

**Разбалловка и решения второго тура заочного отборочного этапа
Химической олимпиады имени Германа Гесса 2022**

Задача 1. Не тормози или «Добро пожаловать на олимпиаду по химии»-2
(автор — Евгений Анохин)

Туристы любят брать с собой в походы всякие сладости, ведь они позволяют быстро подкрепиться и восполнить запас сил и энергии. Практика показывает, что одного небольшого сникерса массой 50,5 г хватает, чтобы грести в байдарке до стоянки ещё около 10 км.

Калорийность пищи рассчитывают путем ее сжигания в калориметре. Энергетическая ценность небольшого сникерса составляет 256 ккал. Вычислите, какую массу съеденного сахара ($C_{12}H_{22}O_{11}$) заменяет один сникерс.

Справочная информация:

1 кал = 4,2 Дж



Решение:

Для начала неплохо было бы привести все энергетические единицы измерения к единому. Например, мы можем перевести ккал в кДж:

$256 \text{ ккал} \times 4,2 \text{ Дж / ккал} = 1075,2 \text{ кДж}$ составляет энергетическая ценность сникерса.

Далее найдем соотношение между калорийностью сникерса и количеством теплоты, выделяющимся при сжигании сахарозы:

$1075,2 \text{ кДж} / 5644 \text{ кДж} = 0,1905$.

Написанное в справочной информации уравнение реакции является термохимическим. Приведенное в нем количество теплоты выделяет *на 1 моль реакции*, это означает, что такое количество теплоты выделяется, когда количества прореагировавших веществ равно стехиометрическому количеству молей. Т.е., в случае сахарозы 5644 кДж тепла выделяется, когда 1 моль сахарозы реагирует с 12 моль кислорода с образованием 12 моль углекислого газа и образованием 11 моль воды.

Молярная масса сахарозы $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ составляет 342,3 г/моль.

Тогда масса сахара, которую заменяет один сникерс, составляет:

$0,1905 \times 342,3 = 65,2 \text{ г}$.

Ответ: 65,2 г.

Разбалловка:

Корректно переведена энергетическая ценность сникерса в Дж или теплота сжигания сахарозы в калории — 2 балла

Вычисление молярной массы сахарозы — 2 балла

Корректный расчет итоговой массы сахара — 6 баллов

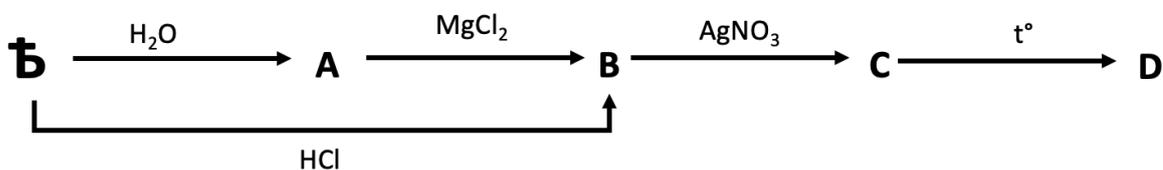
Верный ответ с рассуждениями и расчетами, но с другой корректной последовательностью действий — 10 баллов

Верный ответ без расчетов — 0 баллов

Задача 2. Ave Maria Luminosa (автор — Глеб Алёшин)

Химик Колбочкин в очередной раз делал инвентаризацию в лаборатории. В одном из отдаленных сейфов своего прадеда он нашел ампулу с датой «1924» и частично стершуюся чернильную надпись «Хлорид ...» с формулой, которую он прочитал как $\mathbf{B}Cl_2$. На первый взгляд в ампуле он ничего не обнаружил, однако при внимательном рассмотрении на стенке ампулы он обнаружил 2 маленьких кристалла белой соли. Колбочкин не остановился на этом и решил получить чистый металл \mathbf{B} , чтобы исследовать его свойства. Для этого он провел электролиз $\mathbf{B}Cl_2$ на ртутном электроде и затем испарил ртуть в инертной атмосфере. Так он получил чистый металл \mathbf{B} . Проведя ряд экспериментов с этим металлом он сделал вывод, что будь у него целый 1 грамм этой соли, то можно было бы таким способом получить целых 0,7609 г чистого металла. Хотя это было бы ужасно дорого и ужасно опасно...

- 1) Определите металл \mathbf{B} . Ответ подтвердите расчетом.
- 2) Напишите уравнение получения \mathbf{B} описанным в задаче способом.
- 3) Напишите уравнения реакций по следующей схеме (все вещества содержат металл \mathbf{B}):



Решение:

1. Рассчитаем элемент. Для этого воспользуемся стехиометрическим соотношением:

$$n(\text{BCl}_2) = n(\text{B})$$

$$\frac{m(\text{BCl}_2)}{M(\text{BCl}_2)} = \frac{m(\text{B})}{M(\text{B})}$$

$$A_r(\text{B}) \cdot m(\text{BCl}_2) = (A_r(\text{B}) + 2A_r(\text{Cl})) \cdot m(\text{B})$$

$$A_r(\text{B}) \cdot (1 - 0,7609) = 54,0239$$

$$A_r(\text{B}) = 225,95$$

Следовательно, металл – радий (Ra)

2. $\text{RaCl}_2 \rightarrow \text{Ra} + \text{Cl}_2$
3. $\text{Ra} + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ra}(\text{OH})_2 + \text{H}_2$
 $\text{Ra}(\text{OH})_2 + \text{MgCl}_2 \rightarrow \text{Mg}(\text{OH})_2 + \text{RaCl}_2$
 $\text{Ra} + 2 \text{HCl} \rightarrow \text{RaCl}_2 + \text{H}_2$
 $\text{RaCl}_2 + 2 \text{AgNO}_3 \rightarrow \text{Ra}(\text{NO}_3)_2 + 2 \text{AgCl}$
 $2 \text{Ra}(\text{NO}_3)_2 \rightarrow 2 \text{RaO} + 4 \text{NO}_2 + \text{O}_2$

Разбалловка:

Вычислена атомная масса элемента — 2 балла

Корректно определен элемент Ra — 2 балла

Реакция электролиза — 1 балл

Реакции со схемы — $5 \times 1 = 5$ баллов

За каждую неуравненную реакцию — по 0,5 балла

За верный ответ без обоснований и расчетов — 0 баллов

Задача 3. Аналитика с душком (автор — Евгений Анохин)

В этом году юный Колбочкин решил, что ему обязательно необходимо подготовиться к будущему региональному этапу ВсОШ по химии, ведь когда-то же он дорастет до девятого класса. Колбочкин знал, что девятиклассникам на регионе стандартно дают аналитику, и поэтому решил освоить сероводородную схему анализа катионов.

В сероводородной схеме анализа классически применяют растворы сульфида аммония и соляной кислоты. К сожалению, Колбочкин, как многие другие юные экспериментаторы, не отличался большой аккуратностью. Он случайно пролил 100 мл 6 М соляной кислоты прямоком в стакан с 100 г 20%-ого раствора сульфида аммония (реакция 1).

Юный химик проводил свои эксперименты в лаборатории, которая представляла собой не слишком сильно переоборудованный небольшой папин сарай; размеры сарая — 10 × 7 × 2,5 м. Опыты Колбочкин проводил на зимних каникулах, а лаборатория плохо отапливалась, температура в ней была около 15 °С, давление атмосферное. Кроме того, в сарае-лаборатории не было оборудованной тяги.

- 1) Напишите уравнение описанной в задаче химической реакции.
- 2) Вычислите объем выделившегося сероводорода.
- 3) Считая, что газ распределен в лаборатории равномерно, рассчитайте концентрацию сероводорода в воздухе (в ppm или ppb; используйте более подходящие единицы).
- 4) Сможет ли Колбочкин почувствовать запах сероводорода в помещении?
- 5) Ожидают ли его какие-либо опасные последствия? Если да, то какие?

Справочная информация:

$pV = \nu RT$ (уравнение Менделеева-Клапейрона)

ppm (parts-per-million) — миллионная доля; 10^{-6} .

ppb (parts-per-billion) — миллиардная доля; 10^{-9} .

1 ppm H_2S в смеси означает, что на каждый один миллион молекул смеси приходится только одна молекула сероводорода.

Для сероводорода известны следующие данные о токсичности:

~1 ppb — порог обнаружения запаха;

10-20 ppm — нижняя граница ощущения раздражения глаз;

50-100 ppm — повреждение слизистой глаз;

100-150 ppm — паралич обонятельного нерва, запах перестает ощущаться;

320-530 ppm — отек легких, возможность смерти;

800 ppm — LC_{50} (летальная концентрация для 50% людей при воздействии в течение 5 минут)

> 1000 ppm — мгновенная остановка дыхания и смерть от единственного вдоха.

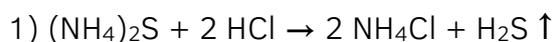
Решение:

Прежде чем написать уравнение реакции, нам необходимо понять, насколько стехиометрически все реагирует в описанной ситуации. Рассчитаем количества кислоты и сульфида:

$$V_{\text{HCl}} = 0,1 \text{ л} \times 6 \text{ М} = 0,6 \text{ моль}$$

$$V_{(\text{NH}_4)_2\text{S}} = 100 \text{ г} \times 0,2 / 68,15 \text{ г/моль} = 0,293 \text{ моль}$$

Получается, что даже с учетом двухкратного соотношения кислота находится в реакционной смеси в избытке и мы в любом случае должны писать полную реакцию без каких-либо кислых сульфидов или любых других вариантов.



2) Мы уже знаем количество вещества выделяющегося сероводорода, поскольку уже посчитали количество сульфида аммония. Остается только применить уравнение Менделеева-Клапейрона для поиска объема газа при заданной температуре (не забудем перевести температуру Кельвины):

$$V = 0,293 \text{ моль} \times 8,314 \text{ Дж/моль}\cdot\text{К} \times 288 \text{ К} / 101325 \text{ Па} = 0,00692 \text{ м}^3 = 6,92 \text{ л}$$

3) Посчитаем объем помещения лаборатории:

$$10 \text{ м} \times 7 \text{ м} \times 2,5 \text{ м} = 175 \text{ м}^3$$

Дальше нам необходимо просто вычислить долю сероводорода в помещении. Для газов объемные и мольные доли равны между собой, поэтому мы можем напрямую оперировать отношением объемов:

$$0,00692 \text{ м}^3 / 175 \text{ м}^3 = 3,954 \cdot 10^{-5} = 39,54 \text{ ppm}$$

4) Да, поскольку концентрация сероводорода в воздухе на 4 порядка выше, чем порог обнаружения запаха, но при этом ниже, чем та, с которой начинается паралич обонятельного нерва. Запах в лаборатории будет ужасный.

5) Колбочкин будет ощущать в лаборатории как минимум резь в глазах. Вообще мы крайне не рекомендуем находиться в такой токсичной атмосфере никому.

Разбалловка:

Уравнение реакции — 1 балл

Вычисление объема выделившегося сероводорода — 3 балла

Перевод объема в концентрацию в ppm — 4 балла

Ответ на вопрос про запах — 1 балл

Ответ на вопрос про последствия — 1 балл

За верный ответ без обоснований и расчетов — 0 баллов

Задача 4. Взболтать, но не смешивать (авторы — Алексей Чепига и Владимир Королёв)

Три индивидуальных вещества **A**, **B** и **C**, жидкие при комнатной температуре, попарно не смешиваются и не реагируют друг с другом. Жидкость **A** представляет из себя бинарное соединение с массовой долей углерода 83,3%. Формульная единица **A** в 2,79 раза легче, чем формульная единица **B**, а при горении **A** одним из продуктов является жидкость **C**.

- 1) Укажите формулы жидкостей **A**, **B** и **C**.
- 2) Приведите реакцию горения **A**.
- 3) Приведите реакцию, продуктами которой являются **B** и **C** в мольном соотношении 1:1.

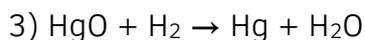
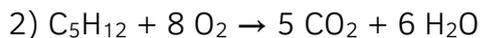
Решение:

1) При горении **A** одним из продуктов будет CO_2 , а это газ. Значит, жидкость **C** является оксидом второго — неизвестного — элемента. Его массовая доля 16,7%, и это довольно мало. Предположим, что это водород (и тогда **C** — H_2O , вода).

По массовым долям элементов найдём состав **A**: C_5H_{12} .

Отсюда формульная единица **B** имеет массу 200,9 а.е.м., что близко к молярной массе ртути Hg.

Эти 3 жидкости (C_5H_{12} , Hg, H_2O) действительно не реагируют и не смешиваются



Разбалловка:

1) Определение **A** — 3 балла,

Определение **B** — 2 балла

Определение **C** — 2 балла

2) Реакция — 1 балл

3) Реакция — 2 балла

Задача 5. Защитим земли от вампиров (автор — Владимир Королёв)

Юный химик Колбочкин был крайне удивлен и заинтригован, обнаружив **Y** (соединение металла **M**) в известном сборнике методов синтеза веществ. Как сообщает сборник, из расчета на 13,72 г **Y** вам потребуется взять ровно 4,00 г **A** (**A** — оксид металла **M**), и кипятить его с водой в серебряной колбе в течение суток, строго следя за отсутствием CO_2 в колбе. Полученный порошок **B** следует добавить к очень крепкому (60%!), кипящему раствору соединения **C**. Эту реакцию совершенно необходимо проводить в серебряной колбе. Соединение **C** хорошо известно Колбочкину, но, уважаемому читателю он сообщит лишь массовую долю кислорода в нем: 40%. В результате реакции между **B** и **C** образуется требуемое вещество **Y**, чувствительное к влаге при хранении.

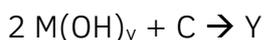
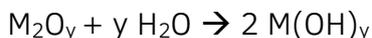
Колбочкина удивило сразу несколько вещей. Во-первых, серебряные колбы сразу навели химика на мысль, что здесь где-то замешаны вампиры или аристократы. Во-вторых, сам факт существования **Y** казался удивительным. Посмотрев на соседей металла **M** по группе, металлы **L** и **N**, Колбочкин все сразу понял. Оксид металла **L** при взаимодействии с растворами **C** легко образует соединение **X**, отличающееся от **Y** только металлом. А вот оксид **N** с **C** не реагирует совсем.

- 1) Определите вещества **A**, **B**, **C**, **Y**, запишите уравнения упомянутых реакций.
- 2) Запишите уравнение реакции **Y** с водой.
- 3) Объясните выбор серебряной посуды вместо стеклянной, не прибегая к гипотезам о вампирах.
- 4) О каких металлах **L**, **N** идет речь? Что за соединение **X** образуется при реакции **L** с **C**?

Решение:

Запишем схему превращений: $A + H_2O \rightarrow B, B + C \rightarrow Y$

Оксид металла мы запишем в виде M_2O_y , чтобы облегчить перебор вариантов на всякий случай. Из схемы ясно, что B – гидроксид, соединение состава $M(OH)_y$.



Попробуем определить, что может представлять собой хорошо известное C. Молярная масса C равна

$$\omega(O) = n \cdot \frac{M(O)}{M(\text{соединение C})}, \Rightarrow M(C) = n \cdot \frac{M(O)}{\omega(O)} = 40 \cdot n \frac{\text{г}}{\text{моль}}$$

Для $n=1$ $M(C) = 40$ г/моль, на все помимо кислорода остается 24 г/моль – подходит NaOH. Можно сделать вывод, что в следующей реакции щелочь реагирует с основанием, полученным в первой реакции. Значит основание из первой реакции проявляет амфотерные свойства (что, правда, удивило Колбочкина). По аналогии с реакциями $Zn(OH)_2, Al(OH)_3$ запишем общее уравнение образования гидроксокомплексов.



На 13,72 грамма Y приходится 4 грамма M_2O_y . Из одного моля оксида в нашей записи получается 2 моля соединения Y.

$$n(M_2O_y) : n(Na_x M(OH)_{y+x}) =$$

$$\frac{1}{2} = \frac{m(M_2O_y)}{M(M_2O_y)} : \frac{m(Na_x M(OH)_{y+x})}{M(Na_x M(OH)_{y+x})} = \frac{4}{2M + 16y} : \frac{13,72}{M + 23x + 17(x+y)} \Rightarrow$$

$$\frac{13,72}{M + 23x + 17(x+y)} = \frac{8}{2M + 16y}$$

$$27,44M + 219,52y = 8M + 184x + 136(x+y)$$

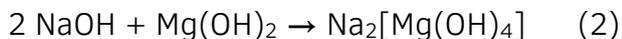
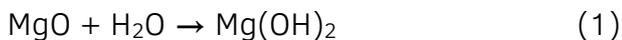
$$19,44M = 320x - 83,52y, M = 16,46x - 4,296y$$

	x=1	x=2	x=3	x=4
y=1	12,164, C	28,624, Si	45,084, Sc	61,544 —
y=2	7,868, —	24,328, Mg	40,788, ~Ca?	57,248 —
y=3	3,572 —	20,032 Ne	36,492 —	52,952 —
y=4	-0,724 —	15,736 O	32,196 S	48,656 —

Напомним, что x и y это число атомов натрия и валентность металла у соответственно. Из полученных молярных масс для разных x, y к металлам можно отнести лишь Sc, Mg, Ca. Скандий («экаалюминий» у Менделеева) имеет типичную валентность 3, а значит

не подходит. Расчетная молярная масса для Са слишком сильно отличается от табличной. Остается только магний. А значит

А это MgO (сокращаем Mg₂O₂), В это Mg(OH)₂, С это NaOH, Y это Na₂[Mg(OH)₄].

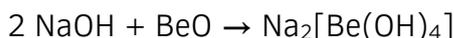


2. Y это очень неустойчивое соединение, разлагающееся на смесь оснований (технически, не совсем уравнение реакции с водой)



3. Щелочи реагируют с кислотными оксидами, к которым относится и SiO₂ – оксид кремния, из которого сделаны колбы. Поэтому стеклянная колба в таком синтезе частично растворится и загрязнит продукты силикатом натрия. Серебро в щелочи не растворяется, поэтому серебряная колба — это отличный выбор для синтезов с концентрированной щелочью. Вампиры и аристократы не при делах.

4. Таблица Менделеева группирует элементы по сходству их химических свойств. Химические свойства магния должны быть похожи на соседа сверху и снизу – Be, Ca. Оксид бериллия хорошо растворяется в щелочах с образованием X



Оксид кальция не проявляет амфотерных свойств и является типично основным оксидом -аналогично стронцию, барию, радю. Металлические свойства усиливаются при движении вниз по группе и магний все еще остается чуть-чуть амфотерным.

Разбалловка:

Реакции (1), (2), (3), вещества А, В, С, Y — по 1 баллу, итого 7 баллов

Объяснение выбора посуды — 2 балла

Правильные металлы L, N, соединение X — 1 балл в сумме.

Отсутствие расчета Y не позволяет получить баллы за (1),(2),(3), А, В, Y

Задача 6. Кинетика новогодних мандаринов (автор — Александр Соболев)

Из курса химии известно, что при увеличении температуры проведения реакции на 10 градусов ее скорость увеличивается в X раз, где X — число от 2 до 4. Мандарины, купленные вечером 1 января, испортились в холодильнике к ужину 19 января. При этом мандарины, забытые на подоконнике, испортились за 2 дня.

- 1) считая температуру в холодильнике равной $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, а на подоконнике равной $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, определите температурный коэффициент X процесса порчи мандаринов
- 2) какого числа испортятся мандарины, купленные 1 января, которые поместили в камеру с температурой $10\text{ }^{\circ}\text{C}$?

Также из курса химии известно, что за одинаковые промежутки времени мандарин становится менее свежим в одинаковое количество раз. Например, за неделю мандарин остаётся свежим наполовину, за две недели — на четверть, за три недели — на одну восьмую и т.д.

- 3) Приблизительно оцените, за какое время мандарин испортится на 99,9%?

Решение:

При температуре 0 °С мандарины испортились за $19 - 1 = 18$ дней, а при температуре 20 °С за 2 дня, то есть в 9 раз быстрее. Если при нулевой температуре принять скорость реакции за v_0 , тогда при повышении на 10 градусов скорость станет больше в X раз, то есть есть связь $v_{10} = X \cdot v_0$. С другой стороны, при увеличении еще на 10 градусов скорость снова должна возрасти в X раз: $v_{20} = X \cdot v_{10} = X^2 \cdot v_0$. Получается, что при увеличении температуры на 20 градусов скорость возросла в X^2 раз, но мы знаем, что это число равно 9. Автоматически получаем $X = 3$. При температуре 10 °С мандарины должны испортиться в 3 раза быстрее, чем в холодильнике, то есть за $18:3 = 6$ дней. Если мандарины куплены 1-го января, то испортятся они 1 + 6 = 7-го числа.

По условию за каждую неделю мандарин становится все менее свежим в одинаковое число раз. После первой недели мандарин будет свежим на 0,5, после второй — на $0,25 = 0,5^2$, после третьей — на $0,125 = 0,5^3$. Получается, если мандарин по прошествии какого-то времени стал сгнившим на 99,9%, то свеж он на $1 - 0,999 = 0,001$ часть. То есть нужно просто оценить время, когда свежесть мандарина будет наиболее близка к одной тысячной, при этом свежесть равна единице, деленной на 2^n , где n — число прошедших недель. Вспомнив степени двойки, найдем, что $2^9 = 512$, а $2^{10} = 1024$. Если посчитать в десятичных дробях, то получим $0,5^9 \approx 0,00195 > 0,001 > 0,000977 \approx 0,5^{10}$. То есть правильный ответ — мандарин сгниет на 99,9% после девяти недель хранения, но до десяти. Более точную оценку можно дать на основании того, что 1:1000 ближе к 1:1024, чем к 1:512, то есть на такую величину мандарин сгниет скорее ближе к концу десятой недели.

Разбалловка:

Формула связи v_{20} и v_0 через температурный коэффициент — 2 балла

Определение температурного коэффициента X — 2 балла

Расчет даты порчи мандаринов при 10 °С — 3 балла

Корректная оценка порчи на 99,9% — 3 балла

За верный ответ без обоснований и расчетов — 0 баллов

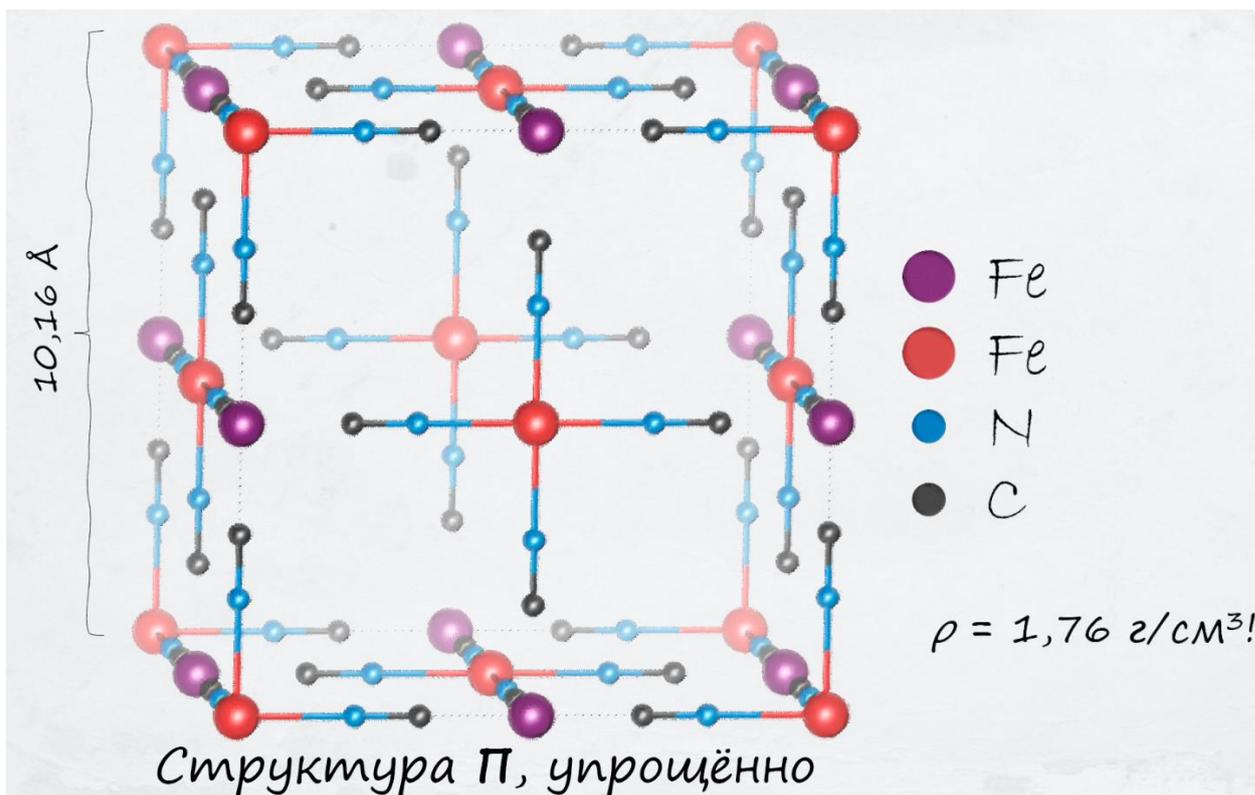
Задача 7. Дедовские методы (автор — Владимир Королёв)

Прадед Колбочкина тоже был химиком. В его времена трава была зеленее, солнце — ярче, а многие современные методы исследования химических веществ попросту еще не были изобретены. Одним из самых модных и точных инструментов для определения строения веществ тогда были рентгеновские методы — использующие то же самое рентгеновское излучение, которым тогда и сейчас определяют переломы или делают флюорографию.

Однажды, играя с котом, юный Колбочкин нашел тетрадь с записями своего знаменитого предка. Оказалось, что Колбочкин-старший занимался исследованием состава знаменитого пигмента, вещества **П**. Судя по записям, было хорошо известно, что в его состав входят углерод, азот, железо, а также водород и кислород, но точная формула пигмента ускользала от исследователей. Колбочкин-старший нашел интересный подход к этой задаче. С помощью трофейного рентгеновского дифрактометра, вывезенного из Германии, он установил расположение атомов железа, углерода и азота в кристаллической структуре пигмента **П** — оказалось, что кристалл вещества состоит из абсолютно одинаковых кубиков со стороной $10,16 \text{ \AA}$ (10^{-10} м). Несколько упрощенное расположение атомов Fe, C и N в них указано на рисунке в тетради.

Расположение атомов кислорода и водорода надежно определить не удалось. Тогда прадед Колбочкина применил смекалку и измерил плотность порошка пигмента **П** по его плавучести в разных растворителях – она равна $1,76 \pm 0,01 \text{ г/см}^3$. Последним шагом стала гипотеза о том, что водород и кислород соединены в соединении в молекулы воды, которые находятся в полостях кубиков. К сожалению, листа тетради с окончательным выводом формулы пигмента не нашлось. Помогите Колбочкину повторить научный подвиг прадеда!

- 1) Установите формулу соединения $\text{Fe}_x\text{C}_y\text{N}_z \cdot n \text{ H}_2\text{O}$, обязательно приведите расчёт и пояснения!
- 2) Как называется этот пигмент?



Решение:

Хотя это одна из самых длинных задач, решается она достаточно просто. Во-первых, установим количество атомов железа, углерода и азота в кристаллической ячейке структуры. Важно помнить — если атом находится внутри ячейки, то он целиком ей принадлежит. Если атом находится на грани, то только половина атома находится внутри ячейки — другая половина принадлежит соседней ячейке. На ребре лишь четверть атом принадлежит ячейке, а в вершине и вовсе лишь одна восьмая.

- Красные атомы железа: $8 \cdot 1/8 + 6 \cdot 1/2 = 4$
- Фиолетовые атомы железа: $12 \cdot 1/4 = 3$
- Атомы углерода = атомы азота: $24 \cdot 1/4 + 24 \cdot 1/2 = 18$

Итого $\text{Fe}_7(\text{CN})_{18}$. Некий цианид железа.

Во-вторых, определим число молекул воды.

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m(\text{ячейки})}{V(\text{ячейки})} = \nu(\text{ячейки}) \cdot \frac{M(\text{ячейки})}{V(\text{ячейки})} = \frac{N(\text{форм. Единиц в ячейке}) \cdot M(\text{ячейки})}{V(\text{ячейки}) \cdot N_{\text{Авогадро}}}$$

$$= \frac{1 \cdot (7 \cdot 56 + 18 \cdot 12 + 18 \cdot 14 + n \cdot (18))}{N_{\text{Авогадро}} \cdot V(\text{ячейки})} = \frac{860 + 18n}{6,02 \cdot 10^{23} \cdot 1049 \cdot 10^{-24}}$$

$$1,76 = \frac{860 + 18n}{631,5}, \quad 1111 = 860 + 18n$$

$$n \approx 14$$

Отсюда формула $\text{Fe}_7(\text{CN})_{18} \cdot 14\text{H}_2\text{O}$, или $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$. Это берлинская лазурь, она же турнбулева синь.

Разбалловка:

Расчет атомов железа — 2 балла

Расчет атомов C, N — 2 балла

Расчет n воды — 4 балла

Название соединения — 2 балла

Арифметические ошибки снимают не более 50% за пункт. Отсутствие расчетов дает лишь баллы за название соединения.

Задача 8. $\cos A = \sqrt{2}/2$ (автор — Алексей Тишкин)

Соединение **A**, состоящее из трёх элементов, в таблице Менделеева «имеет форму равнобедренного прямоугольного треугольника». Его можно синтезировать следующим образом.

Газ **B** ($\omega(O) = 57,1\%$) пропускается через кварцевую трубку (нагретую до $800\text{ }^\circ\text{C}$) с простым веществом **C**. Полученная при этом газовая смесь многократно очищается, после чего конденсируется вещество **A**. Оно крайне реакционноспособно и даже холодной водой гидролизуется с образованием двух газов **D** ($\omega(O) = 0,0\%$) и **E** ($\omega(O) = 72,7\%$). При растворении в холодном растворе КОН можно получить раствор двух солей **F** и **G**. Соль **G** при стоянии на воздухе постепенно окисляется в растворе с образованием красного порошка простого вещества **C**.

- 1) Расшифруйте все загаданные вещества. Ответ подтвердите расчётом.
- 2) Напишите все описанные уравнения реакций.
- 3) Какое строение в реальности имеет молекула вещества **A**?

Решение:

Первая фраза в условии сначала кажется довольно странной. Означает она довольно простую вещь: все элементы этого соединения расположены в таблице Менделеева так, что образуют соответствующую фигуру. Наличие в нескольких веществах кислорода сразу ограничивает нас в выборе возможных вариантов решения. По значениям массовых долей можно определить, что **B** – это CO. Прделаем это расчёт:

$$\omega_O = 0,571 = \frac{16n}{M}$$

$$M = 28n$$

Очевидно, что при $n = 1$ молярная масса соединения составляет 28 г/моль , что соответствует угарному газу.

Аналогичный расчёт можно провести по соединению **E**:

$$\omega_O = 0,727 = \frac{16n}{M}$$

$$M = 22n$$

$$M_{\text{остатка без кислорода}} = 6n$$

Легко заметить, что при $n = 2$ это соответствует атому углерода, тогда **E** — CO_2 .

Теперь, когда мы знаем, что два элемента — это углерод и кислород, мы можем построить «равнобедренный прямоугольный треугольник в таблице Менделеева».

	6 C	7 N	8 O	9 F
	14 Si	15 P	16 S	17 Cl
	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br
	50	51	52	53

Получается, что третий элемент — селен. Тогда искомое вещество **A** — COSe (на что косвенно намекает название задачи). Дальнейшее решение задачи уже не имеет большой сложности.

Все вещества:

A — COSe

B — CO

C — Se

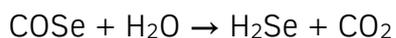
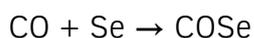
D — H₂Se

E — CO₂

F — K₂CO₃

G — K₂Se

Все реакции:



$2 \text{K}_2\text{Se} + 2 \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow 4 \text{KOH} + 2 \text{Se}$ (да, более грамотно писать до Se₈, если указана красная форма, но можно записать и упрощённо)

В реальности молекула COSe будет иметь линейное строение: O = C = Se.

Разбалловка:

Вещество A — 1 балл

Вещества B-G — по 0,5 балла, суммарно — 3 балла

Доказательство вычислением — 1 балл

Уравнения реакций — по 1 баллу, суммарно — 4 балла

Указание на линейное строение — 1 балл.

Итого: 10 баллов

Задача 9. 33 богатыря (автор — Александр Соболев)

На позапрошлой олимпиаде Гесса участники пытались разобраться в сложных приключениях трех богатырей. Теперь вам предстоит разобраться в приключении сразу тридцати трех богатырей, которые сторожили князя Гвидона в его дворце. В один вечер после ужина всем тридцати трем богатырям стало резко плохо. Придворный доктор сразу заподозрил коварную повариху в отравлении доблестных воинов. По его предположению она могла использовать соединения элемента Э, которые могут вызвать симптомы острого отравления, а также даже убить, если не начать срочно принимать меры.

Итак, доктор взял аликвоту предположительно отравленного борща, добавил в колбу с аликвотой несколько гранул цинка и несколько капель серной кислоты. Через некоторое время он начал наблюдать выделение газа, обладающего характерным неприятным запахом травянистого растения (**вещество А, реакция 1**). Присоединив к колбе трубку и начав нагревать ее середину, доктор через некоторое время обнаружил, что на стенках трубки образуется гладкий слой черного цвета (**вещество Б, реакция 2**). Для окончательного подтверждения своей правоты он сжег одну часть вещества Б на воздухе (**вещество В, реакция 3**), а другую — в чистом кислороде (**вещество Г, реакция 4**). В первом случае образовался белый порошок, масса которого оказалась в 1,320 раза больше, чем масса Б. Во втором случае также образовался белый порошок, масса которого изначально была в 1,534 раза больше массы Б, со временем масса порошка только увеличивалась.

Известно, что все четыре вещества содержат элемент Э, причем в каждом из соединений степень окисления Э разная. Вещество Б простое, а степени окисления Э в веществах А и В одинаковые по модулю. В **реакции 1** используйте в качестве реагента вещество В. Также дополнительно известно, что массовая доля элемента Э в веществе А составляет 96,15%.

1) Напишите уравнения четырех описанных реакций, разгадайте все вещества и элемент Э. Ответ подтвердите расчетами.

2) Масса вещества Г увеличивается со временем из-за поглощения им воды. Напишите уравнение реакции Г с водой. Какую среду дает полученный раствор?

К счастью, у доктора было необходимое лекарство БАЛ, которое часто используется при подобных отравлениях.

3) Установите простейшую формулу лекарства БАЛ, если при сжигании его навески массой 12,42 г образуется 13,2 г углекислого газа, 7,2 г воды, 12,8 г оксида серы (IV).

Подсказка: при сгорании веществ $C_xH_yS_mO_z$ в кислороде образуются исключительно вышеперечисленные продукты.

Решение:

Проще всего начать решение с веществ **В** и **Г**. Если вещество **Б** – простое, значит, **В** и **Г** – это его оксиды элемента **Э**. Общая формула оксидов – ЭO_n , где n принимает положительные целые и полуцелые значения. Очевидно, что оксид **В** содержит меньше атомов кислорода, т. к. увеличение массы при образовании **В** меньше, чем в случае образования **Г**.

$$\frac{M(\text{ЭO}_n)}{M(\text{Э})} = 1 + \frac{16 \cdot n}{M(\text{Э})} = 1,32$$

Соответственно, можно вывести выражение для атомной массы **Э**:

$$M(\text{Э}) = 50 \cdot n$$

Перебор n дает адекватные элементы при $n = 1,5$ ($M(\text{Э}) = 75$ г/моль, мышьяк), $n = 3$ ($M(\text{Э}) = 150$ г/моль, самарий), $n = 3,5$ ($M(\text{Э}) = 175$ г/моль, лютеций), а также $n = 4$ ($M(\text{Э}) = 200$ г/моль, ртуть). Получаем варианты для **В**: As_2O_3 , SmO_3 , Lu_2O_7 , HgO_4 . С точки зрения химии здесь адекватный только первый вариант – оксид мышьяка (III).

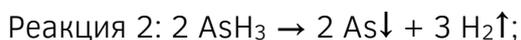
По аналогичной формуле через увеличение массы можно рассчитать формулу оксида **Г**:

$$74,9 = M(\text{Э}) = \frac{16}{0,534} m = 30 \cdot m, \text{ откуда } m = 2,5. \text{ То есть } \text{Г} \text{ – оксид мышьяка (V) } \text{As}_2\text{O}_5.$$

Также очевидно, что элемент **Э** – это мышьяк, а **Б** – простое вещество мышьяк **As**. В соединении **А** степень окисления мышьяка или +3 или -3, вероятнее всего его валентность в любом случае будет равна трем. Также можно рассчитать молярную массу **А**:

$$M(\text{А}) = \frac{74,9}{0,9615} \text{ г/моль} = 77,9 \text{ г/моль}$$

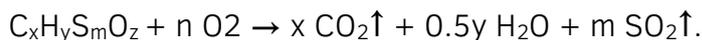
Вычитая атомную массу мышьяка, получаем остаток 3, то есть **А** – это арсин AsH_3 . Теперь в целом можно написать все реакции. Самая сложная – это первая, в которой цинк и серная кислота выделяют водород, который восстанавливает мышьяк из его оксида.



Чтобы ответить на второй вопрос задачи, можно считать, что свойства мышьяка аналогичны свойствам фосфора, соответственно, оксид мышьяка тоже является кислотным оксидом и при реакции с водой дает кислоту (кислая среда раствора):



Для определения состава БАЛ используем подсказку и напишем реакцию:



Из данных о массах продуктов можно однозначно рассчитать соотношение x, y, m :

$$x = \frac{13,2}{44} = 0,3; y = \frac{2 \cdot 7,2}{18} = 0,8; m = \frac{12,8}{64} = 0,2; x : y : m = 3 : 8 : 2$$

Если предположить, что в соединении БАЛ действительно 3 атома углерода (а не 6, 9, 12 и т.д.), то число моль БАЛ при сгорании v (БАЛ) = $0,3:3$ моль = $0,1$ моль. Тогда молекулярная масса БАЛ равна $12,42:0,1$ г/моль = $124,2$ г/моль. Вычтем массу фрагмента $C_3H_8S_2$ и получим в остатке 16, что идеально подходит под один атом кислорода. То есть наше вещество имеет простейшую формулу $C_3H_8S_2O$. Это димеркапрол или британский антилюизит – средство, используемое при отравлении соединениями мышьяка. Оно дезактивирует мышьяк, связывая его в относительно безвредные хелатные комплексы.

Разбалловка:

1) Определение элемента — 1 балл

Определение четырех веществ, а также записанные верно четыре уравнения реакции — по 0,5 балла (максимум $1 + 8 \times 0,5 = 5$ за подпункт)

2) Реакция оксида мышьяка с водой — 1 балл

Ответ про кислотность среды — 1 балл (максимум $1 + 1 = 2$ за подпункт)

3) Расчет количеств продуктов сгорания — 1,5 балла

Корректная формула противоядия — 1,5 балла

За верный ответ без обоснований и расчетов — 0 баллов

Задача 10. Одна Ошибка и ты Ошибся (авторы — Владимир Королёв и Евгений Анохин)

Это страшно ядовитое вещество **Z** (не дай бог вам им облиться, или съесть его!) встречается нам заметно чаще, чем можно сперва подумать. С этим веществом можно столкнуться в поликлинике, в хвойном лесу, а некоторые из вас даже могут найти его в своем холодильнике. В его состав входит один из самых распространенных элементов во Вселенной. Основное применение вещества **Z**, как и других похожих отравляющих веществ — массовое уничтожение живых организмов.

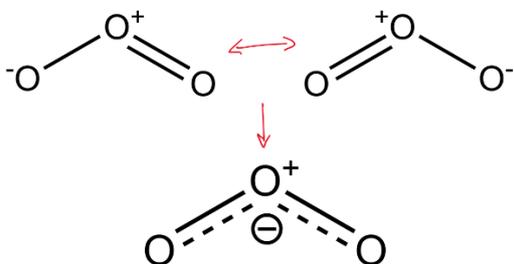
Рубрика «забавные факты»: исторически, основной источник получения вещества **Z** — действие излучения крупного термоядерного реактора на распространенное и доступное простое вещество **Щ**. На Титане вещество **Z** было бы темно-синей жидкостью. Пары вещества **Z**, согласно мнению знаменитого химика, обладают слабым запахом раков.

- 1) Определите вещество **Z**. Нарисуйте строение молекулы **Z**.
- 2) Напишите реакцию образования **Z** из **Щ** под действием излучения термоядерного реактора.
- 3) Напишите реакцию вещества **Z** с каким-нибудь жидким при комнатной температуре металлом.

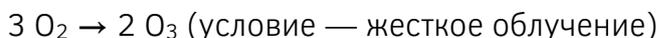
Решение:

1) Вещество **Z** — озон. Понять это можно по нескольким пунктам описания. Для начала, стоит вспомнить, что единственный доступный человечеству крупный термоядерный реактор — Солнце. Под действие солнечного света попадают в основном те **простые** вещества, которые находятся в атмосфере; в основном это азот и кислород. Если почитать остальные факты, довольно быстро становится понятно, что здесь зашифрованы именно свойства озона (хотя облиться озоном на Земле довольно сложно, мы все равно не рекомендуем это делать). Забавный факт, что Менделеев действительно писал, что озон обладает запахом раков.

Строение молекулы озона: озон представляет собой угловую молекулу, в которой центральный атом кислорода образует связь по донорно-акцепторному механизму. Таким образом, можно изобразить любую из резонансных или усредненных структур:



2) Простое вещество **Ц** — кислород.



3) «Какой-нибудь жидкий при комнатной температуре металл» — это, конечно же, ртуть. Ни цезий, ни галлий не годятся в качестве жидких при комнатной температуре металлов, поскольку их температура плавления заметно выше 25 °С.



Разбалловка:

Определение вещества **Z** — 4 балла

Корректное строение молекулы озона — 2 балла

Реакция образования озона — 2 балла

Реакция озона со ртутью — 2 балла