

Задача 10-1.

*Кашу маслом не испортишь,
а задачу – солями
от Автора*

Многие бинарные вещества кристаллизуются в структурном типе хлорида натрия – именно им и посвящена данная задача.

Вещество **A** представляет собой нерастворимое в воде соединение почти чёрного цвета, хорошо растворимое в кислотах, например, в соляной (*реакция 1*), при этом образуется розовый раствор соли **A₁**. При добавлении к раствору КОН сначала выпадает осадок **A₂** розового цвета (*реакция 2*), а затем при добавлении избытка щёлочи он растворяется (*реакция 3*) с образованием раствора синего цвета, содержащего вещество **A₃**.

1. Определите вещества **A-A₃**. Приведите уравнения реакций 1-3.

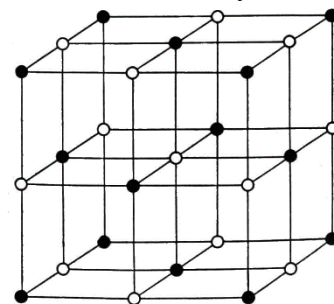
Вещество **B** – кристаллы белого цвета, легко растворяются в воде с выделением большого количества теплоты (*реакция 4*) – образуется продукт **B₁**. Растворением 1,12 г вещества **B** в 400 мл воды получили раствор **B₁** с pH=13.

2. Определите вещества **B, B₁** – ответ подтвердите расчётом. Приведите уравнение реакции 4.

Вещество **C** – очень сильное основание, используется например в органическом синтезе. Растворяется в воде (*реакция 5*) с выделением большого количества теплоты и лёгкого взрывоопасного газа **H**. При растворении 0,084 г **C** в 350 мл воды получили раствор сильного основания **C₁** с pH=12.

3. Определите вещества **C, C₁, H** – ответ подтвердите расчётом. Приведите уравнение реакции 5.

Вещество **D** – один из типичных представителей веществ, кристаллизующихся в данном типе. Элементарная ячейка **D** представлена на рисунке справа. Известны следующие её характеристики: $a = 7,348 \text{ \AA}$, $\rho = 3,55 \text{ г/см}^3$. Также необходимо определить Z – число формульных единиц, для этого необходимо посчитать число атомов одного сорта (выделены в структуре одним цветом), приходящееся на одну ячейку с учётом их расположения. Так, атомы в вершинах куба одновременно принадлежат сразу 8 ячейкам, т.е. вклад каждого такого атома в значение Z составит всего $1/8$. Аналогично вклад атомов в центрах граней в Z составит всего $1/2$ т.к. атом в центре грани принадлежит двум ячейкам, а атомы на центрах ребер составят вклад $1/4$ т.к. входят в состав сразу 4 ячеек.



4. Определите формулу вещества **D**, подтвердите расчётом.

Вещество **E** также является типичным представителем веществ со структурным типом NaCl. При внесении в пламя **E** окрашивает его в фиолетовый цвет и дает белый осадок при реакции с нитратом серебра.

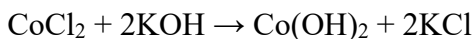
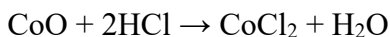
5. Определите вещество **E**.

Дополнительная информация:

- $pH = -\lg(c(H^+))$; $pOH = -\lg(c(OH^-))$; $pH + pOH = 14$
- $\lg$ – десятичный логарифм числа – число, в которое надо возвести 10, чтобы получить исходное. $\lg(a) = b$, если $10^b = a$
- В элементарной ячейке a – параметр ячейки сторона куба, измеряется в Å – ангстремах, $1\text{Å} = 10^{-10}\text{ м}$, Z – число формульных единиц, описано в условии
- Для элементарной ячейки справедлива формула $\rho = \frac{MZ}{V_{\text{яч.}} \cdot N_A}$, где M – молярная масса (в г/моль), ρ – плотность (в г/см³), $V_{\text{яч.}}$ – объём элементарной ячейки (в см³)

Решение Задачи 10-1

- Исходя из качественных признаков становится ясно, что речь идёт о соединениях переходного элемента, при этом само вещество A имеет формулу вида XY , где X и Y какие-то элементы, находящиеся в соотношении 1 к 1. Поскольку A не растворяется в воде, но растворяется в воде, приходим к выводу, что A – оксид металла в степени окисления +2. Исходя из цветов хлорида, осадка гидроксида и гидроксокомплекса приходим к выводу, что A – CoO , A_1 – $CoCl_2$, A_2 – $Co(OH)_2$, A_3 – $K_2[Co(OH)_4]$



- $pH + pOH = 14$, $pOH = 14 - pH = 14 - 13 = 1$; $c(OH^-) = 10^{-pOH} = 0,1\text{ М}$
 $n(OH^-) = c \cdot V = 0,1\text{ М} \cdot 0,4\text{ л} = 0,04\text{ моль}$.
 $M_{eq}(B) = \frac{m(B)}{n(OH^-)} = \frac{1,12\text{ г}}{0,04\text{ моль}} = 28\text{ г/моль}$ – молярная масса эквивалента (эквивалент – частица, дающая после реакции с водой одну OH^- -группу). Понимаем, что B – вероятно, оксид, дающий при растворении щёлочь, а если этот оксид кристаллизуется в типе $NaCl$, то это оксид щелочноземельного металла, а значит $M(B) = 2 \cdot M_{eq} = 56\text{ г/моль}$, что соответствует CaO . Значит $B_1 - Ca(OH)_2$
 $CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$

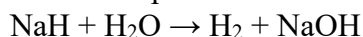
- Лёгкий взрывоопасный газ, очевидно, водород, $H - H_2$. Металл щелочной, так как гидрид должен соответствовать структуре хлорида натрия. Рассчитаем количество образовавшегося гидроксида по pH раствора:

$$c(OH^-) = 10^{-pOH} = 10^{pH-14} = 10^{-2} = 0,01\text{ М}$$

$$n(C) = n(OH^-) = 0,01\text{ М} \cdot 0,35\text{ л} = 0,0035\text{ моль}$$

$$M(C) = \frac{m(C)}{n(C)} = \frac{0,084\text{ г}}{0,0035\text{ моль}} = 24\text{ г/моль}$$

Такой молярной массе соответствует гидрид натрия, $C - NaH$, $C_1 - NaOH$



- Неважно, подсчётом атомов какого цвета занялся участник, т.к. суммарно их приходится одинаковое кол-во, т.к. стехиометрические коэффициенты в формуле совпадают. Так, например, если производить расчёт по чёрным атомам, то получим $Z = 8 \cdot \frac{1}{8} + 6 \cdot \frac{1}{2} = 4$, а если по белым, то $Z = 1 + 12 \cdot \frac{1}{4} = 4$. Далее подставляем все известные значения в данную формулу с учётом размерностей (ангстремы переводим в сантиметры): $3,55 = \frac{4M}{6,02 \cdot 10^{23} \cdot (7,348 \cdot 10^{-8})^3} \Leftrightarrow M \approx 212 \frac{\text{г}}{\text{моль}} \Rightarrow D - RbI$
- $E - KCl$ (калий даёт фиолетовый цвет в пламени, хлорид – белый осадок с $AgNO_3$)

Система оценивания

Вещества А – А ₃	2 балла – по 0,5 балла за каждое
Уравнение реакции	3 балла – по 1 баллу за каждое
Вещества В – В ₁	1 балл – по 0,5 за каждое
Расчёт по pH	2 балла
Уравнение реакции	1 балл
Вещества С, С ₁ , Н	1,5 балла – по 0.5 за каждое
Расчёт по pH	2 балла
Уравнение реакции	1 балл
Расчёт числа формульных единиц Z	2 балла
Применение формулы	3 балла
Вещество D	1 балл
Вещество E	0,5 балл
Итого	20 баллов

Задача 10-2.

*Химия – раздел математики
«Народная» мудрость*

В наши дни как никогда остро стоит проблем лечения онкологических заболеваний, причём в зависимости от места локализации опухоли методы лечения могут отличаться. Так, например, при возникновении опухолей щитовидной железы применяют препараты радиоактивного изотопа иода ¹³¹I, который претерпевает β⁻ распад.

1. Приведите уравнение реакции распада данного радиоактивного изотопа иода. При уравнивании пользуйтесь принципами постоянства массы и суммарного заряда. Обязательно укажите массовые числа и заряды всех участников реакции.

Реакции распада практически всегда представляют собой элементарные реакции первого порядка. Так, например, реакция распада ¹³¹I является именно реакцией первого порядка и имеет константу скорости $k = 1,003 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1}$. Зависимость концентрации реагента от времени протекания реакции для реакции первого порядка описывается следующим уравнением: $kt = \ln \frac{C_0}{C}$, где k – константа скорости, t – время протекания реакции, C_0 – начальная концентрация реагента, C – текущая концентрация реагента в момент времени t .

2. Вычислите период полураспада $t_{1/2}$ для ¹³¹I, используя данное в условии уравнение. Учтите, что период полураспада – время, за которое прореагирует ровно половина от исходной концентрации. Если Вы не можете высчитать значение логарифма на калькуляторе, примите $\ln 2 = 0,693$.

Для реакции второго порядка кинетическое уравнение имеет немного иной вид, а именно: $kt = \frac{1}{C} - \frac{1}{C_0}$, обозначения те же, что и ранее. При этом в данном случае значение периода полураспада зависит от начальной концентрации.

3. Используя кинетическое уравнение второго порядка, выведите зависимость периода полураспада от начальной концентрации для реакции второго порядка. Конечное уравнение должно содержать только $t_{1/2}$ в левой части и C_0 , k и числовые коэффициенты в левой части.

Константа скорости любой реакции зависит от температуры. Для описания температурной зависимости классически используют два уравнения – уравнение Вант-Гоффа (более простое) и уравнение Аррениуса (более точное). Правило Вант-Гоффа гласит, что скорость реакции (а значит и константа скорости) при увеличении температуры на 10 градусов увеличивается в γ раз, математически уравнение имеет вид $\frac{k^{T_2}}{k^{T_1}} = \gamma^{\frac{T_2 - T_1}{10}}$.

Уравнение Аррениуса имеет вид $k = A * e^{-\frac{E_A}{RT}}$, где A – так называемый предэкспоненциальный множитель, характеризующий число столкновений молекул в единицу времени, E_A – энергия активации (Дж/моль) – энергия, которую необходимо сообщить молекулам реагентов для перехода в возбужденное состояние для протекания реакции, R – универсальная газовая постоянная, 8,314 Дж/моль*К, T – температура в Кельвинах

Для реакции $2HI \rightarrow H_2 + I_2$ протекает в широком диапазоне температур, при этом известны значения констант скорости при двух T : $k^{283^\circ C} = 3,086 * 10^{-7}$, $k^{333^\circ C} = 1,248 * 10^{-6}$.

- Используя значения констант и уравнение Вант-Гоффа, определите значение коэффициента γ для данной реакции
- Используя значения констант и уравнение Аррениуса, определите значение энергии активации для данной реакции. Если Ваш калькулятор не позволяет вычислить натуральный логарифм, приведите ответ в виде $E_A = a * \ln b$, где a и b какие-то числа.

Решение задачи 10-2

- ${}^{131}_{53}I \rightarrow {}^{131}_{54}Xe + {}^0_{-1}e$
- В момент времени $t = t_{1/2}$ текущая концентрация равна половине начальной по определению $C = \frac{1}{2} C_0$, подставляя эти значения в кинетическое уравнение, получим $kt_{1/2} = \ln \frac{C_0}{\frac{1}{2}C_0} = \ln 2 \Leftrightarrow t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k} = \frac{0,69}{1,003 * 10^{-6}} \approx 690\,000 \text{ с} \approx 8 \text{ суток}$
- Аналогично пункту 2 выводим аналогичное уравнение для реакции первого порядка:

$$kt_{1/2} = \frac{1}{\frac{C_0}{2}} - \frac{1}{C_0} = \frac{2}{C_0} - \frac{1}{C_0} = \frac{1}{C_0} \Leftrightarrow t_{1/2} = \frac{1}{kC_0}$$
- Подставив в уравнение Вант-Гоффа отношение констант и разность температур (в данном случае перевод в Кельвины не является обязательным, так как в уравнении фигурирует только разность температур, а не сама температура), получим уравнение $\frac{k^{333}}{k^{283}} = \gamma^{\frac{333-283}{10}} = \frac{1,248 * 10^{-6}}{3,086 * 10^{-7}} = \gamma^5 = 4,044 \Leftrightarrow \gamma \approx 1,32$. Ответ вида $\sqrt[5]{4,044}$ следует засчитать как верный, поскольку является альтернативной формой математической записи
- Случай с уравнением Аррениуса несколько сложнее: Во-первых, необходимо перевести температуры из градусов Цельсия в Кельвин: $283^\circ C = 556K$, $333^\circ C = 606K$. Далее необходимо взять отношения констант при двух температурах, после чего провести несколько математических манипуляций, чтобы прийти к виду:

$$\frac{k^{T_2}}{k^{T_1}} = \frac{e^{-\frac{E_A}{RT_2}}}{e^{-\frac{E_A}{RT_1}}} = e^{\frac{E_A}{RT_1} - \frac{E_A}{RT_2}} = e^{\frac{E_A(T_2 - T_1)}{RT_1 T_2}}$$

$$\ln \frac{k^{T_2}}{k^{T_1}} = \frac{E_A(T_2 - T_1)}{R T_1 T_2} \Leftrightarrow E_A = \frac{R T_1 T_2 \ln \frac{k^{T_2}}{k^{T_1}}}{T_2 - T_1} \approx 78200 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}}$$

Если участник не умеет вычислять логарифмы, он должен предоставить ответ в виде:

$$E_A = \frac{RT_1T_2}{T_2 - T_1} * \ln \frac{k^{T_2}}{k^{T_1}} = 56026 * \ln 4,044$$

Такой ответ также оценивается максимальным баллом

Система оценивания:

Реакция распада изотопа иода	1 балл
Вывод формулы периода полураспада	2 балла
Расчёт значения периода полураспада	1 балл
Вывод формулы	3 балла
Вывод коэффициента γ по уравнению	4 балла
Перевод температуры в К	1 балл
Идея о поиске отношения констант	2 балла
Математические преобразования	5 баллов
Итоговый ответ	1 балл
Итого	20 баллов

Задача 10-3.

*И у близнецов пальцы разные
Корейская народная мудрость*

Углеводороды – огромная группа органических веществ общего вида C_nH_m , проявляющих крайне различные свойства. При этом для углеводородов характерна изомерия – соответствие различных веществ одной брутто-формуле.

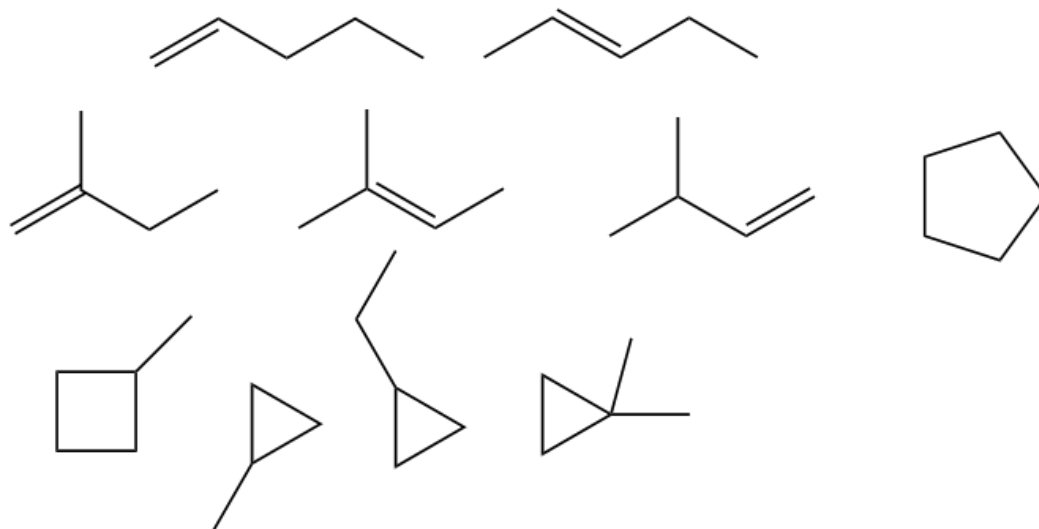
Углеводород **A** содержит 14,29% водорода по массе, представляют собой жидкость, а его пары имеют плотность по азоту 2,5.

1. Определите брутто-формулу вещества **A**. Ответ обязательно подтвердите расчётом
2. К каким классам веществ может относиться вещество **A** исходя из его брутто-формулы? Подсказка: часть изомеров обесцвечивает бромную воду, а часть нет.
3. Приведите структурные формулы всех возможных изомеров (без учета стереоизомеров) вещества **A**. Можно использовать как скелетные структурные формулы, так и полные.
4. Приведите структурные формулы всех возможных продуктов реакции всех (где возможно) изомеров с HBr. Уравнения реакций приводить не обязательно.

Решение задачи 10-3

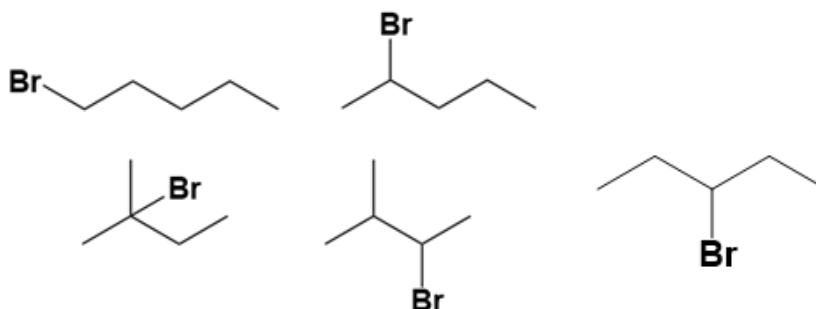
1. Найдём молярную массу на 1 атом водорода $M = \frac{1}{0,1429} \approx 7 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$; Домножив данное значение на 2 получим молярную массу 14 г/моль, что соответствует фрагменту CH_2 . Приходим к выводу, что вещество имеет формулу C_nH_{2n} . Рассчитаем молярную массу углеводорода по плотности его паров: $M = D_{N_2} * M(N_2) = 2,5 * 28 \frac{\text{г}}{\text{моль}} = 70 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$. Поделив на массу одного звена (14 г/моль), получим количество звеньев в молекуле: $n = \frac{70 \frac{\text{г}}{\text{моль}}}{14 \frac{\text{г}}{\text{моль}}} = 5 \Rightarrow$ брутто-формула **A** – **C₅H₁₀**. Любые иные расчётные доказательства данной брутто-формулы, приводящие к правильному ответу засчитываются как верные и оцениваются полным баллом

2. Степень ненасыщенности данного углеводорода – 1, значит он может принадлежать либо к классу алкенов, либо к классу циклоалканов
3. Все возможные структурные формулы представлены ниже:



Приведены скелетные структуры, аналогичные структуры оцениваются полным баллом, как и полные и сокращенные структурные формулы, если они отражают правильный порядок связи и можно различить изомеры между собой

4. Все возможные продукты реакций с бромоводородом представлены ниже:



Аналогично пункту 3, оцениваются максимальным баллом любые формулы, отражающие структуру, как скелетные, так и полные и сокращенные

Система оценивания:

Определение брутто-формулы	3 балла
Определение возможных классов	2 балла – по 1 баллу за каждый класс
Структурные формулы изомеров	10 баллов – по 1 за каждую структуру
Структурные формулы продуктов	5 баллов – по 1 балла за структуру
Итого	20 баллов

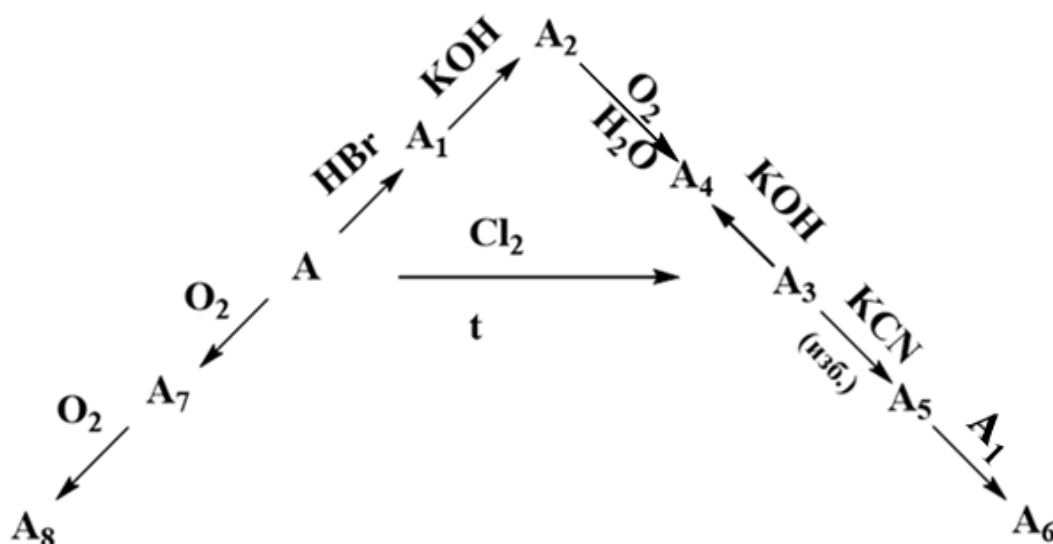
Задача 10-4.

*Урезонить сварливую жену – всё
равно, что ковать остывший А
Шотландская поговорка*

Ниже представлена схема превращений соединений металла A , известного с древности.

Про некоторые соединения из этой схемы известно следующее:

- A_1 и A_3 отличаются степенью окисления A и анионами, входящими в их состав, при этом $\frac{\omega_{A_1}(A)}{\omega_{A_3}(A)} = 0,7523$, где $\omega_{A_1}(A)$ – массовая доля A в веществе A_1 , $\omega_{A_3}(A)$ – массовая доля A в веществе A_3 .
- Массовая доля A в веществе A_7 составляет 72,41%, а A_8 – высший оксид A – вещество красно-коричневого цвета.
- Реакция $A_5 \rightarrow A_6$ протекает как реакция ионного обмена, A_6 содержит два различных катиона и не содержит бромид-анионов в своем составе



Используя эти данные, выполните следующие задания:

1. Определите элемент A , подтвердите расчётом
2. Определите вещества $A_1 - A_8$.
3. Приведите уравнения реакций, представленных на схеме (всего 9 реакций)
4. Реакция $A_5 \rightarrow A_6$ является качественной, а вещество A_6 имеет несколько тривиальных названий. Приведите одно из этих названий

Решение Задачи 10-4

1. Очевидно, что степень окисления металла в A_3 больше, чем в A_1 , так как хлор является окислителем. Представим формулы неизвестных веществ в следующем виде: $A_1 - ABr_n$, $A_3 - ACl_m$, и запишем выражения для массовых долей в них:

$$\omega_{A_1} = \frac{M(A)}{M(A) + 80 * n}; \quad \omega_{A_3} = \frac{M(A)}{M(A) + 35,5 * m};$$

$$\frac{\omega_{A_1}}{\omega_{A_2}} = \frac{\frac{M(A)}{M(A) + 80 * n}}{\frac{M(A)}{M(A) + 35,5 * m}} = \frac{M(A) + 35,5m}{M(A) + 80n} = 0,7523$$

Теперь приведем данную дробь к виду $M(A) = \dots$:

$$M(A) + 35,5m = 0,7523(M(A) + 80n)$$

$$0,2477M(A) = 60,184n - 35,5m$$

$$M(A) = \frac{60,184n - 35,5m}{0,2477} = 242,97n - 143,32m$$

Далее подставляя вместо n и m небольшие числа такие, что $m > n$ рассчитаем возможные значения молярной массы металла A , представим результаты в виде таблицы:

$n \backslash m$	2	3	4	5	6
1	<0	<0	<0	<0	<0
2	-	55,98	<0	<0	<0
3	-	-	155,63	12,31	<0
4	-	-	-	255,28	111,96
5	-	-	-	-	354,93

Из таблицы видно, что единственный подходящий численно вариант возможен при $n = 2, m = 3, M(A) = 55,98$. Приходим к выводу, что металл **A – Fe** железо.

2. Исходя из знаний о химии железа можно определить большую часть веществ. Для A_7 можно провести расчёт по массовой доле: $M(A_7) = \frac{56}{0,7241} = 77,337 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$ на 1 атом железа. Можем вычислить число атомов кислорода на 1 атом железа: $N(O) = \frac{77,337 - 56}{16} = 1,3336$. Простейшая формула оксида $A_7 - \text{FeO}_{1,3336}$, однако домножив все коэффициенты в формуле на 3 получим целые числа – **$A_7 - \text{Fe}_3\text{O}_4$** , что и будет конечным ответом. Также сложности могут возникнуть с веществом A_6 – оно является сложной солью – гексацианоферратом (II) калия-железа (III) – единственный вариант, при котором соль содержит 2 катиона и не содержит бромид-анионы. Все вещества представлены в таблице ниже:

A₁	A₂	A₃	A₄
FeBr ₂	Fe(OH) ₂	FeCl ₃	Fe(OH) ₃
A₅	A₆	A₇	A₈
K ₃ [Fe(CN) ₆]	KFe[Fe(CN) ₆]	Fe ₃ O ₄	Fe ₂ O ₃

3. $\text{Fe} + 2\text{HBr} \rightarrow \text{FeBr}_2 + \text{H}_2$
 $\text{FeBr}_2 + 2\text{KOH} \rightarrow \text{Fe(OH)}_2 + 2\text{KBr}$
 $2\text{Fe} + 3\text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{FeCl}_3$
 $\text{FeCl}_3 + 3\text{KOH} \rightarrow \text{Fe(OH)}_3 + 3\text{KBr}$
 $\text{Fe(OH)}_2 + \frac{1}{4} \text{O}_2 + \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe(OH)}_3$
 $\text{FeCl}_3 + 6\text{KCN} \rightarrow \text{K}_3[\text{Fe(CN)}_6] + 3\text{KCl}$
 $\text{K}_3[\text{Fe(CN)}_6] + \text{FeBr}_2 \rightarrow \text{KFe[Fe(CN)}_6] + 2\text{KBr}$
 $3\text{Fe} + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4$
 $2\text{Fe}_3\text{O}_4 + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow 3\text{Fe}_2\text{O}_3$

Обратите внимание, что часть уравнений записана с дробными коэффициентами, такие уравнения оцениваются полным баллом, как и уравнения с коэффициентами – минимальными целыми числами. В случае если участник ошибся в одном коэффициенте в реакции ставится половина баллов.

4. Прусский синий или Турнбулева синь или берлинская лазурь

Система оценивания:

Расчёт металла	5 баллов, если выдвинуто предположение, что металл – железо и вычислены массовые доли и доказана верность их отношения – 3 балла
Вещества $A_1 - A_8$	4 балла, по 0,5 за каждое, без расчёта – 0
Реакции 1-9	9 баллов, по 1 за каждое (см. решение)
Тривиальное название	2 балла за любое верное название
Итого	20 баллов

Задача 10-5.

Тяжело в учении – легко в бою

А. В. Суворов

В химической лаборатории часто возникают ситуации, когда необходимо определить точную концентрацию какого-либо вещества. В таком случае может помочь такой метод количественного анализа как титрование. Титрование – метод, основанный на добавлении по каплям реagenta с точно известной концентрацией к фиксированному объёму титруемого вещества (аликвоте) по каплям, пока всё титруемое вещество не прореагирует. При этом момент, когда всё вещество прореагировало (т.н. конечная точка титрования) должен быть чётко виден, для этого либо используют реакции, характеризующиеся четким изменением цвета, либо добавляют к реагентам индикаторы (например, фенолфталеин или метилоранж в случае проведения т.н. кислотно-основного титрования).

Химик Колбочкин нашёл в лаборатории старую банку с подписью (Перекись водорода, 20%). Однако поскольку банка была старой, а перекись водорода имеет свойство разлагаться со временем, надписи верить уже было нельзя, и химик Колбочкин решил определить точную концентрацию перекиси в этой склянке. Для этого он подготовил необходимое оборудование: конические колбы для проведения титрования, бюретку – длинный сосуд с точной мерной шкалой и носиком – для прибавления по каплям точного объёма раствора в колбу, пипетку Мора – для переноса аликвоты объёмом 10,00 мл в коническую колбу, а также мерную колбу объёмом 100,00 мл – для разбавления раствора перекиси. Также Колбочкин нашёл стандартный раствор перманганата калия и раствор серной кислоты. Далее выполнял титрование по следующей методике:

- I. В мерную колбу объёмом 100,00 мл перенёс 10,00 мл раствора перекиси неизвестной концентрации и довёл дистиллированной водой до метки, получив тем самым 100,00 мл кратно разбавленного раствора
- II. В бюретку залил раствор перманганата калия с **массовой долей 2,370%**
- III. В коническую колбу для титрования перенес аликвоту (10,00 мл) раствора перекиси из мерной колбы (именно разбавленного!!!)
- IV. Добавил в колбу 10 мл раствора серной кислоты (для создания кислой среды)
- V. Прибавлял из бюретки по каплям раствор перманганата калия до тех пор, пока раствор не перестал обесцвечиваться – последняя капля окрасила раствор в бледно-розовый цвет, что свидетельствовало о том, что вся перекись прореагировала
- VI. Согласно методике, Колбочкин повторил титрование до получения трёх сходящихся результатов объёма перекиси, пошедшей на титрование одинаковых аликвот. Сходящимися принято считать значения объёма, отличающимися не более

чем на 0,1 мл. Колбочкину получить такие результаты удалось не сразу, поэтому он провёл 5 титрований и получил следующие результаты: 11,10 мл, 11,30 мл, 11,35 мл, 11,50 мл, 11,35 мл

На этом этапе юный химик понял, что не способен оформить лабораторный журнал и провести необходимые расчёты. Помогите бедному Колбочкину, ответив на следующие вопросы и выполнив задания:

1. Приведите уравнение протекающей в колбе реакции, учтите, что среда раствора кислая.
2. Почему Колбочкин не стал добавлять индикатор?
3. Какие 3 значения следует взять Колбочкину, чтобы они были сходящимися?
4. Определите средний объём перманганата, пошедший на титрование (среднее арифметическое трёх сходящихся результатов)
5. Рассчитайте молярную концентрацию раствора перманганата калия, приняв плотность раствора равной плотности воды
6. Зная, что в конечной точке титрования вся перекись водорода прореагировала, а перманганат отсутствует поскольку добавлялся по каплям до полного протекания реакции, выведите формулу для расчёта концентрации перекиси, используя объём аликвоты, объём перманганата калия и его концентрацию, не забудьте учесть стехиометрические коэффициенты.
7. Определите концентрацию перекиси водорода в мерной колбе. По ней определите концентрацию перекиси водорода в исходном растворе
8. Используя рассчитанное значение концентрации перекиси в исходном растворе, определите массовую долю перекиси в нём.

Решение Задачи 10-5

1. $2\text{KMnO}_4 + 5\text{H}_2\text{O}_2 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + 8\text{H}_2\text{O} + 5\text{O}_2$
2. Перманганат калия – окрашенное вещество, которое в точке эквивалентности полностью расходуется и раствор теряет окраску, то есть перманганат сам является индикатором и добавление дополнительных веществ не требуется
3. 11,30 мл, 11,35 мл, 11,35 мл – единственная тройка объёмов, в которой каждое значение отличается от каждого не более чем на 0,1 мл.
4. $V_{\text{ср}} = \frac{(11,30+11,35+11,35)}{3} = 11,33 \text{ мл}$
5. Возьмём 1 литр раствора. Для него: $m_{\text{р-ра}} = 1000 \text{ г}$; $m_{\text{KMnO}_4} = \omega * m = 0,0237 * 1000 = 23,7 \text{ г}$; $n_{\text{KMnO}_4} = \frac{m}{M} = \frac{23,7 \text{ г}}{158 \frac{\text{г}}{\text{моль}}} = 0,15 \text{ моль}$; $C = \frac{n}{V} = \frac{0,15 \text{ моль}}{1 \text{ л}} = 0,15 \text{ М}$
6. Согласно уравнению реакции, каждым 2 моль вступившего в реакцию перманганата соответствуют 5 моль вступившей в реакции перекиси, а значит справедливо равенство $5n(\text{KMnO}_4) = 2n(\text{H}_2\text{O}_2) \Leftrightarrow 5C(\text{KMnO}_4) * V(\text{KMnO}_4) = 2C(\text{H}_2\text{O}_2) * V(\text{H}_2\text{O}_2) \Leftrightarrow C(\text{H}_2\text{O}_2) = \frac{5 * C(\text{KMnO}_4) * V(\text{KMnO}_4)}{2 * V(\text{H}_2\text{O}_2)} = 0,4249 \text{ М}$
7. Поскольку 10,00 мл исходного раствора доводили до 100,00 мл в мерной колбе, раствор разбавили в 10 раз, а значит и концентрация уменьшилась в 10 раз. Исходная концентрация $C_0 = 10 * 0,4249 \text{ М} = 4,249 \text{ М}$.

8. Рассчитаем массовую долю, взяв 1 литр раствора: $\omega = \frac{m_{H_2O_2}}{m_{p-ра}} = \frac{n_{H_2O_2} * M_{H_2O_2}}{1000} =$

$$\frac{c_{H_2O_2} * V_{H_2O_2} * M_{H_2O_2}}{1000} = \frac{4,249 \text{ М} * 1 \text{ л} * 34 \frac{\text{г}}{\text{моль}}}{1000 \text{ г}} = 0,1445 \text{ или } 14,45\%$$

Система оценивания:

Уравнение реакции	1 балл
Объяснение с опорой на цвет перманганата	1 балл
Правильно выбранная тройка объёмов	2 балла
Средний объём	1 балл
Расчёт концентрации	4 балла
Расчёт концентрации перекиси	5 баллов
Учёт разведения в 10 раз	2 балла
Расчёт массовой доли по концентрации	4 балла
Итого	20 баллов