



МАТЕРИАЛЫ ЗАДАНИЙ

*олимпиады школьников
«ЛОМОНОСОВ»
по инженерным наукам*

2015/2016 учебный год

Задания с решениями первого тура отборочного этапа Олимпиады «Ломоносов» по инженерным наукам 10-11 классы

Тестовая задача (6 баллов).

Нужно оптимизировать процесс работы конвейера по подаче деталей для тестирования. С целью экономии электроэнергии необходимо добиться, чтобы стальная деталь, разогнавшись до некоторой скорости, двигалась по инерции до полной остановки, пройдя при этом за время $t = 0,5$ с расстояние $s = 1$ м по горизонтальному неподвижному конвейеру. Какой материал покрытия для конвейерной ленты необходимо выбрать (см. таблицу)? Считать ускорение свободного падения g равным 10 м/с^2 .

Таблица 1. Коэффициент трения скольжения различных материалов по стали.

Материал	Коэффициент трения скольжения
Резина	0,8
Асбестовая ткань	0,35
Хлопчатобумажная ткань	0,3
Полиэтилен	0,2
Тефлон	0,04

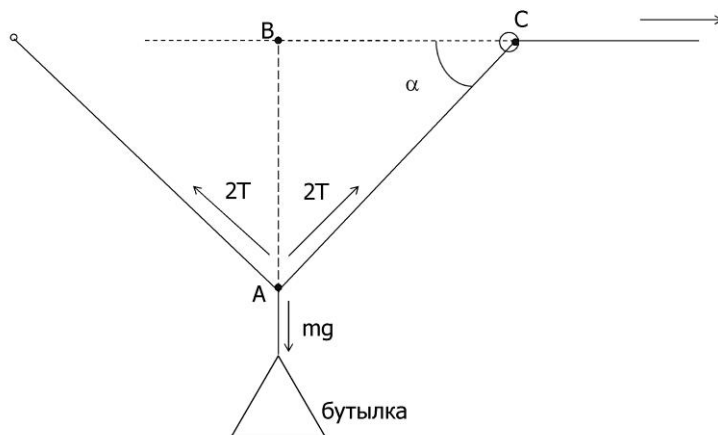
Решение: Поскольку при движении с постоянным ускорением a пройденный за время t путь s равен $at^2/2$, по приведенным в задаче данным находим $a = 2s/t^2$. При движении по горизонтальной поверхности под действием силы трения скольжения тело движется с ускорением gk , где k – коэффициент трения скольжения. Поэтому, приравнявая a и gk , получаем $k = 2s/gt^2 = 0,8$. В соответствии с таблицей необходимо выбрать резину.

Ответ: резина.

Задача 1 (10 баллов).

Предложите способ определения прочности нити на разрыв с помощью пластиковой бутылки с водой массой 2.0 кг и рулетки. Никакими другими измерительными приборами пользоваться нельзя. Известно, что прочность нити на разрыв меньше 8 Н.

Решение: Нужно сложить нить вдвое, подвесить на ней бутылку, и определить угол, при котором она порвется при постепенном вытягивании, как показано на рисунке. В момент разрыва нити условие равновесия дает $4T\sin\alpha = mg$, откуда $T = mg/4\sin\alpha$, где T – прочность нити. Величину $\sin\alpha$ можно определить с помощью рулетки, измерив гипотенузу AC и катет AB прямоугольного треугольника ABC . Критический угол α равен приблизительно 39° .



Задача 2 (10 баллов).

Усовершенствуйте вольтметр, шкала которого составляет 30 В, а его внутреннее сопротивление равно 100 кОм, если в вашем распоряжении есть два резистора по 200 кОм каждый. Какое наибольшее напряжение можно измерить с помощью усовершенствованного вольтметра?

Решение: Для того, чтобы получить возможность измерять как можно большее напряжение, последовательно с вольтметром надо включить как можно большее сопротивление. Если внутреннее сопротивление вольтметра r , а подключаемое сопротивление R , то на вольтметре возникает напряжение $V = Ur/(r+R)$, где U – измеряемое напряжение. Поэтому $U = V(r+R)/r$; из имеющихся двух резисторов можно, соединив их последовательно, составить резистор сопротивлением $R = 400$ кОм. Поскольку $V = 30$ В, для U получаем 150 В.

Ответ: 150 В

Задача 3 (15 баллов).

Юные техники конструируют парогенератор. Для моделирования процесса у них в наличии есть 1 литр воды, кастрюля, нагреватель мощностью $W = 100$ Вт и термopapa. Обнаруживается, что воду в кастрюле никак не удастся довести до кипения нагревателем мощностью 100 Вт: температура воды повышается до $T = 96^\circ \text{C}$ и дальше не растет. Конструкторы решают положить в кастрюлю еще один такой же кипятильник. Через какое время вода закипит в этом случае? Что можно сделать для того, чтобы вода в кастрюле закипела без дополнительного кипятильника?

Решение. При установившейся температуре мощность тепловых потерь равна мощности нагревателя, т.е. W . Поэтому после добавления второго кипятильника собственно на нагревание воды будет расходоваться мощность этого добавленного кипятильника, т.е. тоже W . Если масса воды m , а удельная теплоемкость воды λ , то за время t температура воды повысится на $\Delta T = Wt/(m\lambda)$. Отсюда $t = m\lambda\Delta T/W$. В нашем случае $\Delta T = T_{\text{кипения}} - T = 4^\circ \text{C}$, $m = 1$ кг; принимая удельную теплоемкость воды λ равной 4200 Дж/(кг град), получаем $t = 168$ с ~ 3 минуты. В решении не учитывалась зависимость удельной теплоемкости воды и тепловых потерь от температуры воды; это оправданно, т.к. указанные величины слабо меняются в небольшом интервале температур от 96°C до 100°C . Для того, чтобы вода в кастрюле закипела без дополнительного кипятильника, можно, например, попытаться теплоизолировать кастрюлю.

Ответ: 168 с ~ 3 минуты.

Задача 4 (12 баллов).

Шестеренка с незакрепленной осью расположена между двумя параллельными зубчатыми рейками, движущимися со скоростями $V_1 = 20$ см/с и $V_2 = 40$ см/с в противоположных направлениях. С какой скоростью движется центр шестеренки?

Решение. Пусть первая рейка движется вправо, а вторая влево. Из исходной системы отсчета, в которой заданы скорости реек, перейдем в систему отсчета, связанную с первой рейкой, скорость которой V_1 ; в этой системе отсчета верхняя рейка движется влево со скоростью $V_1 + V_2$, а шестеренка катится (не проскальзывая относительно реек) по первой рейке. Если колесо катится без проскальзывания, то скорость его центра равна половине скорости верхней точки. Поэтому скорость центра шестеренки относительно первой рейки есть $(V_1 + V_2)/2$ и направлена влево. Но скорость первой рейки относительно исходной системы отсчета равна V_1 и направлена вправо. Поэтому скорость центра шестеренки относительно исходной системы отсчета есть $V = (V_1 + V_2)/2 - V_1 = (V_2 - V_1)/2 = 10$ см/с и направлена в ту же сторону, что и скорость второй рейки.

Ответ: 10 см/с и направлена в сторону движения второй рейки.

Задача 5 (11 баллов).

В лаборатории научно-исследовательского института потребовалось провести регенерацию 5,54 г платиносодержащих отходов. В качестве отходов имелась металлическая стружка, содержащая металлы: железо, медь, платину. Регенерацию проводили по следующей методике. Металлическую стружку кипятили в разбавленной азотной кислоте. Не растворившуюся «тонкую» фракцию отфильтровывали и растворяли при кипячении в царской водке. Полученный раствор упаривали до сиропообразной консистенции и добавляли небольшое количество соляной кислоты. К полученному раствору приливали раствор NH_4Cl . Выпавший желтый осадок отфильтровывали и прокаливали до образования серой губчатой массы. Маточный раствор и промывные воды собирали и добавляли к ним избыток гранулированного цинка. Выпал осадок черного цвета, который затем отфильтровали, промыли и высушили.

- Напишите все реакции, происходившие при регенерации платиновых отходов в лаборатории. Почему платина растворяется в царской водке и не растворяется в кислотах? Напишите реакции. (5 баллов)
- Рассчитайте потери платины при регенерации, если исходная стружка содержала 28 % платины, а суммарная масса полученных платиновых отходов составила 1,38 г с содержанием платины 97%. (4 балла)
- Почему полученная при регенерации платина содержит примеси? (2 балла)

Решение:

Имеющиеся примеси меди и железа растворялись при кипячении с азотной кислотой согласно уравнениям:

1. А) $\text{Cu} + 8\text{HNO}_3 = 3\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 4\text{H}_2\text{O} + 2\text{NO}$
1. Б) $\text{Fe} + 4\text{HNO}_3(\text{разб.}, \text{горяч.}) = \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + \text{NO} + 2\text{H}_2\text{O}$

Платина растворяется в царской водке, образуя устойчивые комплексы с хлоридом.

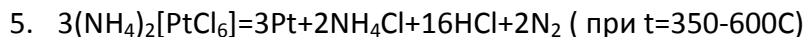
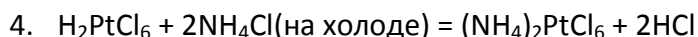
Взаимодействие с царской водкой протекает согласно уравнениям:

2. $3\text{Pt} + 18\text{HCl} + 4\text{HNO}_3 = 3\text{H}_2[\text{PtCl}_6] + 4\text{NO} + 8\text{H}_2\text{O}$ или $\text{Pt} + 6\text{HCl} + 2\text{HNO}_3 = \text{H}_2[\text{PtCl}_6] + \text{NO} + \text{NO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$

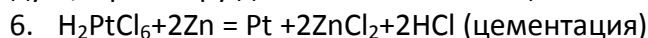
Нужно сказать, что во время протекания реакции 2 идет побочная реакция $\text{H}_2[\text{PtCl}_6]$ с NOCl , который получается по следующей реакции: $\text{HNO}_3 + 3\text{HCl} = 2\text{Cl}\cdot + \text{NOCl} + 2\text{H}_2\text{O}$:

3. $\text{H}_2[\text{PtCl}_6] + 2\text{NOCl} = (\text{NO})_2[\text{PtCl}_6] + 2\text{HCl}$

HCl добавляют, чтобы разрушить полученный комплекс $(\text{NO})_2[\text{PtCl}_6]$ посредством смещения равновесия влево. Данная фраза говорит о том, что вся платина переходит в комплекс $\text{H}_2[\text{PtCl}_6]$.



Но в маточном растворе все-же остается некое количество H_2PtCl_6 . Чтобы не потерять ценный продукт, к раствору добавляют избыток цинка:



Потери в данном случае составят: $100 - 100 \cdot 1,38 \cdot 0,97 / 5,54 \cdot 0,28 = 14\%$

В качестве примесей будут присутствовать железо и медь, которые могли быть покрыты платиной и не раствориться в азотной кислоте.

Задача 6 (15 баллов).

Газ, выбрасываемый трубами химического завода имеет следующий состав (объемные доли φ в %): $\varphi(\text{CO}_2) - 10,0$; $\varphi(\text{CO}) - 20,0$; $\varphi(\text{H}_2) - 2,0$; $\varphi(\text{CH}_4) - 0,6$; $\varphi(\text{C}_3\text{H}_8) - 0,2$; $\varphi(\text{N}_2) - 50,2$; $\varphi(\text{C}_7\text{H}_8) - 3,0$; $\varphi(\text{H}_2\text{O}) - 14,0$.

- Напишите все уравнения реакций сгорания компонентов выбрасываемого трубами завода газов. **(8 баллов)**
- Рассчитайте, сколько потребуется воздуха (в м^3) для полного сжигания 200 м^3 этого газа (объемы измерены при одной температуре). Считать, что содержание кислорода в воздухе около 20% по объему. **(4 балла)**
- Определите количественный состав продуктов сжигания доменного газа в избытке воздуха. **(3 балла)**

Решение:

Из вышеперечисленных газов подвергаться сжиганию будут CO , H_2 , CH_4 , C_3H_8 , C_7H_8 .

Уравнения реакций:

- $\text{CO} + \frac{1}{2} \text{O}_2 = \text{CO}_2$;
- $\text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 = \text{H}_2\text{O}$;
- $\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 = \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$;
- $\text{C}_3\text{H}_8 + 5\text{O}_2 = 3\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$;
- $\text{C}_7\text{H}_8 + 9 \text{O}_2 = 7\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$;

Составим таблицу

	CO_2	CO	H_2	CH_4	C_3H_8	N_2	C_7H_8	H_2O
Объем, м^3	20	40	4	1,2	0,4	100,4	6	28
Сколько нужно O_2 , м^3	0	20	2	2,4	2,0	0	54	0
Конечная смесь	$20\text{м}^3 \text{ CO}_2$	$40\text{м}^3 \text{ CO}_2$	$4\text{м}^3 \text{ H}_2\text{O}$	$1,2\text{м}^3 \text{ CO}_2$, $2,4\text{м}^3 \text{ H}_2\text{O}$	$1,2\text{м}^3 \text{ CO}_2$, $1,6\text{м}^3 \text{ H}_2\text{O}$	$100,4\text{м}^3 \text{ N}_2$	$42\text{м}^3 \text{ CO}_2$, $24\text{м}^3 \text{ H}_2\text{O}$	$28\text{м}^3 \text{ H}_2\text{O}$

Как видно по результатам таблицы, для полного сгорания всех веществ нужно $80,4 \text{ м}^3$ кислорода или $70/0,2 = 402 \text{ м}^3$ воздуха. В конечной смеси будет $100,4 \text{ м}^3 \text{ N}_2$, $104,4 \text{ м}^3 \text{ CO}_2$ и $60 \text{ м}^3 \text{ H}_2\text{O}$.

Количественный состав смеси после сжигания: 37,9% N_2 , 39,4% CO_2 , 22,7% H_2O .

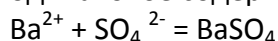
Задача 7 (8 баллов).

В городской водозабор стекают стоки из двух цехов химического предприятия. В первом цехе на 1 т производимой продукции образуется 8 м^3 водных стоков, содержащих $1,5 \text{ г/м}^3$ сульфата

магния. Во втором цехе на 1 т продукции образуется 16 м^3 стоков с содержанием $3,56 \text{ г/м}^3$ гидрооксида бария.

- Определите оптимальное соотношение производительностей этих цехов (в тоннах продукции), при котором загрязнение воды было бы минимальным. (4 балла)
- Как должна будет выглядеть схема водостоков предприятия? (1 балл)
- Каков будет размер этого загрязнения на одну тонну СОВОКУПНЫХ отходов от химического предприятия, если произведение растворимости $\text{BaSO}_4 = 1,8 \cdot 10^{-10}$. (3 балла)

Решение. Предполагается, что почти весь сульфат бария будет осаждаться внутри специально придуманного отстойника. Схема должна будет включать в себя две трубы – потока, после чего все будет попадать в специальную цистерну-отстойник, откуда мы периодически будем убирать осадок. Для оптимизации процесса нужно сделать, чтобы в исходящих из трубы растворах было одинаковое содержание ионов бария и сульфат-ионов.



Концентрация сульфат-ионов составит 12 г на одну тонну воды ($12/120 = 0,1$ моль).

Концентрация ионов бария составит 57 грамм на одну тонну воды ($57/171 = 0,333$ моль).

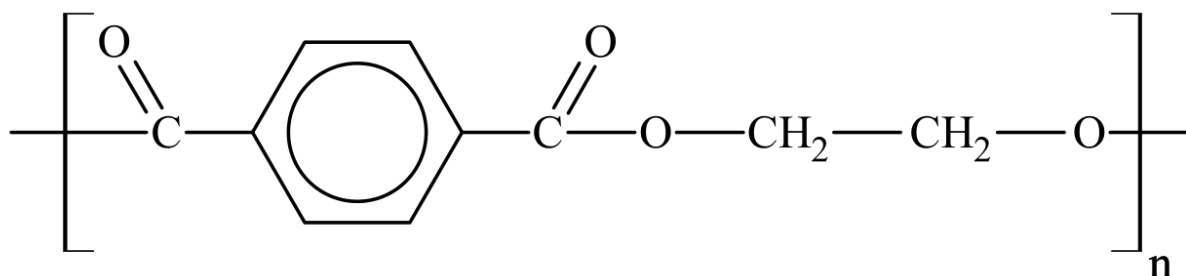
Таким образом, нужно чтобы первый цех работал в три раза больше. Тогда все будет нейтрализоваться.

$$\text{ПР} = [\text{Ba}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}] = (S^2) = 1,8 \cdot 10^{-10}.$$

$S(\text{растворимость}) = 1,34 \cdot 10^{-5}$ грамм на литр. Или $1,34 \cdot 10^{-2}$ граммов на тонну воды, что не будет иметь характер загрязнения.

Задача 8 (13 баллов).

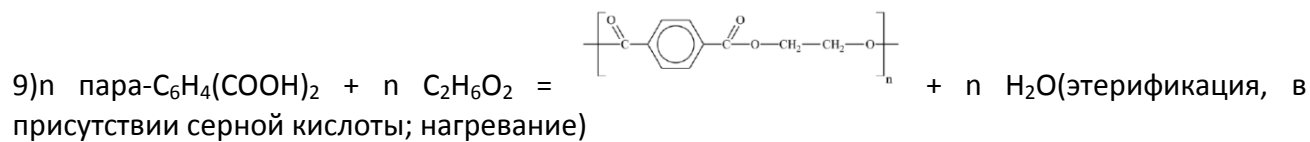
Одним из основных материалов для производства пластмассовых бутылок является полиэтилтерефталат:



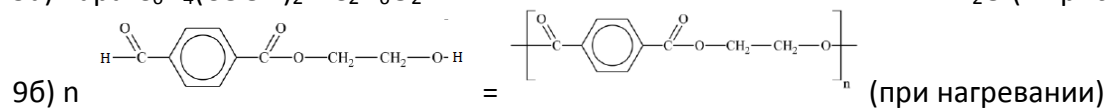
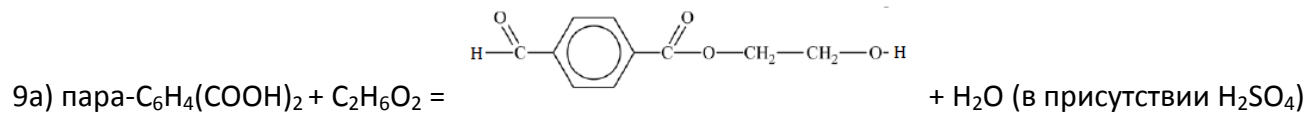
- Предложите методику синтеза ПЭТ из ацетилена, пропина и неорганических веществ. (10 баллов)
- Как данное соединение называлось в СССР? Откуда произошло это название? (3 балла)

Решение:

- 1) $\text{C}_3\text{H}_4 + \text{HBr} = \text{транс-С}_3\text{H}_5\text{Br}$ (Реакция протекает по механизму Хараша. Кат. – H_2O_2);
- 2) $2\text{C}_3\text{H}_5\text{Br} + 2\text{Na} = \text{C}_6\text{H}_{10} + 2\text{NaBr}$ (реакция Вюрца приведет к образованию транс,транс-2,4-гександиена);
- 3) $\text{C}_2\text{H}_2 + \text{Br}_2 = \text{C}_2\text{H}_2\text{Br}_2$;
- 4) $\text{C}_6\text{H}_{10} + \text{C}_2\text{H}_2\text{Br}_2 = \text{C}_8\text{H}_{12}\text{Br}_2$; (реакция Дильса-Альдера)
- 5) $\text{C}_8\text{H}_{12}\text{Br}_2 + 2\text{NaOH}_{(\text{спирт})} = \text{C}_8\text{H}_{10} + 2\text{NaBr} + 2\text{H}_2\text{O}$
- 6) $5\text{C}_8\text{H}_{10} + 12\text{KMnO}_4 + 18\text{H}_2\text{SO}_4 = 5\text{пара-С}_6\text{H}_4(\text{COOH})_2 + 6\text{K}_2\text{SO}_4 + 12\text{MnSO}_4 + 28\text{H}_2\text{O}$
- 7) $\text{C}_2\text{H}_2\text{Br}_2 + \text{H}_2 = \text{C}_2\text{H}_4\text{Br}_2$ (Никелевый или платиновый катализатор, температура);
- 8) $\text{C}_2\text{H}_4\text{Br}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 = \text{HO-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH} + \text{CaCl}_2$ (при нагревании)



Или (данную реакцию можно разбить на две):



Отечественное название – лавсан, лавсановые волокна. Произошло от названия Лаборатории Высокомолекулярных Соединений Академии Наук.

**Задания с решениями второго тура отборочного этапа
Олимпиады «Ломоносов» по инженерным наукам
10-11 классы**

Задача 1 (10 баллов).

Руда доставляется к доменной печи со склада в вагонетках. Чтобы снизить потери времени на простой вагонеток во время погрузки, предлагается засыпать руду в вагонетки на ходу. Считая, что скорость движения вагонеток при загрузке постоянна и равна v , найти дополнительную (по сравнению с перемещением пустых вагонеток) работу A , совершаемую двигателем электровоза, тянущего состав с вагонетками, к моменту времени, когда масса засыпанной руды есть m .

Решение:

Пусть засыпание руды массой m заняло время t . За это время импульс руды увеличился на величину $\Delta P = mv$. Это означает, что дополнительная сила, действующая на состав вагонеток для поддержания неизменной скорости v , равна $F = \Delta P/t = mv/t$. Следовательно, дополнительная мощность двигателя электровоза была равна $N = Fv = mv^2/t$, а совершенная работа $A = Nt = mv^2$. Эта величина в два раза превосходит изменение кинетической энергии руды; излишек работы пошел на увеличение внутренней энергии системы «руда + вагонетки» (т.е. на их нагрев).

Ответ: $A = mv^2$.

Задача 2 (11 баллов).

При аварийном завершении работы химического реактора выделилось большое количество неизвестного газа. Может ли этот газ быть пожароопасным, если известно, что для нагревания 200 г этого газа на 10 К при постоянном объеме требуется 1304 Дж, а при постоянном давлении – 1824 Дж?

Решение:

Поскольку разность молярных теплоемкостей при постоянном давлении C_p и постоянном объеме C_v равна $C_p - C_v = R$, где $R = 8.314$ Дж/(моль К) --- универсальная газовая постоянная, в указанной массе газа $m = 200$ г содержится $\nu = (Q_p - Q_v)/(R\Delta T) \approx 6.2545$ моля. Поэтому молярная масса газа есть $\mu = m/\nu \approx 31.98$ г/моль. Газ с такой молекулярной массой может быть кислородом, а атмосфера чистого кислорода является очень огнеопасной.

Ответ: Да, может.

Задача 3 (11 баллов).

Нужно сконструировать установку, источником напряжения в которой является цепочка из 50 одинаковых последовательно соединенных конденсаторов. Установка должна работать в жестких условиях, в которых возможно вытекание диэлектрика из конденсатора. Первоначально цепочка конденсаторов заряжена до суммарного напряжения $U = 100$ В. В каждом из конденсаторов диэлектриком является жидкость с диэлектрической проницаемостью ϵ . Жидкости с каким максимальным значением ϵ можно использовать в этих конденсаторах, если требуется, чтобы даже при одновременном вытекании диэлектрика из двух конденсаторов сразу изменение напряжения на цепочке не превышало 20 В?

Решение:

Ясно, что до вытекания жидкости напряжение на каждом из конденсаторов равно $V = U/50 = 2$ В. Поскольку емкость конденсатора пропорциональна ϵ , а заряд на конденсаторах при вытекании

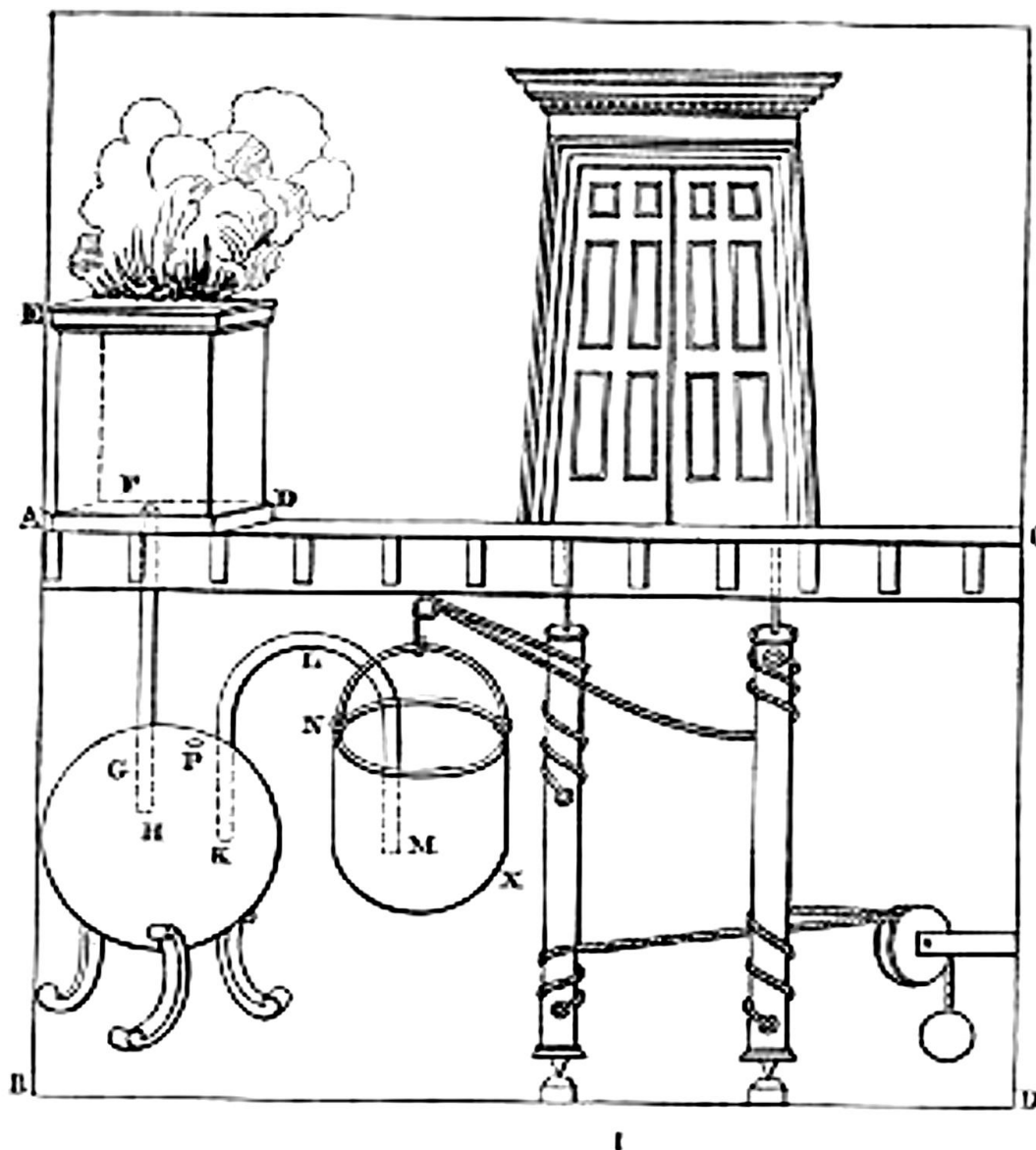
диэлектрика не меняется, после вытекания жидкости напряжение на конденсаторе становится равным ϵV , т.е. повышается на $(\epsilon-1)V$. Следовательно, если жидкость вытечет из двух конденсаторов одновременно, напряжение на всей цепочке увеличится на $\Delta U = 2(\epsilon-1)V$, откуда $\epsilon_{\text{макс}} = \Delta U/(2V) + 1 = 6$.

Ответ: 6.

Задача 4 (15 баллов).

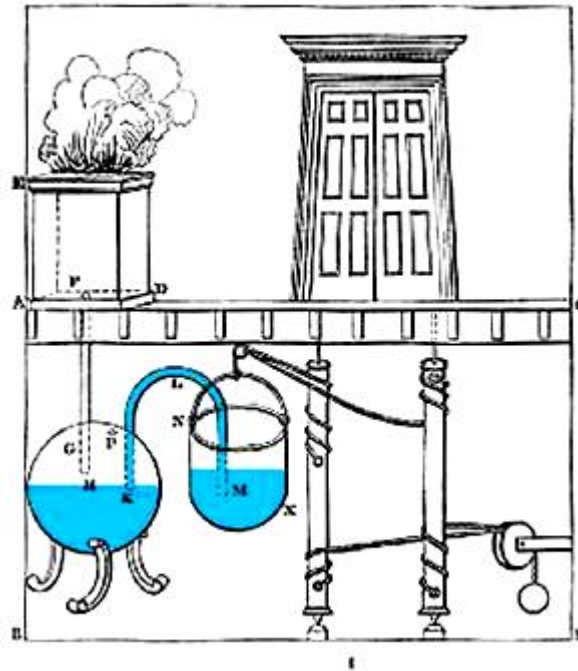
Древнегреческий механик Герон известен изобретением множества механизмов, опередивших свое время. В его книге «Πνευματικά» (Пневматика) описано устройство, названное «Деталь №37». Это механизм автоматических дверей, которые открываются, если на алтаре разжечь пламя. Оцените, какие по массе двери может открывать и закрывать такое устройство. Предложите свои идеи, как можно увеличить эффективность Детали №37, меняя ее конструкцию. Например, чтобы, сжигая одно и то же количество дров, удавалось открыть двери большей массы.

Значения всех необходимых для оценки величин выберите сами, исходя из своих знаний, опыта и здравого смысла. Можно пользоваться справочниками и данными сети Интернет.



Решение:

Для начала обсудим общие принципы, на которых функционирует представленный механизм. Описание этого устройства можно без особого труда найти в сети Интернет.



Для того, чтобы ворота открывались, необходимо, чтобы сосуды были частично заполнены водой, что отмечено синим цветом на рисунке.

Вначале, когда костер еще не разожжен, двери закрыты, поскольку вес подвижного сосуда с водой компенсируется противовесом (справа внизу на рисунке).

Постамент алтаря внутри полый, поэтому, после того как разгорелось пламя, воздух внутри разогревается. С ростом температуры давление воздуха также начинает расти. Шар и «ведро» представляют собой сообщающиеся сосуды, поэтому рост давления газа над шаром приводит к перетеканию воды в правый сосуд. Это приводит к нарушению баланса моментов сил, и, когда момент веса подвижного «ведра» с водой оказывается больше суммы моментов силы тяжести противовеса и силы трения, двери приходят в движение.

А теперь опишем модель, которую мы выбрали для решения задачи, т.е. для оценки значения массы дверей, которые можно будет открыть.

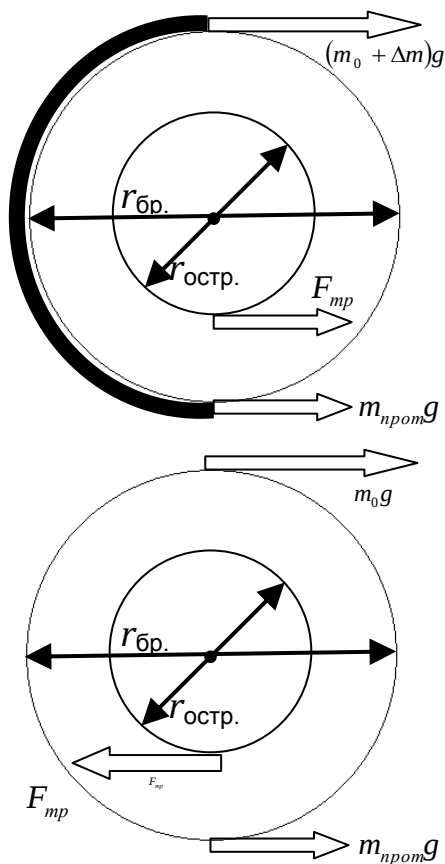
1. Канаты будем считать невесомыми и нерастяжимыми.
2. Воздух будем считать идеальным газом, т.е. его состояние подчиняется уравнению Менделеева - Клапейрона $pV = \nu RT$.
3. Массой «ведра» пренебрегаем по сравнению с массой заполняющей его воды.
4. Считаем, что закрытый сосуд и сообщающееся с атмосферой «ведро» представляют собой цилиндры с одной и той же площадью основания S .
5. Учитываем только силу трения, которая возникает между нижней заостренной частью бревна и основаниями, на которых стоят бревна; остальными силами сопротивления пренебрегаем.

Итак, начнем непосредственно решение.

Пусть Δm - критическая масса перетекшей жидкости, которая приводит к открыванию:

$(m_0 + \Delta m)gr_{\delta p} = 2M_{тр} + M_{прот}$, где m_0 - масса жидкости, которая была в правом сосуде до того, как разожгли пламя, $r_{\delta p}$ - радиус бревна, на котором закреплена дверь, $M_{тр}$ - момент сил трения

между бревном и опорой, $M_{\text{прот}}$ - момент силы тяжести противовеса. Модуль момента сил трения $M_{\text{тр}}$ можно оценить как произведение модуля силы трения $F_{\text{тр}}$ на радиус нижнего острия бревна $r_{\text{остр}}$.



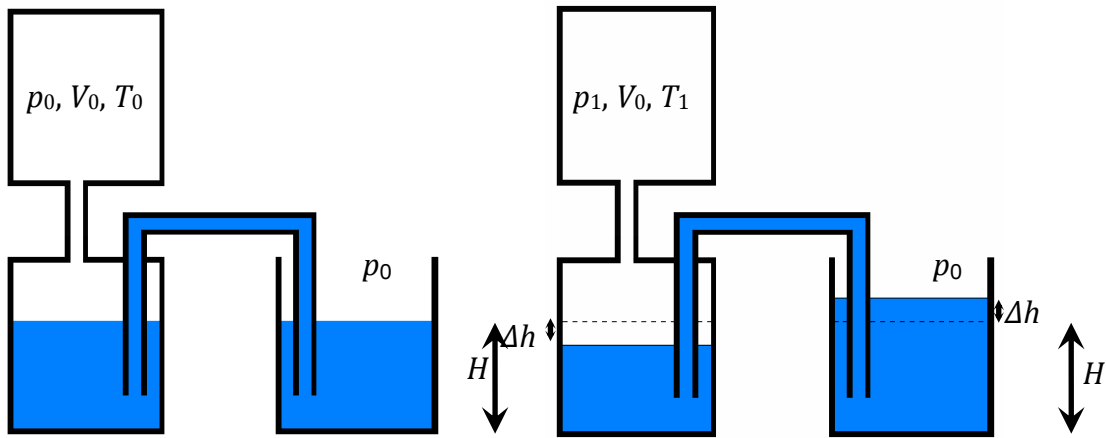
При обратном перетекании жидкости, когда двери закрываются после того, как пламя погасло и воздух остыл, противовес должен быть в состоянии преодолеть $2M_{\text{тр}}$ и $m_0gr_{\text{бp}}$

$$M_{\text{прот}} = 2M_{\text{тр}} + m_0gr_{\text{бp}} \Rightarrow \Delta mgr_{\text{бp}} = 4M_{\text{тр}}$$

В любой момент времени до начала открывания (второй сосуд еще не начал опускаться) $\Delta m = \rho S \Delta h$ (см. рисунок).

Пренебрежем изменением объема газа при нагреве (т.е. будем считать $S \Delta h$ много меньше чем V_0).

Тогда состояние газа описывается соотношением $\frac{p_0}{T_0} = \frac{p_1}{T_1}$, где p_0, T_0, p_1, T_1 - давление и температура газа соответственно до и после нагрева.



Из условия гидростатического равновесия:

$$p_1 + \rho g(H - \Delta h) = p_0 + \rho g(H + \Delta h)$$

$$p_1 - p_0 = 2\rho g\Delta h = \frac{2\rho g S \Delta h}{S} = \frac{2\Delta mg}{S}$$

Как мы уже определили ранее, $\Delta mg = \frac{4M_{тр}}{r_{бр}}$

$$p_1 - p_0 = \frac{8M_{тр}}{r_{бр} S}$$

$$p_0 \left(\frac{T_1}{T_0} - 1 \right) = \frac{8M_{тр}}{r_{бр} S}$$

Модуль момента сил трения можно оценить как $M_{тр} = \mu(m_{бревна} + m_{двери})gr_{остр}$

$$p_0 \left(\frac{T_1}{T_0} - 1 \right) = \frac{8\mu(m_{бревна} + m_{двери})gr_{остр}}{r_{бр} S}$$

Отсюда

$$m_{двери} = \frac{p_0 r_{бр} S \left(\frac{T_1}{T_0} - 1 \right)}{8\mu g r_{остр}} - m_{бревна}$$

Теперь подставим численные значения. Для начальной температуры воздуха возьмем $T_0 = 300$ К, а температуру разогретого пламенем воздуха в полости постаменты примем равной $T_1 = 450$ К; температура горящих дров может достигать $800-1000^\circ\text{C}$ (см., например, <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D0%B0%D0%BC%D1%8F>), но с учетом того, что большая часть тепла от пламени будет уходит вверх, а нам необходимо прогреть объем, расположенный под очагом горения, оценка в 450 К кажется нам более реалистической. Для оценки примем, что давление газа до разжигания пламени $p_0 = 10^5$ Па, радиус бревна в той части, где намотан канат, $r_{бр} = 20$ см = 0.2 м, а в той части, которой оно упирается в основание, $r_{остр} = 10$ см = 0.1 м, площадь сечения сосудов $S = \pi r^2 = \pi(0.3)^2 \approx 0.28 \text{ м}^2$, коэффициент трения между двумя деревянными поверхностями $\mu = 0.6$, ускорение свободного падения $g = 10 \text{ м/с}^2$.

Чтобы оценить массу бревна, на котором закреплена дверь, нам понадобится плотность дерева $\rho_{дерева} \approx 750 \text{ кг/м}^3$ и его объем (будем считать бревно цилиндром высотой 4 м)

$$V = Sh_{бревна} = \pi r_{бр}^2 h_{бревна} \approx 0.5 \text{ м}^3, \text{ тогда } m_{бревна} \approx 375 \text{ кг}.$$

Подставив все эти значения, получим, что $m_{\text{двери}} \approx 210 \text{ кг}$. Соответственно, две створки дверей весят примерно 420 кг.

Возможные улучшения:

1) можно переделать конструкцию так, чтобы объем воздуха располагался над пламенем, а не под ним; это позволит большей части тепла идти на нагрев воздуха;

2) можно увеличить площадь сечения подвижного сосуда по сравнению с неподвижным; тогда для того, чтобы получить нужную высоту столба жидкости, будет переливаться большее количество воды, что в итоге при прочих равных условиях позволит открывать двери большей массы.

Задача 5 (11 баллов).

«Цветная химия»

Юный химик-технолог Анатолий решил наглядно продемонстрировать своему другу Федору «цветную химию». Для этого он взял 20 мл 50%-ного раствора мунирита и добавил в него пару капель 20%-ного раствора купоросного масла. Пока он проверял готовность реагентов, Федор решил сам поэкспериментировать и насыпал в полученный Анатолием раствор немного порошка из стоящего поблизости бьюкса. Раствор стал синим (1). Попытавшись исправить положение, он, отлив про запас немного синего раствора в другую колбу, добавил еще растворенного в воде купоросного масла и порошка из бьюкса, но раствор стал зеленым (2). Вернувшийся Анатолий добавил к сохраненному Федором синему раствору немного едкого натра и показал своему другу выпавший грязно-зеленый осадок (3). Отложив осадок на просушку, друзья решили продолжить опыты и разлили зеленый раствор по двум колбам. К первой части они добавили порошок из бьюкса, в результате чего раствор стал фиолетовым (4). Ко второй части добавили едкий натр, результатом чего стало выпадение зеленого осадка (5). Добавив едкий натр к запасенному фиолетовому раствору, друзья получили коричневый осадок (6).

1. Напишите формулы всех описанных и полученных веществ и их цвет. (4 балла)
2. Напишите уравнения проведенных реакций. (3 балла)
3. Предложите способ использования написанных вами реакций в какой-либо области человеческой деятельности. (4 балла)

Решение:

Мунирит – NaVO_3 (метаванадат натрия, прозрачный практически бесцветный раствор).

Купоросное масло – концентрированная H_2SO_4 (серная кислота, вязкая прозрачная жидкость с коричневатым оттенком).

Едкий натр – NaOH (гидроксид натрия, натриевая щелочь, в сухом виде белые непрозрачные кристаллы).

В бьюксе хранился порошок цинка (серый порошок с тусклым металлическим блеском).

Синий цвет раствору (1) придает VO^{2+} (ванадил-ион).

Зеленый цвет раствору (2) придает V^{3+} .

Грязно-зеленый осадок в реакции (3) – $\text{VO}(\text{OH})_2$ (гидроксид ванадила).

Фиолетовый цвет раствору (4) придает V^{2+} .

Зеленый осадок в реакции (5) – $\text{V}(\text{OH})_3$ (гидроксид ванадия (III)).

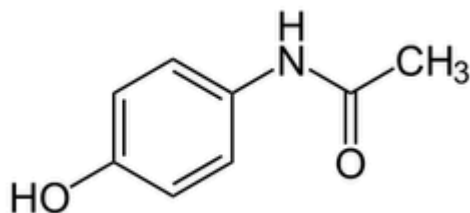
Коричневый осадок в реакции (6) – $\text{V}(\text{OH})_2$ (гидроксид ванадия (II)).

1. $2\text{NaVO}_3 + 4\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Zn} = 2\text{VOSO}_4$ (синий) + $\text{ZnSO}_4 + 4\text{H}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{SO}_4$
2. $2\text{VOSO}_4 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Zn} = \text{V}_2(\text{SO}_4)_3$ (зеленый) + $\text{ZnSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$
3. $\text{VOSO}_4 + 2\text{NaOH} = \text{VO}(\text{OH})_2 \downarrow$ (грязно-зеленый) + Na_2SO_4
4. $\text{V}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{Zn} = 2\text{VSO}_4$ (фиолетовый) + ZnSO_4
5. $\text{V}_2(\text{SO}_4)_3 + 6\text{NaOH} = 2\text{V}(\text{OH})_3 \downarrow$ (зеленый) + $3\text{Na}_2\text{SO}_4$
6. $\text{VSO}_4 + \text{NaOH} = \text{V}(\text{OH})_2 \downarrow$ (коричневый) + Na_2SO_4 .

Вопрос о способах использования данных реакций является творческим, поэтому единственно правильного ответа здесь нет. Одной из множества областей, в которых возможно использование данных реакций, является аналитическая химия - раздел химии, занимающийся вопросами изучения химического состава и структуры веществ. Например, можно использовать реакции 3,5, 6 для определения присутствия щелочи в анализируемом растворе.

Задача 6 (13 баллов).

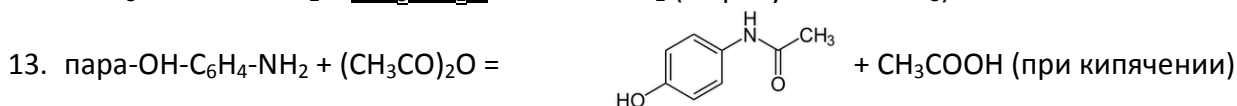
Парацетамол - широко известное лекарственное средство, [анальгетик](#) и [антипиретик](#) из группы [анилидов](#), которое можно найти в любой аптеке под тем или иным торговым названием.



1. Предложите последовательность химических реакций, позволяющих синтезировать данное средство из простых веществ, и укажите условия их проведения. Уравняйте реакции. **(8 баллов)**
2. Проанализируйте написанную Вами последовательность реакций. Как Вы думаете, имеет ли смысл использовать предложенный Вами способ для промышленного синтеза парацетамола и почему? **(5 баллов)**

Решение:

1. $C + 2H_2 = CH_4$ (при повышенном давлении, 400-500 °C и наличии Pt/Ni-катализатора или в пламени электрической дуги при 1200 °C)
2. $2CH_4 = C_2H_2 + 2H_2$ (пиролиз при 1500 °C)
3. $3C_2H_2 = C_6H_6$ (при 600 °C и наличии активированного угля в качестве катализатора)
4. $C_6H_6 + Cl_2 = C_6H_5Cl + HCl$ (при 80-85 °C в присутствии $FeCl_3$)
5. $C_6H_5Cl + HNO_3 = \text{пара-NO}_2\text{-C}_6\text{H}_4\text{-Cl} + H_2O$ (в нитрующей смеси при 40-70 °C)
6. $\text{пара-NO}_2\text{-C}_6\text{H}_4\text{-Cl} + NaOH = \text{пара-NO}_2\text{-C}_6\text{H}_4\text{-ONa} + HCl$ (при 170 °C и 0,8 МПа)
7. $\text{пара-NO}_2\text{-C}_6\text{H}_4\text{-ONa} + 3H_2 = \text{пара-NH}_2\text{-C}_6\text{H}_4\text{-ONa} + 2H_2O$ (в присутствии Fe и HCl)
8. $\text{пара-ONa-C}_6\text{H}_4\text{-NH}_2 + H_2O = \text{пара-OH-C}_6\text{H}_4\text{-NH}_2 + NaOH$ (в кислой среде)
9. $C + 0.5 O_2 = CO$ (сжигание в недостатке кислорода)
10. $CO + 2H_2 = CH_3OH$ (при 250 °C и 7 МПа в присутствии CrO и ZnO)
11. $CH_3OH + CO = CH_3COOH$ (при 250 °C и 20-70 МПа в присутствии CoI_2)
12. $2 CH_3COOH + COCl_2 = (CH_3CO)_2O + 2 HCl + CO_2$ (в присутствии $AlCl_3$)



В настоящий момент использовать разработанный способ в промышленности смысла не имеет, так как еще в 1877 году был известен способ получения парацетамола восстановлением p-нитрофенола оловом в ледяной уксусной кислоте. Такой способ гораздо проще с технической точки зрения, эффективнее и дешевле синтеза из простых веществ, так как не требует использования специфических катализаторов и реагентов, высоких давлений и температур.

Задача 7 (13 баллов).

Углепластик (называемый также карбоном или карбонопластиком) широко применяется в автомобилестроении и производстве спорттоваров. Он представляет собой материал, который состоит из основы в виде углеродных волокон и синтетической смолы, выполняющей роль

связующего. Одним из наиболее распространенных методов производства углепластика является наложение друг на друга слоев, каждый из которых состоит из выстроенных параллельно друг другу углеродных волокон. Слои кладутся таким образом, чтобы нити из близлежащих слоев не были параллельны друг другу. Далее полученная структура пропитывается синтетической смолой, которая затем полимеризуется, фиксируя нити и склеивая слои.

1. Рассчитайте приблизительно, какой процент материала (по объему) составляют углеродные волокна при следующих условиях производства:

используются волокна цилиндрической формы, диаметр волокна составляет 10 мкм;

углеродные нити кладутся строго друг на друга и не прерываются;

площадь одной ячейки, образуемой волокнами, составляет 25 мкм². **(9 баллов)**

2. Какие отсутствующие данные о структуре производимого материала могли бы повысить точность расчетов в предыдущем пункте? **(4 балла)**

Решение:

1. Рассмотрим два соседних слоя. Пусть расстояние между волокнами в первом слое равно x мкм, во втором – y мкм, угол между волокнами из разных слоёв равен α , $d = 10$ мкм – диаметр волокна. Тогда площадь ячейки равна $xy/\sin\alpha = 25$ мкм². В достаточно большом участке (с линейными размерами намного больше x и d) первого слоя объём волокон составляет $(\pi d^2/4)/d(x+d) = \pi d/4(x+d)$ от объёма слоя (делим объём волокна на объём окрестности волокна шириной $x/2$). Аналогично объём волокон второго слоя составляет $\pi d/4(y+d)$ от объёма слоя. Объём волокон двух слоёв составляет $(\pi d/4(x+d) + \pi d/4(y+d))/2 = (1/(x+d) + 1/(y+d))\pi d/8$ от объёма двух слоёв. С уменьшением x и y это значение увеличивается, поэтому максимальный удельный объём волокон равен $\pi/4$ и достигается при очень малых x и y , при этом $\sin\alpha = xy/25$, то есть волокна соседних слоёв почти параллельны друг другу.

С увеличением x и y удельный объём волокон уменьшается, поэтому наименьший удельный объём достигается при $xy = 25$ мкм² (так как $\sin\alpha \leq 1$). Нетрудно понять, что он достигается при $x=y=5$ мкм и равен $\pi d/4(5+d) = \pi/6$, при этом волокна соседних слоёв перпендикулярны друг другу.

Уменьшая x и y от 5 мкм до малых значений, можно получить любой удельный объём волокон от $\pi/6$ до $\pi/4$, при этом угол между волокнами соседних слоёв будет уменьшаться с уменьшением расстояния между волокнами в каждом слое.

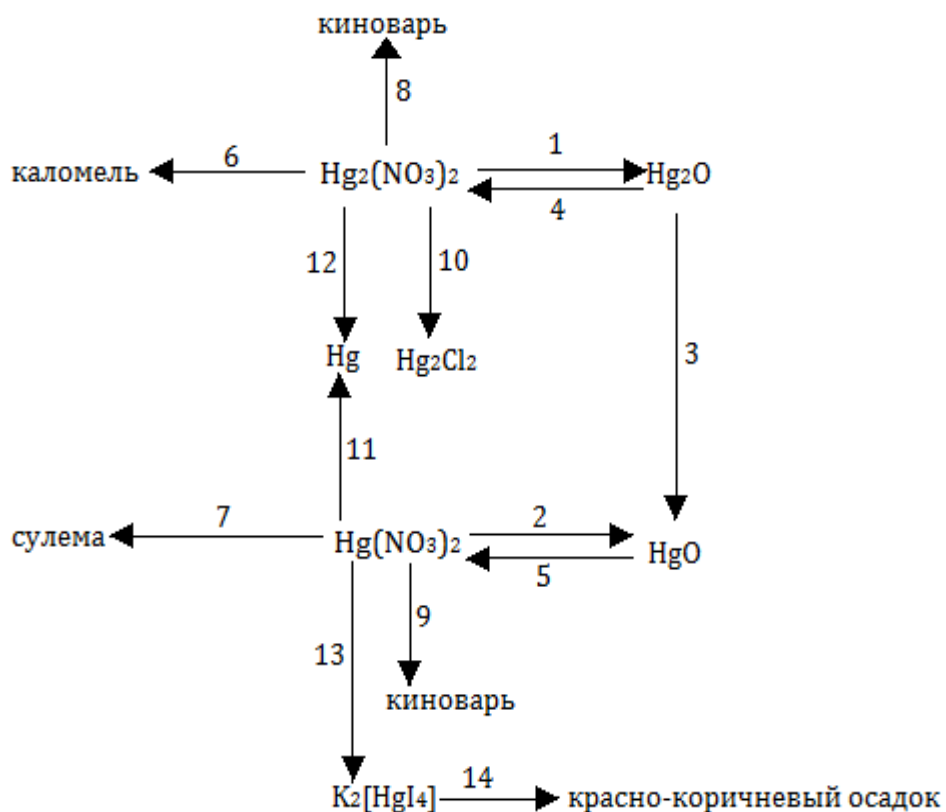
2. Из решения пункта 1 легко понять, какими данными можно уточнить расчёты. К примеру, удельный объём волокон в углепластике определяется точно, если считать расстояние между волокнами одинаковым для всех слоёв, а также зафиксировать угол между волокнами соседних слоёв.

Задача 8 (10 баллов).

Ртуть и ее соединения нашли чрезвычайно широкое применение в таких областях как техника, металлургия, сельское хозяйство, химическая промышленность и медицина.

1. Приведите не менее пяти примеров применения ртути и/или ее соединений в данных областях. **(3 балла)**

2. Напишите все уравнения химических реакций, соответствующих превращениям ртути, изображенным на схеме ниже. **(7 баллов)**



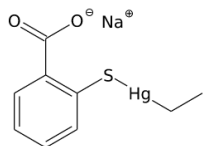
Решение:

Hg (в виде жидкости) – до сих пор используется в измерительных приборах (ртутных барометрах, термометрах и манометрах);

Hg (в виде паров) – используется как проводящая среда в газоразрядных лампах бытовых (излучающих в основном видимый свет - эти лампы называют также лампами дневного света) и медицинских (излучающих в основном ультрафиолет - эти лампы называют кварцевыми);

HgS (киноварь) – используется как фунгицид в строительстве и сельском хозяйстве;

$K_2[HgI_4]$ (тетраиодомеркурат (II) калия) – используется для приготовления реактива Несслера (водного раствора $K_2[HgI_4]$ и щелочи), который применяется для обнаружения присутствия аммонийных ионов в воде, в частности, для оценки ее пригодности для питья;



(тиомерсал) – используется в медицине как антисептик и как фунгицидное средство.

- $Hg_2(NO_3)_2 + 2NaOH = Hg_2O \downarrow + 2NaNO_3 + H_2O$
- $Hg(NO_3)_2 + 2NaOH = HgO \downarrow + 2NaNO_3 + H_2O$
- $Hg_2O = HgO + Hg$ (в щелочной среде)
- $Hg_2O + 2HNO_3 = Hg_2(NO_3)_2 + H_2O$
- $HgO + 2HNO_3_{\text{разбавл.}} = Hg(NO_3)_2 + H_2O$
- $Hg_2(NO_3)_2 + 2NaCl = Hg_2Cl_2 \downarrow + 2NaNO_3$

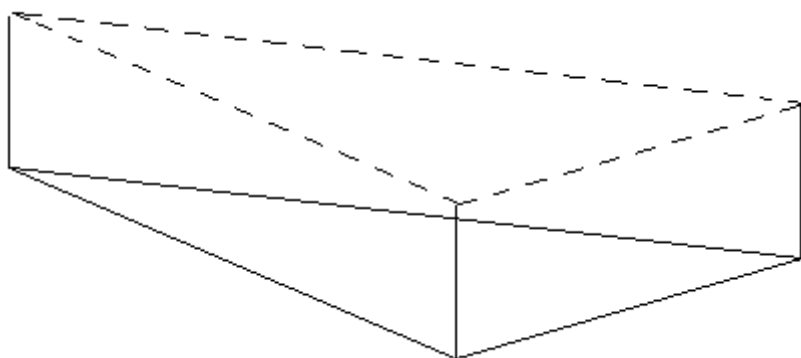
7. $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NaCl} = \text{HgCl}_2\downarrow + 2\text{NaNO}_3$
8. $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2 + \text{Na}_2\text{S} = \text{HgS}\downarrow + \text{Hg}\downarrow + 2\text{NaNO}_3$
9. $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 + \text{Na}_2\text{S} = \text{HgS}\downarrow + 2\text{NaNO}_3$
10. $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2 + 2\text{HCl} = \text{Hg}_2\text{Cl}_2\downarrow + 2\text{HNO}_3$ (при пониженной температуре)
11. $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 + \text{SnCl}_2 + 2\text{HCl} = \text{Hg}\downarrow + \text{SnCl}_4 + 2\text{HNO}_3$
12. $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2 + 2\text{KOH} = \text{HgO}\downarrow + \text{Hg}\downarrow + 2\text{KNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
13. $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 + 4\text{KI} = \text{K}_2[\text{HgI}_4]\downarrow + 2\text{KNO}_3$ (в избытке раствора йодида калия)
14. $2\text{K}_2[\text{HgI}_4] + 3\text{KOH} + \text{NH}_3 = [\text{Hg}_2\text{N}]\text{I}\cdot\text{H}_2\text{O}\downarrow + 7\text{KI} + 2\text{H}_2\text{O}$

**Задания с решениями первого тура отборочного этапа
Олимпиады «Ломоносов» по инженерным наукам
7-9 классы**

Задача 1 (10 баллов). Нарисуйте общий вид детали, имеющей такие проекции (очертания).



Решение. Возможно несколько вариантов. Например:



Задача 2 (5 баллов). Известно, что масса пустого контейнера из фторопласта внутренним объемом 4 л равна 880 г. Каков наружный объем этого контейнера, если плотность фторопласта равна 2200 кг/м³?

Решение.

$$V_{\text{наружн.}} = V_{\text{внутр.}} + V_{\text{фторопл.}}$$

$$V_{\text{фторопл.}} = m / \rho = 0.88 / 2200 = 4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$$

$$V_{\text{наружн.}} = 0.004 + 0.0004 = 0.0044 \text{ м}^3$$

Ответ: 4.4 л

Задача 3 (20 баллов). Совсем недавно завершился конкурс проектов по совершенствованию систем доставки тяжёлых грузов на поверхность Марса, организованный NASA. В этом конкурсе желающим (в первую очередь студентам ВУЗов) предлагалось найти свой способ безопасной посадки грузов массой 15-30 тонн на поверхность Марса. В качестве награды авторам лучших идей NASA выделит 6000 \$ и задействует их в работе по решению этой проблемы.

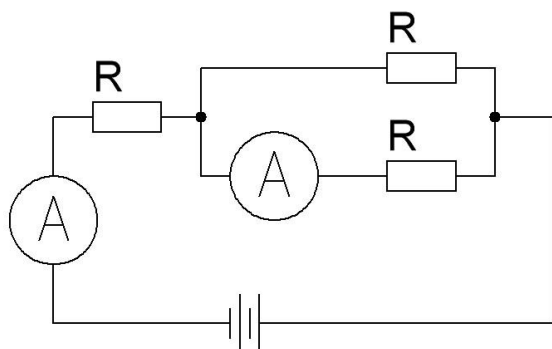
Предложите свои идеи, как можно осуществить такую посадку. Если у Вас будет несколько вариантов, сравните их и выберите лучший.

Приводим ссылки на материалы, которые помогут вам лучше разобраться в особенностях «красной» планеты.

http://vk.com/sci_one?w=wall-83013121_5755

<https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D1%80%D1%81>
<http://www.google.com/mars/>

Задача 4 (5 баллов). Имеется электрическая схема, состоящая из источника тока с напряжением U , трех резисторов сопротивлением R и двух амперметров (см. рисунок). В какую часть этой схемы необходимо добавить еще один резистор сопротивлением R , чтобы сумма показаний двух амперметров была наибольшей?



Задача 5 (10 баллов). Необходимо отапливать дом. Хозяин дома отправился на склад за дровами на автомобиле. В таблице приведены виды дров, имеющиеся на складе, и указаны характеристики древесины. Помогите найти дрова, которые позволят прогреть дом до наибольшей температуры, если в автомобиль помещается не больше 1 м^3 дров и одновременно не больше 660 кг.

Вид топлива	Теплотворность материала, МДж/кг	Плотность материала, кг/дм ³
Ясень	15	0,74
Клен	14,65	0,63
Берёза	15,35	0,65
Лиственница	15,5	0,58
Сосна	15,7	0,52
Ель	15,5	0,44

Задача 6 (3 балла). В науке и быту (для создания условий для длительного хранения продуктов) часто используется так называемый сухой лед – сжиженный и доведенный до твердого состояния углекислый газ. Юный экспериментатор Вася решил показать маме это интересное вещество. Для перемещения сухого льда Вася использовал термос, в который мама наливала ему чай. Как вы думаете, почему мама строго сказала Васе, что таким образом перемещать сухой лёд категорически запрещено?

Решение:

Поскольку сухой лед при нагревании будет интенсивно испаряться, хранить его в замкнутом термосе очень опасно, есть вероятность взрыва;

Задача 7 (6 баллов). При производстве износостойких деталей важно предусмотреть защиту детали от коррозии – самоокисления под воздействием агрессивной среды. Вам необходимо разработать антикоррозионный корпус для дорогой яхты. Предложите три разных метода сохранения деталей корпуса яхты от коррозии.

Решение:

- 1) Использование композитных углеродных материалов вместо устаревших металлических деталей корпуса;
- 2) Нанесение тонкого слоя хрома на стальную поверхность корпуса методом гальваностатического хромирования;
- 3) Использование сплавов с никелем или кобальтом вместо стального корпуса.

Также принимаются любые другие творческие ответы с рациональными мыслями.
(по 2 балла за каждое рациональное решение, максимум - 6)

Задача 8 (7 баллов).

В кулинарии широко используется слово «щепотка». Одна щепотка составляет 3 грамма.

- Сколько суммарно атомов содержит одна щепотка поваренной соли? (3 балла);
- Приведите примеры других солей (с точки зрения химии), используемых в кулинарии (2 балла);
- Приведите 3 примера использования поваренной соли в промышленности (2 балла).

Решение:

Количество вещества в 3 граммах будет $3/58,5=0,0513$ моль.

Количество атомов = $0,0513 * 6,022 \cdot 10^{23} = 3,1 \cdot 10^{22}$ молекул, $6,2 \cdot 10^{22}$ (в два раза больше атомов). Примеры других солей – KI, содержится в морской соли, Na_2CO_3 – сода и др. Засчитываются любые другие рациональные варианты с пояснениями.

Поваренная соль имеет бесчисленное количество применения в промышленности (для получения соды, хлора, соляной кислоты, гидроксида натрия, металлического натрия и др.

(1 балл за расчет количества вещества, 2 балла за расчет количества атомов, 2 балла за примеры солей в кулинарии и 2 балла за применение NaCl в промышленности).

Задача 9 (22 балла). На сегодняшний день наиболее распространена теория, согласно которой смесь X была изобретена в Китае и использовалась для нанесения тяжких повреждений армии врага. Согласно одной из Китайских летописей, смесь X получали путем смешивания шести частей серы и шести частей селитры на одну часть «кирказон», однако к XVII веку соотношение компонентов изменилось. Процесс производства X был опасен и приводил к тому, что «в результате возникали дым и пламя, так что их руки и лица были сожжены, и даже весь дом, где они работали, сгорал». Смесь X используется в военной промышленности и по сей день.

Смесь X при определённых условиях может выделять большое количество тепла с образованием веществ K_2S , N_2 и CO_2 . (I)

- Дайте историческое название смеси X (2 балла);
- Напишите схему реакции, описанной в I (4 балла), и уравняйте ее (5 баллов);
- Рассчитайте мольные (4 балла) и массовые (5 баллов) доли реагентов в уравнении из предыдущего пункта;
- Исходя из условий задачи, предположите, что такое кирказон (2 балла).

Решение:

Смесь X – порох, дымный порох. $2\text{KNO}_3 + 3\text{C} + \text{S} = \text{K}_2\text{S} + 3\text{CO}_2 + \text{N}_2$.

$M(2\text{KNO}_3)=280\text{г/моль}$

$M(3\text{C})=36\text{г/моль}$

$M(\text{S})=32\text{г/моль}$

$M(\text{смеси})=280+32+36=348\text{г/моль}$

Массовая доля $\text{KNO}_3 = 280 \cdot 100 / 348 = 80,5\%$

Массовая доля S = $32 \cdot 100 / 348 = 9,2\%$

Массовая доля C = $36 \cdot 100 / 348 = 10,3\%$

Кирказон – китайское растение, при его бескислородном сгорании образовывалась сажа, которая по сути и представляет собой углерод.

Задача 10 (12 баллов).

«Бывает ведь, - лицом цветок, а нутром - головешка черная»
(П. Бажов).

Сборник сказок Бажова назвали в честь одноименного природного минерала малахита, имеющего насыщенный зеленый окрас. Молярная масса малахита составляет 221 г/моль. Согласно практическому руководству по химии Карякина, малахит получается действием кислого углекислого натрия (NaHCO_3) на соли двухвалентной меди (CuSO_4). При нагревании до 200°C малахит чернеет.

- Напишите уравнение реакции получения малахита **(3 балла)**;
- Выскажите предположение о природе черного вещества, получающегося при нагревании малахита **(3 балла)**. Ответ подтвердите реакцией разложения **(4 балла)**;
- Со временем бронзовые вещи зеленеют. Предположите, чем может быть вызван данный процесс **(2 балла)**.

Решение:

Формула малахита $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$. Он же основной карбонат меди.

$\text{NaHCO}_3 + 2\text{CuSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} = (\text{CuOH})_2\text{CO}_3 + \text{NaHSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$. При нагревании малахита происходит его разложение с выделением оксида меди: $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3 = 2\text{CuO} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$;
Бронзовые вещи могут зеленеть за счет образования тонкого слоя малахита

Задания с решениями заключительного этапа Олимпиады «Ломоносов» по инженерным наукам 10-11 классы

Задача 1 (30 баллов). Мы с вами живём в мире, электронное строение атомов в котором описывается следующим набором квантовых чисел:

$n = 1, 2, 3, \dots$ - определяет номер периода в Периодической системе элементов

$l = 0, 1, 2, \dots (n - 1)$ – определяет форму электронной орбитали (s,p,d,f)

$m_l = -2, -1, 0, +1, +2, \dots (-l \dots 0 \dots +l)$ – возможные значения m_l определяют количество орбиталей

$m_s = \pm \frac{1}{2}$ - возможные значения m_s определяют то, сколько электронов может быть на каждой орбитали.

В параллельной вселенной эти правила нарушены и имеются следующие изменения

$n = 1, 2, 3, \dots$

$l = 0, 1, 2, \dots (n - 1)$

$m_l = 0, +1, +2, \dots (0 \dots +l)$

$m_s = \pm \frac{1}{2}$

Нарисуйте первые три периода Периодической таблицы для этой вселенной, если основные закономерности заполнения электронных уровней сохранены. Последовательность элементов в периодической таблице этой вселенной такая же, как и на Земле (H, He, Li...). Последняя группа в новой таблице - инертные газы, предпоследняя – галогены, первая – щелочные металлы. Атом второго периода, имеющий возможность организовать максимальное количество ковалентных связей – аналог «Земного» углерода, справа от него – аналог «Земного» кислорода.

На основе этих данных и полученной периодической таблицы, ответьте на следующие вопросы:

А) чем умываются обитатели этой вселенной?

Б) чем они солят свою еду?

В) что не должен пить обитатель этой вселенной, если после этого ему нужно сесть за штурвал космолёта?

Г) Какой атом будет иметь максимальную степень окисления и чему она будет равна?

Решение: Ввиду того, что квантовое число m_l будет иметь урезанный набор значений, то в параллельной вселенной будет одна s-орбиталь, две p-орбитали, три d-орбитали и т.д.

Поскольку остальные квантовые числа останутся без изменений, то первый период останется без изменений. Второй и третий периоды будут содержать по 6 атомов (2s и 4p –элементы).

Таблица примет следующий вид:

H					He
Li	Be	B	C	N	O
F	Ne	Na	Mg	Al	Si

Наибольшее количество ковалентных связей может образовать элемент, образующий 3 связи – В. Тогда, согласно условиям, аналогом кислорода будет С.

(А) Поскольку атом водорода и его положение останется без изменений, умываться инопланетяне будут H_2C .

(Б) Аналогом поваренной соли (NaCl) будет являться FAl.

(В) Поскольку вся “органическая” химия в данной вселенной будет построена на боре, то аналогом нашего этилового спирта будет соединение $BH_2-BH-CH$.

(Г) Максимальной степенью окисления будет являться (+5). Она будет проявляться по аналогу с хлорной (бромной) кислотой $HClO_4$ у соединения HNC_3 .

Задача 2 (30 баллов). Для очистки кремния от примесей инженер решил воспользоваться методом зонной плавки. Метод заключается в следующем: очищаемый образец перемещают относительно нагревательного элемента, который создает узкую зону расплава в образце. Большая часть примесей остаётся в расплаве, перемещаясь по образцу. Таким образом происходит разделение примесей и Si. Предложите схему устройства для зонной плавки. Каким критериям должны соответствовать установка и образец для наиболее эффективной очистки? Рассмотрите такие критерии как: а) форма и размер образца; б) крепление образца; в) форма нагревательного элемента; г) в какой среде необходимо проводить данный процесс. Как можно повысить степень очистки образца?

Решение: схема такого устройства (рисунок 1) обязательно должна содержать крепление, к которому горизонтально или вертикально будет присоединен образец кремния, или подложку (6). Образец должен иметь возможность перемещаться. Также устройство должно содержать одну или несколько нагревательных зон (1), на ней должен быть показан ток газов (вакуумирование), а также может быть показано распределение примесей (2,3,4,5).

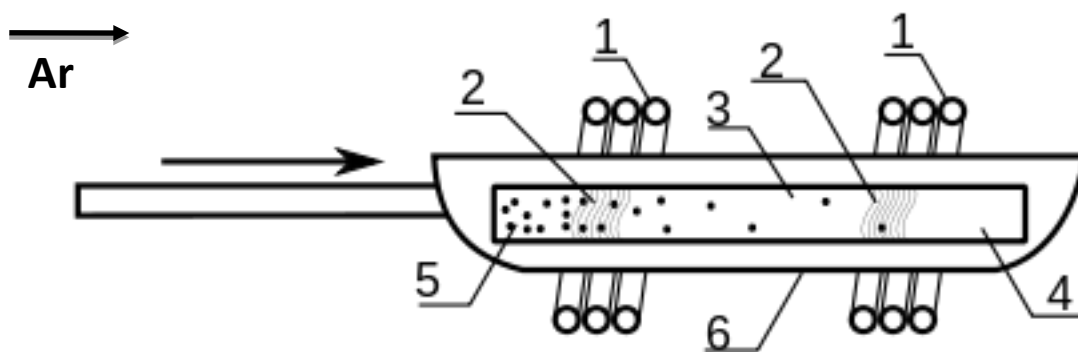


Рисунок 1. Устройство для очистки кремния методом зонной плавки.

Что касается критериев, то

А) Для наиболее эффективного расплавления отдельных участков материала необходимо, чтобы образец был достаточно правильной формы, длина образца должна существенно превышать толщину, наиболее распространенная форма образца – цилиндрическая.

Б) Крепление образца должно быть устойчивым к нагреванию до температуры плавления кремния. Также крепление должно быть инертно по отношению к кремнию даже при высоких температурах.

В) нагревательный элемент должен равномерно прогревать образец – для цилиндрического образца наиболее эффективной является форма кольца, внутри которого мы будем перемещать наш цилиндрический образец.

Г) для предотвращения протекания реакции окисления поверхности образца при нагревании из приборной камеры, в которой находится образец, должен быть выкачан воздух или же в ней должна быть создана инертная атмосфера.

Для повышения эффективности очистки процедуру лучше повторить несколько раз.

Задача 3 (25 баллов). Юные техники сконструировали экологически чистую химическую пушку, которая представляет собой камеру сгорания с затвором и ядром (см. рис.)
В качестве топлива решили взять «сухой спирт» - уротропин, который туристы используют как топливо и который при сгорании не образует сажи. Сколько стоит порция уротропина для одного выстрела из такой пушки?

Химическая пушка

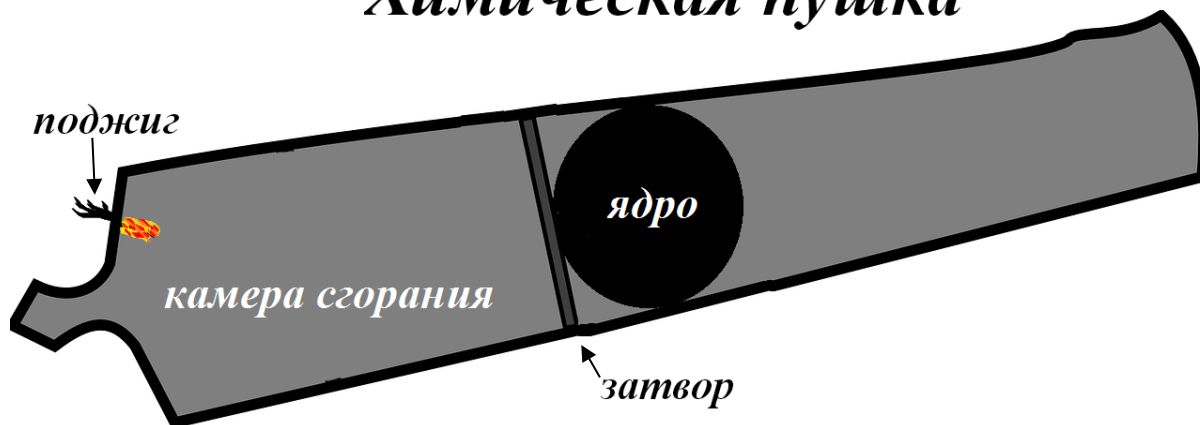


Рис. Принципиальная схема химической пушки.

Для расчёта используйте следующие данные:

1. Брутто-формула уротропина $C_6H_{12}N_4$;
2. Горение происходит в воздушной атмосфере;
3. Считать, что воздух состоит только из кислорода (20%) и азота (80%);
4. Уротропин и кислород в камере сгорания пушки расходуются полностью;
5. Температура газовой смеси в камере после сгорания уротропина составляет $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$;
6. Объём камеры сгорания составляет 100 см^3 ;
7. Давление, создаваемое в камере сгорания в момент выстрела равно 70 атм .
8. Стоимость уротропина составляет 100 рублей за 1 килограмм .

Решение: Для начала нужно определить, какую массу уротропина необходимо использовать для одного выстрела.

Запишем уравнение реакции сгорания уротропина:



Пусть искомая масса уротропина равна $m_{\text{ур.}}$. Тогда количество вещества уротропина равно

$\nu_{\text{ур.}} = \frac{m_{\text{ур.}}}{M_{\text{ур.}}}$ моль, где $M_{\text{ур.}}$ — его молярная масса, равная 140 г/моль . Из такого количества

уротропина получится $6\nu_{\text{ур.}}$ моль CO_2 , $6\nu_{\text{ур.}}$ моль H_2O , $2\nu_{\text{ур.}}$ моль N_2

Коэффициент перед кислородом в уравнении реакции равен 9, значит у нас ещё имеется $9 \cdot 4$ (из состава воздуха) дополнительного азота из воздуха, который в реакции не участвовал.

Количество этого азота равно $36\nu_{\text{ур.}}$.

Каждый из получившихся в ходе реакции газов, вместе с оставшимся из воздуха азотом будет вносить свой вклад в полное давление, которое можно найти из закона Дальтона:

$$p = p_{CO_2} + p_{H_2O} + p_{N_2} + p_{N_2(\text{воздух})}$$

Каждое из этих давлений можно выразить через уравнение Менделеева – Клапейрона. Тогда получим:

$p = \frac{RT}{V}(v_{CO_2} + v_{H_2O} + v_{N_2} + v_{N_2(воздух)}),$ поскольку температура и занимаемый объем для всех газов одни и те же.

$$p = \frac{RT}{V}(6v_{ур.} + 6v_{ур.} + 2v_{ур.} + 36v_{ур.}) = 50 \frac{RT}{V} v_{ур.} = 50 \frac{RT}{V} \frac{m_{ур.}}{M_{ур.}}$$

Выразим из этого выражения $m_{ур.}$

$$m_{ур.} = \frac{pVM_{ур.}}{50RT} = \frac{70 \cdot 10^5 \text{ Па} \cdot 140 \frac{\text{м}^3}{\text{моль}} \cdot 10^{-4}}{50 \cdot 8.31 \frac{\text{Па} \cdot \text{м}^3}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 2300 \text{ К}} \approx 0,12$$

Таким образом, получается, что на один выстрел из химической пушки потребляется 0.1 граммов уротропина. Определим стоимость такой массы вещества.

$$Q = m_{ур.} \frac{100 \text{ рублей}}{1000 \text{ граммов}} = 0,01 \text{ рублей} = 1 \text{ копейка}$$

Ответ: один выстрел из экологически чистой химической пушки на уротропине стоит 1 копейку.

Задача 4 (15 баллов). Конструктору радиоэлектронной аппаратуры требуется обеспечить прохождение постоянного тока не менее $I = 2 \text{ А}$ через нагрузку, сопротивление которой равно $R = 2 \text{ Ом}$. У него есть неограниченное количество дешевых источников тока S с ЭДС $E = 1 \text{ В}$ и внутренним сопротивлением $r = 1 \text{ Ом}$. Предложите схему соединения таких источников тока, которая позволит добиться нужного тока через нагрузку.

Решение. Если соединить параллельно m источников тока S , то получится источник тока S_1 с той же ЭДС $E_1 = E = 1 \text{ В}$ и внутренним сопротивлением $r_1 = r/m$. Если теперь соединить последовательно n источников тока S_1 то получится источник тока S_2 с ЭДС $E_2 = nE$ и внутренним сопротивлением $r_2 = nr_1$. При замыкании такого источника на нагрузку с сопротивлением R в цепи потечет ток $I = E_2/(r_2 + R) = nE/(nr/m + R) = E/(r/m + R/n)$. Отсюда видно, что при достаточно больших n и m ток I может быть сделан сколь угодно большим; в частности, при $m = 2$, $n = 4$ получаем $I = 2 \text{ А}$.

Задания с решениями заключительного этапа Олимпиады «Ломоносов» по инженерным наукам 7-9 классы

Задача 1 (30 баллов). На рычажные неравноплечные весы (рис. А) подвешены два невесомых сосуда при н.у. В первый сосуд налито 50 г раствора соляной кислоты, а во второй – 20 г того же раствора. Затем в первый и во второй сосуды были добавлены карбонат кальция и сульфат меди (II) соответственно, так, что весы пришли в равновесие (рис. Б), после чего началась химическая реакция.

1. Напишите уравнения реакций, протекающих в первом и во втором сосудах.
2. Что произойдёт с весами через некоторое время?
3. Сколько граммов карбоната кальция и сульфата меди (II) добавили в первый и во второй сосуды соответственно, если при протекании реакции выделилось 1,12 л газа?

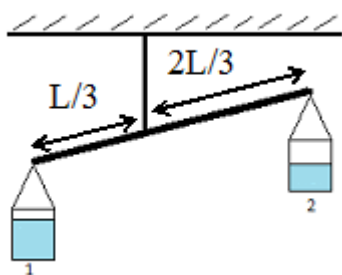


Рис. А.
Неуравновешенные весы

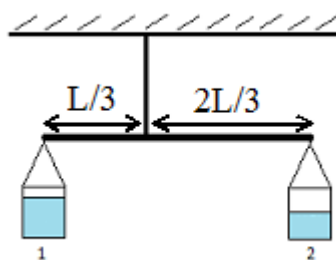
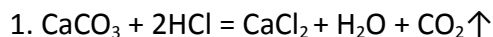


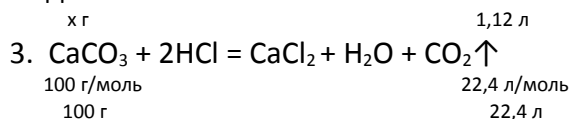
Рис. Б.
Уравновешенные весы

Решение:



$\text{CuSO}_4 + \text{HCl}$ – реакция невозможна, т.к. условием для протекания реакции обмена является образование газа, слабого электролита или осадка.

2. Весы отклонятся в сторону второго сосуда, т.к. в первом сосуде протекает реакция с выделением газа.



$$m(\text{CaCO}_3) = x = 100 \text{ г} \cdot 1,12 \text{ л} / 22,4 \text{ л} = 5 \text{ г}$$

$$F_1 L/3 = 2F_2 L/3$$

F_1 и F_2 – силы тяжести, действующие на первый и второй сосуды соответственно

$$F_1 = 2F_2$$

$$(m(\text{CaCO}_3) + m_1(\text{HCl}))g = 2(m(\text{CuSO}_4) + m_2(\text{HCl}))g$$

$$m(\text{CuSO}_4) = (m(\text{CaCO}_3) + m_1(\text{HCl}) - 2m_2(\text{HCl}))/2$$

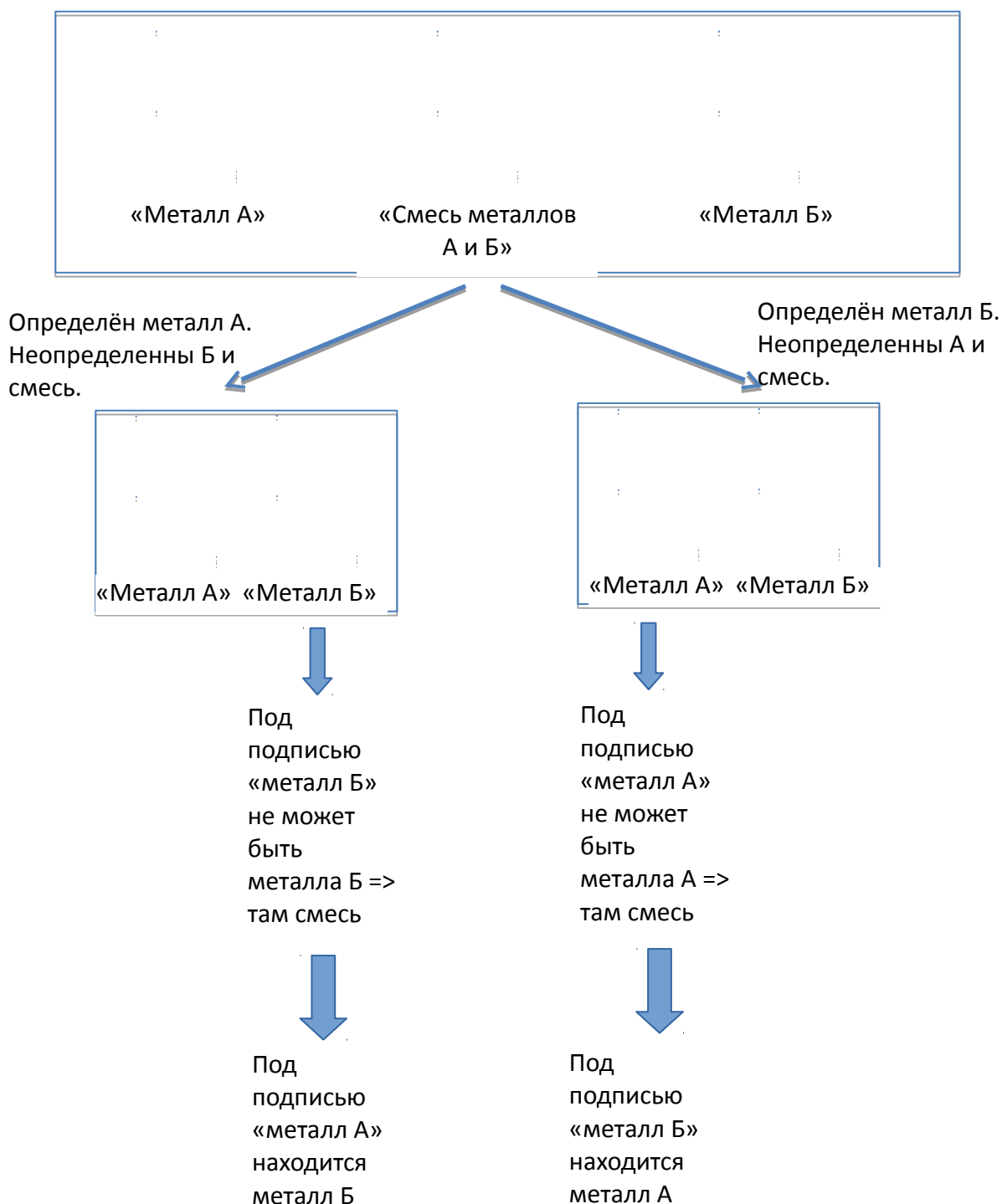
$$m(\text{CuSO}_4) = (5 \text{ г} + 50 \text{ г} - 40 \text{ г})/2 = 7,5 \text{ г}$$

Задача 2 (20 баллов). Метод рентгеновской дифракции позволяет безошибочно определить фазовый состав смеси. Представьте, что у вас есть три одинаковых на вид пробы с веществами: в первой пробе находится металл А, во второй – металл Б, а в третьей пробе – смесь этих металлов. К сожалению, юный экспериментатор перепутал подписи к этим образцам так, что ни на одной пробе не оказалось правильной подписи. Ввиду большой стоимости, вы можете произвести анализ только одной пробы. Как нужно действовать, чтобы

определить, в какой из этих проб находится смесь металлов А и Б?

Решение:

Один из вариантов решения: проведём анализ того образца, на котором написано «смесь металлов А и Б». Тогда, поскольку все подписи перепутаны, там будет находиться или проба с металлом А, или проба с металлом Б. Пусть анализом был определён металл А. На оставшихся образцах будет написано «металл А» и «металл Б». Поскольку мы точно определили местонахождение металла А и под подписью «металл Б» не может находиться металл Б, под подписью «металл Б» может быть только смесь металлов, откуда следует, что под подписью «металл А» будет находиться металл Б. Если был определён металл Б, то, по аналогии, получаем под подписью «металл А» смесь металлов, а под подписью «металл Б» металл А.



Задача 3 (20 баллов). Во многих учебниках описывается опыт по выращиванию кристаллов соли. За счет каких явлений, по Вашему мнению, растёт кристалл? Почему кристаллы не растворяются в растворе, из которого они выросли? Что нужно сделать, чтобы выросшие кристаллы растворились?

Назовите вещества, которые позволят вам вырастить кристаллы соли определенного цвета, и сформулируйте критерии, по которым можно решать, подойдёт ли то или иное вещество для подобного опыта.

Решение: Все вещества состоят из мельчайших частиц. Многие из веществ растворимы в воде, что доказывается многочисленными опытами. Поваренная соль, будучи веществом, также состоит из мельчайших частиц. Соль растворяется в воде, т.е. распадается на эти мельчайшие частицы после попадания в воду.

Важное явление, за счет которого растёт кристалл, это явление диффузии. Это явление позволяет всё новой и новой растворённой в воде соли поступать к кристаллику вместо той, которая ушла из раствора, присоединившись к растущему кристаллу.

Теперь обозначим условие «выпадения» соли из воды, которое объясняет, почему растущий кристаллик не растворяется в том растворе, из которого он растёт. В воде можно растворить не больше чем определённое количество соли. Таким образом можно получить так называемый «насыщенный» раствор. В результате постепенного испарения воды, её количество уменьшается, а соли остаётся столько же. Тогда в ней оказывается «слишком много» растворённой соли, что и приводит к её «выпадению» на уже имеющихся поверхностях (заранее внесённый кристалл, стенки сосуда, соринка и т.п.)

Вторым способом выращивания кристалла из раствора является понижение температуры, поскольку растворимость вещества при различных температурах отличается. Так, растворив максимально возможное количество соли в горячей воде, можно при остывании получить возможность для роста кристаллов.

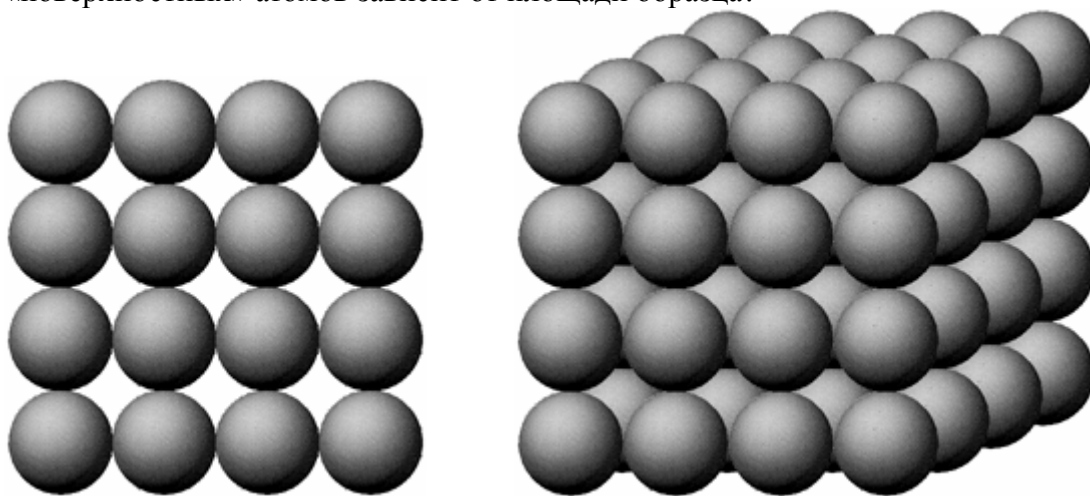
Для того, чтобы растущий кристаллик мог снова раствориться, необходимо либо нагреть раствор - тогда большее количество соли сможет содержаться в нём, либо долить ещё воды, так как в большем количестве воды может раствориться большее количество соли.

Существует несколько различных способов получения цветных кристаллов. Поскольку в задаче не оговорены специальные условия, самым простым способом «окраски» является банальное добавление в раствор соли известных красителей (например, раствора бриллиантового зелёного) или же обыкновенных красок. Несколько более «химическими» являются способы как добавления к раствору соли «окрашенных ионов», так и получение кристаллов из окрашенных в тот или иной цвет солей. В качестве окрашивающих ионов можно использовать любые ионы, дающие цвета (см. табл. 1). Солями, известными школьнику и из которых нетрудно вырастить цветные кристаллы, являются $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (медный купорос), $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$ (малахит), KMnO_4 (перманганат калия (марганцовка)). К ответу принимаются также и другие кристаллические вещества, имеющие окраску.

Таблица 1

Ион	Cu^{2+}	Co^{2+}	Ni^{2+}	Fe^{3+}
Цвет	синий	розовый	зелёный	жёлтый

Задача 4 (30 баллов). Нужно разработать новый материал для применений, в которых важную роль играют физико-химические процессы, происходящие на поверхности тела. В обычных условиях твёрдые тела состоят из очень плотно расположенных атомов; если грубо представлять себе атом в виде шарика, то можно считать, что расстояние между центрами соседних шаров равно их диаметру, т.е. шары соприкасаются друг с другом (см. рисунок). Поскольку нас интересуют процессы на поверхности материала, интересно сравнить число поверхностных и внутренних атомов. Рассмотрите два образца, изготовленных из нового материала в форме куба: один состоит из 1000 атомов (по 10 атомов вдоль каждого ребра куба), а другой – из 10^9 атомов. Оцените долю поверхностных атомов (т.е. отношение числа поверхностных атомов к полному числу атомов в образце) в этих кубиках и сравните их. Какой вывод можно сделать о зависимости доли поверхностных атомов от объема образца? Рассмотрите также гипотетический двумерный материал, т.е. вещество, состоящее из одного плоского слоя атомов (в этом случае «поверхностными» надо считать атомы, расположенные по периметру образца, т.е. лежащие на его границе). Как в этом случае доля «поверхностных» атомов зависит от площади образца?



Решение. Если вдоль ребра куба укладывается N атомов, то всего в кубе N^3 атомов, а на его поверхности $6N^2$ атомов (у куба есть 6 граней, на каждой из которых находится N^2 атомов; при таком простом подсчете атомы, лежащие на ребрах куба учитываются дважды, а атомы, расположенные в вершинах куба – даже трижды, но при больших N это не вносит заметной ошибки; точное число поверхностных атомов есть $N^3 - (N-2)^3 = 6N^2 - 12N + 8$). Поэтому доля поверхностных атомов есть $f = 6/N = 6/M^{1/3}$, где $M = N^3$ – полное число атомов в кубике. Тогда для f получаем 0.6 для первого кубика (точный ответ – 0.488) и 0.006 для второго. Поскольку объем образца V пропорционален числу атомов в нем, доля поверхностных атомов оказывается обратно пропорциональной кубическому корню из объема: $f \sim 1/V^{1/3}$. В двумерном случае число «поверхностных» атомов в квадрате при больших N приблизительно равно $4N$, так что их доля равна $f = 4/N = 4/M^{1/2} \sim 1/S^{1/2}$, где S – площадь образца.