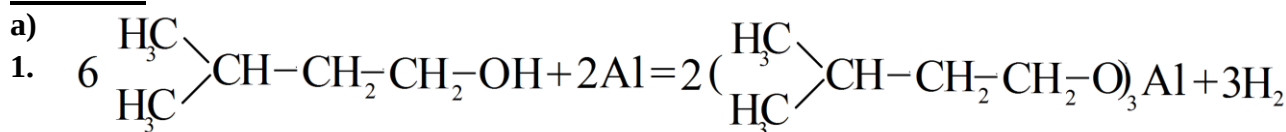
Юный химик Афанасий решил получить запах гиацинтов в лаборатории. Учитель выдал ему для этого навеску 25 г алюминия, 925 г изоамилового спирта и еще несколько веществ. Устроившись поудобнее, Афанасий начал экспериментировать. Добавив алюминий к изоамиловому спирту, юный химик начал ждать, когда же тот растворится. Однако в колбе ничего не происходило. «Афанасий, а ты активировал алюминий?» - спросил юного химика учитель. Осознав свою ошибку, Афанасий выполнил пропущенную процедуру, добавил теперь уже активированный алюминий к изоамиловому спирту и для надежности стал подогревать реакционную смесь. Реакция началась! Целых 7 часов наш юный химик не мог оторвать глаз от бурлящей колбы, вспоминая свою ошибку и коря себя за досадную оплошность в начале опыта. Оставив колбу охлаждаться на ночь, Афанасий пошел домой. Утром к уже остывшему продукту он добавил 190 г свежеперегнанного коричневого альдегида и продолжил нагревание. После того как реакция завершилась на 90%, Афанасий решил посчитать, какие вещества и в каком соотношении (в % по массе) содержатся в колбе. К моменту, когда он провел все расчеты, реакция завершилась. Юный химик подверг гидролизу продукт реакции и перегнал его. Лаборатория наполнилась ароматом гиацинтов. «Опыт удался», - подумал Афанасий.

а) Напишите уравнения реакций описанных процессов.

б) Повторите расчеты Афанасия, указав, сколько и каких веществ находилось в колбе, когда реакция прошла на 90%, если известно, что масса алюминия после активации составила 54% от первоначальной.

в) Что значит «активировать алюминий»? Как это можно сделать?

Решение:



б)

$$\mu \left(\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \\ \diagup \\ \text{CH} \\ \diagdown \\ \text{H}_3\text{C} \end{array} \text{--CH}_2\text{--CH}_2\text{--OH} \right) = 88 \text{ г/моль}$$

$$\mu (\text{Al}) = 27 \text{ г/моль}$$

$$\mu \left(\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \\ \diagup \\ \text{CH} \\ \diagdown \\ \text{H}_3\text{C} \end{array} \text{--CH}_2\text{--CH}_2\text{--O} \right)_3\text{Al} = 288 \text{ г/моль}$$

$$\mu \left(\text{C}_6\text{H}_5\text{--CH=CH--C(=O)H} \right) = 132 \text{ г/моль}$$

$$1. \quad v(\text{Al}) = \frac{25 \text{ г} \cdot 0,54}{27 \text{ г/моль}} = 0,5 \text{ моль.}$$

$$v \left(\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \\ \diagup \\ \text{CH} \\ \diagdown \\ \text{H}_3\text{C} \end{array} \text{--CH}_2\text{--CH}_2\text{--OH} \right) = \frac{925 \text{ г}}{88 \text{ г/моль}} = 10,5 \text{ моль} - \text{избыток, решаем по Al.}$$

$$2. \quad \text{Из уравнения реакции 1 } v \left(\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \\ \diagup \\ \text{CH} \\ \diagdown \\ \text{H}_3\text{C} \end{array} \text{--CH}_2\text{--CH}_2\text{--O} \right)_3\text{Al} = 0,5 \text{ моль.}$$

$$3. \quad v \left(\text{C}_6\text{H}_5\text{--CH=CH--C(=O)H} \right) = \frac{190 \text{ г}}{132 \text{ г/моль}} = 1,44 \text{ моль} - \text{избыток, решаем по } \begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \\ \diagup \\ \text{CH} \\ \diagdown \\ \text{H}_3\text{C} \end{array} \text{--CH}_2\text{--CH}_2\text{--O} \right)_3\text{Al}.$$

$$4. \quad m_{\text{раствора}} = m \left(\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \\ \diagup \\ \text{CH} \\ \diagdown \\ \text{H}_3\text{C} \end{array} \text{--CH}_2\text{--CH}_2\text{--O} \right)_3\text{Al} + m(\text{коричный альдегид}) = 144 \text{ г} + 190 \text{ г} = 334 \text{ г}$$

$$5. \quad v_{\text{практич}} \left(\text{C}_6\text{H}_5\text{--CH=CH--CH}_2\text{O} \right)_3\text{Al} = 0,5 \text{ моль} \cdot 0,9 = 0,45 \text{ моль}; m = 426 \text{ г/моль} \cdot 0,45 \text{ моль} = 191,7 \text{ г}$$

$$W\% = 57,4\%$$

$$6. \quad v_{\text{практич}} \left(\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \\ \diagup \\ \text{CH} \\ \diagdown \\ \text{H}_3\text{C} \end{array} \text{--CH}_2\text{--C(=O)H} \right) = 1,5 \cdot 0,9 = 1,35 \text{ моль}; m = 86 \text{ г/моль} \cdot 1,35 \text{ моль} = 116,1 \text{ г}$$

$$W\% = 34,8\%$$

$$7. \quad v_{\text{непрореаг}} \left(\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \\ \diagup \\ \text{CH} \\ \diagdown \\ \text{H}_3\text{C} \end{array} \text{--CH}_2\text{--CH}_2\text{--O} \right)_3\text{Al} = 0,5 \text{ моль} \cdot 0,1 = 0,05 \text{ моль}; m = 288 \text{ г/моль} \cdot 0,05 \text{ моль} = 14,4 \text{ г}$$

$$W\% = 4,3\%$$

8. $\nu_{\text{непрореаг}} \left(\text{C}_6\text{H}_5\text{CH=CH-C(=O)H} \right) = 1,44 \text{ моль} - 1,5 \text{ моль} \cdot 0,9 = 0,09 \text{ моль}; m = 132 \text{ г/моль} \cdot 0,09 \text{ моль} = 11,88 \text{ г}$
 $W\% = 3,5\%$

в) Активировать алюминий – это значит убрать оксидную пленку с поверхности металла. Для этого, например, алюминиевую стружку заливают 10% NaOH до бурного выделения H_2 . Затем раствор доводят до нейтрального pH и высушивают алюминий при температуре $100^\circ\text{C} - 110^\circ\text{C}$.

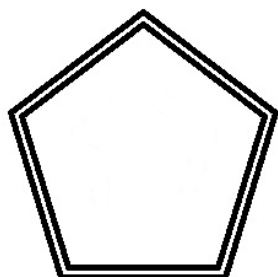
Задача 4 (12 баллов).

На рисунке изображена клумба, расположенная рядом с Главным зданием МГУ имени М.В. Ломоносова. Основание клумбы имеет форму правильного пятиугольника. Выполните эскизы фронтальной, горизонтальной и профильной проекций этой клумбы. Считать, что фронтальная проекция – это вид спереди (в направлении, перпендикулярном одной из граней клумбы); горизонтальная – вид сверху; профильная – вид сбоку слева.

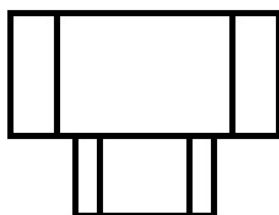


Решение:

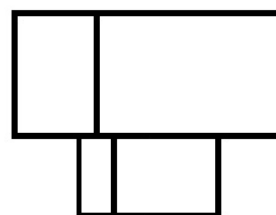
См. рисунок ниже.



Горизонтальная



Фронтальная



Профильная

Задача 5 (16 баллов).

Пассажир в поезде метро заметил, что два соседних вагона развернуты друг относительно друга в горизонтальной плоскости на угол порядка 3 градусов. Оцените радиус кривизны участка пути.

Решение:

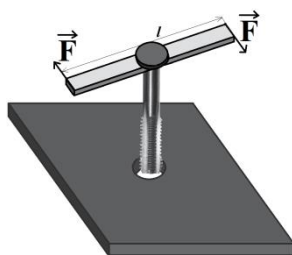
Примем для оценки, что длина вагона равна $l = 20 \text{ м}$. Обозначим искомый радиус кривизны (радиус окружности, аппроксимирующей участок пути) через R . Тогда в предположении, что

$R \gg l$, из условия задачи следует, что дуга длиной l стягивает в окружности радиуса R угол $\alpha = 3^\circ \approx 1/20$ радиана. Поэтому $R = \frac{l}{\alpha} = 400$ м.

Ответ: 400 м.

Задача 6 (19 баллов).

В центре квадратной стальной пластинки со стороной 1,5 см просверлено сквозное отверстие диаметром 5 мм. При нарезании метчиком резьбы с шагом 0,8 мм в этом отверстии пластинка нагрелась на 10°C . Оцените величину момента силы, приложенного к воротку метчика, если известно, что на нагревание пластинки пошло 25% совершенной механической работы.



Решение:

Пусть при нарезании резьбы к концам воротка приложена сила F , а длина рычага воротка равна l . Тогда при повороте метчика на один полный оборот совершается работа $A_1 = 2\pi l F = 2\pi M$, где M – искомый момент силы. Если толщина пластинки равна H , то при нарезании в ней резьбы метчик сделает $n = H/h$ оборотов (где h – шаг резьбы); при этом будет совершена работа $A = nA_1$. По условию задачи четверть этой работы пойдет на нагревание пластинки, масса которой равна $m = \rho(a^2 - \pi d^2/4)H$, где a – сторона пластинки, d – диаметр отверстия, в котором нарезается резьба, а $\rho = 7,8 \text{ г/см}^3$ – плотность стали. Поэтому $\frac{A}{4} = cm\Delta t$, где $c = 0,462 \text{ Дж/(г·К)}$ – удельная теплоемкость стали, а Δt – повышение температуры пластинки в результате нарезания резьбы. Отсюда $M = \frac{4cm\Delta t}{2\pi n} = \frac{2c\rho(a^2 - \pi d^2/4)h\Delta t}{\pi} \approx 3,8 \text{ Н·м}$.

Ответ: 3,8 Н·м.

**Задания и решения второго тура отборочного этапа
Олимпиады «Ломоносов» по инженерным наукам 2017/2018
10-11 классы**

Задача 1 (15 баллов).

Юный химик Петя прочитал, что медь получается путем электролиза водного раствора нитрата меди по реакции, в результате которой на аноде образуется поддерживающий горение газ. Петя решил запустить у себя дома производство этого металла.

Напишите уравнение электролиза нитрата меди.

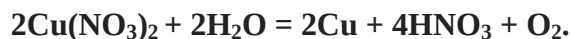
Оцените, будет ли выгодным производство меди подобным способом, используя следующие данные:

- 1) длительность синтеза – 12 часов;
- 2) стоимость покупки $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ – 250 рублей/кг;
- 3) стоимость продажи Cu – 960 рублей/кг;
- 4) тариф оплаты электроэнергии: 5,38 рублей за кВт·час фиксированно;
- 5) напряжение в сети – 220 В, сила тока – 5 А.

Сколько меди может получить Петя за один синтез? Как повысить эффективность электролиза? Назовите основное применение металлической меди.

Решение:

Нитрат меди будет подвергаться электролизу по реакции:



Согласно закону Фарадея для электролиза $m = \frac{I \cdot t}{F} \cdot \frac{\mu}{z}$

масса выделяющейся меди $m = \frac{5 \text{ А} \cdot 12 \cdot 3600 \text{ с}}{96500 \text{ Кл/моль}} \cdot \frac{64 \text{ г/моль}}{2} = 71,63 \text{ г}$ или 1,12 моль. На это пошло 210,56 г нитрата (1,12 моль). Для того, чтобы купить такое количество нитрата нужно потратить $0,21056 \text{ кг} \cdot 250 \text{ руб/кг} = 53,9 \text{ руб}$, а заработать Петя может $960 \text{ руб/кг} \cdot 0,07163 \text{ кг} = 68,76 \text{ руб}$.

Теперь рассчитаем затраты на электроэнергию:

$$P = I \cdot U = 220 \text{ В} \cdot 5 \text{ А} = 1100 \text{ Вт} = 1,1 \text{ кВт}.$$

Количество потребленной электроэнергии составляет $Q = 1,1 \text{ кВт} \cdot 12 \text{ ч} = 13,2 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$.

Затраты на электроэнергию равны $C = 13,2 \text{ кВт} \cdot \text{ч} \cdot 5,38 \text{ руб} = 71 \text{ рубль}$ за 13,2 кВт·ч.

Получается, что общие затраты составляют 124,9 рубля, а доход за день может составить 68,76 руб. Данный метод синтеза меди не является экономически выгодным.

Самый простой способ повысить эффективность синтеза – это увеличить силу тока. В этом случае количество выделяемого металла будет увеличиваться в такое же количество раз, в какое будет увеличиваться ток.

Медь в чистом виде применяют для изготовления электропроводов, ведь по своей проводимости медь уступает только дорогостоящему серебру.

Задача 2 (20 баллов).

Ко дню рождения факультета фундаментальной физико-химической инженерии студент Роман сделал стенд с изображением эмблемы факультета (см. рисунок 1). Конструкцию синего цвета Роман изготовил из стальной проволоки диаметром 1 мм (см. рисунок 2). К сожалению, в отличие от оригинальной эмблемы, толщина всех линий получилась одинаковой. При изготовлении эмблемы Роман оценил длины дуг AC, CD и AE в 28 см, 42 см и 84 см соответственно (см. рисунок 2). Оцените сопротивление получившейся конструкции между точками A и B.



Рисунок 1

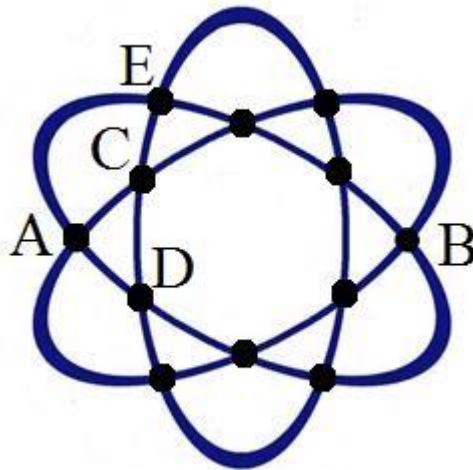
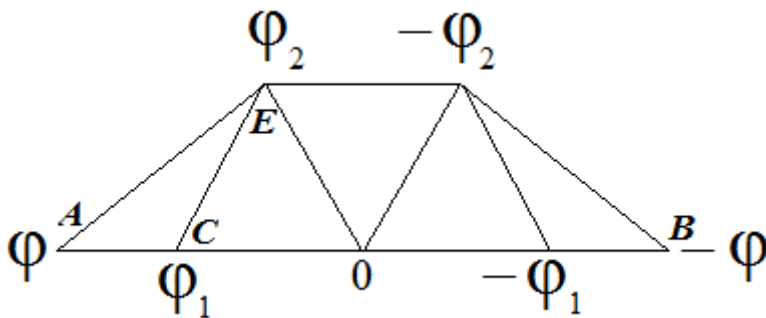


Рисунок 2

Решение:

Заметим, что в силу симметричности конструкции ток по дуге CD не потечет, как не потечет и по такой же дуге рядом с точкой B. Убрав эти две дуги, получаем, что схема сводится к параллельному соединению двух одинаковых участков цепи следующего вида:



Найдем сопротивление такого участка, для этого расставим потенциалы, как показано на рисунке. Потенциалы расставлены симметрично в силу симметричности участка цепи.

Примем сопротивление стальной проволоки диаметром 1 мм и длиной 1 см равным r . Записывая первое правило Кирхгофа для точек с потенциалами φ_1 и φ_2 , получаем следующие уравнения:

$$\frac{\varphi_1 - \varphi}{28r} + \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{28r} + \frac{\varphi_1}{42r} = 0;$$

$$\frac{\varphi_2 - \varphi}{84r} + \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{28r} + \frac{\varphi_2}{28r} + \frac{2\varphi_2}{84r} = 0.$$

Отсюда получаем:

$$\varphi_1 = \frac{10}{21}\varphi;$$

$$\varphi_2 = \frac{17}{63}\varphi.$$

Сопротивление участка цепи равно:

$$\frac{2\varphi}{\frac{\varphi - \varphi_1}{28r} + \frac{\varphi - \varphi_2}{84r}} = \frac{10584}{145} r$$

Сопротивление всей эмблемы, состоящей из двух таких участков, соединенных параллельно, в два раза меньше и составляет $\frac{5292}{145} r$.

Приняв удельное сопротивление стали за $0,13 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$, получаем, что сопротивление 1 см проводника составляет

$$r = \frac{0,13 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м} \cdot 0,01 \text{ м} \cdot 4}{\pi \cdot 1 \text{ мм}^2} \approx 1,7 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}.$$

Отсюда находим, что сопротивление всей эмблемы приблизительно равно $0,06 \text{ Ом}$.

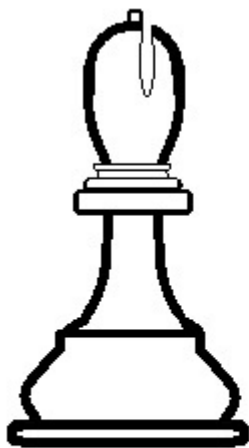
Ответ: 0,06 Ом.

Задача 3 (15 баллов).

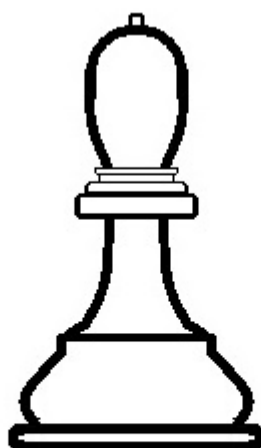
Перед вами слон – одна из шахматных фигур. Выполните эскизы фронтальной, горизонтальной и профильной проекций фигуры, изображенной на рисунке. Считайте, что фронтальная проекция – это вид спереди; горизонтальная – вид сверху; профильная – вид сбоку слева.



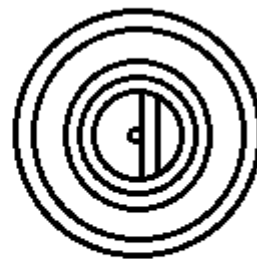
Решение:



Фронтальная
проекция



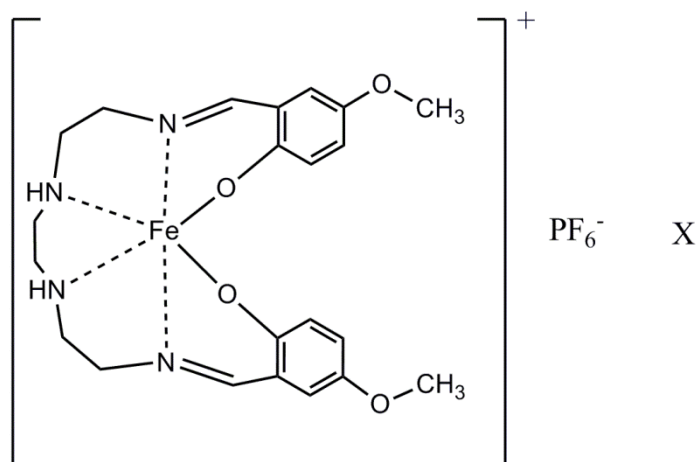
Профильная
проекция



Горизонтальная
проекция

Задача 4 (15 баллов).

Определите, какой растворитель (X: CH_3OH , H_2O , CH_3CN) по данным элементного анализа (таблица 1) вошел в структуру соли **A** (см. рисунок).



Структурная формула соединения **A**

Таблица 1. Результаты элементного анализа.

Элементы	C(%))	H(%))	N(%)
Получено	43,4 4	4,29	10,5
Погрешность	± 1	± 1	± 0.5

Решение:

Сосчитаем молекулярную массу

соли Fe(III) без растворителя:

Брутто-формула: $\text{C}_{22}\text{H}_{28}\text{F}_6\text{FeN}_4\text{O}_4\text{P}$

$\mu(\text{A}) = 613 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$

В эксперименте точнее всего определяется элемент азот (N): по нему наименьшая погрешность. Рассчитаем долю азота в предположении, что в кристаллическую структуру могли войти (X: CH₃OH, H₂O, CH₃CN):

$$1) \mu(\text{CH}_3\text{OH}) = 32 \frac{\text{г}}{\text{моль}};$$

$$\mu(\text{H}_2\text{O}) = 18 \frac{\text{г}}{\text{моль}};$$

$$\mu(\text{CH}_3\text{CN}) = 41 \frac{\text{г}}{\text{моль}}.$$

$$2) \mu(\text{A} \cdot \text{CH}_3\text{OH}) = 645 \frac{\text{г}}{\text{моль}};$$

$$\mu(\text{A} \cdot \text{H}_2\text{O}) = 631 \frac{\text{г}}{\text{моль}};$$

$$\mu(\text{A} \cdot \text{CH}_3\text{CN}) = 654 \frac{\text{г}}{\text{моль}}.$$

3)

Для соли A·CH₃OH:

$$\omega(\text{N})\% = \frac{4 \cdot 14 \text{ г/моль}}{645 \text{ г/моль}} \cdot 100\% = \frac{56 \text{ г/моль}}{645 \text{ г/моль}} \cdot 100\% = 8,68\%$$

Для соли A·H₂O:

$$\omega(\text{N})\% = \frac{4 \cdot 14 \text{ г/моль}}{631 \text{ г/моль}} \cdot 100\% = \frac{56 \text{ г/моль}}{631 \text{ г/моль}} \cdot 100\% = 8,87\%$$

Для соли A·CH₃CN:

$$\omega(\text{N})\% = \frac{4 \cdot 14 \text{ г/моль} + 1 \cdot 14 \text{ г/моль}}{654 \text{ г/моль}} \cdot 100\% = \frac{70 \text{ г/моль}}{654 \text{ г/моль}} \cdot 100\% = 10,7\%$$

Сравнивая полученные ответы с таблицей, делаем вывод, что подходит только CH₃CN:

$$\text{N}(\%) = 10,5 \pm 0,5\%;$$

$$\Delta(\text{max}) = 11\%;$$

$$\Delta(\text{min}) = 10\%.$$

4) Убедимся в правильности выбора, рассчитав доли оставшихся элементов:

$$\omega(\text{C})\% = \frac{12 \frac{\text{г}}{\text{моль}} \cdot 22 + 12 \text{ г/моль} \cdot 2}{654 \text{ г/моль}} \cdot 100\% = \frac{288 \text{ г/моль}}{654 \text{ г/моль}} \cdot 100\% = 44,04\%$$

$$\text{C}(\%) = 43,44 \pm 1\%;$$

$$\Delta(\text{max}) = 44,44\%;$$

$$\Delta(\text{min}) = 42,44\%.$$

Процентное содержание С укладывается в интервал.

$$\omega(\text{H})\% = \frac{1 \text{ г/моль} \cdot 28 + 1 \text{ г/моль} \cdot 3}{654 \text{ г/моль}} \cdot 100\% = \frac{31 \text{ г/моль}}{654 \text{ г/моль}} \cdot 100\% = 4,74\%$$

$$\text{C}(\%) = 4,29 \pm 1\%;$$

$$\Delta(\text{max}) = 3,29\%;$$

$$\Delta(\text{min}) = 5,29\%.$$

Процентное содержание Н укладывается в интервал.

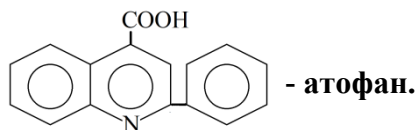
Ответ: CH₃CN.

Задача 5 (20 баллов).

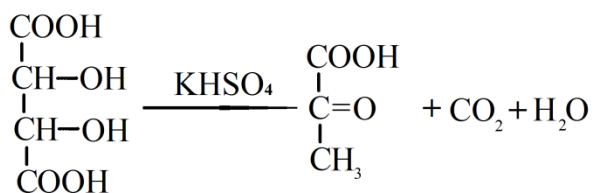
В 1887 году было синтезировано вещество атофан, применяемое как противовоспалительное и болеутоляющее средство. Предложите схему синтеза атофана из винной кислоты, анилина и

бензальдегида. Сколько нужно взять исходных органических веществ, если каждая стадия идет с выходом 75%, а масса полученного атофана равна 7,47 г. Неорганические вещества считать данными.

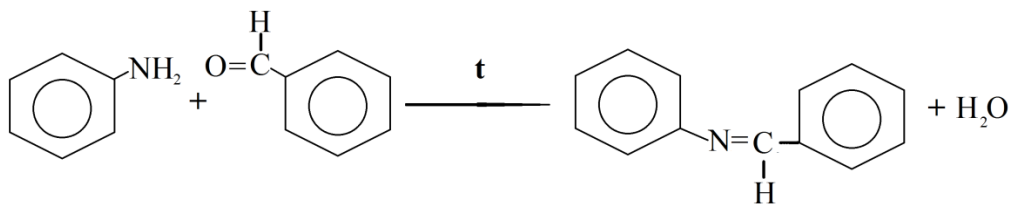
Решение:



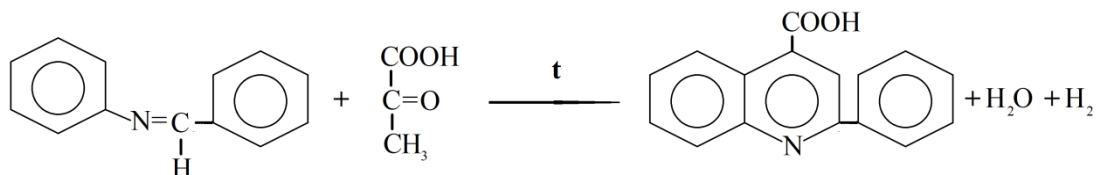
а)



б)



в)



$$v = m/\mu; v_{\text{теор}} = v_{\text{пр}} \cdot \frac{100\%}{\eta\%}$$

$$1. \quad v(\text{атофана})_{\text{пр в}} = \frac{7,47 \text{ г}}{249 \text{ г/моль}} \approx 0,03 \text{ моль}$$

$$v(\text{атофана})_{\text{теор в}} = \frac{0,03 \text{ моль}}{0,75} = 0,04 \text{ моль}$$

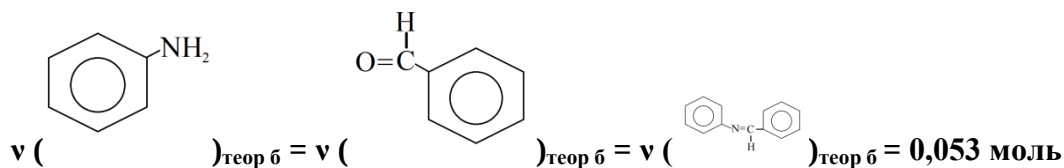
2. Из уравнения реакции в):

$$v \left(\text{C}_6\text{H}_5\text{N}=\text{CHC}_6\text{H}_5 \right) : v \left(\begin{array}{c} \text{COOH} \\ | \\ \text{C=O} \\ | \\ \text{CH}_3 \end{array} \right) : v(\text{атофана}) = 1:1:1 \Rightarrow$$

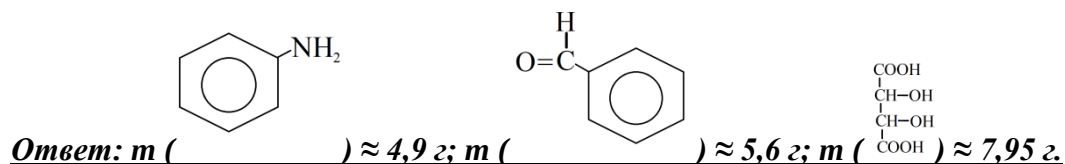
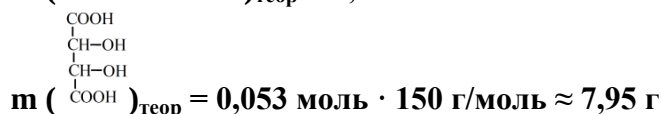
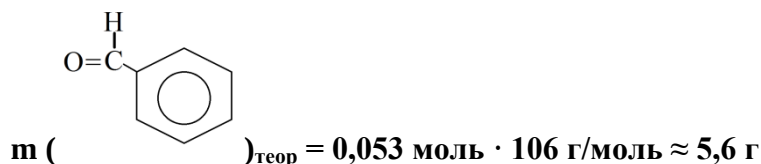
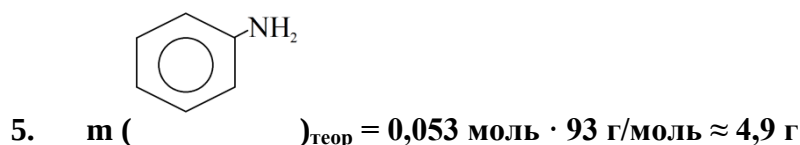
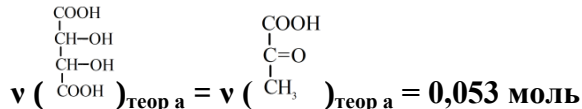
$$v \left(\text{C}_6\text{H}_5\text{N}=\text{CHC}_6\text{H}_5 \right)_{\text{теор в}} = v \left(\begin{array}{c} \text{COOH} \\ | \\ \text{C=O} \\ | \\ \text{CH}_3 \end{array} \right)_{\text{теор в}} = v(\text{атофана})_{\text{теор в}} = 0,04 \text{ моль}$$

$$\nu \left(\text{C}_6\text{H}_5\text{N}=\text{C}(\text{H})\text{C}_6\text{H}_5 \right)_{\text{теор б}} = \nu \left(\begin{array}{c} \text{COOH} \\ | \\ \text{C}=\text{O} \\ | \\ \text{CH}_3 \end{array} \right)_{\text{теор а}} = \frac{0,04 \text{ моль}}{0,75} \approx 0,053 \text{ моль}$$

3. Из уравнения реакции б):



4. Из уравнения реакции а):

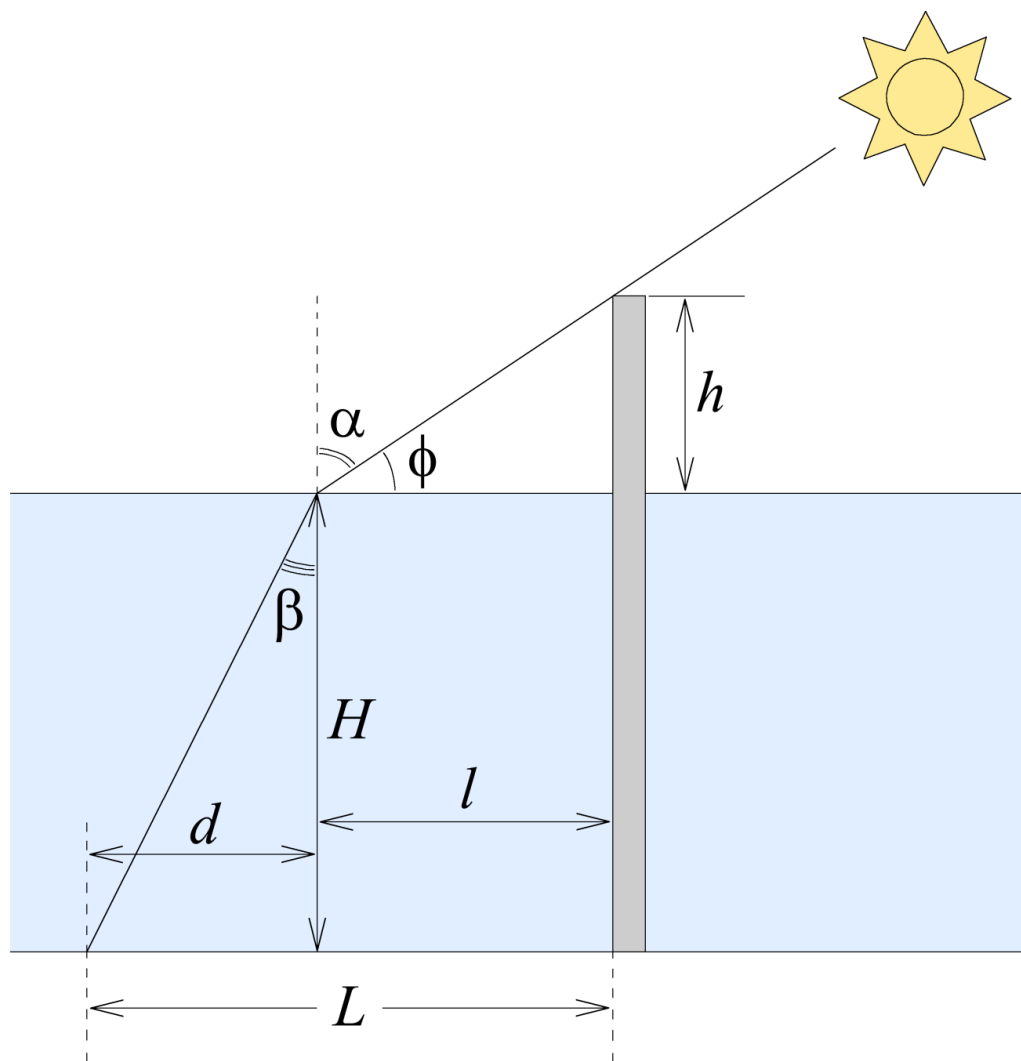


Задача 6 (15 баллов).

В дно озера забита вертикальная труба, верхний конец которой находится на высоте 60 см над водой. В тихую ясную погоду тень, отбрасываемая трубой на дно, хорошо различима с поверхности. Рыбак, сидящий в лодке длиной 2,7 м, привязанной к трубе, обнаружил, что длина тени в точности совпадает с длиной лодки. Чему равна глубина озера, если в этот момент высота Солнца над горизонтом равна 50° ? Дно озера считайте горизонтальным.

Решение:

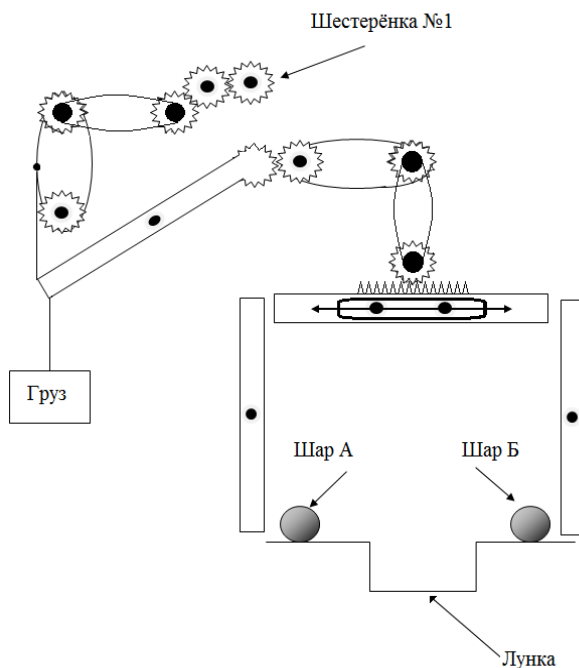
Пусть труба выступает на высоту h над водой, длина тени от трубы на дне равна L , а высота Солнца над горизонтом равна φ . Тогда угол падения солнечного луча, проходящего через верхнюю точку трубы, равен $\alpha = 90^\circ - \varphi$, а угол преломления β связан с α соотношением $\sin \alpha = n \sin \beta$, где $n = 1,33$ – показатель преломления воды. Тогда из рисунка видно, что $d = L - l = L - h \operatorname{tg}(\alpha)$. Следовательно, $H = \frac{d}{\operatorname{tg} \beta} = \frac{(L - h \operatorname{tg} \alpha)}{\operatorname{tg} \beta} = 3,98 \text{ м} \approx 4 \text{ м}$.



Ответ: 4 м.

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

Задача 1 (12 баллов).

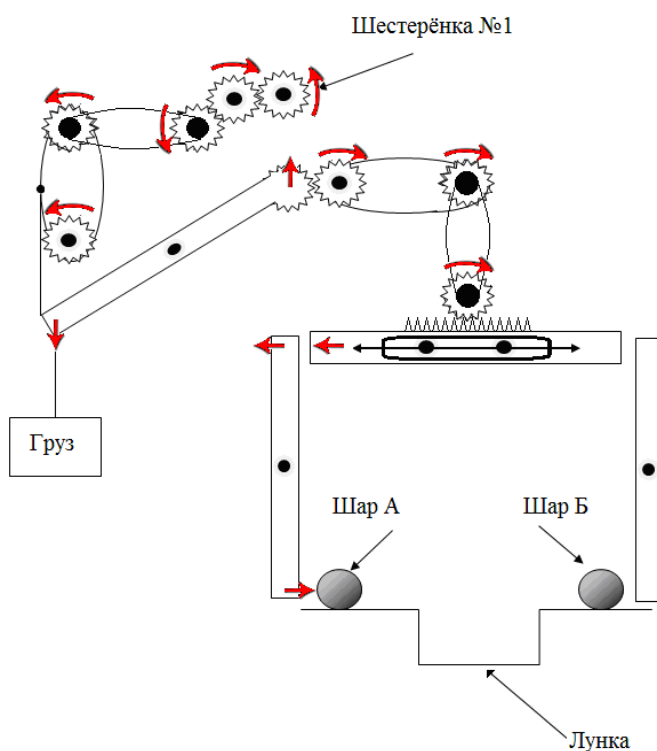


На рисунке изображен механизм, состоящий из вращающихся шестеренок, ременных передач, рычагов, рейки с зубьями и груза на веревке.

В какую сторону (по часовой стрелке или против часовой стрелки) надо вращать шестеренку №1, чтобы в лунке оказался шар А? Ответ обоснуйте.

Решение:

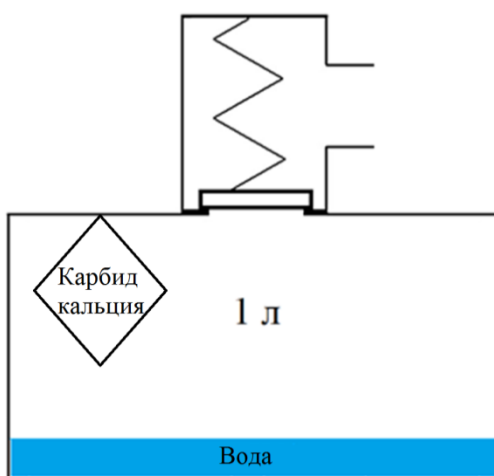
См. рисунок ниже.



Ответ: против часовой стрелки.

Задача 2 (25 баллов).

Пробка закрывает горлышко банки объемом 1 л. Площадь сечения горлышка равна 1 см^2 . В банке содержится вода и 1 г карбида кальция, который в исходном состоянии с водой не соприкасается. Пробка закрывает горлышко, будучи прикрепленной к пружине (см. рисунок) жесткостью 500 Н/м, сжатой на 1 см. В какой-то момент времени находящиеся в банке реактивы приходят в соприкосновение, и начинается химическая реакция. Будет ли горлышко оставаться закрытым на протяжении всего процесса химической реакции, если известно, что карбид прореагировал полностью? Объем воды много меньше объема банки. Все процессы, происходящие в задаче, считать изотермическими. Температура окружающего воздуха равна 27°C .



Решение:

Запишем уравнение реакции, происходящей в банке:



Как видно из уравнения, на один моль карбида кальция, участвующего в реакции, приходится один моль выделившегося ацетилена.

Определим, сколько моль карбида кальция участвует в реакции. Для этого необходимо массу карбида кальция поделить на его молярную массу.

$$\nu = \frac{m}{M} = \frac{1\text{г}}{64\frac{\text{г}}{\text{моль}}} = \frac{1}{64} \text{ моль}$$

Значит, в ходе реакции у нас выделилось $\frac{1}{64}$ моль ацетилена.

Определим, какое давление создает $\frac{1}{64}$ моль ацетилена в банке объемом 1 л при температуре 27°C .

$$pV = \nu RT$$

$$p = \frac{\nu RT}{V}$$

$$p = \frac{\frac{1}{64} \text{ моль} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 300 \text{ К}}{1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3} \approx 4 \cdot 10^4 \text{ Па}$$

На пробку с одной стороны действует сила упругости, определяемая деформацией пружины, а с другой стороны сила, создаваемая давлением выделившегося ацетилена. Сравним между собой значения этих сил:

$$F_{\text{упр.}} = k\Delta x = 500 \frac{\text{Н}}{\text{м}} \cdot 0,01 \text{ м} = 5 \text{ Н}$$

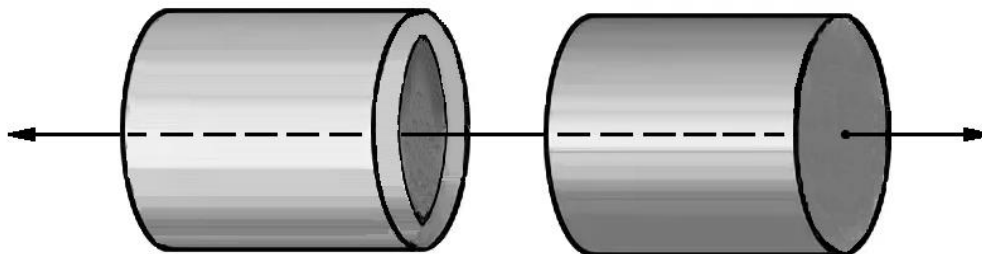
$$F_{\text{ац.}} = p_{\text{ац.}} \cdot S_{\text{пробки}} = \frac{\nu RT}{V} \cdot S \approx 4 \cdot 10^4 \text{ Па} \cdot 1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 4 \text{ Н}$$

Как видно, сила, которая прижимает пробку к горлышку, больше силы, создаваемой давлением ацетилена. Следовательно, горлышко будет оставаться закрытым.

Ответ: горлышко будет оставаться закрытым.

Задача 3 (17 баллов).

Воздухоплаватель Федор взял полый тонкостенный металлический цилиндр с площадью основания $0,03 \text{ м}^2$ и разрезал его на две равные части по плоскости, перпендикулярной оси цилиндра (см. рисунок). Отметив, что барометр показывает нормальное атмосферное давление, он сел на воздушный шар, поднялся на большую высоту и на этой высоте прижал друг к другу полостями полученные части цилиндра, получив герметично закрытый полый цилиндр. Вернувшись на землю, Федор обнаружил, что для разъединения частей необходимо приложить силу 1 кН по направлению оси цилиндра. Оцените, на какую высоту поднимался воздухоплаватель. Считайте, что при подъеме на один километр атмосферное давление падает на 13%.



Решение:

Пусть $P_0 \approx 100 \text{ кПа}$ – нормальное атмосферное давление, P – давление в цилиндре до разъединения частей, а $F = 1 \text{ кН}$ – сила, которую нужно было приложить для разъединения частей цилиндра после возвращения Федора на землю. Тогда $F = (P_0 - P)S$, где $S = 0,03 \text{ м}^2$ – площадь основания цилиндра. Отсюда $P = P_0 - F/S \approx 67 \text{ кПа}$. Так как цилиндр был закрыт герметично, такое же давление было на высоте, на которую поднимался Федор. Заметим, что

поскольку при подъеме на 1 км давление падает на 13 %, давление на высоте 1 км составляет приблизительно $100 \text{ кПа} \cdot 0,87 = 87 \text{ кПа}$, на высоте 2 км – $100 \text{ кПа} \cdot 0,87^2 \approx 76 \text{ кПа}$, а на высоте 3 км – $100 \text{ кПа} \cdot 0,87^3 \approx 66 \text{ кПа}$. Таким образом, высоту, на которую поднимался Федор, можно приближенно оценить в 3 км.

Ответ: 3 км.

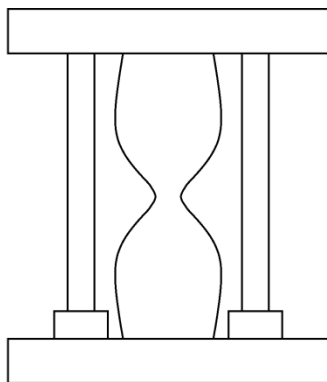
Задача 4 (12 баллов).

Выполните эскизы фронтальной, горизонтальной и профильной проекций песочных часов, изображенных на рисунке. Считать, что фронтальная проекция – это вид спереди; горизонтальная – вид сверху; профильная – вид сбоку слева.

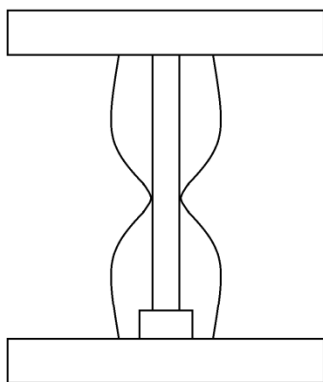


Решение:

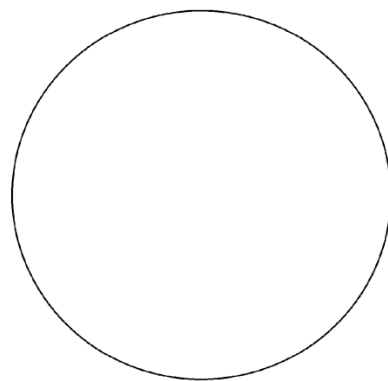
См. рисунок ниже.



Фронтальная



Профильная



Горизонтальная

Задача 5 (17 баллов).

При какой минимальной ширине горизонтальной дороги школьник на электросамокате может развернуться на 180° на скорости 20 км/ч, не касаясь дороги ногой, если коэффициент трения колеса о дорогу равен 0,4?

Решение:

Пусть школьник разворачивается по дуге окружности радиуса R . Тогда, если его скорость равна v , то на него должна действовать играющая роль центростремительной силы сила трения, равная $\frac{mv^2}{R}$. Но при движении по горизонтальной поверхности сила трения не может превышать mgk , где $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения, а k – коэффициент трения. Поэтому R не может быть меньше, чем $\frac{v^2}{gk} = 7,9 \text{ м}$. Это означает, что ширина дороги не может быть меньше $2R = 15,8 \text{ м}$.

Ответ: 15,8 м.

Задача 6 (17 баллов).

В экспериментах по регистрации солнечных нейтрино использовался детектор, содержащий 615 тонн жидкого перхлорэтилена (C_2Cl_4) при атмосферном давлении, через который в течение нескольких часов пропускали мелкие пузырьки гелия. Оцените, на какой глубине пузырек гелия имел в полтора раза меньший объем, чем у поверхности?

Решение:

Давление в жидкости на глубине h равно $p = p_0 + \rho gh$, где p_0 – атмосферное давление, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения, а $\rho = 1,62 \text{ г/см}^3$ – плотность перхлорэтилена. Считая процесс всплытия пузырька изотермическим, из закона Бойля-Мариотта $pV = \text{const}$ заключаем, что объем пузырька на глубине h равен $V = V_0 \frac{p_0}{p_0 + \rho gh}$, где V_0 – объем пузырька у поверхности. Поэтому искомая глубина определяется требованием $\rho gh = p_0/2$, т.е. $h = \frac{p_0}{2\rho g} = 3,2 \text{ м}$.

Ответ: 3,2 м.

**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.

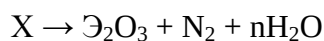
Сколько углекислого газа выделится при работе такого двигателя в течение одного часа? Кто за это время выделяет больше углекислого газа: газонокосильщик или газонокосилка? Оцените, во сколько раз.

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 моля 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 моля. 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/см³)?

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 μ :

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

Оксид хрома Cr_2O_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:

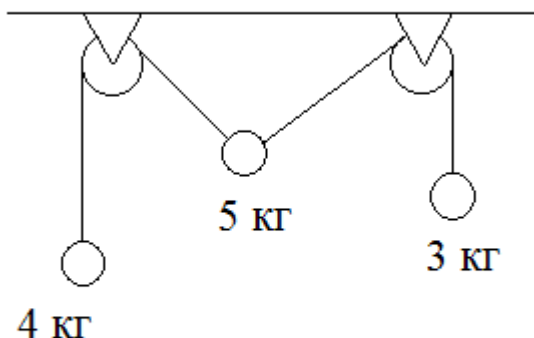


Исходя из данных о плотности краски, 1 литр краски имеет массу 1,35 кг. При содержании оксида хрома 5% на одну банку понадобится $1350 \text{ г} \cdot 0,05 = 67,5 \text{ г}$ окиси хрома. Площадь под покраску приблизительно равна $20 \text{ м} \cdot 3,5 \text{ м} - 6 \cdot 1 \text{ м} \cdot 1 \text{ м}$ (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).

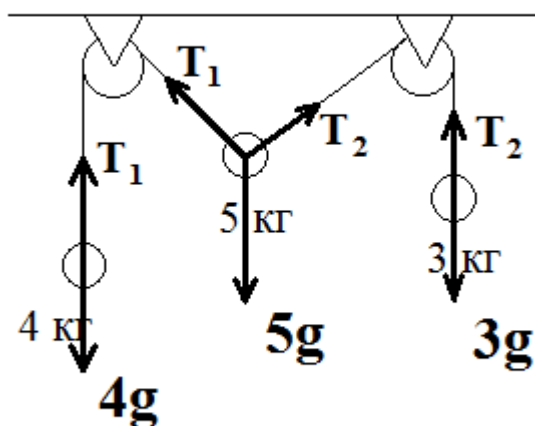
Задача 3 (17 баллов).

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 α – 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 ρ – 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° ; 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.

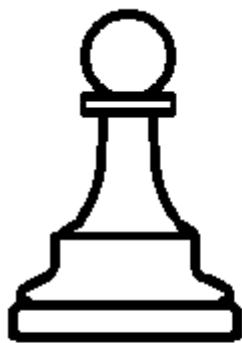
Решение:

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 $V = \pi D h w \approx 60$ 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.

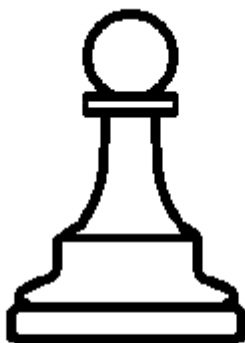
Ответ: 160.

Задача 5 (15 баллов).

Перед вами пешка – самая массовая шахматная единица, которая согласно Ф. Филидору 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.



Фронтальная
проекция



Профильная
проекция



Горизонтальная
проекция

Задача 6 (17 баллов).

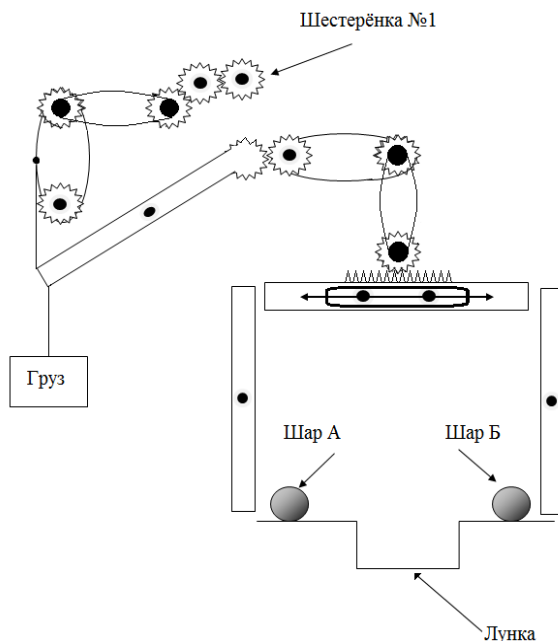
Инженер Юрий каждое утро перед уходом на работу выпивает кофе с молоком. Сначала в свою любимую кружку он наливает $V_c = 300$ мл кофе при температуре $T_c = 100$ °С. Затем Юрий наливает $V_m = 100$ мл молока из холодильника при $T_m = 6$ °С. Размешав содержимое, он добавляет в напиток $m_s = 10$ г сахара. 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 $c = 3900 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$, удельная теплоемкость сахара равна $c_s = 1,2 \frac{\text{Дж}}{\text{г} \cdot ^\circ\text{C}}$, 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 $Q = c(M + m_s)(T_s - T_r)$. Приравняв 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.

**Задания и решения первого тура отборочного этапа
Олимпиады «Ломоносов» по инженерным наукам 2017/2018
5-7 классы**

Задача 1 (15 баллов).

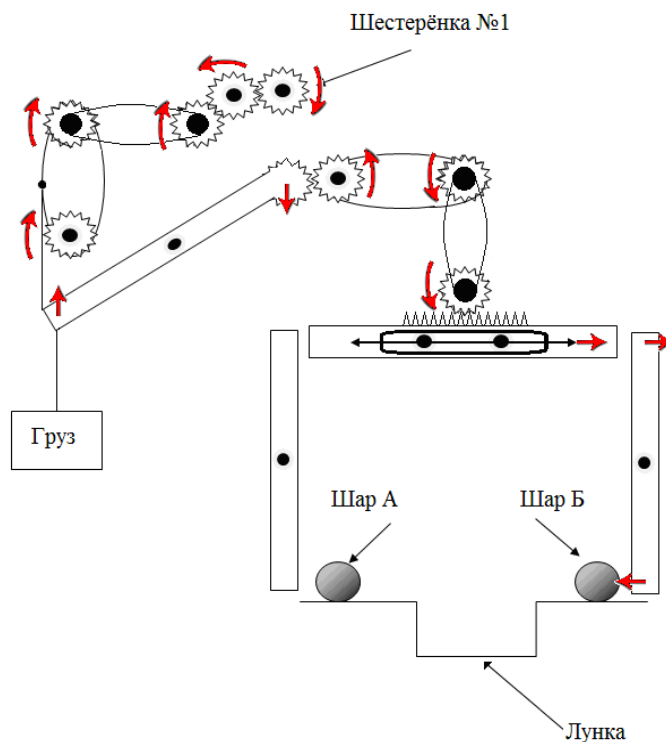


На рисунке изображен механизм, состоящий из вращающихся шестеренок, ременных передач, рычагов, рейки с зубьями и груза на веревке.

В какую сторону (по часовой стрелке или против часовой стрелки) надо вращать шестеренку №1, чтобы в лунке оказался шар Б? Ответ обоснуйте.

Решение:

См. рисунок ниже.



Ответ: по часовой стрелке.

Задача 2 (20 баллов).

Хватит ли 1 кг стали, чтобы сделать модель стальной конструкции Шуховской башни в масштабе 1:100, если масса реальной конструкции составляет 240 т? Ответ обоснуйте.

Решение:

Масштаб 1:100 подразумевает, что каждый из трех линейных размеров башни (длина, ширина, высота) будет в 100 раз меньше, чем соответствующий линейный размер реальной башни. Таким образом, объем модели будет в $100 \cdot 100 \cdot 100 = 1\,000\,000$ раз меньше, чем объем реальной башни. При одинаковой плотности материала башни и модели масса модели составляет $240\text{ т} : 1\,000\,000 = 240\,000\,000\text{ г} : 1\,000\,000 = 240\text{ г}$. Поскольку в условии задачи сказано, что нам дан 1 кг стали, можно сделать вывод о том, что указанного количества стали хватит для выполнения модели стальной конструкции Шуховской башни.

Ответ: да, хватит.

Задача 3 (25 баллов).

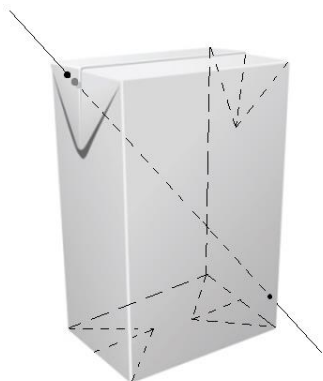
Однажды Арсений решил поэкспериментировать с объемными фигурами. Он взял коробку из-под молока и длинную спицу. Один раз проткнув насквозь коробку спицей, Арсений обнаружил, что коробка имеет 4 отверстия. В каком месте Арсений мог проткнуть коробку? Ответ поясните.

Выполните эскиз развертки, укажите на нем расположение полученных отверстий.

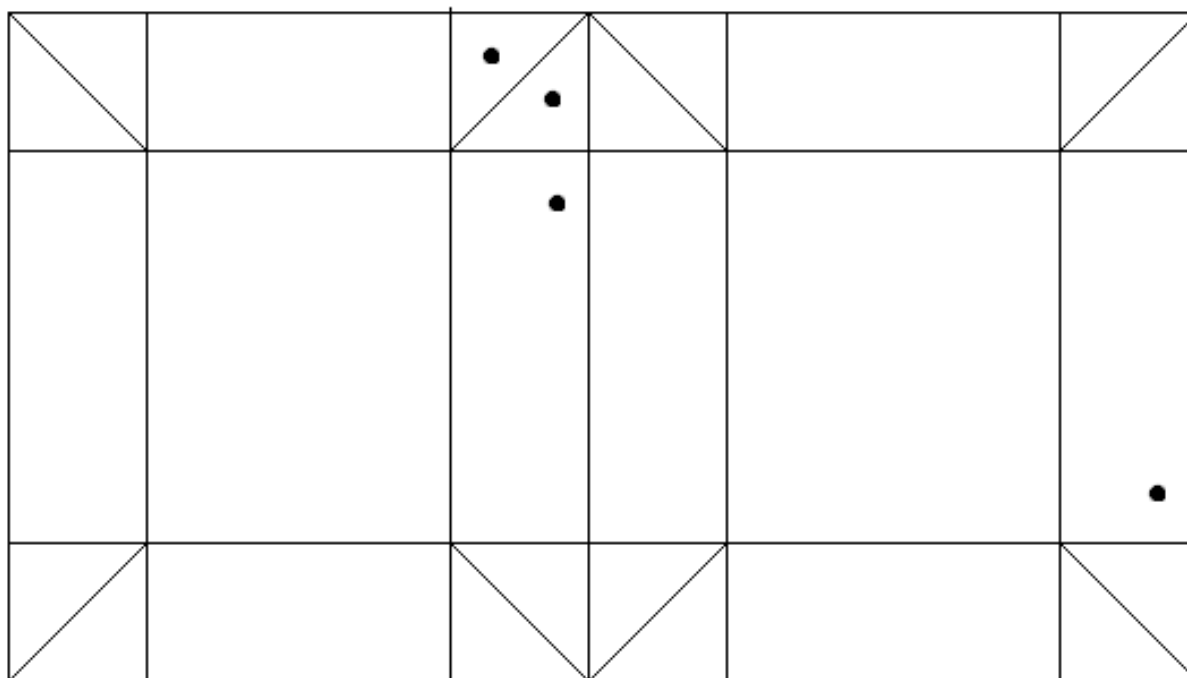


Решение:

Арсений мог проткнуть коробку, например, указанным на рисунке способом:



Развертка коробки выглядит следующим образом:



Задача 4 (20 баллов).

В четырех бутылках на полке находятся вода и растворы соляной кислоты, серной кислоты, гидроксида натрия. Для проведения эксперимента юному химику Пете необходимо было добавить в реакционную смесь немного соляной кислоты, но вот беда, надписи на бутылках с веществами стерлись, остались их порядковые номера и некоторые надписи, отражающие то, что когда-то находилось в этих бутылках:

1 – серная кислота или вода;

$$2 - \text{NaOH};$$

З – кислота или вода;

4 – кислота.

Пете также известно, что **ни одна запись** о том, что находится в бутылки, **не является верной**. Однако Петя, применив логику, легко вышел из этой ситуации.

Как Петя определил, в какой бутылки что находится?

Какую формулу имеет соляная кислота? Какое общее название имеют соли, образуемые соляной кислотой?

Решение:

В третьей бутылки нет ни кислот, ни воды, следовательно, там гидроксид натрия.

В первой бутылки нет ни серной кислоты, ни воды, ни гидроксида натрия (он уже в 3); значит, там – соляная кислота.

В четвертой бутылки нет кислоты; значит, там может быть только вода.

Следовательно, во второй бутылки должна быть серная кислота.

Также принимается решение в виде таблицы:

Номер бутылки	Вода H_2O	Соляная кислота HCl	Серная кислота H_2SO_4	Гидроксид натрия $NaOH$
1	-	+	-	-
2	-	-	+	-
3	-	-	-	+
4	+	-	-	-

Формула соляной кислоты – HCl . Общее название солей – хлориды.

Задача 5 (20 баллов).

Чтобы помешать Золушке поехать на бал, мачеха дала ей две невыполнимые задачи:

- отделить древесные опилки от железных;
- отделить морскую соль от морского песка.

Что должны принести лесные жители, чтобы помочь Золушке выполнить задания мачехи? Для выполнения заданий также можно использовать все, что могло находиться в средневековом доме.

Решение:

1) Отделить древесные опилки от железных можно, бросив их в ведро с водой. Древесные опилки останутся плавать на поверхности, тогда как железные окажутся на дне. Другой способ осуществим, если лесные жители смогут найти небольшой кусок железа – достаточно распространенного минерала с выраженными магнитными свойствами. Так будет достигнуто именно отделение древесных опилок от железных, то есть оба материала останутся в пригодном для дальнейшего использования виде.

2) Для выполнения данного задания необходимо иметь два ведра. Сначала нужно высыпать смесь соли и песка в ведро с водой и хорошо перемешать. При этом песок осядет на дно, а соль растворится в воде. Далее нужно отфильтровать солевой раствор, содержащий песок. Это можно сделать следующими способами:

- а) аккуратно перелить солевой раствор во второе ведро, проследив, чтобы песок остался в первом ведре;
- б) использовать какие-либо механические фильтры, например, ткань.

Лучше повторить одну из этих операций несколько раз. Далее необходимо поставить солевой раствор на огонь для выпаривания воды. После полного выпаривания на дне и стенках второго ведра останется морская соль.

Правильным также признается любой логически верный вариант решения данной задачи, который позволит Золушке успеть на бал.

**Задания и решения второго тура отборочного этапа
Олимпиады «Ломоносов» по инженерным наукам 2017/2018
5-7 классы**

Задача 1 (20 баллов).

Инженер Александр сконструировал робота-поисковика. Из-за допущенной при программировании ошибки робот двигался по следующей схеме.

На первом этапе из начальной точки он прошел по прямой 1 м и повернул направо. На втором этапе он прошел по прямой 2 м и снова повернул направо. На третьем этапе робот прошел по прямой 3 м и опять повернул направо. Таким образом он двигался и дальше, на каждом этапе проходя по прямой на 1 м больше, чем на предыдущем этапе, и в конце этапа поворачивая направо. Наконец, на двадцатом этапе робот прошел по прямой 20 м и снова повернул направо. Только в этот момент Александр заметил ошибку в программе и сразу остановил робота до того, как тот приступил к выполнению двадцати первого этапа.

«Нужно вернуть робота в начальную точку», – подумал Александр и запустил выполнение следующей схемы движения.

На первом этапе робот прошел по прямой 20 м и повернул направо. На втором этапе он прошел по прямой 19 м и снова повернул направо. Таким образом робот двигался и дальше, на каждом этапе проходя по прямой на 1 м меньше, чем на предыдущем этапе, и в конце этапа поворачивая направо. Наконец, на двадцатом этапе робот прошел по прямой 1 м, повернул направо и остановился.

- а) Действительно ли робот оказался в той же точке, что и в начале? Ответ обоснуйте.
б) Оказался ли робот направленным в ту же сторону, что и в начале? Ответ обоснуйте.

Решение:

Назовем «правым» направление, по которому робот прошел первый этап пути, а «нижним» – по которому он прошёл второй этап пути. Соответственно, «левое» направление противоположно «правому», а «верхнее» – «нижнему».

До того, как Александр заметил ошибку, робот прошел:

$1 - 3 + 5 - 7 + 9 - 11 + 13 - 15 + 17 - 19 = (-2) + (-2) + (-2) + (-2) + (-2) = -10$ м вправо, то есть 10 м влево,

$2 - 4 + 6 - 8 + 10 - 12 + 14 - 16 + 18 - 20 = (-2) + (-2) + (-2) + (-2) + (-2) = -10$ м вниз, то есть 10 м вверх.

При этом после каждого четвертого этапа робот оказывался направленным вправо, соответственно, после двадцатого этапа он был направлен вправо.

При попытке возврата робот прошел:

$20 - 18 + 16 - 14 + 12 - 10 + 8 - 6 + 4 - 2 = 2 + 2 + 2 + 2 = 10$ м вправо,

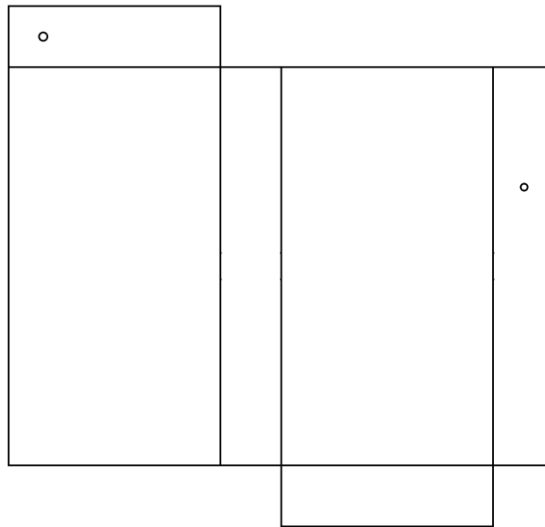
$19 - 17 + 15 - 13 + 11 - 9 + 7 - 5 + 3 - 1 = 2 + 2 + 2 + 2 = 10$ м вниз.

Как и раньше, после двадцати этапов он оказался направленным вправо. В сумме за всё время робот прошёл $10 - 10 = 0$ м вправо и $10 - 10 = 0$ м вниз, оказавшись в исходной точке.

Ответ: а) да; б) да.

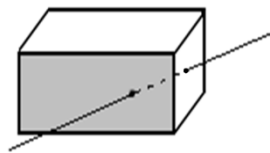
Задача 2 (20 баллов).

Некоторое геометрическое тело проткнули один раз спицей. На рисунке изображена развертка поверхности данного тела с получившимися отверстиями. Что это за геометрическое тело? Изобразите данное геометрическое тело вместе с протыкающей его спицей.



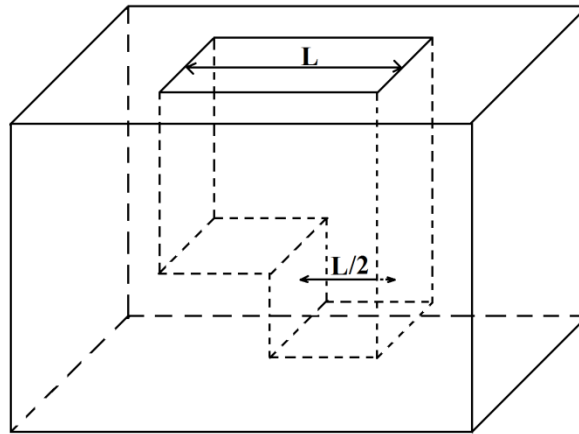
Решение:

Изображенное геометрическое тело – прямоугольный параллелепипед.



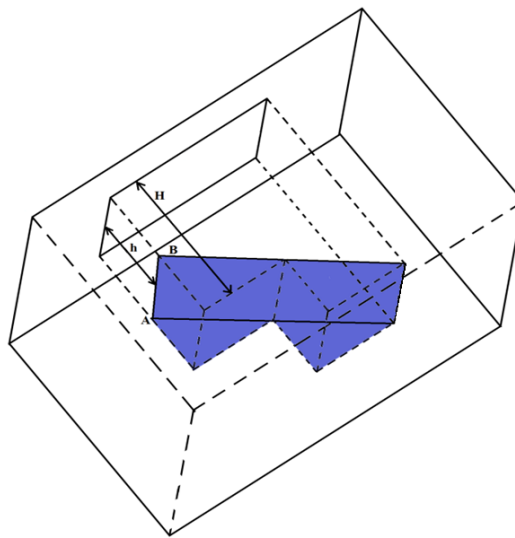
Задача 3 (20 баллов).

Дана деталь, в которой есть глубокая выемка, имеющая вид прямоугольного параллелепипеда. На дне этой выемки есть еще одна выемка меньшей глубины, также имеющая вид прямоугольного параллелепипеда, три грани которого являются продолжениями граней большей выемки (см. рисунок). Известно, что ширина меньшей выемки составляет половину от ширины большей. Дно обеих выемок хорошо просматривается снаружи. Как измерить глубину меньшей выемки, если в наличии есть только кран с водой и длинная тонкая линейка, которая пролезает в большую выемку и не пролезает в меньшую выемку?



Решение:

Сначала измерим линейкой глубину H большей выемки; по условию это возможно. Затем нальем в деталь воду так, чтобы она заполнила меньшую выемку, но не вышла за ее пределы. Затем наклоним деталь так, как показано на рисунке, тогда ровно половина воды перельется в большую выемку. Это можно сделать, так как ширина меньшей выемки в два раза меньше ширины большей выемки, а глубина меньшей выемки меньше глубины большей. Измерим глубину h большей выемки до линии АВ (см. рисунок). Величина $d = H - h$ и будет искомой глубиной.



Задача 4 (20 баллов).

По двум одинаковым круговым трекам двигаются два гонщика. Если представить положения первого и второго гонщиков на треке как положение часовой и минутной стрелки на циферблате соответственно, то в начальный момент времени гонщики находятся в положениях 12 часов и 00 минут соответственно. Найдите отношение скорости первого гонщика к скорости второго гонщика, если в некоторый момент времени после начала движения первый гонщик находится в положении, которому соответствует 1 час на циферблате, а второй гонщик находится в положении, которому соответствует 40 минут на циферблате. Известно, что гонщики двигаются равномерно по часовой стрелке, при этом ни один из них не прошел полный круг.

Решение:

Обозначим длину каждого трека через S . Пусть V_1 и V_2 – скорости первого и второго гонщиков соответственно. Из конечных положений гонщиков, проведя аналогии с циферблатами, можно понять, что первый гонщик прошел путь $S_1 = \frac{S}{12}$, а второй – путь $S_2 = \frac{2S}{3}$. Пусть t – время, прошедшее с начала движения, тогда:

$$V_1 = \frac{S_1}{t}, V_2 = \frac{S_2}{t}$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{S_1}{S_2} = \frac{S}{12} : \frac{2S}{3} = \frac{1}{8}$$

Ответ: 1 : 8.

Задача 5 (20 баллов).

Представим, что у нас есть кристалл поваренной соли, представляющий собой кубик объемом 1 куб. мм. Будем считать, что этот кристалл состоит из мельчайших кубиков, стороны которых равны примерно 0,25 нанометра (1 нанометр – одна миллиардная часть метра). Оцените, какой длины будет цепочка из этих мельчайших кубиков, если все их сложить один к другому в ряд?

Решение:

В одном миллиметре содержится один миллион нанометров. По каждому из трех измерений (длина, ширина и высота) в кристалле содержится $\frac{1\,000\,000}{0,25} = 4\,000\,000$ мельчайших кубиков.

Тогда весь кристалл поваренной соли будет содержать

$4\,000\,000 \cdot 4\,000\,000 \cdot 4\,000\,000 = 64\,000\,000\,000\,000\,000$ мельчайших кубиков.

Если выстроить их в одну цепь, то ее длина будет представлять собой произведение количества кубиков на длину ребра кубика и составит

$(64\,000\,000\,000\,000\,000 \cdot 0,25)$ нанометров = $16\,000\,000\,000\,000\,000$ нанометров = 16 миллиардов метров = 16 миллионов километров.

Ответ: 16 миллионов километров.

**Задания и решения заключительного этапа
Олимпиады «Ломоносов» по инженерным наукам 2017/2018
10-11 классы**

Задача 1.3 (25 баллов)

Важная часть любого химического эксперимента – мытье лабораторной посуды. Одним из распространенных моющих средств, которое можно найти в любой лаборатории, является хромовая смесь (хромпик). Согласно ГОСТ 4517-2016, для приготовления хромпика необходимо к 100 см³ концентрированной серной кислоты добавить 9,2 г дихромата калия. Свежий раствор хромпика имеет темно-коричневый цвет с легким желтоватым оттенком.

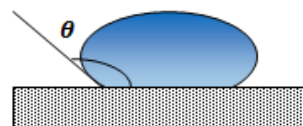
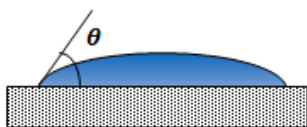


Схема очистки лабораторной посуды хромовой смесью:

- 1) загрязненную посуду замачивают в хромпике;*
- 2) затем посуду промывают дистиллированной водой и ставят сушиться.*

Раствор хромовой смеси

1. Напишите уравнение реакции, которая происходит при растворении дихромата калия в концентрированной серной кислоте.
2. Можно ли для приготовления моющей смеси использовать перманганат калия с концентрированной серной кислотой?
3. На рисунке изображены две капли на стеклянных пластинках. Одна из них была очищена хромовой смесью. Какая? Ответ поясните.



Решение:

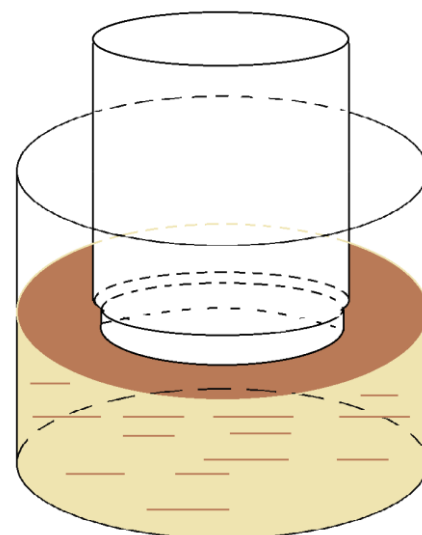
1. $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{SO}_4 = 2\text{CrO}_3 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
2. $2\text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{“Mn}_2\text{O}_7\text{”} + \text{H}_2\text{O} + \text{K}_2\text{SO}_4$

Формально оксид марганца (VII) так получать нельзя: он разлагается со взрывом. Поэтому он помещен в уравнении реакции в кавычки. Допускается ответ без кавычек с указанием свойств оксида. Соответственно, использовать в качестве моющей смеси такой состав нельзя.

3. Капля на рисунке слева смачивает поверхность пластинки, в то время как капля на рисунке справа не смачивает. Соответственно, поверхность пластинки на рисунке справа загрязнена, например, жирами. Таким образом, очищена хромовой смесью была пластинка на левом рисунке.

Задача 2.1 (25 баллов)

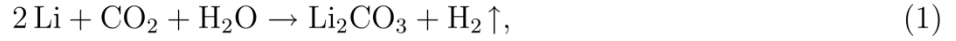
Закрепленная перевернутая литровая банка заполнена азотом и влажным углекислым газом и касается горлышком поверхности керосина так, как показано на рисунке. Уровень керосина в сосуде поддерживается постоянным. Внутри банки находится литий, который покрыт защитной оболочкой. В некоторый момент времени она разрушается и начинается химическая реакция. На сколько поднимется уровень керосина в банке после того, как весь литий прореагирует, если известно, что с азотом прореагировало в 3 раза больше лития, чем с влажным углекислым газом, и все первоначально находившиеся в банке газы прореагировали полностью? Образовани^{ем} щелочи пренебречь. Все процессы считать изотермическими, проходящими при комнатной температуре и нормальном атмосферном давлении. Давлением паров керосина пренебречь. Плотность керосина – $0,8 \text{ г/см}^3$. Для простоты банку считать цилиндром с высотой 20 см.



Решение:

Пусть $p_0 = 101325$ Па — атмосферное давление, совпадающее с начальным давлением всех имеющихся в банке газов, а ν_0 — суммарное количество этих газов (сумма числа молей всех газов).

Реакция взаимодействия лития с влажным углекислым газом описывается уравнением



а с азотом —



Из этих уравнений видно, что в реакции (1) на один моль углекислого газа (плюс один моль водяного пара) расходуется 2 моля лития, а в реакции (2) на один моль азота расходуется 6 молей лития, т.е. в три раза больше.

В условии задачи сказано, что прореагировал весь литий и все первоначально присутствовавшие в банке газы, причем с азотом прореагировало в три раза больше лития, чем с влажным углекислым газом. Поэтому (1) число молей углекислого газа в банке равно числу молей водяного пара; (2) число молей азота в банке было равно числу молей углекислого газа и числу молей водяного пара, т.е., каждое из этих чисел равно $\nu_0/3$ (поскольку в сумме они дают ν_0). Далее, из уравнения (1) следует, что число молей выделившегося водорода ν_1 равно числу молей прореагировавшего углекислого газа, т.е. $\nu_1 = \nu_0/3$.

Пусть p_1 — давление газа (водорода), а h_1 — высота столба керосина в банке в конечном состоянии. Тогда условие равновесия в конечном состоянии записывается в виде

$$p_0 = p_1 + \rho g h_1, \quad (3)$$

где ρ — плотность керосина, а g — ускорение свободного падения.

Поскольку в начальном и конечном состоянии температуры газов равны, из уравнения Менделеева-Клапейрона следует, что

$$p_1 = p_0 \frac{\nu_1}{\nu_0} \frac{h_0}{h_0 - h_1}, \quad (4)$$

где h_0 — полная высота банки, так что уравнение (3) приобретает вид

$$p_0 \frac{\nu_1}{\nu_0} \frac{h_0}{h_0 - h_1} = p_0 - \rho g h_1. \quad (5)$$

Умножая обе стороны этого уравнения на $(h_0 - h_1)$ и пользуясь тем, что $\nu_1/\nu_0 = 1/3$, его можно переписать в виде квадратного уравнения на отношение $\frac{h_1}{h_0}$:

$$\rho g h_0 \left(\frac{h_1}{h_0} \right)^2 - (p_0 + \rho g h_0) \left(\frac{h_1}{h_0} \right) + \frac{2}{3} p_0 = 0. \quad (6)$$

Вводя далее обозначения

$$A = \frac{p_0}{\rho g h_0}, \quad x = \frac{h_1}{h_0}, \quad n = \frac{2}{3}, \quad (7)$$

получаем квадратное уравнение на x

$$x^2 - (A + 1)x + An = 0, \quad (8)$$

решения которого даются формулой

$$x_{1,2} = \frac{A + 1 \pm \sqrt{(A + 1)^2 - 4An}}{2}. \quad (9)$$

Оценим теперь безразмерный параметр A в формуле (9). Принимая h_0 равным 20 см, а $\rho = 0.8$ г/см³, получаем $A \sim 65 \gg 1$. Поскольку по смыслу задачи $0 \leq x \leq 1$, в формуле (9) нам нужно взять знак “ $-$ ” перед корнем (второй корень оказывается существенно превосходящим единицу, $x_2 \sim A$), так что окончательно получаем

$$h_1 = \frac{A + 1 - \sqrt{(A + 1)^2 - 4An}}{2} h_0 \simeq 13.26 \text{ см.} \quad (10)$$

Заметим, что воспользовавшись неравенством $A \gg 1$, можно было очень просто получить приближенное решение задачи. Действительно, неравенство $A \gg 1$ означает, что давление $\rho g h_1$, создаваемое (пока ещё неизвестным) столбом керосина высотой ($h_1 \leq h_0$) в банке, заведомо очень мало по сравнению с атмосферным давлением. Это означает, что давление азота и в конечном состоянии будет практически совпадать с атмосферным давлением, что в свою очередь означает, что

$$\frac{h_0 - h_1}{h_0} = \frac{\nu_1}{\nu_0} = \frac{1}{3}, \quad (11)$$

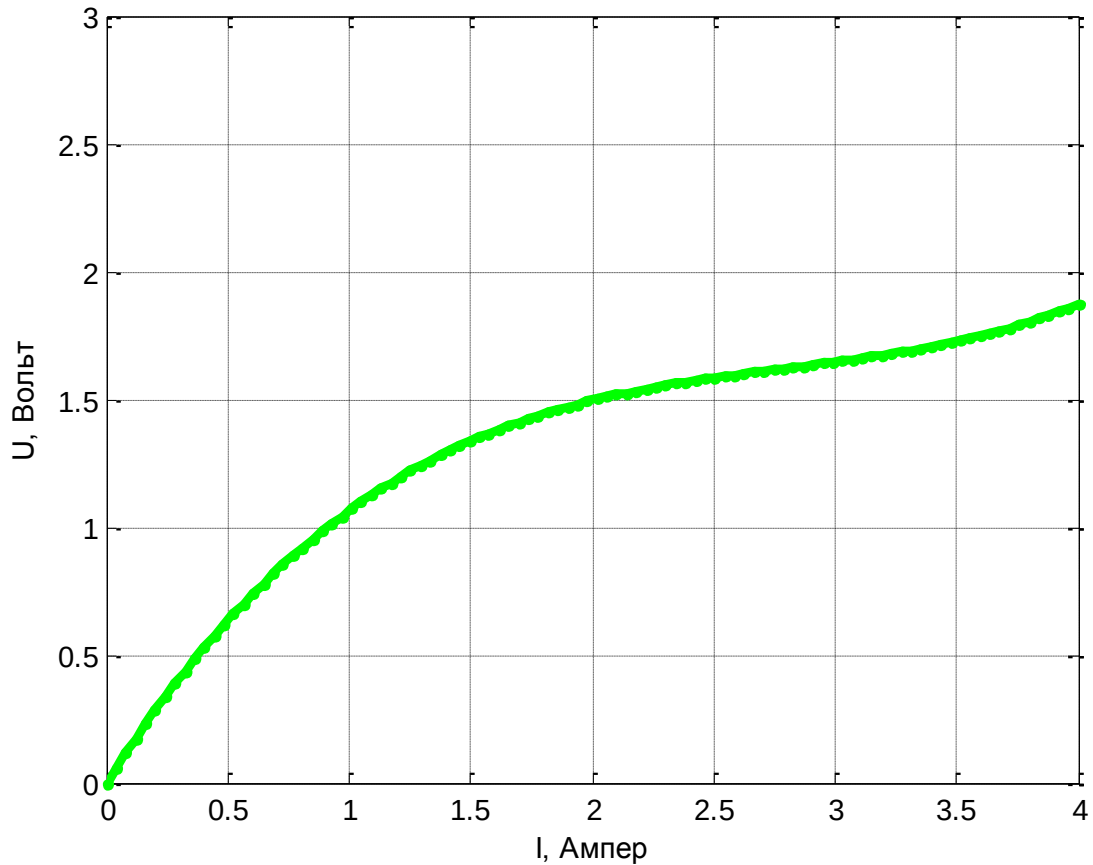
откуда сразу получаем ответ

$$h_1 = \frac{2}{3} h_0 \simeq 13.33 \text{ см,} \quad (12)$$

который с точностью до процента совпадает с точным ответом (10).

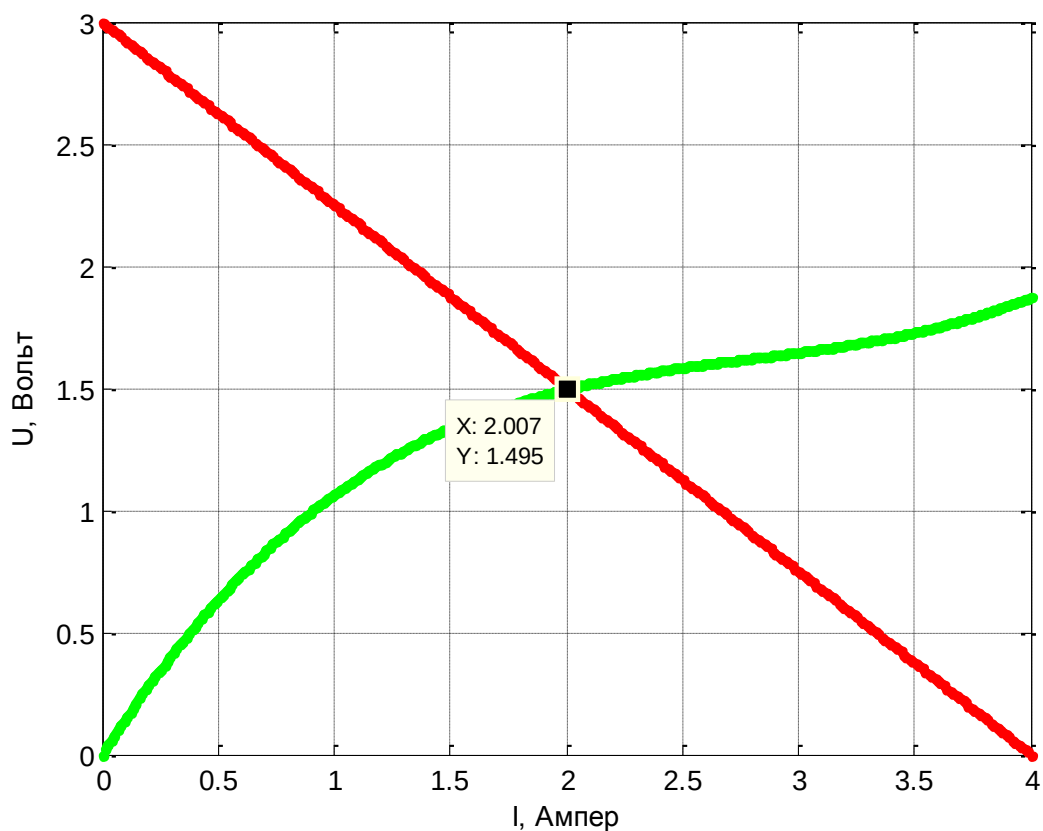
Задача 3.2 (25 баллов)

К батарее с ЭДС $\mathcal{E} = 4$ В и внутренним сопротивлением $r = 1$ Ом параллельно подключены обычный резистор с сопротивлением $R = 3$ Ом и дополнительная нагрузка, ток через которую связан с напряжением на ней так, как показано на рисунке. Чему равно полное количество теплоты, выделяющееся во всей цепи в единицу времени?



Решение:

По закону сохранения энергии полное количество теплоты Q , выделяющееся во всей цепи в единицу времени, равно работе электродвижущих сил в единицу времени, т.е. $Q = \mathcal{E}I_B$, где I_B – ток через батарейку. Пусть $U(I)$ – напряжение на нагрузке, когда через нее протекает ток I . Очевидно, что при указанном в задаче соединении напряжение на нагрузке U совпадает с напряжением на обычном резисторе и напряжением на зажимах батарейки. Воспользуемся тем, что ток через обычный резистор равен $I_R = U/R$, а напряжение на зажимах батарейки $U_B = \mathcal{E} - I_B r$. Поскольку $I_B = I_R + I$, приравнявая U и U_B , получаем $\mathcal{E} - (I_R + I)r = U(I)$, т.е. $\mathcal{E} - (\frac{U(I)}{R} + I)r = U(I)$, откуда следует уравнение $\frac{\mathcal{E} - Ir}{1 + r/R} = U(I)$. Это уравнение можно приближенно решить графически, найдя точку пересечения кривой $U(I)$ и прямой линии $U = \frac{\mathcal{E} - Ir}{1 + r/R}$. Такое построение дает $I \approx 2,0$ А, $U_B = U \approx 1,5$ В. Поэтому $I_R = \frac{U}{R} \approx 0,5$ А, так что ток через батарейку равен $I_B = I_R + I \approx 2,5$ А. Следовательно, полное джоулево тепло, выделяющееся во всей цепи, равно $Q = \mathcal{E}I_B \approx 10$ Вт



Ответ: 10 Вт.

Задача 4.3 (25 баллов)

В банку с 200 мл 10% раствора глюкозы, плотность которого примем равной 1г/см^3 , поместили колонию бактерий. Бактерии осуществляют процесс маслянокислого брожения.

Известно, что для поддержания жизнедеятельности бактериям нужно 0,1 мг кислорода в час. При этом колония перерабатывает 1 мг глюкозы в час. Объем банки – 10 л. Определите состав воздуха в банке после того, как бактерии переработали всю глюкозу. Количество бактерий считать неизменным.

Исходный состав воздуха принять следующим:

Компонент	Доля компонента, масс.%
N_2	75,00
O_2	23,00

CO ₂	0,05
H ₂ O	0,45
Ar	1,50

Решение:

Вычисляя начальный состав воздуха в банке (объем воздуха равен 10 л – 200 мл = 9,8 л) в соответствии с начальными массовыми долями компонентов, заданными в таблице, получаем:

$$m(\text{N}_2) = 8,820000 \text{ г},$$

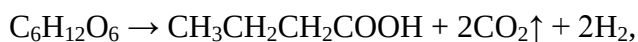
$$m(\text{O}_2) = 2,704800 \text{ г},$$

$$m(\text{CO}_2) = 0,005880 \text{ г},$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 0,052920 \text{ г},$$

$$m(\text{Ar}) = 0,176400 \text{ г}.$$

Маслянокислородное брожение описывается формулой



поэтому на каждый моль переработанной глюкозы выделяются два моля углекислого газа и два моля водорода. Кроме того, из условий задачи следует, что на переработку 1 г глюкозы расходуется 0,1 г кислорода. Поскольку молярная масса глюкозы равна 180 г/моль, в 200 г 10% раствора глюкозы содержится $20/180 = 0,11111$ моль глюкозы. Это означает, что после переработки всей глюкозы содержание кислорода в воздухе уменьшится на 2 г, а количество углекислого газа увеличится на 0,22222 моль; кроме того, в воздухе дополнительно появится 0,22222 моль водорода. Поэтому окончательный состав воздуха будет таким:

N ₂	8,82000 г
O ₂	0,704800 г
CO ₂	9,783658 г
H ₂ O	0,052920 г
Ar	0,176400 г
H ₂	0,444444 г

Отсюда находим массовые проценты различных компонент в окончательном составе воздуха:

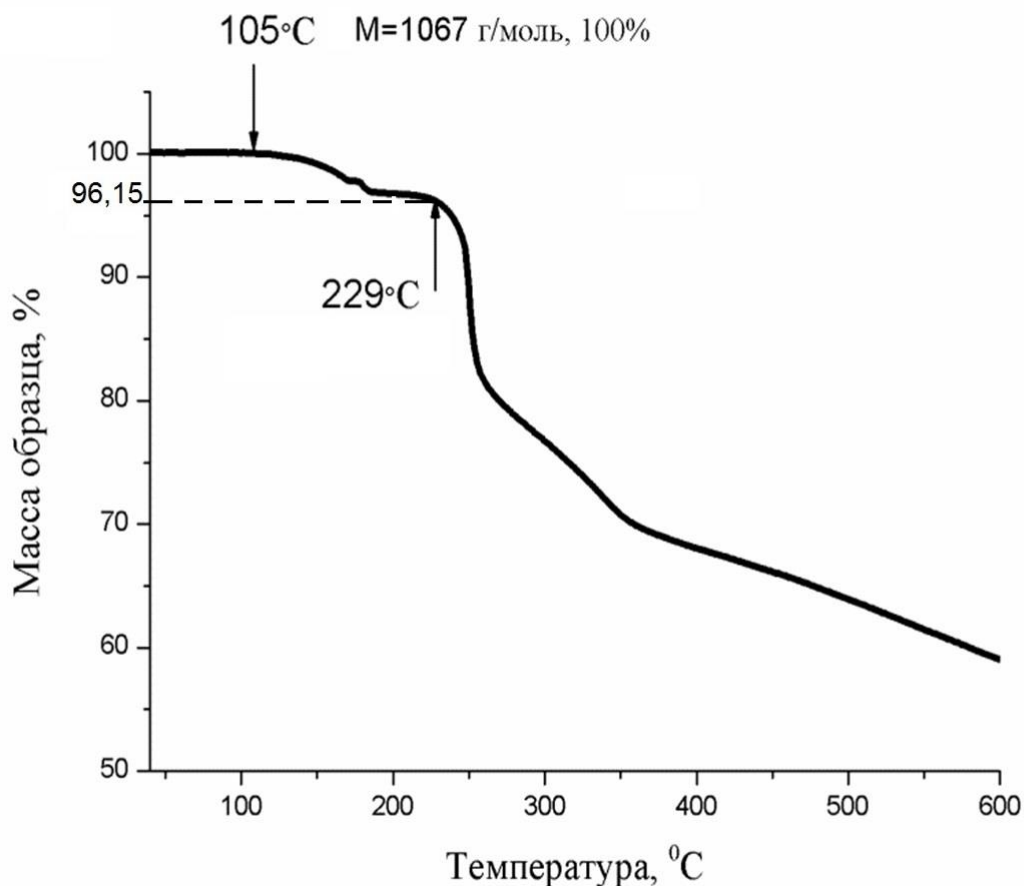
N ₂	44,139235 %
O ₂	3,527135 %
CO ₂	48,961810 %
H ₂ O	0,264835 %
Ar	0,264835 %
H ₂	2,224199 %

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

Задача 1.1 (25 баллов)

Термогравиметрический анализ (ТГА) — метод анализа, при котором регистрируется зависимость изменения массы исследуемого образца от температуры. Известно, что комплексное соединение соли А с $\mu(A)=1067 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$ содержит в своей структуре одну молекулу растворителя. В результате анализа было получено, что растворитель выходит из структуры комплекса в диапазоне 105–229 °С, после чего соединение полностью разлагается (см. рисунок).

Исходя из данных термогравиметрического анализа определите, какой из возможных растворителей (H_2O , CH_3CN , CH_3OH , $\text{C}_2\text{F}_5\text{OH}$) входит в состав комплексной соли. Приведите возможную схему синтеза данного растворителя из неорганических веществ.



Решение:

Из данных термогравиметрического анализа найдем молекулярную массу молекулы растворителя, содержащейся в структуре соли А:

$$\mu(p) = \mu(A) \cdot (1 - 0,9615) \approx 41 \text{ г/моль}$$

Далее найдем молекулярные массы растворителей, представленных в задаче:

$$\mu(\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ г/моль}$$

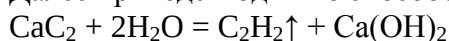
$$\mu(\text{CH}_3\text{CN}) = 41 \text{ г/моль}$$

$$\mu(\text{CH}_3\text{OH}) = 32 \text{ г/моль}$$

$$\mu(\text{C}_2\text{F}_5\text{OH}) = 136 \text{ г/моль}$$

Отсюда находим, что комплексное соединение соли А содержит в своей структуре одну молекулу ацетонитрила (CH_3CN).

Далее приведем один из способов получения ацетонитрила из неорганических веществ:



$\text{C}_2\text{H}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{CH}_3\text{CHO}$ (ацетальдегид) – реакция протекает в присутствии соли ртути (Hg^{2+}) в кислой среде

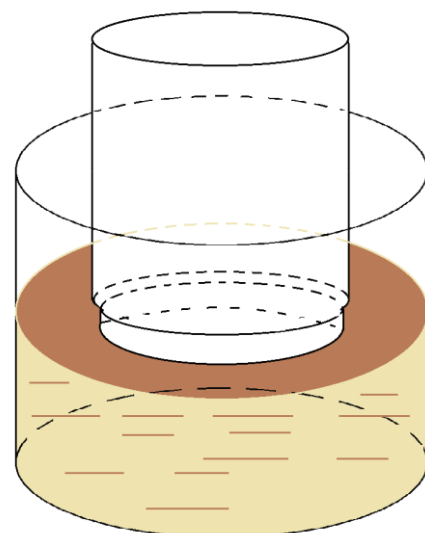
$2\text{CH}_3\text{CHO} + \text{O}_2 = 2\text{CH}_3\text{COOH}$ – реакция протекает в присутствии ацетата марганца (II) при повышенной температуре и давлении

$\text{CH}_3\text{COOH} + \text{NH}_3 = \text{CH}_3\text{CONH}_2 + \text{H}_2\text{O}$ – реакция протекает в присутствии Al_2O_3 при повышенной температуре

$\text{CH}_3\text{CONH}_2 = \text{CH}_3\text{CN} + \text{H}_2\text{O}$ – реакция протекает в присутствии P_2O_5

Задача 2.2 (25 баллов)

Закрепленная перевернутая литровая банка заполнена кислородом и касается горлышком поверхности керосина так, как показано на рисунке. Уровень керосина в сосуде поддерживается постоянным. Внутри банки содержится 1 грамм натрия, который покрыт защитной оболочкой. В некоторый момент времени она разрушается и начинается химическая реакция. На сколько поднимется уровень керосина в банке после того, как весь натрий прореагирует? Все процессы считать изотермическими, проходящими при комнатной температуре и нормальном атмосферном давлении. Объем натрия и продуктов химической реакции считать много меньшим, чем внутренний объем банки. Давлением паров керосина пренебречь. Плотность керосина равна $0,8 \text{ г/см}^3$. Для простоты банку считать цилиндром с высотой 20 см.



Решение:

Пусть $m_{\text{Na}} = 1$ г — масса натрия, $\mu_{\text{Na}} = 23$ г/моль — молярная масса натрия, $\nu_{\text{Na}} = m_{\text{Na}}/\mu_{\text{Na}} = 1/23$ — число молей натрия. Реакция взаимодействия натрия с кислородом описывается уравнением



поэтому для того, чтобы прореагировал весь натрий, нужно $1/46$ моль кислорода; в то же время в 1 л при условиях, близких к нормальным, содержится почти $1/20$ моль газа, т.е. после того, как натрий прореагирует полностью, в банке останется ещё примерно половина исходного количества кислорода.

Пусть p_0 — атмосферное давление (совпадающее с начальным давлением кислорода в банке), p_1 — давление кислорода в банке в конечном состоянии, h_0 — полная высота банки, h_1 — высота столба керосина в банке в конечном состоянии. Тогда условие равновесия в конечном состоянии записывается в виде

$$p_0 = p_1 + \rho g h_1, \quad (2)$$

где ρ — плотность керосина, а g — ускорение свободного падения.

Пусть $\nu_0 = \frac{p_0 V_0}{RT}$ и ν_1 — начальное и конечное число молей кислорода (здесь V_0 — объём банки, T — температура, при которой проводится эксперимент [в дальнейшем будем считать, что $T = 298$ K], R — универсальная газовая постоянная). Тогда из уравнения реакции (1) следует

$$\nu_1 = \nu_0 - \frac{1}{2}\nu_{\text{Na}}. \quad (3)$$

Поскольку в начальном и конечном состоянии температуры кислорода равны, из уравнения Менделеева-Клапейрона следует, что

$$p_1 = p_0 \frac{\nu_1}{\nu_0} \frac{h_0}{h_0 - h_1}, \quad (4)$$

так что уравнение (2) приобретает вид

$$p_0 \frac{\nu_1}{\nu_0} \frac{h_0}{h_0 - h_1} = p_0 - \rho g h_1. \quad (5)$$

Умножая обе стороны этого уравнения на $(h_0 - h_1)$ и используя равенство (3), его можно переписать в виде квадратного уравнения на отношение $\frac{h_1}{h_0}$:

$$\rho g h_0 \left(\frac{h_1}{h_0} \right)^2 - (p_0 + \rho g h_0) \left(\frac{h_1}{h_0} \right) + p_0 \frac{\nu_{\text{Na}}}{2\nu_0} = 0. \quad (6)$$

Вводя далее обозначения

$$A = \frac{p_0}{\rho g h_0}, \quad x = \frac{h_1}{h_0}, \quad n = \frac{\nu_{\text{Na}}}{2\nu_0}, \quad (7)$$

получаем квадратное уравнение на x

$$x^2 - (A + 1)x + An = 0, \quad (8)$$

решения которого даются формулой

$$x_{1,2} = \frac{A + 1 \pm \sqrt{(A + 1)^2 - 4An}}{2}. \quad (9)$$

Оценим теперь безразмерный параметр A в формуле (9). Принимая h_0 равным 20 см, а $\rho = 0.8$ г/см³, получаем $A \sim 65 \gg 1$. Поскольку по смыслу задачи $0 \leq x \leq 1$, в формуле (9) нам нужно взять знак “—” перед корнем (второй корень оказывается существенно превосходящим единицу, $x_2 \sim A$), так что окончательно получаем

$$h_1 = \frac{A + 1 - \sqrt{(A + 1)^2 - 4An}}{2} h_0 \simeq 10.55 \text{ см.} \quad (10)$$

Заметим, что воспользовавшись неравенством $A \gg 1$, можно было очень просто получить приближенное решение задачи. Действительно, неравенство $A \gg 1$ означает, что давление $\rho g h_1$, создаваемое (пока ещё неизвестным) столбом керосина высотой ($h_1 \leq h_0$) в банке, заведомо очень мало по сравнению с атмосферным давлением. Это означает, что давление кислорода и в конечном состоянии будет практически совпадать с атмосферным давлением, что в свою очередь означает, что

$$\frac{h_0 - h_1}{h_0} = \frac{\nu_1}{\nu_0}, \quad (11)$$

откуда сразу получаем ответ

$$h_1 = \frac{\nu_{\text{Na}}}{2\nu_0} h_0 \simeq 10.63 \text{ см,} \quad (12)$$

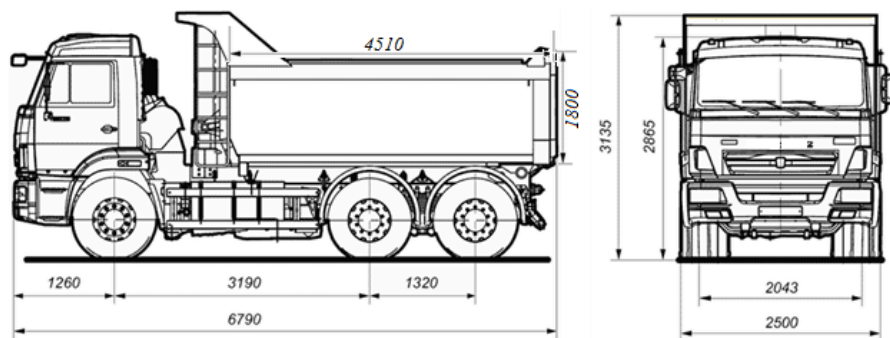
который с точностью до процента совпадает с точным ответом (10).

Задача 3.3 (25 баллов)

С наступлением зимы перед коммунальными службами остро стоит вопрос: что делать с выпавшим снегом? Его можно вывозить на специальные площадки или плавить в снегоплавильных установках прямо в городе. Оцените, на каком расстоянии должна находиться специальная площадка, чтобы вывозить снег было выгоднее, чем плавить его, с использованием наиболее выгодного вида топлива. Ответ поясните. Износом техники пренебречь. Какие достоинства и недостатки есть у каждого из методов? Предложите свои идеи утилизации снега.

	Удельная теплота сгорания	Плотность	Стоимость	КПД установки, работающей на данном виде топлива
Природный газ	33,5 МДж/кг	0,8 кг/м ³	6 руб/м ³	98%
Дизельное топливо	42,7 МДж/кг	840 кг/м ³	40 руб/л	98%
Бензин	44 МДж/кг	750 кг/м ³	41 руб/л	98%
Древесный уголь	31 МДж/кг	900 кг/м ³	6000 руб/т	83,5%

Расход топлива для пустой машины: 36 л/100км
Расход топлива для груженой машины: расход пустой +1,3л/100км на каждую тонну груза
Объем снегоплавильной установки: 100 м ³
Удельная теплота плавления снега: 330 кДж/кг
Плотность снега принять равной 500 кг/м ³



Автомобиль для вывоза снега

Решение:

1. Определим массу снега, вывозимую за 1 раз одним грузовиком:

$$m_{\text{снега}} = \rho \cdot V = \rho \cdot abh \approx 10 \text{ т}$$

2. Выразим расход топлива грузовика на вывоз 10 т снега и возвращение его обратно:

$$(R \cdot S + 1,3 \cdot m_{\text{снега}} \cdot S) + R \cdot S = 2 \cdot R \cdot S + 1,3 \cdot m_{\text{снега}} \cdot S = \left(\frac{2 \cdot 36 \text{ л}}{100 \text{ км}} + \frac{13 \text{ л}}{100 \text{ км}} \right) \cdot S = \frac{85 \text{ л}}{100 \text{ км}} \cdot S,$$

где S – расстояние до специальной площадки.

Пояснение.

Грузовик едет к специальной площадке, груженный снегом, а обратно возвращается пустой.

3. Определим наиболее выгодный вид топлива для расплавки 10 т снега.

$$\text{Итоговая стоимость} = \frac{\lambda m \cdot 100\%}{q \rho \eta \%} \cdot C_{mT}, \text{ где}$$

λ – удельная теплота плавления снега;

m – масса снега;

q – удельная теплота сгорания топлива;

ρ – плотность топлива;

η – КПД установки;

C_{mT} – стоимость топлива.

Итоговая стоимость (уголь) ≈ 765 руб

Итоговая стоимость (природный газ) ≈ 754 руб

Итоговая стоимость (бензин) ≈ 4184 руб

Итоговая стоимость (дизель) ≈ 3755 руб

Нетрудно заметить, что наиболее выгодным видом топлива является природный газ.

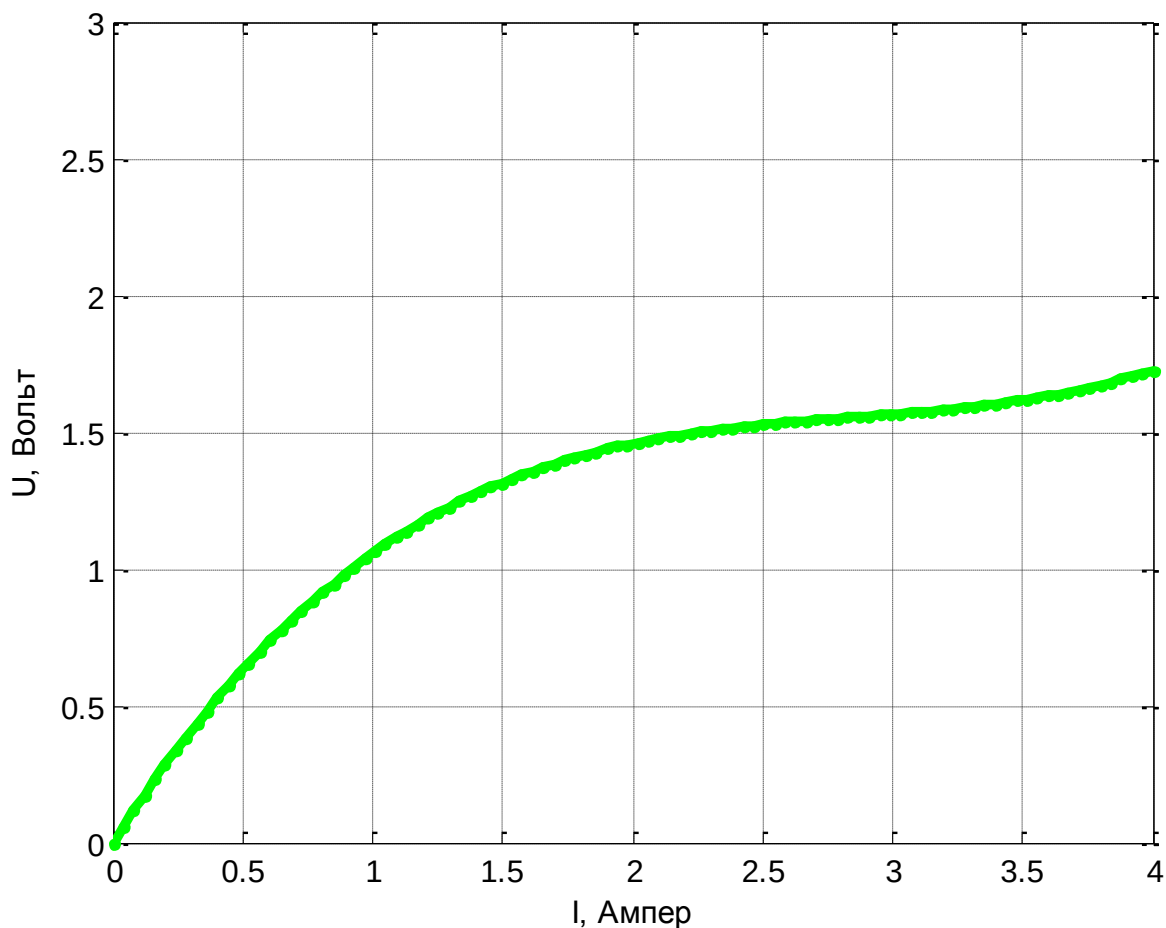
Тогда:

$$\frac{\lambda m \cdot 100\%}{q \rho \eta \%} \cdot C_{m\text{газа}} > \frac{85 \text{ л}}{100 \text{ км}} \cdot S \cdot C_{m\text{дизель}}$$

Решая данное неравенство, находим, что $S < 22,2$ км. Таким образом, специальная площадка должна находиться не далее 22,2 км от города.

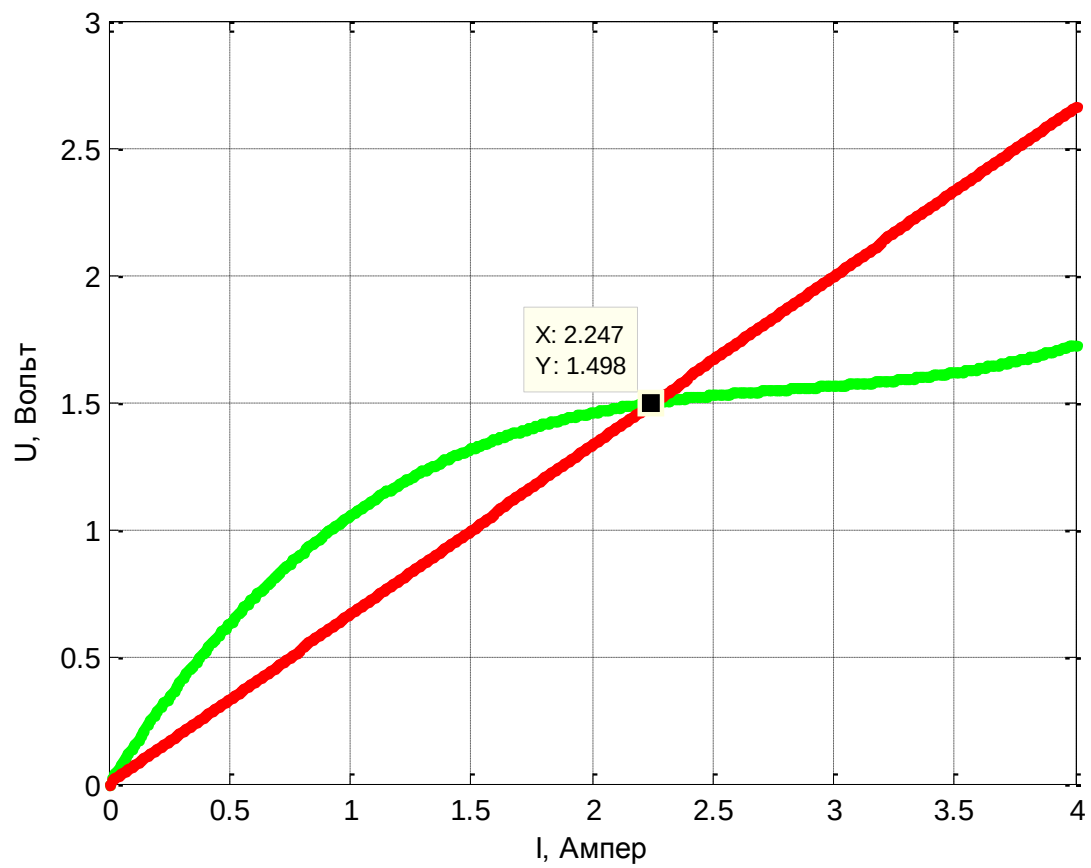
Задача 4.2 (25 баллов)

Участок цепи содержит соединенные последовательно резистор с сопротивлением $R = 2$ Ом и дополнительную нагрузку, ток через которую связан с напряжением на ней так, как показано на рисунке. Известно, что на дополнительной нагрузке рассеивается в три раза меньшая мощность, чем на резисторе. Чему равно падение напряжения на резисторе?



Решение:

Пусть $U(I)$ – напряжение на нагрузке, когда через нее протекает ток I . Воспользуемся тем, что мощность, рассеиваемая на произвольном элементе цепи, через который течет ток I , равна произведению UI , где U – падение напряжения на рассматриваемом элементе. Следовательно, поскольку токи через включенные последовательно резистор и дополнительную нагрузку одинаковы, напряжение на нагрузке в три раза меньше, чем на резисторе, т.е. $U(I) = IR/3$. Это уравнение на ток I можно приближенно решить графически, найдя точку пересечения кривой $U(I)$ и прямой линии $U = IR/3$ (см. рисунок). Такое построение дает $I \approx 2,25$ А, $U \approx 2,0$ В. Поэтому падение напряжения на резисторе равно $IR \approx 4,5$ В.



Ответ: 4,5 В.

**Задания и решения заключительного этапа
Олимпиады «Ломоносов» по инженерным наукам 2017/2018
5-7 классы**

Задача 1.2 (25 баллов)

Выполните эскизы фронтальной, горизонтальной, и профильной проекций детали, изображенной на рисунке. Считать, что фронтальная проекция – это вид спереди, главный вид; горизонтальная - вид сверху; профильная - вид сбоку слева.



Решение:



*Профильная
проекция*



*Фронтальная
проекция*



*Горизонтальная
проекция*

Задача 2.3 (25 баллов)

Оцените массу одного зернышка пшени.



1 кг пшена

Решение:

Диаметр зернышка пшена можно принять равным $d = 2$ мм, поэтому объем, приходящийся на одно зернышко, можно грубо оценить как $2 \cdot 2 \cdot 2 = 8 \text{ мм}^3$. Объем килограммовой упаковки пшена равен примерно $1 \text{ л} = 1000 \text{ см}^3$. Поэтому один $1 \text{ см}^3 = 1000 \text{ мм}^3$ весит 1 г, а одно зернышко тогда весит 8 мг.

Ответ: 8мг.

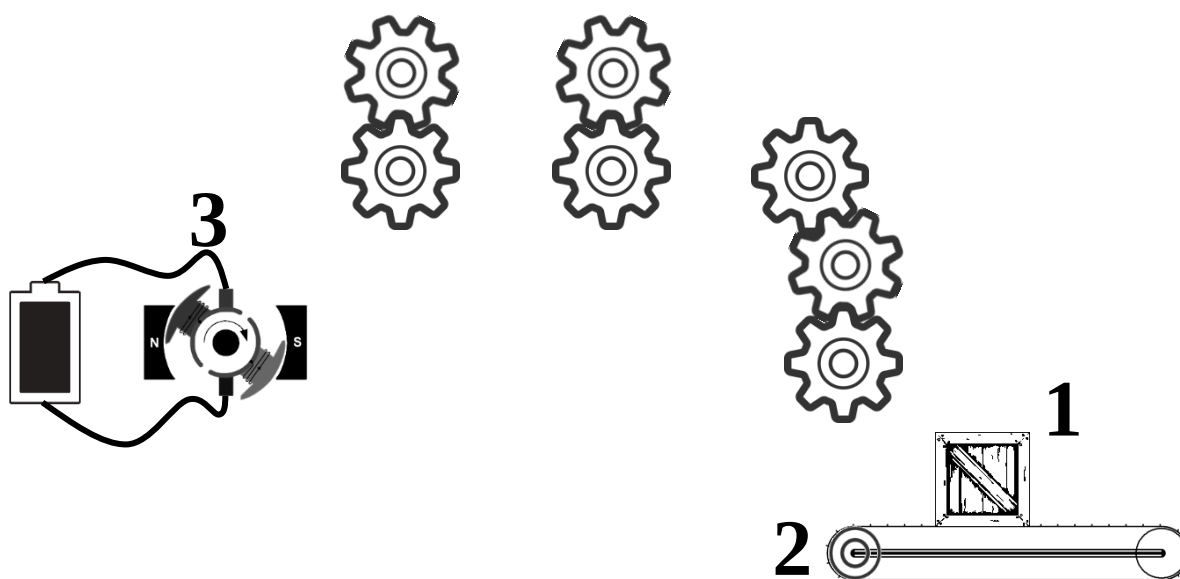
Задача 3.1 (25 баллов)

На рисунке представлен механизм, в котором отсутствуют ременные передачи. Необходимо сдвинуть груз 1, расположенный на ленте маленького транспортера 2, влево.

Как это сделать, используя только ременные передачи любой необходимой длины, если вал двигателя 3 вращается по часовой стрелке? На одну шестеренку можно накинуть только одну ременную передачу. Ременная передача может соединять только две шестеренки.

а) Какое минимальное количество ременных передач необходимо для этого? Ответ поясните.

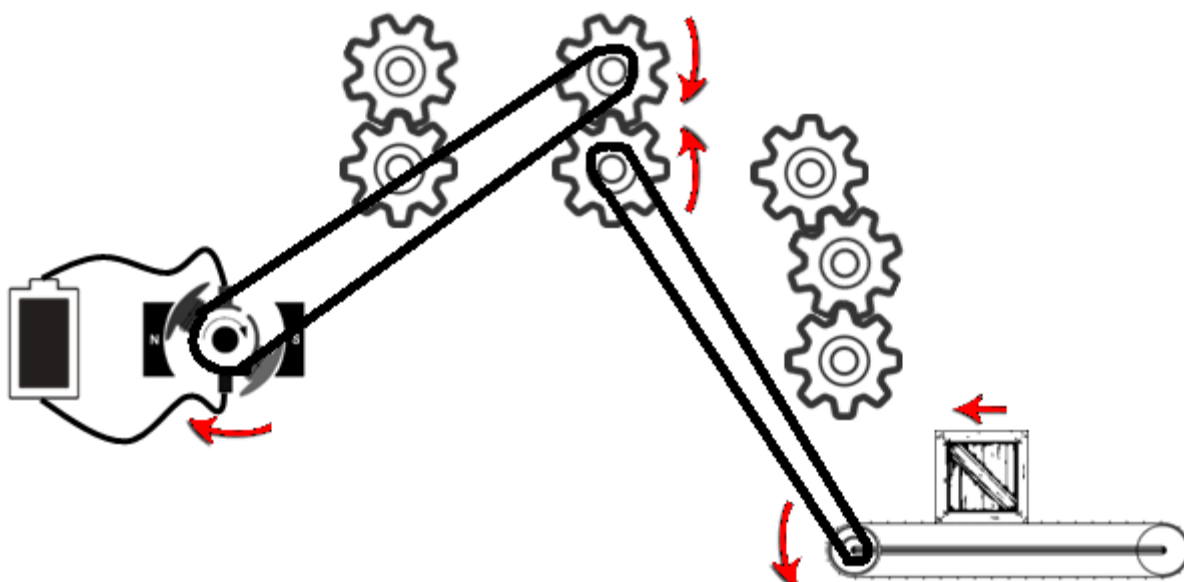
б) Изобразите схему соединения шестеренок ременными передачами так, чтобы вращались все шестеренки, для того чтобы сдвинуть груз влево.



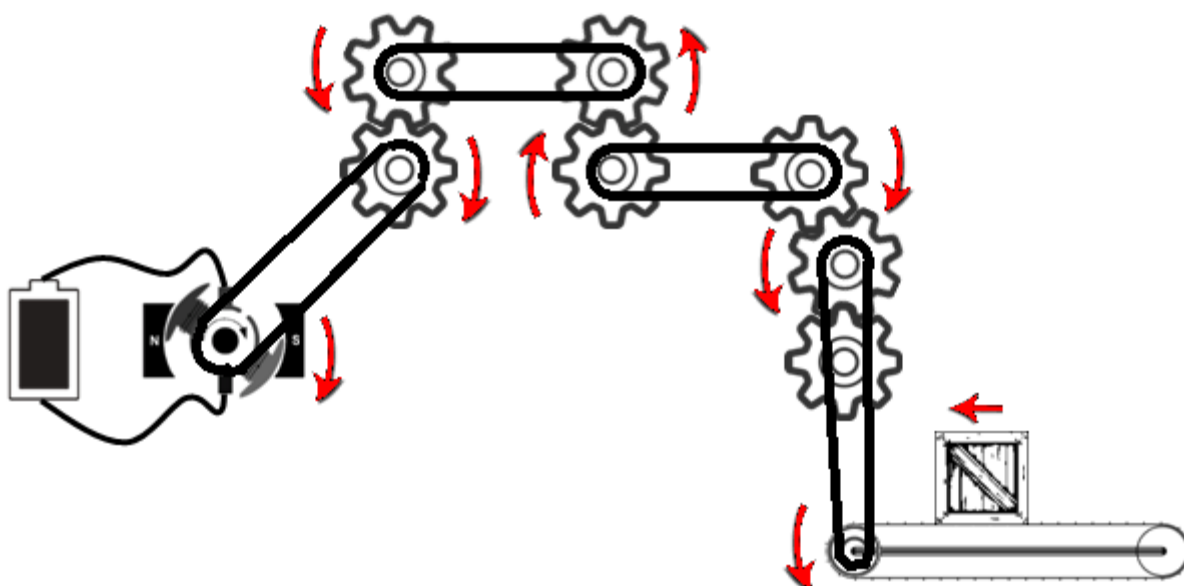
Решение:

а) Попробуем сначала соединить напрямую вал двигателя и вал маленького транспортера. Ременная передача не изменяет направления вращения валов. Поэтому если вал двигателя вращается по часовой стрелке, то и вал транспортера будет вращаться также. Вращение вала транспортера по часовой стрелке соответствует такому же вращению и ленты, значит груз поедет вправо. Таким образом, мы не можем обойтись одним ремнем.

Если при зацеплении двух шестеренок одна вращается по часовой стрелке, то вторая составляющая пару с первой будет вращаться против часовой стрелки. Поэтому нам нужно соединить вал двигателя и транспортера через одну пару шестеренок. Для этого нам потребуется два ремня. И соединение может выглядеть, например, таким образом, как показано на рисунке ниже.



б) Соединить ременными передачами все шестеренки можно, например, таким образом, как показано на рисунке ниже.



Задача 4.3 (25 баллов)

Фирма, занимающаяся перевозками грузов, получила заказ на перевозку 18 тонн зерна с железнодорожной станции на склад. Перевозка осуществляется в легких контейнерах, вмещающих 600 кг зерна, при помощи одного грузовика. Контейнеры заполняются наполовину, а кузов грузовика вмещает по объему 20 контейнеров. Перевозка состоит из следующих этапов.

- 1) Грузовик едет 50 минут от станции до склада.
- 2) После того, как грузовик прибывает к воротам склада, автопогрузчик выгружает контейнеры из грузовика по одному, затрачивая 30 секунд на один контейнер вне зависимости от массы контейнера.
- 3) После выгрузки всех контейнеров автопогрузчик перевозит их по одному от грузовика до склада, затрачивая 2 минуты на перевозку одного контейнера и возврат к грузовику.

На складе работает только один автопогрузчик.

Грузовик отправляется назад к станции сразу после того, как последний контейнер из партии оказался на складе и автопогрузчик вернулся к грузовику. Время, затрачиваемое на дорогу от станции до склада, не зависит от загрузки грузовика.

Руководство фирмы решило, что можно заполнять контейнеры на три четверти, но при этом нужно использовать более медленный автопогрузчик. В этом случае на третьем этапе транспортировка одного контейнера от грузовика до склада и возврат автопогрузчика к грузовику займет 5 минут. Уменьшится ли время, затрачиваемое на перевозку всего груза? Ответ обоснуйте.

Решение:

Заметим, что при заполнении контейнеров наполовину всего нужно будет перевезти $18000/300 = 60$ контейнеров с зерном. Грузовику понадобится совершить 5 рейсов между станцией и складом, чтобы перевезти все зерно: 3 рейса от станции до склада с грузом и 2 рейса от склада до станции порожняком. Таким образом, на рейсы грузовика уйдет $50 \cdot 5 = 250$ минут. На выгрузку контейнеров из грузовика уйдет $0,5 \cdot 60 = 30$ минут на все 60 контейнеров. На перевозку всех контейнеров от грузовика до склада уйдет $2 \cdot 60 = 120$ минут. Таким образом, вся работа займет $250 + 30 + 120 = 400$ минут.

При заполнении контейнеров на три четверти масса одного контейнера составляет 450 кг. Всего нужно будет перевезти $18000/450 = 40$ контейнеров с зерном. Грузовику понадобится совершить 3 рейса между станцией и складом, чтобы перевезти все зерно: 2 рейса от станции до склада с грузом и 1 рейс от склада до станции порожняком. Таким образом, на рейсы грузовика уйдет $50 \cdot 3 = 150$ минут. На выгрузку контейнеров из грузовика уйдет $0,5 \cdot 40 = 20$ минут на все 40 контейнеров. На перевозку всех контейнеров от грузовика до склада уйдет $5 \cdot 40 = 200$ минут. Таким образом, вся работа займет $150 + 20 + 200 = 370$ минут.

Получаем, что при заполнении контейнеров на три четверти время работы сократится на полчаса.

Ответ: да, уменьшится.