

Задания второго тура заочного отборочного этапа Химической олимпиады имени Германа Гесса 2021

Задача 1. Добро пожаловать на олимпиаду по химии

Туристическая группа из трёх человек запланировала двухнедельный поход по Кольскому полуострову. В день на человека для приготовления пищи и питья необходимо кипятить примерно по 2,5 литра воды. Для кипячения воды туристы планируют использовать газовую горелку, подключаемую к баллонам, и котелок; газовые баллоны наполнены следующей газовой смесью: изобутан — 72%, пропан — 22%, бутан — 6% (все проценты считайте массовыми).

Теплота сгорания бутана (C_4H_{10}) — 2878 кДж/моль, изобутана (C_4H_{10}) — 2869 кДж/моль, пропана (C_3H_8) — 2220 кДж/моль. КПД нагрева воды в котелке при помощи туристической горелки примите за 50%, а удельную теплоемкость воды — за 4200 Дж/кг·К, средняя окружающая температура на Кольском полуострове в это время года — 10°C. Плотность воды примите за 1 г/мл.

Поскольку туристы не просто доводят воду до кипения, а еще и варят в ней еду, вам придется учесть и тепло, которое пойдет на поддержание кипения. Считайте, что с учетом всех тепловых потерь на необходимое для приготовления блюда кипячение суммарно уходит 5% от тепла, необходимого для превращения этой воды в пар. Удельную теплоту парообразования воды примите за 2260 кДж/кг.

Рассчитайте минимально необходимую массу газа в граммах, которой хватит туристам для похода.

Задача 2. Запрещённые вещества

Неизвестное бинарное вещество **A** было получено путём сплавления двух простых веществ **X** и **Y**. Образец вещества **A** массой 2,41 г растворили в 100 мл 2,5 М раствора соляной кислоты. При этом выделилось 2,489 л (при н.у.) бесцветного горючего газа **B**. При добавлении к полученному раствору 100 мл 2,5 М раствора гидроксида натрия выпал белый осадок двух веществ (**C** и **D**), который при дальнейшем добавлении раствора щёлочи частично растворился. Кроме того, оставшийся осадок постепенно приобрёл бурю окраску из-за образования вещества **E**. Полученные раствор и бурый осадок отделили друг от друга. К осадку прилили эквимолярный раствор оксалата калия и щавелевой кислоты, при этом образовалось комплексное вещество **F**.

Определите неизвестные вещества и запишите уравнения всех протекающих реакций, если известно следующее:

1. Исходные простые вещества взяты в мольном соотношении 6:1.
2. Соляная кислота для растворения вещества **A** была взята с избытком в 12,5%.
3. Массовые доли элементов в **F**: калия – 26,89%; углерода — 16,51%; кислорода — 44,02%.

Задача 3. Пропатчено

Первый компонент вакцины «Спутник V» в своем составе содержит действующее вещество — рекомбинантные аденовирусные частицы 26 серотипа, содержащие ген белка S и вируса SARS-CoV-2, а также вспомогательные вещества — трис(гидроксиметил)аминометан, хлорид натрия, гексагидрат хлорида магния, сахараза, ЭДТА динатриевая соль дигидрат, этанол 95% и вода. Состав компонентов в одной дозе приведен в таблице:

Компонент	Содержание
Аденовирусные частицы	10^{11} частиц
Трис(гидроксиметил)аминометан	1,21 мг
Натрия хлорид	2,19 мг
Сахароза	25 мг
Магния хлорида гексагидрат	102 мкг
ЭДТА динатриевая соль дигидрат	19 мкг
Этанол 95%	2,5 мкл
Вода	0,5 мл

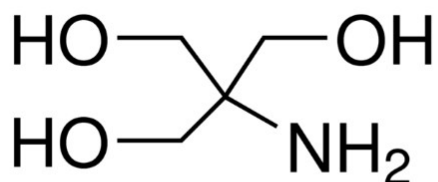
1. Рассчитайте массовую долю углерода в одной дозе вакцины «Спутник V».
2. Сравните стоимость углерода в вакцине и в древесном угле для гриля. Предельную отпускную стоимость дозы вакцины примите равной 1000 рублей. 5 кг угля стоят 430 рублей (считайте, что уголь в магазине состоит только из углерода).

Справочная информация:

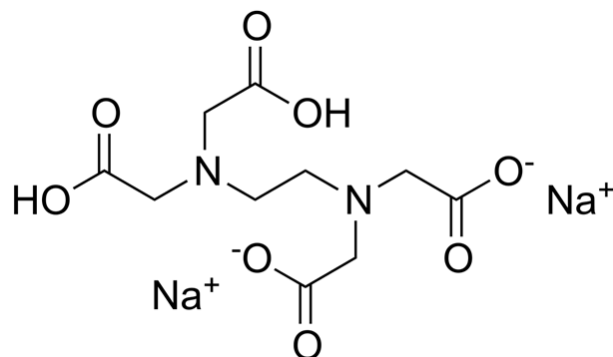
Массу частицы аденовируса считайте равной $25 \cdot 10^6$ Да. Массовая доля углерода в одной частице равна 20%.

Формулы незнакомых веществ:

Трис(гидроксиметил)аминометан



ЭДТА динатриевая соль



Плотность 95%-го раствора спирта $\rho = 0,81$ г/см³. Плотность воды примите равной 1 г/см³.

Задача 4. Преступление

*«Если бы человека скрестили с котом,
это улучшило бы человека, но ухудшило бы кота»*

Марк Твен

В лаборатории у химика Колбочкина была большая коллекция различных камней. Однажды, очень устав после тяжёлого рабочего дня, он оставил дверь незакрытой, и туда тёмной ночью просочился его любимый кот. Перевернув коллекцию вверх дном, пушистый негодяй с чувством выполненного долга удалился по своим важным делам.

Придя утром, химик очень расстроился и решил восстановить подписи к своей коллекции. За помощью он обратился к своему другу, лаборанту Приборочкину, от которого получил следующую таблицу:

Образец	Данные спектрального анализа о мольном содержании элементов в образце	Массовая доля элемента D
1	A – 10,4% B – 6,9% C – 20,7% D – 62,0%	0,5357
2	E – 15,0% B – 25,0% D – 60,0%	0,3234
3	F – 16,7% C – 16,7% D – 66,6%	0,3492
4	C – 33,3% D – 66,7%	0,5325
5	G – 15,0% B – 10,0% C – 15,0% D – 60,0%	0,4762
6	B – 40,0% D – 60,0%	0,4706

Помогите химику Колбочкину восстановить коллекцию — расшифруйте неизвестные элементы **A–G** и определите химический состав каждого камня.

Задача 5. Наказание

*«Иногда обругаешь кошку, взглянешь на неё,
и возникает неприятное ощущение,
будто она поняла всё до последнего слова.
И запомнила...»*

Шарлотта Грей

Обиженный химик Колбочкин решил наказать кота за порчу коллекции: он закрыл его в кладовке, в которой, однако, по рассеянности оставил вещество **A** в количестве 5 моль, которое, самопроизвольно разлагаясь, выделяет крайне ядовитый для кота газ **B**, причём из 1 молекулы **A** получаются ровно 2 молекулы **B**.

Экспериментируя с этим веществом за день до происшествия, он установил:

- 1) Если в изначальной кладовке находятся 4 моля вещества **A**, то его количество уменьшается вдвое за 3 часа.
- 2) При уменьшении изначального количества **A** в 4 раза начальная скорость реакции разложения снижается вдвое.

Через 3 часа и 20 минут химик Колбочкин осознал свою ошибку. Предельно допустимая концентрация вещества **B** составляет $0,5 \text{ моль/м}^3$, а кладовка представляет собой прямоугольный параллелепипед со сторонами $2,5 \times 2 \times 2 \text{ м}$.

1. Определите порядок реакции разложения вещества **A**.
2. Определите, за какое время в кладовке разложится половина вещества **A**.
3. *Оцените* концентрацию ядовитого газа **B** в кладовке в момент, когда Колбочкин осознал ошибку.
4. В порядке ли кот?

Справочная информация:

- 1) Для реакции n -го порядка скорость реакции прямо пропорциональна концентрации вещества в степени n .
- 2) Период полураспада обратно пропорционален концентрации вещества в степени $n-1$.

Задача 6. Натронный камень

Впечатленный разнообразием «химии ...» Колбочкин решил добиться своих успехов в этой области. При этом он решил действовать как истинный юный химик-экспериментатор — стал сливать все подряд растворы, которые были в лаборатории у него под рукой.

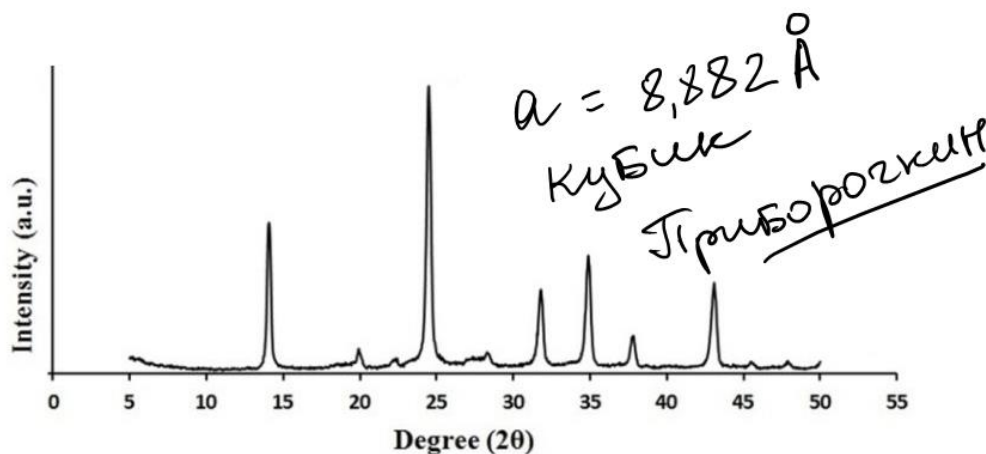
В первый стакан он добавил немного алюминиевого порошка и щедро залил крепким раствором щелочи. Раствор забурлил и запенился, что не могло не обрадовать юного учёного. Колбочкин, хотя и был юный, знал, что рано или поздно порошок целиком растворится, поэтому он решил поставить стакан на электрическую плиту, а в это время заняться вторым стаканом.

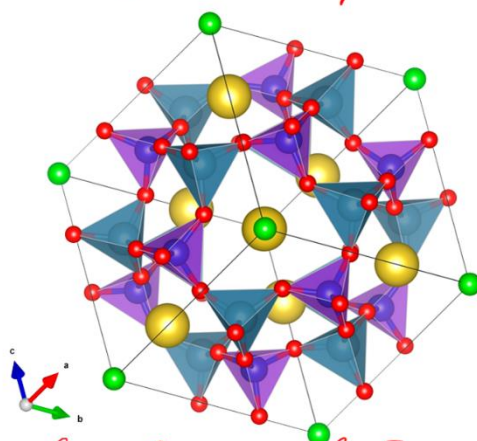
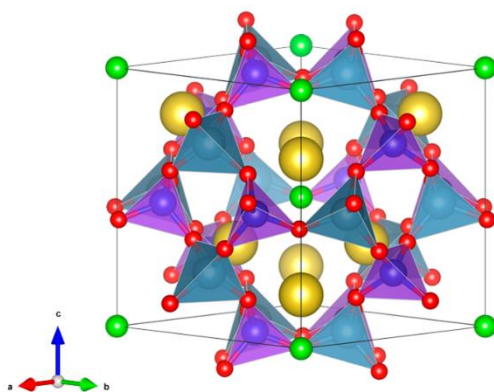
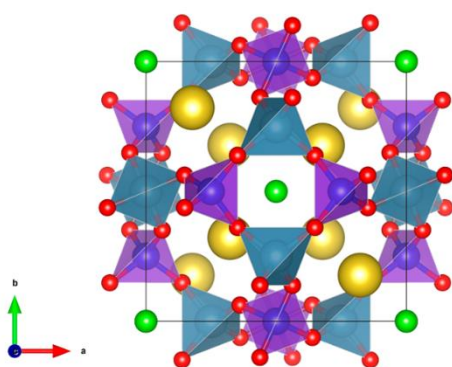
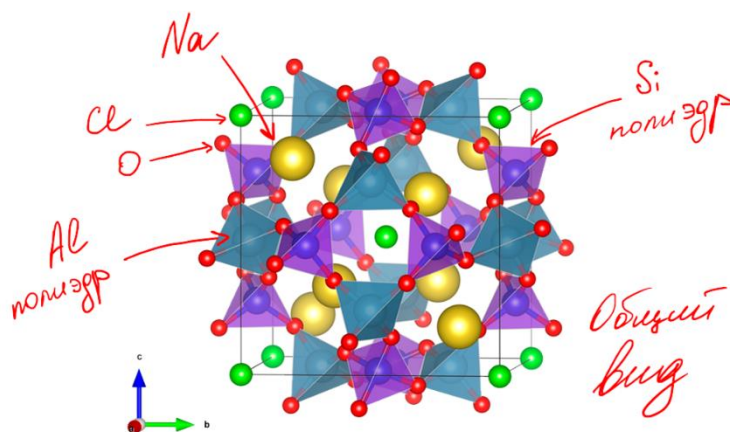
Поскольку после инцидента с котом химическую лабораторию Колбочкина изрядно проредили родители, во второй стакан ему пришлось добавлять подручные реактивы. Он взял всё ту же натриевую щёлочь, добавил к ней чистого речного песка и поставил стакан на плиту по соседству с первым. В какой-то момент экспериментатору этого показалось мало, и он решил щедро добавить во второй стакан соли. Через некоторое время вещества в обоих стаканах растворились полностью, и Колбочкин решил слить их между собой, а затем хорошенько перемешал полученный раствор.

В этот момент Бабушка позвала Колбочкина на обед. Затем юный экспериментатор засмотрелся новым сезоном Смешариков, время пролетело как-то незаметно, про науку он вспомнил только к вечеру. Вернувшись в лабораторию, юный химик обнаружил, что в стакане образовался осадок. Колбочкин удивился этому и решил исследовать полученное вещество уже на следующий день.

Утром экспериментатор отфильтровал вещество, несколько раз промыл его дистиллированной водой, а затем высушил. За помощью в исследовании порошка Колбочкин вновь обратился к Приборочкину. Тот сказал, что проще всего определить вещество с помощью рентгенофазового анализа. Колбочкин в этом ничего не понимал, но решил, что легко разберётся.

Через несколько дней Приборочкин прислал результаты анализов в виде двух картинок с какими-то набросками ручкой, а из пояснений только аудиосообщение «все натрии внутри ячейки, формульная единица одна».





1. Напишите уравнения всех упомянутых в задаче реакций.
2. Определите формулу полученного вещества, исходя из присланных Приборочными данными. Приведите подробные объяснения расчета формулы.
3. По дифракционным данным рассчитайте плотность полученного вещества.
4. Какой химией был так впечатлен Колбочкин в 2021 году?

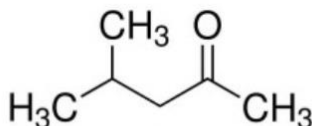
Задача 7. Абранакурсик детригнус ордралфаетикса

«Французский» металл Σ растворили в избытке концентрированной соляной кислоты (*реакция 1*). При этом растворение протекало хорошо, но достаточно медленно. Затем к получившемуся раствору вещества Ω по каплям прибавляли раствор едкого кали, в результате наблюдая сначала выпадение осадка Δ , а затем его растворение (*реакции 2–4*).

Если вещество Ω прокалить, то образуется вещество Ψ (*реакция 5*). При этом прокаливание Ω с Σ в вакууме дает другое вещество – Θ (*реакция 6*). Массовая доля металла в Θ равна 89,7%.

1. Определите все неизвестные вещества. Ответ подтвердите расчетом.
2. Запишите все уравнения упомянутых химических реакций.

Интересно отметить, что если металл Σ содержит радиоактивные атомы данного металла, то при растворении в избытке соляной кислоты и последующем встряхивании с метилизобутилкетонем (структурная формула приведена ниже) радиоактивность фиксируется преимущественно в органической фазе, в то время как водная фаза практически не содержит радионуклидов.



3. Дайте объяснение данному факту, изобразите структуру частицы, находящейся в органической фазе и содержащей атом металла Σ .

Задача 8. Вода живая и мёртвая

В ряде экспериментов необходимо знать с высокой точностью плотность используемой дистиллированной воды. Для этого обычно используют табличные данные, приводимые авторитетными метрологическими институтами. При составлении одного из таких справочников в 70-х годах XX века возникла проблема: Международный союз чистой и прикладной химии рекомендовал использовать для этих целей дистиллировать воду из океана, а большую часть экспериментов химии ставили с использованием речной воды. В итоге, между таблицами ИЮПАК и таблицами ГОСТ возникло расхождение: кубометр советской социалистической дистиллированной воды был на $3 \cdot 10^{-3}$ кг легче, чем кубометр западной капиталистической дистиллированной воды.

Оказалось, что все дело в изотопах. Хотя соотношения протия и дейтерия в советской и океанической воде совпадало, соотношение ^{18}O и ^{16}O в водах океана было примерно равно 1:501. А в реках СССР среднее соотношение было другим. Определите среднее соотношение ^{18}O и ^{16}O в реках СССР, если:

- 1) Плотность воды при 25°C и давлении 1 атмосфера равна 997,045 кг/м³ по данным советских метрологов и 997,048 кг/м³ по данным западных метрологов.
- 2) Соотношение атомов дейтерия и протия в воде 1:650.
- 3) Вкладом других изотопов в расчете можно пренебречь.
- 4) Влиянием изотопного состава молекулы на ее размеры можно пренебречь

Задача 9. Бесконечная штука

В колбу с желтым порошком простого вещества **А** пропустили желтый газ **Б**, представляющий собой простое вещество. В результате образовалась оранжево-коричневая жидкость, в действительности являющаяся смесью двух: золотисто-желтой (**В₁**) и красной (**В₂**). Если разделить две жидкости при помощи перегонки, то оказывается, что пропусканием дополнительных порций желтого газа можно превратить золотисто-желтую жидкость в красную. Соотношение атомных долей элементов, составляющих золотистую жидкость равно 1:1.

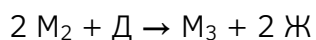
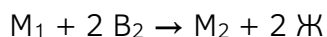
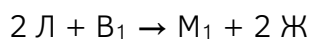
В результате реакции **А** с газом **Г**, также представляющим собой простое и очень горючее вещество, можно получить газ **Д**, обладающий неприятным запахом. Охладим газ **Д** с помощью сухого льда до -78°C — он станет жидкостью. Проведем следующие реакции:

1. $2 \text{Д} + \text{В}_1 \rightarrow \text{Е}_1 + 2 \text{Ж}$
2. $\text{Д} + 2 \text{В}_1 \rightarrow \text{Е}_2 + 2 \text{Ж}$
3. $2 \text{Д} + \text{В}_2 \rightarrow \text{Е}_3 + 2 \text{Ж}$
4. $\text{Д} + 2 \text{В}_2 \rightarrow \text{Е}_4 + 2 \text{Ж}$
5. $\text{Е}_3 + 2 \text{В}_2 \rightarrow \text{Е}_2 + 2 \text{Ж}$
6. $2 \text{Е}_3 + \text{В}_2 \rightarrow \text{Е}_5 + 2 \text{Ж}$
7. $2 \text{Д} + \text{Е}_2 \rightarrow \text{Е}_5 + 2 \text{Ж}$
8. $\text{Е}_1 + \text{Д} \rightarrow$ нет реакции
9. $\text{Е}_3 + \text{Е}_5 \rightarrow$ нет реакции
10. $\text{Е}_4 + \text{В}_2 \rightarrow$ нет реакции
11. $\text{Е}_2 + \text{В}_1 \rightarrow$ нет реакции


Все вещества **В₁**, **В₂**, **Е₁–Е₅**, **Ж** — бинарные, **А**, **Б**, **Г** — простые. *Определите, что собой представляют все перечисленные вещества.*

Определили? Не время расслабляться! Немного усложним условие: возьмем вместо желтого порошка **А** красный порошок **К** — простое вещество, соответствующее более тяжелому элементу — близкому аналогу **А** в таблице Менделеева. Его химические свойства во многом совпадают с **А**. Давайте предположим, что во все перечисленные выше реакции он вступает абсолютно аналогичным образом.

Пусть **К** ввели в реакцию с **Г**, получив газообразный **Л**, который затем немедленно ввели в следующие превращения:



*Определите формулу вещества **Л** и запишите структурные формулы **М₁**, **М₂** и **М₃**.*

Задача 10. 

Юный Колбочкин был против социальных условностей и ограничений родителей, поэтому он решил собрать новые реактивы для лаборатории. Для этого он отправился в слесарную мастерскую, где работал коллега Приборочкина, слесарь шестого разряда Деталькин. Там возле фрезерного станка он собрал с пола с помощью магнита стружку серебристого металла и забрал ее домой. Дома Колбочкин решил освежить свои знания о свойствах этого давно известного человечеству металла и для этого полез рыться в библиотеку. В умных книжках он прочитал, что этот металл применяется в основном в производстве нержавеющей стали, легко растворяется в разбавленной соляной кислоте с выделением бесцветного газа, а также при нагревании и высоком давлении может реагировать с угарным газом с образованием жидкости (*реакция 1*). Эта бесцветная жидкость обычно используется для производства пиррофорного порошка металла, применяемого в качестве катализатора.

Самостоятельно Колбочкин проводить такую реакцию побоялся, все же угарный газ показался ему слишком ядовитым. Он решил проверить базовые химические свойства металла и отправился в лабораторию. По традиции он хотел взять с собой на дело кота, но, к сожалению, мы не знаем, все ли с котом в порядке, поэтому опустим эту неважную подробность. Колбочкин залил стружку разбавленным раствором аккумуляторной кислоты, и она действительно растворилась (*реакция 2*). Обрадованный химик решил воспользоваться своим любимым методом исследований — заливать в полученный раствор все, что попадет под руку. Он разделил раствор на две части: в первую он щедро добавил раствор аммиака (*реакция 3*), а во вторую — раствор пищевой соды (*реакция 4*).

Определите металл, напишите уравнения реакций 1–4.