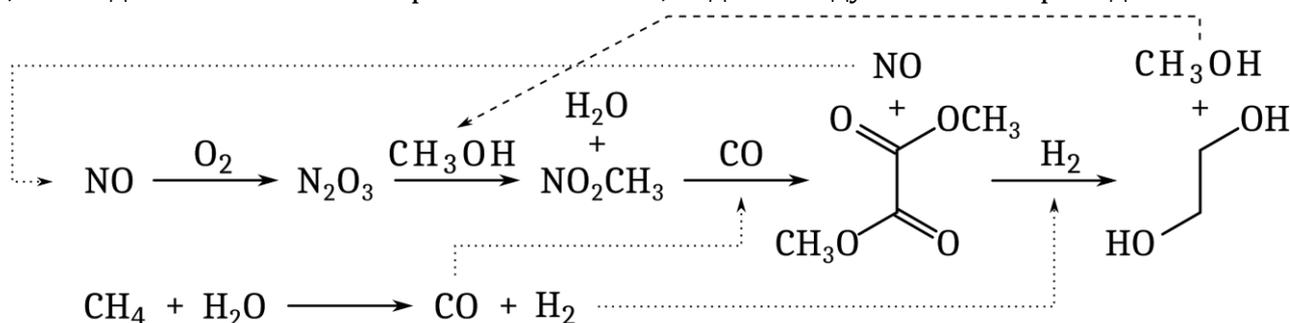


ОТКРЫТЫЕ СОРЕВНОВАНИЯ ПО РЕШЕНИЮ ХИМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ
Младшая группа (9 и 10 класс)
 3 октября 2020

Задача 1. Этиленгликоль из диоксида углерода (7 б)

1,2-этанediол можно синтезировать из метана, воды и воздуха по нижеприведенной схеме.



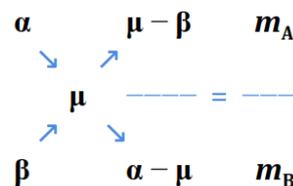
а) Напиши уравнения реакций, отмеченные сплошной стрелкой. (5)

б) Напиши суммарное уравнение реакции. (2)

Задача 2. Квадрат Пирсона (10 б)

Квадрат Пирсона – это простой и быстрый метод для приготовления раствора определенной концентрации из двух растворов с различной концентрацией.

Жили были два гарсона, которые готовили чай каркаде из цветков гибискуса. Первый заварил чай в заварнике А, а второй – в В. Когда чай был готов, стали они разливать его по чашкам М и N так, что в чашке М оказалось 150 г чая из заварника А и 50 г чая из заварника В, а в чашке N – 100 г чая из заварника А и 100 г чая из заварника В.



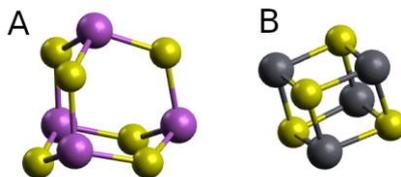
а) Используя квадрат Пирсона, рассчитай процентное содержание гибискуса по массе в чашках А и В, если процентное содержания гибискуса по массе в чашке М было 2,43%, а в чашке N – 2,01%. *Примечание: Пусть α и β – это процентное содержание гибискуса в чайниках А и В, μ – это процентное содержание гибискуса в кружке М. Допустим, что α > μ > β, тогда α, β и μ связаны между собой через квадрат Пирсона следующим образом: $m_A/m_B = (\mu - \beta)/(\alpha - \mu)$.* (4)

Далее гарсоны мыли заварники водой из-под крана. Процесс мытья происходил следующим образом: заварник, на дне которого оставалось немного чая, наполнили водой до краев и опустошили. После этого на дне оставалось немного разбавленного чая. Затем заварник снова так же наполнили и опустошили.

б) Одним из природных пигментов, придающих гибискусу его характерный красный цвет, является антациан цианидин. Это соединение ведет себя как индикатор, поскольку цвет его зависит от концентрации ионов водорода ($[H^+]$, моль/дм³). При $[H^+] > 10^{-3}$ моль/дм³ цвет красный. Если 10^{-6} моль/дм³ > $[H^+] > 10^{-8}$ моль/дм³, то цвет фиолетовый. А при $[H^+] < 10^{-8}$ моль/дм³ цвет сине-зеленый. Используя квадрат Пирсона, рассчитай концентрацию ионов водорода $[H^+]$ (моль/дм³), а также оцени цвет раствора после **i)** первого и **ii)** второго наполнения до краев чайника водой из-под крана ($[H^+]$ водопроводной воды = 10^{-9} моль/дм³). Концентрация ионов водорода в чае на дне заварника перед мытьем $[H^+] = 0,2 \cdot 10^{-3}$ моль/дм³. Предположи, что $[H^+]$ изменяется только в результате смешивания растворов. Объем чайника равен 480 см³, а на дне всегда остается 0,60 см³ жидкости. (6)

Задача 3. Минеральный «снег» (10 б)

На планете 金星 вершины гор покрыты «снегом» минерального состава. Среди прочего в испарениях, образующих «снег», присутствуют сульфиды **A** и **B**, содержащие элементы **X** и **Y** соответственно. Эти сульфиды представлены гипотетическими молекулами, структуры которых приведены ниже. При соединении сульфидов **A** и **B** могут образовываться различные «снежные» минералы (смешанные сульфиды), точный элементарный состав которых зависит от давления, при котором данный минерал образуется. Поэтому, состав «снега» зависит от высоты горной вершины.



- Определи степени окисления металлов **X** и **Y** в сульфидах **A** и **B**. (2)
- Определи элементы **X** и **Y**, если известно, что оба элемента располагаются в 6-ом периоде периодической системы, разность их атомных масс равна 1,8 а.е.м., а атомный номер **X** на единицу больше, чем у элемента **Y**. (2)
- Определи при помощи расчётов формулы «снежных» минералов с содержанием серы 15,61%, 16,15% и 17,02% по массе. (4)
- Опиши особенности строения молекул **A** и **B** обуславливающие их летучесть. (2)

Задача 4. Состав земной коры (14 б)

Наиболее распространенными в земной коре элементами по массе являются O, Si, Al, Na, Ca, Fe, Mg, K и Ti. В земной коре элементы существуют в виде оксидов, многочисленные комбинации которых обуславливают многообразие минералов. Пусть $N(E)$ – это количество атомов элемента **E** в пересчете на тысячу атомов в земной коре и $\%(E_xO_y)$ – процентное содержание соответствующего оксида элемента **E** в земной коре по массе.

Элемент	$N(E)$	$\%(E_xO_y)$
O	?	—
Si	?	56,90
Al	?	18,16
Na	33	?
Ca	?	5,78
Fe	?	?
Mg	18	3,40
K	?	3,09
Ti	2	0,75

- Напиши по одной формуле **i**) амфотерного, **ii**) кислотного и **iii**) основного оксидов элементов из числа наиболее распространенных в земной коре элементов. (3)
- Исходя из табличных данных, рассчитай $N(\text{Si})$, $N(\text{Al})$, $N(\text{Ca})$ и $N(\text{K})$. (3)
- Исходя из табличных данных, рассчитай $\%(\text{Na}_2\text{O})$ и $\%(\text{Fe}_x\text{O}_y)$. (2)
- Рассчитай среднюю степень окисления железа в земной коре. (4)

Задача 5. Химия драгоценных металлов (12 б)

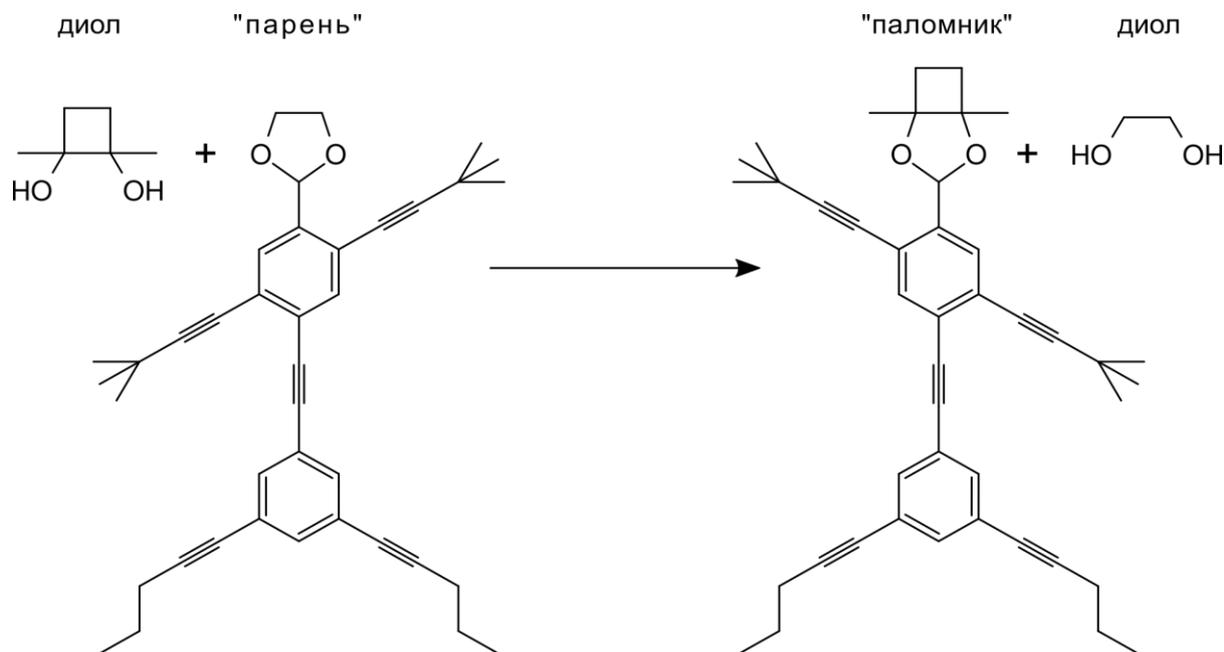
Металлы **A** и **B** часто объединяют по их ценности и свойствам. Химически **A** в основном инертный и с большинством кислот не реагирует, хотя вступает в реакцию со смесью концентрированных кислот **D** и **E**. Кислоту **D** получают путем растворения в воде газообразного продукта реакции простых веществ **F** и **G**. Газы **F** и **G** можно получить путем электролиза водного раствора поваренной соли (**реакция 1**). Кислоту **E** получают реакцией оксида **H** с водой (**реакция 2**), в которой также образуется монооксид азота.

Процентное содержание кислорода (w_O) в **H** равно 69,55% по массе. При смешивании кислот **D** и **E** в объемном отношении 3:1 (**реакция 3**) образуется вода, атомарный **G** и трехатомная молекула **I**. Атомарный **G** реагирует с металлом **A** (**реакция 4**), в результате чего образуется соль **J** (с.о.(**A**) = III, $w_A = 64.94\%$). **B** не реагирует с кислотой **D**, однако реагирует с кислотой **E**, в результате чего образуется соль **K** (с.о.(**B**) = I) (тривиальное название – ляпис), монооксид азота и вода (**реакция 5**). Металл **A** на воздухе не окисляется, однако поверхность металла **B** со временем темнеет из-за реакции с содержащимся в воздухе кислородом и газом **C** (**реакция 6**), превращаясь в воду и соль **L** (с.о.(**B**) = I). При растворении в воде газа **C**, обладающего запахом тухлых яиц, получают слабую кислоту.

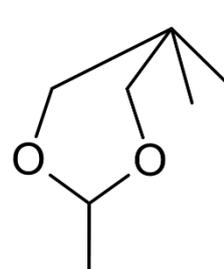
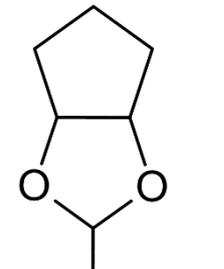
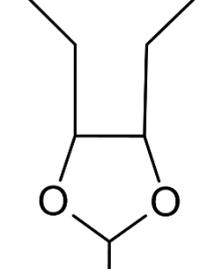
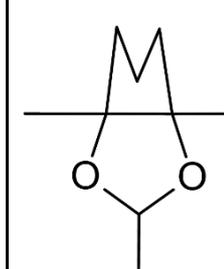
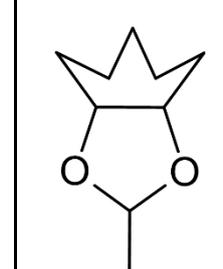
- а) Определи соединения **A–L** и напиши их формулы. (6)
 б) Напиши уравнения реакций **1–6**. (6)

Задача 6. Синтетические лилипуты (10 б)

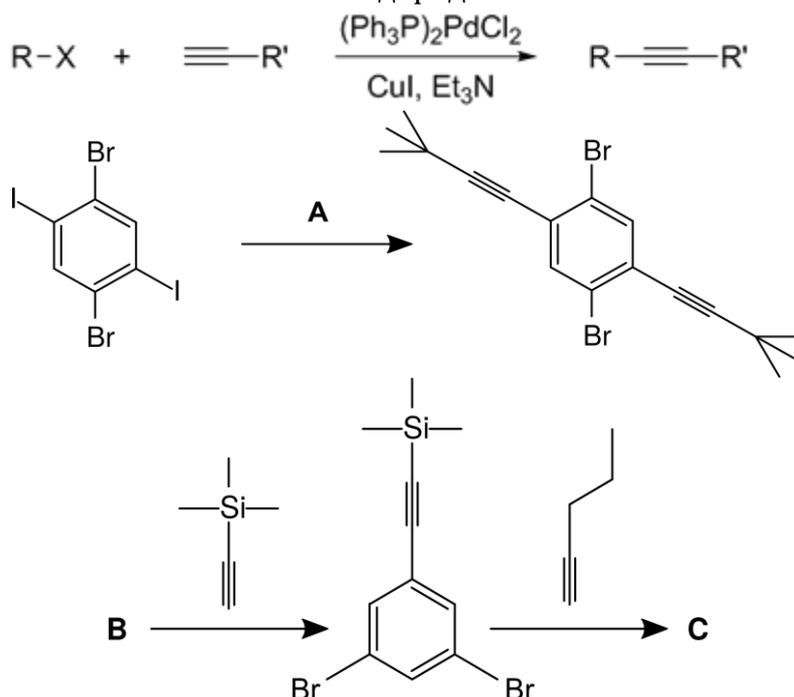
Скелетные формулы – незаменимый инструмент для общения между химиками-органиками. Несмотря на относительную простоту изображения молекул таким способом, для людей малознакомых с химией структурные формулы более сложных молекул могут казаться непонятными и даже отталкивающими. С целью доказать обратное и раскрыть художественный потенциал органического синтеза, группой химиков было синтезировано семейство органических веществ, внешне напоминающих людей. Простейший их представитель (“парень”) может быть преобразован путем ацетального обмена с диолом (органическим веществом с двумя гидроксогруппами (–OH)) в других представителей семейства согласно следующей реакции:



a) Нарисуй графические структурные формулы диолов, необходимые для получения молекул со следующими “головами”: (5)

“Атлет”	“Шут”	“Пекарь”	“Ковбой”	“Король”
				

b) Для протекания реакции нужна кислая, нейтральная или щелочная среда? (1)
 Многие части тела при синтезе нанопарня были получены при помощи реакции Соногаширы. В этом процессе вступают в реакцию алкил- или арилгалогенид (R-X, где X обозначен галоген) и алкин ($\equiv\text{-R}'$), в результате чего образуется связь между углеродом, который был изначально связан с атомом галогена, и углеродом при тройной связи алкина, который изначально был связан с водородом.



c) Нарисуй графические структурные формулы веществ A-C. (3)

d) Расположи алкилгалогениды R-Cl, R-Br и R-I в порядке увеличения реакционной способности в реакции Соногаширы (начни с наименее активного). (1)

Задача 7. Титрование по Фольгадру (13 б)

Одним из методов определения содержания небольшого количества хлорид-ионов в еде и напитках является обратное титрование Фольгарда. В данном методе пробу с ионами Cl^- смешивают с определенным количеством подкисленного раствора нитрата серебра заранее установленной концентрации. Раствор нитрата серебра берется в избытке. По окончании реакции, осуществляется обратное титрование, в котором титрантом является раствор тиоцианата калия (KSCN). В ходе титрования тиоцианат-ионы вступают в реакцию с непрореагировавшими ионами Ag^+ . Индикатором в методе Фольгарда служит раствор, содержащий ионы железа(III). Ионы Fe^{3+} образуют с ионами SCN^- кроваво-красный комплекс, образование которого как раз и указывает на достижение конечной

точки титрования.

На предприятии по контролю качества пищевой продукции решили определить содержание хлорид-ионов в новой партии сыра чеддер. Для этого взяли кусочек массой 6,000 г и подвергли его многоэтапной обработке, в результате чего был получен раствор, содержащий ионы Cl^- из взятого на анализ сыра. Полученный раствор количественно перенесли в мерную колбу объемом $500,0 \text{ см}^3$ и довели дистиллированной водой объем содержимого до метки.



Полученный раствор использовался затем в

титровании. $100,0 \text{ см}^3$ раствора из этой колбы перенесли в коническую колбу, добавив также 5 см^3 50% азотной кислоты, $50,00 \text{ см}^3$ 0,1000 М раствора AgNO_3 , 3 см^3 нитробензола и каплю индикатора (раствора сульфата железа(III)-аммония, $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$). На титрование полученного раствора ушло $0,3947 \text{ см}^3$ раствора KSCN концентрацией 0,1000 М.

- a) Напиши ионные уравнения **i)** реакции между ионами серебра и хлорид-ионами и **ii)** реакции, происходящей при титровании. (2)
- b) Рассчитай массу хлорид-ионов в исследуемом кусочке сыра. (4)
- c) Рассчитай процентное содержание хлорида натрия в новой партии чеддера. Предположим, что все хлорид-ионы в сыре находятся в составе NaCl . (2)
- d) Напиши побочную реакцию, происходящую при титровании. *Подсказка: протекание побочной реакции возможно благодаря тому, что тиоцианат серебра растворяется в воде значительно хуже хлорида серебра.* (2)
- e) Какова функция нитробензола в описанном процессе? *Подсказка: вместо нитробензола также можно использовать и некоторые другие вещества, имеющие плотность больше, чем у воды, и которые не реагируют с пробой и титрантом. Отвечая, возьми на заметку ответ, полученный в подпункте d).* (1)
- f) Каким способом можно предотвратить побочную реакцию, названную в подпункте **d)**? (1)

На предприятии по контролю качества пищи работал неопытный практикант, который также желал провести описанный анализ. К несчастью, он не знал, в какой именно момент требовалось прекратить титрование, в результате чего, титруя, он всегда доводил цвет пробы до темно-красного. В начале задания приведена фотография с тремя колбами. Слева стоит колба до титрования, посередине колба, которую оттитровали опытные аналитики до конечной точки, и справа колба практиканта.

- g) Каким вышло определенное практикантом содержание хлорид-ионов в сыре по сравнению с опытными аналитиками? (1)

Задача 8. Странный «магний» (12 б)

Химик-любитель Кадри хотела исследовать магний. Она искала магний по разным интернет-магазинам и в итоге нашла его в одном спортивном онлайн-магазине. Когда «магний» из спортивного онлайн-магазина прибыл на место, Кадри обнаружила, что купленное вещество – белый порошок, ни капли не напоминающий металл. На самом деле этот «магний», который используют пауэрлифтеры и скалолазы, нанося его на руки, чтобы получить лучший захват, состоит в основном из карбоната магния. Кадри рассказала о своих планах учителю химии, и тот согласился понаблюдать за экспериментами девочки. Вместе они провели два отдельных опыта. В первом опыте они смешали в **колбе-I** 100 г 30%-ого раствора уксусной кислоты (CH_3COOH) и 19,4 г «магния» из онлайн-магазина. Во время второго опыта в **колбе-II** смешали уже 15,2 г магния, полученного из школьной лаборатории, и 100 г 30%-ого раствора уксусной кислоты. В дальнейших вычислениях учитывай, что купленный в спортивном онлайн-магазине

магний состоит исключительно из карбоната магния ($MgCO_3$) и колбы во время экспериментов не были ничем заткнуты.

a) Напиши уравнения реакций, происходящих в **i) колбе-I** и **ii) колбе-II**. (2)

b) Рассчитай, какая из колб (**I** или **II**) после протекания всех реакций будет иметь большую массу. Прими, что пустые колбы имеют одинаковую массу. (4)

Желая продолжить эксперименты, девочка вылила содержимое двух колб в **колбу-III**, имевшую больший размер. Когда выделение газа закончилось, она заметила нерастворившееся твердое вещество на дне большой колбы. Поскольку уксусная кислота закончилась, преподаватель дал Кадри порошкообразную сульфаминовую кислоту (H_3NSO_3). Вещество, подобно уксусной кислоте, является одноосновной кислотой. Кадри добавляла в колбу H_3NSO_3 до тех пор, пока осадок полностью не растворился. Затем она влила в колбу избыток раствора гидроксида натрия и отфильтровала полученный осадок. Желая высушить осадок, она поместила его в воздухонепроницаемую печь при $400\text{ }^\circ\text{C}$ на один час (CO_2 в печь не попадал).

c) Напиши уравнения всех произошедших реакций. (3)

d) Рассчитайте количество сульфаминовой кислоты в молях, которое потребовалось для полного растворения твердого вещества на дне колбы. (2)

e) Какова масса порошка, вытасченного из печи, если 30% вещества утратилось в результате фильтрации и переносов вещества? (1)

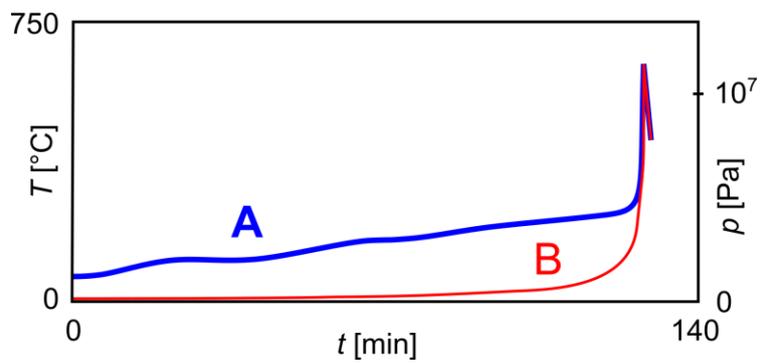
Задача 9. "Hellish inferno" (10 б)

В 2007-ом году в Джексонвилле, США, на химическом заводе произошел взрыв (инцидент T2). На момент происшествия в реакторе шло производство трикарбонил(циклопентадиенил)марганца (МСМТ). Данное вещество используется как добавка к топливу для повышения октанового числа. Производство происходило в три этапа, на первом из которых проводилась реакция между металлическим натрием и 1-метилциклопента-1,3-диеном, в результате которой получался МСМТ. В качестве растворителя использовался 1-метокси-2-(2-метоксиэтокси)этан (диглим, $C_6H_{14}O_3$). Поскольку реакция экзотермическая, крайне важно своевременно осуществлять охлаждение смеси. Согласно руководству по проведению синтеза, температура во время реакции должна была быть около 177°C . Авария случилась, когда произошел сбой в системе охлаждения. Когда температура реакционной смеси поднялась до $199\text{ }^\circ\text{C}$, под действием перегрева началась незапланированная побочная реакция с растворителем. В результате давление в реакторе превысило критическое значение и произошел взрыв.

a) Рассчитай, сколько максимально энергии (ГДж) могло бы выделиться при полном сгорании растворителя использованного в синтезе. Предположи, что реактор объемом 10000 литров был заполнен растворителем на 30%. $\Delta_f H(C_6H_{14}O_3) = -556,4\text{ кДж/моль}$; $\Delta_f H(H_2O) = -285,8\text{ кДж/моль}$; $\Delta_f H(CO_2) = -393,5\text{ кДж/моль}$; $\rho(C_6H_{14}O_3) = 937\text{ г/дм}^3$. (3)

b) При оценке последствий аварии рассчитали величину взрыва, примерно равную 635 кг в тротиловом эквиваленте. Энергия взрыва ТНТ составляет 4,184 ГДж/т. Рассчитай эффективность взрыва, то есть сколько теплоты было выделено во время взрыва реактора относительно рассчитанного в пункте **a)** теоретического количества теплоты, выделившейся при полном сгорании растворителя. (2)

Во время исследования катастрофы был проведен калометрический анализ реакционной смеси. Для этого реакцию синтеза МСМТ провели в хорошо закрытом от внешней среды сосуде при постоянном повышении температуры. Ниже приведен график с результатами анализа.



- c)** Какая линия на графике соответствует температуре, а какая – давлению? (1)
d) При какой температуре случился взрыв? (1)
e) Почему на графике присутствует резкий подъём? (2)
f) Почему после подъёма произошло падение? (1)