

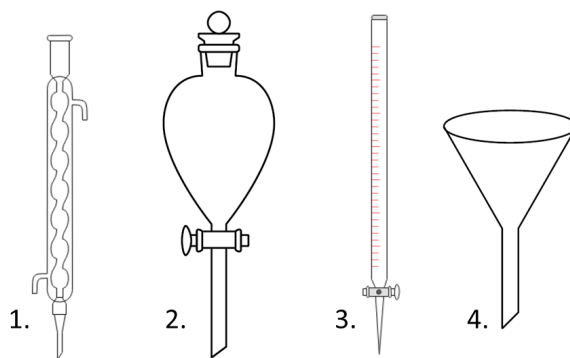
Задачи регионального тура олимпиады по химии 2022/23 уч.г.

9 класс

Задача 1. Химия на кухне (11 б)

Яне, молодой химик, увлекающаяся кулинарией, заметила определенное сходство между кухней и химической лабораторией.

- а) Определи, какая среда получится при прибавлении в воду следующих соединений, содержащихся в разных пищевых продуктах: **i)** кислая, **ii)** щелочная или **iii)** нейтральная: NaCl, NaHCO₃, CH₃COOH, SiO₂, CO₂. (2,5)



Яне приготовила заправку для салата из оливкового масла и лимонного сока. Случайно вышло, что туда попало слишком много лимонного сока, поэтому она решила использовать делительную воронку, чтобы уменьшить количество лимонного сока.

- б) Определи **i)** на каком рисунку изображена делительная воронка, **ii)** останется ли лимонный сок в верхнем или нижнем слое и **iii)** назови другое лабораторное оборудование, показанное на рисунках. (2,5)

Яне знала, что живые организмы получают энергию от полного окисления углеводов, жиров и белков, полученных из пищи..

- с) Закончи уравнения реакций и расставь коэффициенты **i)** C₆H₁₂O₆ + O₂ → ... (окисление глюкозы), **ii)** C₃H₅(C₁₈H₃₅O₂)₃ + O₂ → ... (окисление жиров). (3)
 д) Рассчитай количество атомов, которое содержится в 10,0 г глюкозы. (2)
 е) Рассчитай, сколько дм³ CO₂ образуется при полном окислении 10,0 г глюкозы (при нормальных условиях, V_m = 22,4 дм³/моль). (1)

Задача 2. Неизвестный элемент (13 б)

Элемент **X** открыли в 1770-ых годах независимо друг от друга английский химик Джозеф Пристли и шведский химик Карл Вильгельм Шееле. Чтобы выделить элемент **X**, они нагревали токсичное соединение **A** (массовое содержание **X** w_x = 7,39%), в результате чего выделялся газообразный элемент **B** и ртуть. При взаимодействии газа **B** и простого вещества **C** желтого цвета образуется ядовитый газ **D** (w_x = 49,95%) с резким запахом, который также выделяется, например, при горении спичечной головки. При дальнейшей реакции газа **D** с **B** в присутствии катализатора получается вещество **E** (w_x = 59,96%). Газообразное простое вещество **F** в смеси с веществом **B** взрывается под действием искры, давая трехатомное соединение **G**. При взаимодействии жидкости **G** с веществом **E** получается очень важная кислота **H**, которая используется в химической промышленности, например для производства удобрений, бытовой химии и свинцовых аккумуляторов. При взаимодействии жидкости **G** с газом **D** образуется неустойчивая кислота **I**.

- а) Напиши формулы веществ **B–I**. (4)
 б) Определи при помощи вычислений формулу вещества **A**. (3)
 с) Напиши следующие уравнения реакции и расставь коэффициенты: **i)** A → B + Hg; **ii)** B + C → D; **iii)** D + B → E; **iv)** F + B → G; **v)** G + E → H; **vi)** G + D → I. (3)
 д) Напиши следующие уравнения реакции и расставь коэффициенты: **i)** D + NaOH →; **ii)** E + Li₂O →; **iii)** H + Al₂O₃ →; **iv)** H + Fe(OH)₃ →. (3)

Задача 3. Успокаивающий сироп миссис Уинслоу (4,5 б)

Мак снотворный, относящийся к семейству маковых, представляет собой вид растения, лечебные свойства которого были известны в Месопотамии еще в раннем каменном веке. Из-за болеутоляющего и снотворного действия мак снотворный использовался в Греции как символ

бога сна Морфея. Отсюда пришло и название основного действующего вещества, содержащегося в маке снотворном – морфин. Морфин, как и другие опиоиды, вызывает зависимость. По этой причине сейчас опиоиды используются в основном для облегчения боли у пациентов с терминальной фазой рака. В конце 19-ого и в начале 20-го века в США и Великобритании продавался успокаивающий сироп миссис Уинслоу (ingl *Mrs. Winslow Soothing Syrup*), который предназначался для младенцев. Он содержал $2,2 \text{ мг/см}^3$ морфина.

a) Рассчитай содержание морфина в миллиграммах в 30 см^3 сиропа. (0,5)

На графике приведена зависимость растворимости морфина от температуры.

b) Рассчитай, сколько см^3 воды нужно добавить к 10 см^3 насыщенного раствора морфина (при $20 \text{ }^\circ\text{C}$), чтобы получить концентрацию, соответствующую сиропу. (1,5)

В наши дни рекомендуемой терапевтической дозой морфина является $0,20 \text{ мг/кг}$ массы тела при назначении морфина в виде раствора

b) Рассчитай, сколько см^3 успокаивающего сиропа нужно дать пациенту, который весит 60 кг . (1)

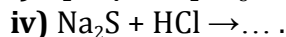
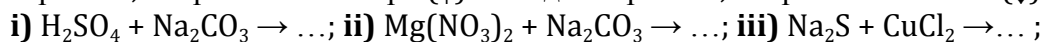
В инфолисте успокаивающего сиропа было сказано, что для младенцев в возрасте от 1 месяца до 1 года рекомендуется давать 6-10 капель лекарства. Предположи, что объем одной капли составляет $0,050 \text{ см}^3$ и что масса тела 1-месячного младенца равна $4,3 \text{ кг}$.

d) i) Рассчитай, какую дозу морфина (мг/кг) получил младенец, если ему дали 10 капель успокаивающего сиропа. **ii)** Рассчитай, во сколько раз доза, данная младенцу, была выше или ниже рекомендуемой дозы. (1,5)

Задача 4. Головоломка руководителя (10 б)

Требовательный руководитель хотел проверить химические знания и аналитическую способность молодой студентки Мари. Для этого руководитель сначала попросил Мари объяснить, что произойдет, если смешать между собой растворы данных ей веществ. Мари быстро справилась с заданием, записав уравнения реакций.

a) Закончи уравнения реакций и расставь коэффициенты. Отметь каждый полученный газ стрелкой, направленной вверх (\uparrow) и осадок стрелкой, направленной вниз (\downarrow).



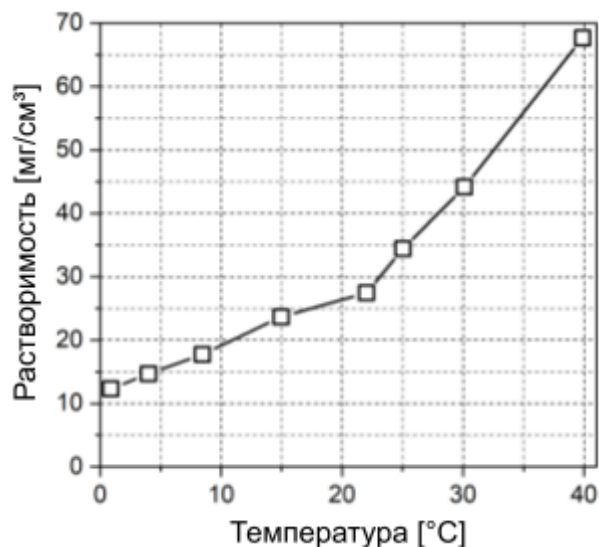
(4)

Поскольку Мари быстро решила задание, руководитель дал ей еще одну головоломку на решение. Для этого он подготовил шесть пробирок, содержащих растворы соединений (A–F), которые должна была определить Мари.

В качестве подсказки руководитель сказал, что соединения A–F содержат катионы H^+ , Ag^+ , Na^+ или Ba^{2+} и анионы Cl^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} или NO_3^- . Соединения B, D, F содержат один и тот же катион; B, C и E содержат один и тот же анион. Все соединения, кроме C, являются солями, а соединение B часто используется для приготовления пищи. Для определения веществ Мари провела пять опытов, результат которых приведены в таблице.

Знак минус (–) означает, что реакция не произошла.

b) Напиши формулы соединений A–F. (6)



	A	B	C	D	E	F
A		↓	↓	↓	↓	↓
B	↓		–	–	–	–
C	↓	–		↑	–	–
D	↓	–	↑		↓	–
E	↓	–	–	↓		↓
F	↓	–	–	–	↓	

Задача 5. Сложный рецепт (11,5 б)

Ита нашла на полке бабушкин сборник рецептов и решила сварить бульон. Для приготовления бульона сначала нужно было приготовить растворы соли (NaCl) и сахара (C₁₂H₂₂O₁₁). Внимательно прочитав рецепт, Ита обнаружила, что бабушка-химик использовала неожиданные единицы. А именно, химики любят представлять количество вещества в молях. Химики также часто выражают содержание вещества с помощью молярной концентрации, которая показывает, сколько молей вещества содержится в 1 дм³ раствора.

- а) По рецепту в бульон нужно было добавить 0,50 моль соли. Рассчитай массу соли в граммах, которую нужно добавить в бульон. (1)
- б) По рецепту необходимо 0,025 моль сахара. Ища сахар в шкафу, Ита обнаружила, что запасы заканчиваются, и нашла последние 9,0 грамм на дне сахарницы. Оцени, достаточно ли этого количества. (1)
- в) Ита растворила навеску соли и весь свой сахар (9,0 г) в кастрюле в 5,0 дм³ воды. Рассчитай молярную концентрацию сахара (моль/дм³) в полученном растворе. Предположи, что объем раствора равен объему воды. (0,5)

Поскольку повара пробуют еду во время приготовления, Ита тоже решила попробовать свой раствор. Она набрала кружкой 100 см³ жидкости и выпила из нее 15 см³. Так как жидкость показалась ей слегка пересоленной, она добавила в кружку еще 50 см³ воды.

- д) Рассчитай молярную концентрацию соли в находящемся в кружке растворе после того, как Ита его попробовала и добавила в него воды. Так как в кружке очень разбавленный раствор, то можно допустить, что при смешивании жидкостей их объемы суммируются. (2,5)

Новая жидкость снова оказалась слишком пресной и безвкусной, поэтому Ита решила продолжить использовать неразбавленный (приготовленный в пункте в)) раствор. Она добавила в кастрюлю остальные необходимые ингредиенты и вскипятила бульон. Попробовав его, Ита подумала, что бульон, приготовленный ее бабушкой, все же лучше. Позвонив бабушке она узнала, что бабушка слегка изменила рецепт, найденный дома, и на самом деле нужно добавлять другое количество сахара и соли. В свойственной химик манере бабушка открыла свой секрет бульона в виде загадки. Она сказала, что по новому рецепту бульона сумма массовых процентов соли и сахара равна 0,6246%, а сумма молярных концентраций равна 0,068 моль/дм³.

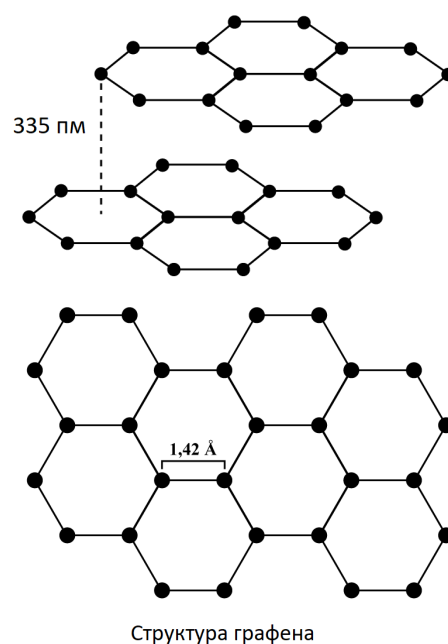
- е) Рассчитай, сколько моль сахара и сколько моль соли необходимо для приготовления 5,0 дм³ бульона по новому рецепту. Предположим, что плотность бульона при данной температуре равна 1,0 г/см³. (6,5)

Задача 6. Поверхностная химия углерода (20 б)

Один из самых распространённых аллотропов углерода – графит. Он является кристаллическим материалом, который используется в аккумуляторах и ядерных реакторах, но также и в простых карандашах. На рисунке дана кристаллическая структура графита. В 2004 году А. Гейм и К. Новоселов выделили особенно интересный аллотроп углерода – графен. Графен – это материал с выдающимися свойствами, среди которых отличная электропроводность и высокая прочность. Атомы углерода в графене образуют шестиугольную решетку, которая также присутствует в каждом слое графита.

Из графита как раз и возможно получить графен: силы, связывающие слои графита, намного слабее, чем химические связи внутри слоёв. Это и позволяет писать простым карандашом – при трении между графитовым стержнем и бумагой отделяются слои графена и остаются на бумаге.

- а) Пусть цилиндрический графитовый стержень карандаша имеет высоту 11 см и диаметр 1,0 мм. Какую площадь можно покрыть одним слоем графена из этого карандаша? (1,5)



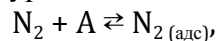
Для описания материалов с высоким соотношением площади к объёму часто используется т.н. удельная площадь поверхности, которая определяется как площадь внешней поверхности материала на 1 г материала. Удельная площадь поверхности обозначается символом σ .

b) Посчитай удельную площадь поверхности графена σ_r ($\text{м}^2/\text{г}$). (2)

Подсказка: площадь шестиугольника (с длиной стороны a) равна $A = \frac{3}{2}\sqrt{3}a^2$.

Удельная площадь поверхности графена намного выше, чем у других аллотропов углерода, и схожа по порядку величины только с активированным углём. Материалы с высокой удельной площадью могут адсорбировать (т.е. нековалентно связывать на поверхности) большое количество молекул. По этой причине такие материалы используются для очистки газов и жидкостей от примесей и для хранения газов в малом объёме.

Распространённый способ для оценки удельной площади поверхности – метод Брунауэра–Эммета–Теллера (БЭТ). Определённую массу материала помещают в среду с газообразным азотом при разных давлениях и температуре 77 К (-196°C) и находят количества адсорбированного азота. Адсорбция азота – это обратимый равновесный процесс, т.е. адсорбированная молекула может снова десорбироваться (отделиться от поверхности). Обратимую адсорбцию азота описывает уравнение:



где A – свободный для адсорбции центр на поверхности активированного угля, а $\text{N}_{2(\text{адс})}$ – адсорбированная молекула азота.

В следующих подпунктах исследуем применение метода БЭТ используя для описания адсорбции т.н. модель Ленгмюра. По этой модели предполагается, что адсорбируемый газ образует на поверхности адсорбента максимально одинарный слой молекул. В состоянии равновесия соотношение адсорбированных и свободных молекул не меняется, хотя индивидуальные молекулы могут адсорбироваться и десорбироваться. Теория Ленгмюра также предполагает, что между адсорбированными молекулами отсутствуют взаимодействия они не могут перемещаться по поверхности между адсорбционными центрами. Уравнение Ленгмюра, описывающее степень заполнения поверхности адсорбентом θ как функцию давления адсорбируемого газа, дано как:

$$\theta = \frac{Kp}{1+Kp},$$

где θ – отношение количеств заполненных адсорбентом и всех центров адсорбции на поверхности, K – постоянная равновесия адсорбции и p – давление адсорбируемого газа над поверхностью материала.

Постоянная равновесия реакции K для прямого процесса можно выразить как отношение скоростных постоянных прямого и обратного процесса.

Скорости адсорбции и десорбции даны соответственно как r_a и r_d :

$$r_a = k_a p[A] \text{ и } r_d = k_d [N_{2(\text{адс})}],$$

где k_a и k_d – соответствующие постоянные скорости, $[A]$ и $[N_{2(\text{адс})}]$ – поверхностные концентрации ($1/\text{м}^2$) свободных и заполненных адсорбционных центров поверхности, соответственно.

c) Докажи используя выражениями скоростей процессов адсорбции и десорбции, а также данных в тексте допущений, что заполненность поверхности θ по теории Ленгмюра даётся уравнением $\theta = \frac{Kp}{1+Kp}$. (2)

d) Покажи с обоснованием **i)** какую форму принимает уравнение Ленгмюра при низком давлении адсорбируемого газа ($Kp \ll 1$) и **ii)** какое значение принимает θ при его высоком давлении ($Kp \gg 1$)? (1)

e) При помощи эксперимента нашли, что при температуре 77 К и давлении 71 кПа на 0,59 г активированного угля адсорбировалось 150 мг N_2 , а при 140 кПа – 190 мг. При помощи расчётов оцени удельную площадь поверхности данного образца активированного угля σ_a ($\text{м}^2/\text{г}$), если при 77 К одна молекула азота занимает на поверхности площадь $0,162 \text{ нм}^2$. (3)

Пропитанный щёлочью (например NaOH) активированный уголь используется для фильтрации биогаза. Биогаз выделяется при разложении материала в бескислородной среде и используется как топливо. Однако, в нефилтрованном биогазе кроме подходящего для топлива вещества **X** и других примесей также содержится крайне ядовитое вещество **Y**, чья смесь с воздухом взрывоопасна. При горении вещества **Y** выделяется вызывающий кислотные дожди бинарный газ, соотношение массовых долей образующих элементов которого равно 1:1. Вещество **X** является парниковым газом и самым лёгким компонентом природного газа, используемого в качестве топлива.

- f) Напиши уравновешенные реакции горения газов **X** и **Y**. (1)
g) Напиши уравнение реакции вещества **Y**, проходящей на поверхности активированного угля. (0,5)

Активированным углём можно также удалить растворённый в водопроводной воде хлор. Растворённый в воде хлор диспропорционирует при воздействии воды на два соединения: хлорноватистую кислоту (HOCl) и сильную бинарную кислоту. *Подсказка: в реакции диспропорционирования хлор ведёт себя как восстановитель и как окислитель одновременно.*

- h) i) Напиши уравнение реакции диспропорционирования хлора в воде и ii) отметь степени окисления хлора во всех хлорсодержащих соединениях. (2)

Эффективность удаления хлора активированным углём зависит от уровня pH воды. Это следует из того, что хлорноватистая кислота – это слабая кислота и диссоциирует лишь частично. Уровень pH воды влияет на степень диссоциации кислоты. Диссоциация кислоты – обратимый равновесный процесс. По принципу Ле Шателье, при изменении внешнего фактора, равновесие реакции всегда смещается в

pH	%mol хлорноватистая кислота	%mol гипохлорит-ион
4	100	0
6	97	3
8	23	77
10	0	100

такую сторону прохождения реакции, которая уменьшает вызванное этим внешним фактором изменение в системе. Например, при добавлении одного из исходных веществ (увеличении его концентрации) ускоряется реакция между исходными веществами и концентрация продукта начинает из-за этого расти. В таблице приведены мольные доли хлорноватистой кислоты и гипохлорит-иона при разных уровнях pH и комнатной температуре.

- i) Используя принцип Ле Шателье, обоснуй изменение соотношения молекул хлорноватистой кислоты и гипохлорит-иона при увеличении pH. (3,5)

Влияние pH на скорость фильтрации исходит из того, что активированный уголь взаимодействует с заряженными частицами слабее, чем с незаряженными. На поверхности активированного угля как молекулы, так и анионы кислоты восстанавливаются, однако молекула восстанавливается быстрее, чем анион. Допустим, что молекулы хлорноватистой кислоты восстанавливаются быстрее, чем ион в 3,0 раза быстрее.

- i) Слабо кислотную воду (pH = 6) фильтровали, используя 4,5 г активированного угля с удельной площадью поверхности 2900 м²/г. Слабо основную воду (pH = 8) фильтруют при помощи нового фильтра, применяющего активированный уголь с удельной площадью 3200 м²/г. Сколько нового активированного угля (удельной площадью 3200 м²/г) нужно было бы, чтобы фильтрация щелочной воды проходила с так же быстро, как и такое же количество кислотной воды? (3,5)

Предполагай, что pH не меняется во время фильтрации.