

## Задачи второго тура заочного отборочного этапа Химической олимпиады имени Германа Гесса 2023

### Задача 1. Идея на миллион

Иногда попытки применить математику к повседневным вещам могут привести к неожиданным и противоестественным результатам. Конечно, в каждом таком парадоксе скрыт подвох, логическая ошибка. Давайте попробуем насладиться одним из таких шарлатанских фокусов.

Продажный металлический индий всегда содержит примесь алюминия. 50 грамм In содержащего 99,97% индия и 0,03% алюминия стоят 2000 рублей. Смесь 99,999% индия и 0,001% алюминия стоят 3000 рублей за 50 грамм.

Если ценность алюминия и индия постоянны и не зависят от пропорций в смесях, то определите, какова стоимость 1 грамма алюминия?

### Задача 2.

Трансферрин — белок плазмы крови, который осуществляет транспорт ионов железа. Каждая молекула трансферрина связывает 2 иона  $\text{Fe}^{3+}$ . В норме с ионами железа связаны только треть молекул трансферрина.

Нормальные значения содержания трансферрина в плазме крови взрослого человека 2,2 – 3,8 г/л. Массовая доля железа в трансферрине — 0,1474%.

Рассчитайте молярную массу трансферрина (целое число в кДа, 1 кДа — 1000 г/моль) и массу железа в миллиграммах, связанного с трансферрином (объем крови — 5 л, концентрация трансферрина — 3 г/л).

**Задача 3.**

Как мы знаем, если что-то идет не так, как запланировано можно всегда винить в этом ретроградный меркурий. На самом деле есть ситуации, когда меркурий, может и не ретроградный, вполне обосновано можно винить — рвота, абдоминалгия, почечная недостаточность.

Известно, что если простое вещество элемента **X** оказалось вне контейнера, в котором оно хранилось, и попало в труднодоступные места, его сбор можно облегчить с помощью хлорида железа (III) (*реакция 1*). В результате такой реакции будет получаться вещество **A**, которое также было известно древним алхимикам. При взаимодействии **A** с гидроксидом натрия будет образовываться простое вещество элемента **X** и вещество **B** красного цвета (*реакция 2*). Это вещество было использовано для первого официального получения простого вещества **C** (*реакция 3*).

Если же добавить к веществу **A** избыток иодида калия, то наряду с простым веществом образуется еще и вещество **D** (массовая доля иода — 64,54%) (*реакция 4*), которое может быть использовано для обнаружения аммиака.

Если трихлорида железа под рукой не оказалось, для сбора **X** можно использовать желтый порошок простого вещества **E** (*реакция 5*), в результате чего образуется вещество **F**, массовая доля **X** в котором составляет 86,21%.

Задания:

- 1) Определите элемент **X** и вещества **A-F**.
- 2) Напишите уравнения реакций 1–5.
- 3) Напишите другие способы получения простого вещества **C** (максимум два способа).
- 4) Может ли в Вашей повседневной жизни произойти ситуация с простым веществом **X**, описанная в задаче? Если да, то как именно?

#### Задача 4. Жажда творчества

Часто шутят о том, что в сочинения по литературе добавляют воды для увеличения объема текста. Давайте узнаем, сколько воды уже есть в тетрадном листе формата А5? Бумага состоит из целлюлозы, *простейшую* формулу которой можно записать как  $C_6(H_2O)_5$  — словно бы целлюлоза состоит из угля и воды. Кстати, именно поэтому целлюлоза — это углевод. Плотность тетрадной бумаги  $80 \text{ г/м}^2$ , размер тетрадного листа 15 на 21 см.

Сколько «воды» в 1 тетрадном листе? Ответ запишите в граммах с точностью до десятых.

#### Задача 5. Вода тяжелая и легкая

Известно, что плотность льда меньше, чем плотность воды, поэтому лед плавает на поверхности воды, а бутылка с водой, оставленная на морозе, вполне может лопнуть при замерзании. Проводя время в поисках интересных химических фактов в интернете, Колбочкин наткнулся на любопытное видео, в котором кубик *специального* льда бросили в воду — и он утонул!

##### [Ссылка на видео из задачи](#)

Секрет видео прост: вместо льда из обычной воды, в стакан кинули кубик льда из изотопно-чистой тяжелой воды  $D_2O$ . С грустью подумав о стоимости такого кубика льда, Колбочкин решил выяснить, а какую долю атомов водорода в воде достаточно заменить на дейтерий, чтобы кубик из такой смеси легкой и тяжелой воды мог утонуть в воде при  $0^\circ\text{C}$ . Вот какие данные ему удалось найти о воде жидкой и твердой:

Плотность обычной воды при  $0^\circ\text{C}$ , равна  $0,9998 \text{ г/см}^3$ . Плотность воды из легкого льда при  $0^\circ\text{C}$  равна  $0,9170 \text{ г/см}^3$ . Так как размер молекул тяжелой воды и легкой воды идентичны, то плотность льда линейно зависит от средней молярной массы воды с данным изотопным составом:

$$\rho = M(\text{воды}) \cdot k,$$

где  $k$  — некоторая постоянная для данной кристаллической структуры льда.

Итак, какую минимальную долю всех атомов водорода в моноизотопной *легкой* воде необходимо заменить на дейтерий, чтобы кубик из такого смешанного льда начал тонуть? Ответ приведите в процентах, с точностью до десятых. При решении пользуйтесь численными значениями из условия задачи!

**Задача 6. Эту задачу составила ChatGPT**

Юный химик Колбочкин, будучи большим оригиналом, решил изготовить необычную новогоднюю елочную игрушку — позолоченный шарик. В качестве основы он решил взять полый металлический шарик для конфет, который легко можно повесить на елочную ветку. К сожалению для Колбочкина, физические параметры шарика были написаны в странных имперских единицах «weight 0.9 oz, diameter 2.7 in», однако Юный химик решил, что позже с этим разберется.

Вы спросите, для чего брать металлический шарик? Дело в том, что покрыть шарик золотом Колбочкин решил с помощью гальванического процесса, а сделать это можно только на проводящую подложку, поэтому стеклянный шарик тут не годится. Для золочения Колбочкин решил использовать цианидный электролит (вы не поверите, чего только нет в запасах прадеда!).

Сперва Колбочкин механически обработал поверхность шарика наждачкой, сняв лак и краску с шарика, затем обезжирил и немного протравил фосфорной кислотой для улучшения адгезии золота к шару. После этого он приступил непосредственно к гальваническому золочению, используя шар в качестве катода. Ему пришлось потрудиться и помучиться с режимами электроосаждения, однако, он подобрал оптимальные условия. Для золочения он использовал ток плотностью  $0,2 \text{ А/дм}^2$  в течение 30 минут, после чего извлек золоченый шарик из ванны, промыл водой и просушил.

1) Какую теоретическую массу золота Колбочкин осадил на катод, если учитывать, что электролит золочения был использован с избытком?

2) Определите толщину золотого покрытия на шаре, считая, что выход по току составил 60%. Игнорируйте погрешность, вызываемую необходимостью крепления шара к электрической цепи.

**Справочная информация.**

Катодный процесс может быть описан следующей полуреакцией:



Плотность золота составляет  $19,3 \text{ г/см}^3$ .

Выход по току — выраженное в процентах отношение массы вещества, фактически выделившегося на электроде, к теоретически вычисленному ее значению.

Согласно закону Фарадея, количество вещества, выделившееся в результате электролиза, может быть выражено по формуле:

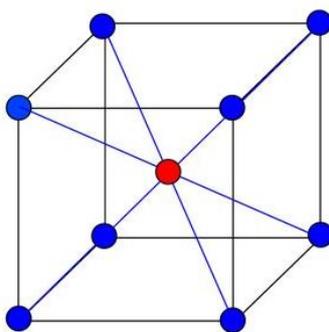
$$\nu = \frac{It}{zF}$$

где  $\nu$  — количество вещества (моль),  $I$  — сила тока (А),  $t$  — время электролиза (с),  $z$  — количество электронов в полуреакции,  $F$  — постоянная Фарадея (равная  $96\,485 \text{ Кл/моль}$ ).

### Задача 7. Три кубика в кубе

Перед периодическим законом все равны, но некоторые равнее других: особенности электронного строения могут достаточно сильно влиять на химические свойства элементов, так, например, для элемента **A** наиболее устойчивой является отнюдь не типичная для его группы степень окисления, а свойства разительно отличаются от ожидаемых.

Неожиданно, но элемент **A** растворяется в воде с образованием сильного основания желтого цвета (*реакция 1*). При реакции **A** с хлором образуется соединение **B<sub>1</sub>** (*реакция 2*), которое при нагревании разлагается по следующей схеме (*реакции 3-5*): **B<sub>1</sub>** → **B<sub>2</sub>** → **B<sub>3</sub>** → **B<sub>4</sub>**, при разложении 1000 мг исходного вещества  $\Delta m_1 = 114$  мг;  $\Delta m_2 = 57$  мг;  $\Delta m_3 = 57$  мг.



В кристаллическом виде соединение **B<sub>4</sub>** обладает объёмно-центрированной кубической решеткой (структурный тип CsCl, см. рисунок) со стороной  $a = 3,844 \text{ \AA}$  и  $\rho = 7,0 \text{ г/см}^3$ .

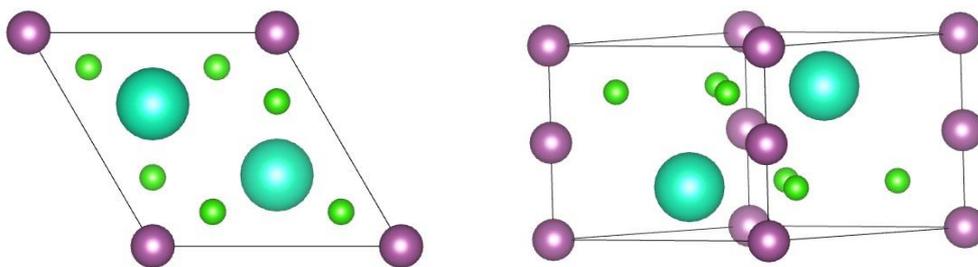
- 1) Определите соединение **B<sub>4</sub>**, ответ подтвердите расчётом.  $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ м}$
- 2) Определите соединения **B<sub>1</sub>**-**B<sub>3</sub>**, ответ подтвердите расчётом.
- 3) Предположите молекулярные формулы **B<sub>2</sub>**, **B<sub>3</sub>**, которые отражали бы структурное строение данных веществ.
- 4) Запишите уравнения *реакций 1-5*.

### Задача 8. Эс как доллар?

Химия элемента **С** была во многом предсказана еще Менделеевым — до открытия самого элемента. Но скорее всего такую неожиданную реакцию Менделеев не мог предсказать. Перед вами описание синтеза соединения **X** с очень нетипичной для **С** степенью окисления.

Тщательно избегайте контакта реакционной смеси и ее компонент с влажным воздухом как до, так и после синтеза! Смешайте в танталовом стакане в молярном соотношении 3:2:1 бинарное вещество **A**, бинарное вещество **B** и простое вещество **С** (это, конечно же, это загаданный нами элемент). Герметично заварите танталовый стакан и нагрейте его до 700°C. Оставьте его при этой температуре на несколько дней. После этого медленно остудите печь со стаканом до 650°C и продержите еще сутки. И, наконец, охладите стакан. Синтез закончен! (*реакция 1*)

Полученный порошок **X** — это единственный продукт реакции соединения **A**, **B** и **С**. Он имеет темно-синий цвет и бурно реагирует с водой, выделяя водород (*реакция 2*). Окраска при этом пропадает, а в растворе образуется белая муть. Кристаллическая структура **X** выглядит так:



Каждый из трех шариков соответствует своему элементу, размеры шариков соответствуют атомным радиусам элементов. При объеме кристаллической ячейки  $283 \text{ \AA}^3$ , измеренная плотность соединения составляет примерно  $3,34 \text{ г/см}^3$ .

А теперь финальная подсказка для вас: каждый из элементов в каждом из соединений **A**, **B**, **С**, **X** имеет в своем обозначении латинскую букву «с».

- 1) Сколько атомов каждого типа приходится на одну элементарную ячейку **X**? Запишите ответ в формате  $M_mN_nC_c$ ?
- 2) Определите молярную массу **X**.
- 3) Определите вещества **A**, **B**, **С**, **X**.
- 4) Запишите уравнения реакций 1 и 2.
- 5) Какова стандартная степень окисления элемента **С** и какова она в соединении **X**?

**Задача 9. Очевидно, что**

Два неизвестных вещества **A** и **B** имеют в своём составе одинаковое количество протонов. Интересно их отношение к электролизу.

При гипотетическом электролизе расплава вещества **A** на аноде происходит выделение бесцветного газа **C** (*реакция 1*). А при электролизе расплава вещества **B** новые вещества не выделяются ни на одном из электродов.

Интересно, что при растворении в воде, оба вещества **A** и **B** взаимодействуют с водой (*реакции 2, 3*) с выделением газа **C**. Электролиз любого из полученных растворов приводит к выделению на катоде газа **C**, а на аноде другого газа **D** (*реакция 4*).

Для точного анализа навеску вещества **B** массой 1,00 г сожгли в избытке хлора (*реакция 5*), а раствор полученного вещества **E** смешали с раствором нитрата серебра (*реакция 6*). При этом выпало 7,15 г белого осадка.

Определите все неизвестные вещества и запишите все упомянутые уравнения реакций. Не забудьте привести расчёты, подтверждающие ваш ответ.

**Задача 10. Удачи**

Кислоту **X** часто считают сильной, хотя на деле в водных растворах она диссоциирует так себе. При действии на ее соли по-настоящему сильными кислотами можно получить раствор со вкусом, который часто встречается при готовке соусов и маринадов. В газовой фазе **X** (а **X** в норме является газом) легко образует димеры за счет водородных связей, в больших концентрациях обладает весьма резким запахом.

В реальном мире раствор **X** обычно покупают в пластиковых бутылках, а вот хранить ее в стеклянной таре было бы опрометчиво. Некоторые смеси **X** обладают «суперспособностями» — они могут растворять даже такие инертные объекты, как восковые свечи.

Вопреки распространённому телевизионному заблуждению, эта кислота вряд ли смогла бы разъесть ванную, ее содержимое и деревянные перекрытия, поскольку она почти не проявляет окислительной активности.

- 1) Напишите реакцию, которая протекает между нитратом свинца и кислотой **X** с образованием осадка.
- 2) Установите состав соединения, которое образуется при реакции **X** с металлом Hf в присутствии концентрированной азотной кислоты. Известно, что массовая доля Hf в этом соединении равна 56,76%.
- 3) В приготовлении какого блюда вы бы использовали **X**?