

Олимпиада ИНХ-2026

Задача 1. «Гарри Поттер и узник ФЕН НГУ» (37 баллов).

«Торжественно клянусь, что замышляю шалость, и только шалость!»

Во вселенной Гарри Поттера в конце 5 курса необходимо сдать экзамены С.О.В. для перехода на продвинутый уровень обучения в Хогвартсе. Но Долорес Амбридж всё перепутала, и вместо экзамена по зельеварению у будущих волшебников оказалась контрольная работа по неорганике 1 курса ФЕН НГУ. К счастью, если сесть рядом с *ожившим портретом (О.П.)*, то можно получить несколько подсказок. *Подсказка от О.П.: в каждом блоке фигурируют три цвета – белый (альбеда), чёрный (нигрето) и красный (рубедо).*

1. Назовите трёх наставников Гарри Поттера, связанных с указанными цветами.

Первый блок был посвящен элементу **A**, который образует три вещества **B–D**. Вещество **B** обладает белой окраской, окисляется кислородом воздуха уже при комнатной температуре [**реакция 1**], давая бледно-зелёное свечение. Красное вещество **C** образуется из **B** при нагревании в запаянной ампуле, а чтобы получить черное вещество **D**, необходимо создать давление $1,3 \cdot 10^4$ атмосфер и температуру 230°C . *Подсказка от О.П.: «название элемента A имеет частичную схожесть с названием дремоносных бобов (Sopororous Bean)».*

2. Определите **A–D**, приведите уравнение реакции 1. Назовите явление, дающее свечение в ней.

Второй блок был о металле **E**. Он раньше использовался для создания белил **F** ($\omega(\text{E}) = 80,14\%$), но со временем такие картины темнели из-за реакции с газообразным **G** и образования черного **H** [2]. **H** сгорает на воздухе при $\sim 500^\circ\text{C}$ с образованием красно-оранжевого **I** [3]. *Подсказка от О.П.: «Для осветления таких картин можно использовать H_2O_2 [4]. Будучи картиной, я знаю о чем говорю. Кстати, соединение **F** – четырёхэлементное».*

3. Определите **E–I**, приведите уравнения реакций 2–4. Почему белила **F** в живописи сейчас не используются? Каким современным белым пигментом их часто заменяют?

В третьем блоке шла речь про металл **J**, который использовался при чеканки монет. Чёрный **K** взаимодействует с разбавленной сильной бинарной кислотой **L** с образованием бурого осадка [5]. Красный **M** тоже взаимодействует с **L** с образованием осадка, но уже цвета слоновой кости [6]. Взаимодействие **K** и **J** при высокой температуре приводит к образованию **M** [7]. *Подсказка от О.П.: «Хагрид в первой книге достаёт из карманов горстями эти монеты, чтобы расплатиться за газету. Осадки в реакциях 5 и 6 содержат бинарное вещество **N**».*

4. Определите **J–N**, приведите реакций 5–7. Как называются такие монетки, если они созвучны с комбинацией кнута и Эммануила Канта?

Последний блок был самым важным, так как металл **O** был задействован в создании философского камня. Металл **O** растворяется в концентрированной азотной кислоте [8]. Если из полученного раствора упарить азотную кислоту и добавить кислоту соляную, то образуется растворимое, но при этом практически не диссоциирующее белое вещество **P** [9]. Если вместо соляной кислоты добавить **G**, то выпадет чёрный осадок **Q** [10], который, будучи минералом, зачастую имеет красную окраску. *Подсказка от О.П.: «Название **O** связано с латинским названием растения «Пролесник». Ботанику учить нужно».*

5. Определите **O–Q**, приведите уравнения реакций 8–9. Как называется способность одного и того же вещества существовать в различных кристаллических структурах, как это происходит для черной и красной модификаций **Q**?

В 2025 году Нобелевскую премию по химии присудили за определенный класс соединений, которые сравнили с сумочкой Гермионы Грейнджер.

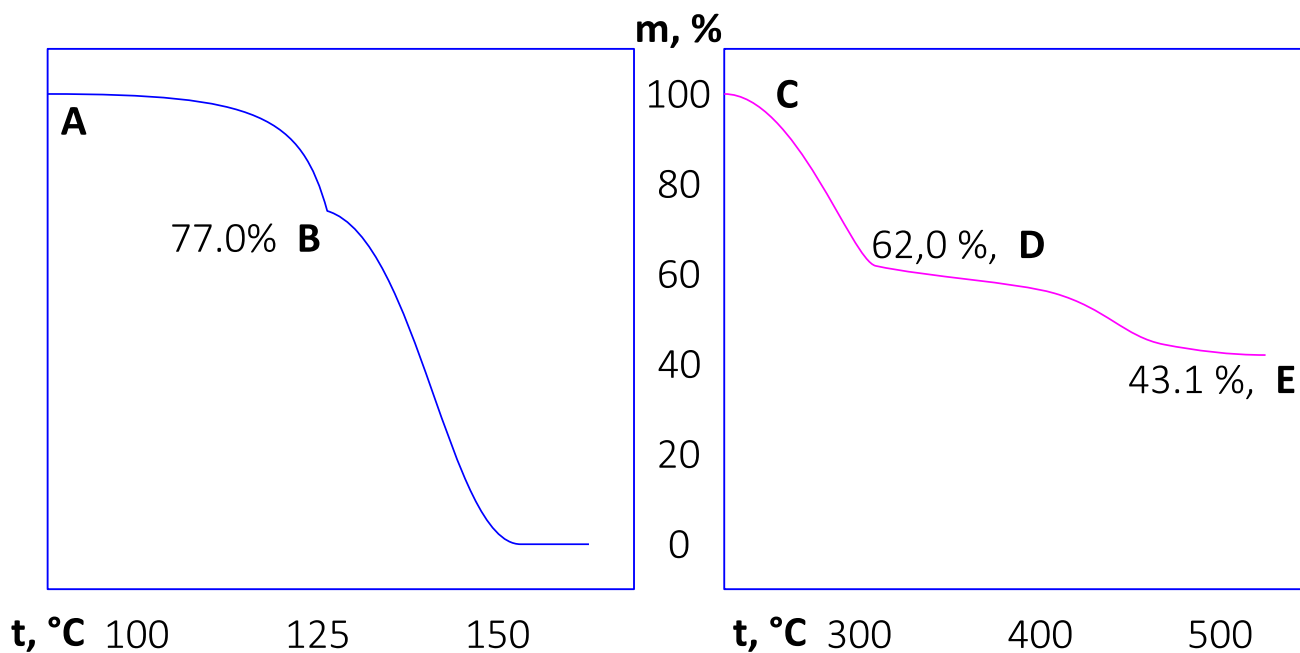
6. Приведите пример такого соединения. При чем тут сумочка?

Задача 2. «Разрушители посуды» (21 балл).

Неорганическое соединение **A**, термогравиметрическая кривая которого приведена на рисунке, разлагается при нагревании в две стадии. На первой образуется промежуточное вещество **B** и выделяется одно газообразное соединение **X** [1]. На второй стадии **B** разлагается без твердого остатка на газообразные продукты [2]. Массовая доля водорода в **A** составляет 10,81%, в **B** – 8,77%. Все вышеуказанные соединения ядовиты, а процессы разложения обратимы.

Соединения **A** и **B** используются при переработке оксидных руд металлов. Например, при сплавлении оксида алюминия с **B** образуется комплексная соль **C** [3], ТГ-кривая которой приведена. Термолиз **C** также двухстадиен: сначала образуется промежуточная комплексная соль **D** [4], которая при дальнейшем нагревании разлагается до **E** [5]. При нагревании соединения **E** со стехиометрическим количеством алюминия при $\sim 800^\circ\text{C}$ образуется неустойчивое соединение **F** [6]. В процессах полного разложения **A** и **C** в газовую фазу выделяются только **X** и **Y**. При этом **E**, **X** и **Y** – бинарные соединения. Газы (при ст.у.) **X** и **Y** очень хорошо растворимы в воде.

1. Установите **A–F**, **X** и **Y**, ответ подтвердите расчётами. Атомные массы принять целыми.
2. Напишите уравнения реакций 1–6. В какой посуде хранят соединения **A** и **B**? Почему?
3. Изобразите структурные формулы **B** и **C**. Какие типы связей есть в их кристаллах и между какими именно частицами они реализуются?



Задача 3. «Как вода связала азот» (31 балл).

Превращать азот атмосферы в сложные соединения, да еще и в нормальных условиях, умеют только азотфиксирующие бактерии. Но так ли это?..

Газообразный азот достаточно инертен при комнатной температуре из-за чрезвычайно прочной связи $N\equiv N$ и большой разнице между энергией ВЗМО и НСМО. Тем не менее, фиксация азота – один из важнейших процессов, необходимых для поддержания жизни на Земле. В начале XX века был разработан процесс Габера-Боша, что легло в основу «зелёной революции».

1. Приведите уравнение реакции процесса Габера-Боша [1]. В чём суть «зелёной революции»?

Толчком к дальнейшим исследованиям более мягкого связывания азота послужило открытие А. Алленом и К. Сеноффом в 1965 году диазотного комплекса **B**. К водному раствору $RuCl_3$ добавляли гидразин в избытке аммиака с образованием **A** [2], а после через полученный раствор продували азот с получением **B** [3]. С тех пор было получено несколько сотен подобных комплексов со многими переходными металлами. Например, пропускание азота при облучении через раствор $[Cr(C_6Me_6)(CO)_3]$ приводит к образованию **C** ($\omega(Cr) = 18,3\%$) [4], а восстановление $[MoCl_4(PMe_2Ph)_2]$ натрием в толуоле в присутствии азота и избытка PMe_2Ph позволяет получить **D** ($\omega(Mo) = 13,6\%$) [5].

2. Определите вещества **A–D**, напишите уравнения реакций 2–5. Приведите структурную формулу соединения **C**. Дополнительно известно, что в структуре комплексов **A** и **B** содержится два типа лигандов в соотношении 1:5, а заряд комплексного иона в реакции 3 не меняется.

В 2024 году в журнале *Nature Communications* вышла статья исследователей из КНР и России, которые смогли превратить растворенный в воде азот в два высокореакционноспособных вещества. При пропускании электрического разряда через воду в определенных условиях образуются катион-радикалы $(H_2O)_2^{+}$, взаимодействующие в том числе и с молекулярным азотом. В качестве одного из промежуточных аддуктов образуется заряженная частица **E** симметричного строения, которая далее распадается на **F** и **G**.

3. Определите **E**, **F** и **G**, изобразите их структурные формулы. Назовите **F** и **G**. Известно, что массовая доля азота в соединении **F** превосходит долю азота в **G** на 2,75%.

Вещество **F** – крайне неустойчивое. При комнатной температуре оно легко димеризуется [6] и далее разлагается с образованием двух продуктов [7].

Соединение **G** более стабильно, хотя тоже разлагается при небольшом нагревании [8]. Оно проявляет окислительно-восстановительную двойственность, с явным преобладанием восстановительных свойств. Так, **G** легко окисляется иодом в щелочной среде [9], либо раствором хлорида железа(III) [10]. При добавлении подкисленного серной кислотой сульфата ванадия(II) **G** проявляет окислительные свойства [11]. В промышленности основная стадия получения **G** заключается в электрохимическом восстановлении известной кислоты **H** в присутствии соляной кислоты [12]. В лаборатории используют метод, основанный на синтезе сульфопроизводного. На первой стадии взаимодействием охлажденного раствора нитрита натрия с аммиаком и сернистым газом получают соль **I** ($\omega(N) = 18,5\%$) [13], которая далее гидролизуется при кипячении [14].

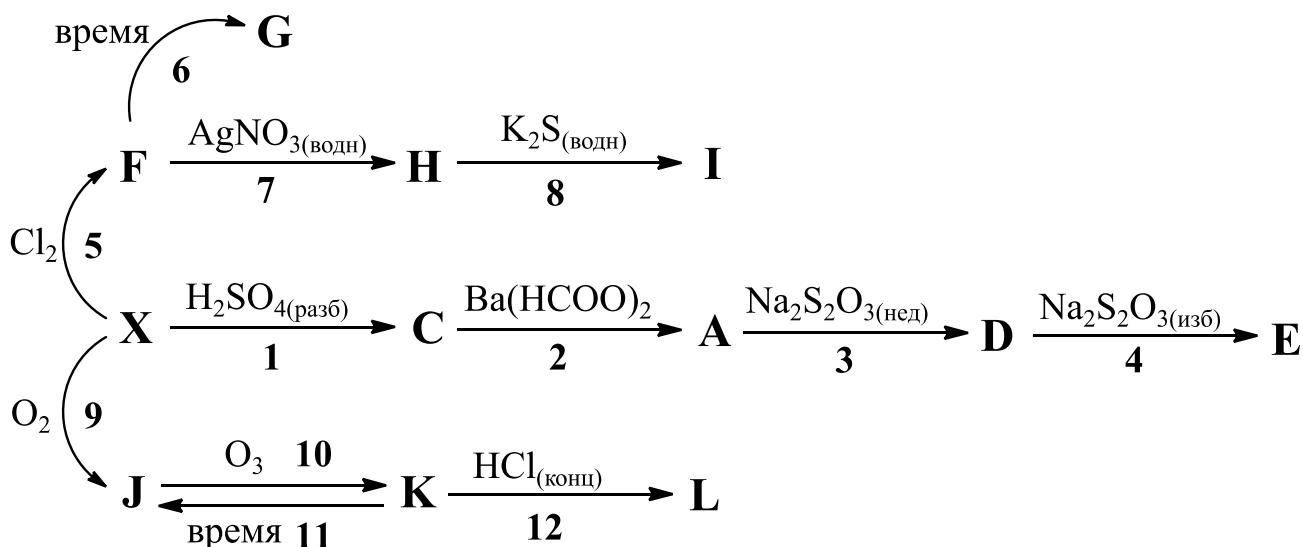
4. Определите вещества **H** и **I**, напишите уравнения реакций 6–14. Зачем при проведении реакции 12 добавляют соляную кислоту?

Задача 4. «Очень вкусно, но только один раз» (31 балл).

*"Чтобы добиться желаемого, нужно не жалобы писать, а дружить со всеми, угощать. Но в пищу особенно зловредным добавлять яд".
Фильм «Ядовитая школа» из цикла «Следствие вели...» с Леонидом Каневским*

Жидкость Клеричи – водный раствор, содержащий две соли **A** и **B** элемента **X** в массовом соотношении 1:1. Эта жидкость была получена в 1907 году итальянским геологом Энрико Клеричи. Раствор слабо окрашен в коричневый цвет. Соли **A** и **B** образованы органическими кислотами разной основности, причём название аниона кислоты **B** имеет сходство с названиями анионов малеиновой и яблочной кислот.

Отличительным свойством раствора Клеричи является возможность варьировать его плотность от 1 до 5 г/см³, из-за чего на его поверхности могут плавать шпинель, гранат и даже алмаз. Это свойство раньше использовалось в геммологии и минералогии для определения плотности исследуемого камня, что помогало доказать его подлинность. Из-за содержания элемента **X**, жидкость Клеричи чрезвычайно токсична, поэтому сегодня практически не применяется. Его массовая доля в соли **A** равна 81,96%, а в соли **B** – 66,49%. Дополнительно известно, что в соединении **G** содержится два типа атомов **X**.



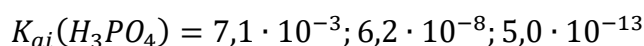
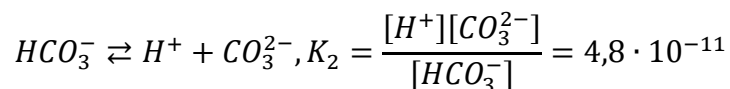
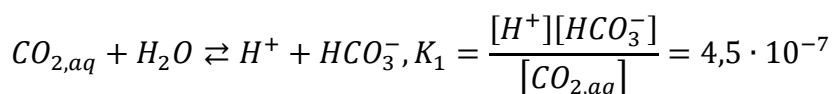
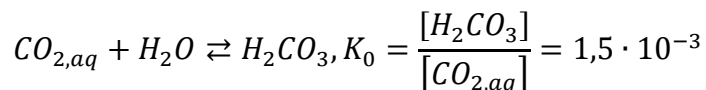
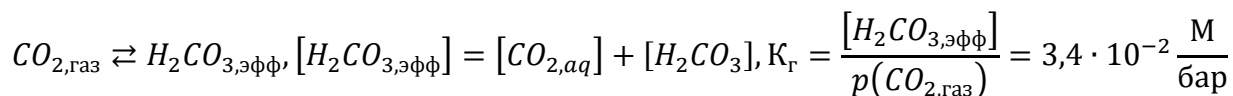
1. Что изучает геммология?
2. Определите элемент **X**. Приведите по одной реакции, демонстрирующей сходство **X** с щелочными металлами и с серебром.
3. При лечении отравлений солями **X** используется в том числе препарат «Ферроцин». Его действующим веществом является берлинская лазурь $\omega(\text{K}) = 12,74\%$. Какая реакция при этом протекает? Какие катионы еще может связывать «Ферроцин»?
4. Определите вещества **A–L**, напишите уравнения реакций 1–12.
5. В честь чего элемент **X** получил своё название?

Задача 5. «Обычная газировка» (30 баллов).

«Я бы хотел купить всему миру Coca-Cola»

Рекламный ролик Coca-Cola «На холме», 1971 год

В бутылке с Coca-Cola® объемом 2,000 л объем газовой фазы составляет 30 мл, а жидкой 1970 мл. При газации напитка такого объема в него добавляют 12,32 г углекислого газа, при этом сам напиток подкисляют фосфорной кислотой, концентрация которой в бутылке составляет $5,55 \cdot 10^{-3}$ М. В получающейся системе имеют место следующие равновесия:



1. Рассчитайте давление, рН и равновесные концентрации частиц $[CO_{2,ақ}]$, $[H_2CO_3]$, $[HCO_3^-]$ и $[CO_3^{2-}]$ в невскрытой Coca-Cola® «без сахара» при 298 К.

2. Рассчитайте рН и аналитическую концентрацию (г/л) CO_2 во вскрытой и долго простоявшей на воздухе бутылке с напитком при 298 К. Содержание CO_2 в воздухе равно 0,04 об. %.

В интернете можно найти ролик с испытанием ПЭТ-бутылки на разрыв под давлением. Оказалось, что такая бутылка выдерживает давление около 12 бар, прежде чем лопнуть.

3. До какой температуры необходимо нагреть напиток в невскрытой бутылке для её разрыва? Считайте, что нагревание не влияет на прочностные характеристики материала бутылки, а жидкая фаза при этом не расширяется.

Изменение стандартной энтальпии в процессе $CO_{2,газ} \rightleftharpoons H_2CO_{3,эфф}$ равно $-19,882$ кДж/моль.

Примечание: для решения задачи Вы можете использовать любые разумные и обоснованные приближения.

4. Недавно американский химик и научно-популярный блогер Зак Армстронг (псевдоним *LabCoatz*) воссоздал Coca-Cola по своему собственному рецепту. Отмечается, что вкус полученного напитка неотличим от оригинального бренда, а его состав включает компоненты, практически идентичные подлинному составу. Приведите не менее 6 компонентов, которые использовал *LabCoatz* для приготовления этого напитка.