

**Задачи заключительного тура олимпиады по химии 2022/23 уч.г.  
9–10 класс**

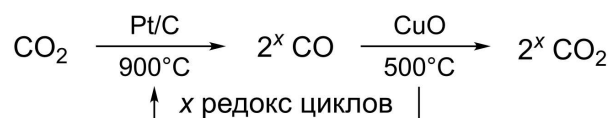
**Задача 1. Кальций**

**(10 б)**

Концентрацию кальция в плазме крови измеряют для выявления нарушений обмена кальция или для наблюдения за ними. Обычно концентрация кальция в плазме крови составляет 85–100 мг/дм<sup>3</sup>. Одним из методов измерения концентрации кальция в плазме крови является осаждение кальция в виде пикролоната ( $\text{CaC}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_{10}\text{N}_8 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ), отделение осадка, его сжигание и измерение количества полученного  $\text{CO}_2$ .

- Закончи уравнение реакции и расставь коэффициенты:  $\text{CaC}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_{10}\text{N}_8 \cdot 8\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow \dots$  (2)
- Рассчитай, сколько моль  $\text{CO}_2$  образуется при сгорании пикролоната кальция, выпавшего в осадок из 0,50 мл плазмы крови, если концентрация кальция в плазме крови составляет 95 мг/дм<sup>3</sup>. (2)
- Рассчитай концентрацию кальция в плазме крови (мМ), если для опытов было взято 0,50 см<sup>3</sup> плазмы крови и в нормальных условиях было собрано 320 мм<sup>3</sup>  $\text{CO}_2$ .  $V_M = 22,4 \text{ дм}^3/\text{моль}$ . (2)

Концентрация кальция в других жидкостях человека значительно ниже, чем в плазме крови, что также является важным показателем здоровья. В случае меньшего количества можно увеличить количество  $\text{CO}_2$ , полученного при горении, пропуская его попеременно над нагретыми слоями Pt/C и CuO.



- Рассчитай концентрацию кальция (мкг/мл) в пробе слюны объемом 0,50 мл, если  $\text{CO}_2$ , образовавшийся после осаждения кальция из пробы и сжигания пикролоната, четыре раза восстанавливали-окисляли (в каждом редокс цикле выход составил 98%) и затем собрали при нормальных условиях, а полученный объем составил 26 мм<sup>3</sup>. (3)
- Выбери метод, который ты считаешь более подходящим для определения концентрации кальция в слюне: атомно-абсорбционная спектроскопия, титриметрия, гравиметрия. Обоснуй свой ответ. (1)

**Задача 2. Химические защитные слои.**

**(10 б)**

Металл **X**, входящий в состав корпуса самолета, достаточно стабилен на воздухе и в воде, потому что металл **X** покрыт плотным сверхтонким слоем соединения **A** ( $w_X = 52,92\%$ ). Если удалить слой **A** с поверхности металла **X** (например, при реакции с кислотой или при сильном царапании поверхности металла) и добавить на поверхность каплю металла **Y**, то образуется сплав **X–Y**. Такой же сплав получают и при обработке металла **X** раствором хлорида металла **YB** ( $w_Y = 73,89\%$ ). В сплаве металлов **X** и **Y** металл **X** обладает высокой реакционной способностью, поскольку на поверхности сплава не образуется плотный слой, препятствующий дальнейшему окислению. Например, металл **X** в этом сплаве может вступать в реакцию с водой с образованием соединения **C** и газа **D**. По этой причине запрещено приносить большие количества металла **Y** на борт самолета. Соединение **C** является амфотерным и реагирует как с растворами кислот, так и оснований. При нагревании **C** оно разлагается и образуется соединение **A**. Металл **X** реагирует как с растворами кислот, так и оснований, для чего сначала должен прореагировать слой вещества **A** на его поверхности. При взаимодействии металла **X** с раствором основания, **X** реагирует сначала с водой, давая **C**. Если обычно образование плотного слоя малорастворимого соединения **C** останавливает реакцию, то в щелочной среде **C** реагирует и реакция может пройти до конца.

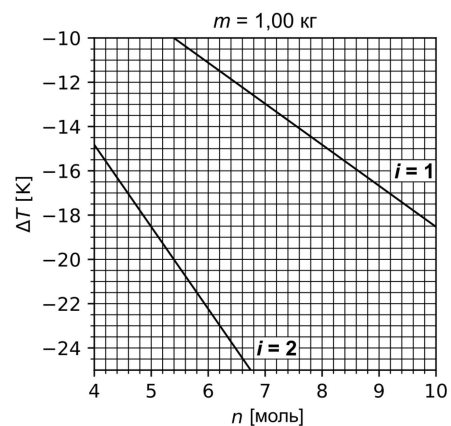
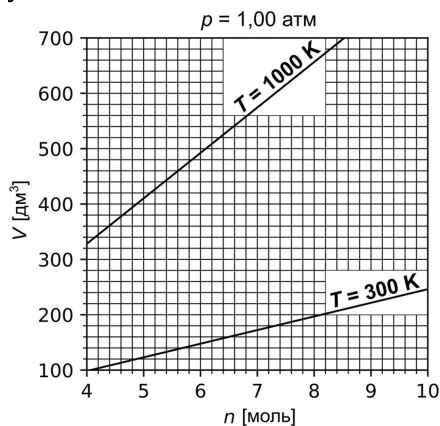
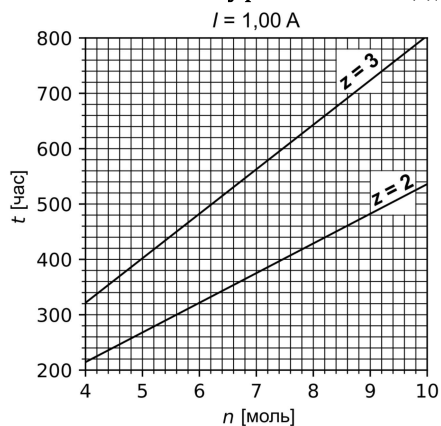
- Определи с помощью расчетов металлы **X** и **Y**. (2)
- Закончи следующие реакции и расставь коэффициенты: (7)
 

|                                                        |                                                                      |                                               |                                                |
|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------|
| i) $\text{X} + \dots \rightarrow \text{A}$             | iii) $\text{X} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C} + \text{D}$ | v) $\text{C} + \text{NaOH} \rightarrow \dots$ | vii) $\text{A} + \text{HCl} \rightarrow \dots$ |
| ii) $\text{X} + \text{B} \rightarrow \text{Y} + \dots$ | iv) $\text{C} + \text{HCl} \rightarrow \dots$                        | vi) $\text{C} \rightarrow \text{A} + \dots$   |                                                |
- Как называют сплавы металла **Y**? (1)

### Задача 3. Линейные зависимости

(10 б)

На олимпиаде по химии часто используют уравнения  $It = znF$  (1),  $pV = nT\mathcal{R}$  (2),  $m\Delta T = -in\mathcal{K}$  (3), чтобы представить линейную зависимость количества вещества от других величин. Соответствующие зависимости представлены на графиках 1–3 вместе с дополнительными данными. Клапейрон, Гельмгольц и Оствальд вывели эти уравнения для газов, твердых тел и жидкостей соответственно, но вы знаете эти уравнения под другими названиями.



- Какие уравнения вывели Клапейрон, Гельмгольц и Оствальд? (1,5)
  - По наклону приведенных зависимостей вычисли константы ( $\mathcal{F}$ ,  $\mathcal{R}$ ,  $\mathcal{K}$ ) в единицах  $\text{А}\cdot\text{ч}/\text{моль}$ ,  $\text{дм}^3\cdot\text{атм}/(\text{моль}\cdot\text{К})$  и  $\text{К}\cdot\text{кг}/\text{моль}$ . (4,5)
- С начала 20-го века значение  $\mathcal{F}$  измеряли путем электроосаждения серебра. В опыте Дэвиса на каждый кулон осаждается 1,1179627 мг серебра ( $A_r = 107,86833 \text{ а.е.м.}$ ).
- Рассчитай число Авогадро ( $N_A$ ) по данным Дэвиса, если  $\mathcal{F} = N_A e$ , где  $e = 1,60217663 \cdot 10^{-19} \text{ С}$  (2)
- В 1856-ом году Лошмидт вывел соотношение между диаметром частицы ( $d$ ), длиной свободного пути ( $\ell$ ) и объемным числом ( $\mathcal{L}$ ):  $1/\mathcal{L} = 4/3 \cdot \pi \ell d^2$ . Лошмидт оценил, что для азота  $d = 0,20 \text{ нм}$  и при нормальных условиях  $\ell = 1,4 \cdot 10^{-5} \text{ см}$ .
- Рассчитай число Авогадро ( $N_A$ ) по данным Лошмидта, если  $\mathcal{L} = N_A/V_m$ , где  $V_m = 22,4 \text{ дм}^3/\text{моль}$ . (2)

### Задача 4. Оттенки олова

(10 б)

Олово – удивительный элемент, сыгравший важную роль в истории человечества. Основной минерал олова, содержащий бинарное (состоящее из двух элементов) соединение **A** ( $w_{\text{Sn}} = 78,77\%$ ), называется касситеритом. Этот минерал был известен людям, его использовали и даже боролись за него на протяжении тысячелетий. Открытие сплава олова и меди произошло в начале бронзового века. Олово и медь получали из соединения вещества **A** и малахита ( $\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot \text{CuCO}_3$ ), а бронзу получали сплавлением этих металлов. С тех пор использование олова и его соединений значительно расширилось. Желтый пигмент, известный как свинцово-оловянный желтый, широко использовался в эпоху Возрождения; он содержит соединение **B** ( $w_{\text{Sn}} = 19,88\%$ ), полученное путем нагревания смеси порошков соединений **A** и бинарного соединения **C** ( $w_{\text{Pb}} = 92,83\%$ ). Еще одним интересным пигментом является так называемое мозаичное золото, которое с 14-ого века используется для покрытия дерева и металла декоративным золотым слоем; он содержит бинарное соединение **D** ( $w_{\text{Sn}} = 64,93\%$ ), которое получали из ртути, олова,  $\text{NH}_4\text{Cl}$  и серы. Открытие Кассиева пурпура в 17-ом веке положило начало революции в искусстве изготовления цветного стекла и глазури. Этот пигмент содержит коллоид  $\text{Au} \cdot \text{A}$ , который получают путем реакции золота и олова с царской водкой и с соляной кислотой соответственно; при смешивании полученных растворов образуется фиолетовый коллоидный осадок  $\text{Au} \cdot \text{A}$ , состоящий из наночастиц золота и наночастиц **A**.

- Определи при помощи вычислений вещества **A–D**. (4)
- Закончи уравнения (упрощенных) реакций и расставь коэффициенты: (6)
  - $\text{A} + \text{C} \rightarrow \text{Sn} + \dots$
  - $\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot \text{CuCO}_3 + \text{C} \rightarrow \text{Cu} + \dots$
  - $\text{Sn} + \text{HCl} \rightarrow \dots$
  - $\text{Au} + \text{HNO}_3 + \text{HCl} \rightarrow \text{AuCl}_3 + \text{NO} + \dots$
  - $\text{SnCl}_2 + \text{AuCl}_3 \rightarrow \text{SnCl}_4 + \text{Au}$
  - $\text{SnCl}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{A} + \dots$

### Задача 5. Оксиды углерода и аллотропы

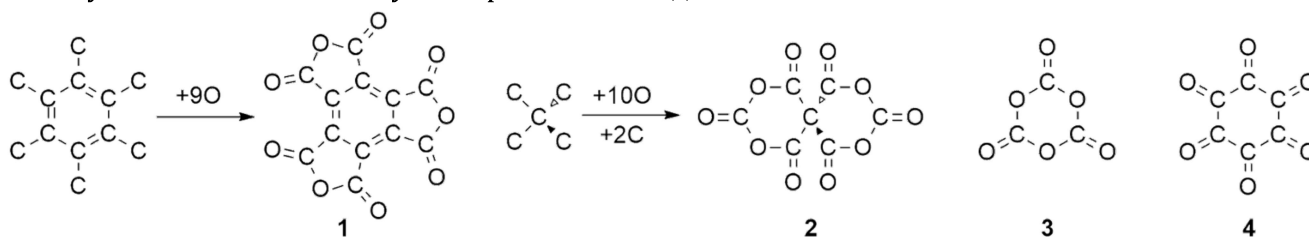
(10 б)

В школьных учебниках приведены примеры двух оксидов углерода и некоторых аллотропов углерода. Однако даже учитывая, что кислород образует две связи, а углерод – четыре связи, в 2022-ом году было описано более 500 аллотропов углерода, и можно записать бесконечное количество оксидов.

а) Назови известные тебе оксиды и аллотропы углерода.

(2)

Как правило, существование оксида углерода связано либо с его природной нестабильностью, либо с возможностью применения подходящего метода и условий синтеза. Если начинать со структурных мотивов, обнаруженных в аллотропах углерода, и добавить кислород, то получится два экзотических оксида, из которых оксид **1** был синтезирован более века назад, а оксид **2**, возможно, не удастся синтезировать из-за его нестабильности. Оксид **3**, как и второй, получен при  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  и самопроизвольно разлагается уже при  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Оксид **4** не может образоваться ни при каких условиях, потому что сочетание молекул CO крайне невыгодно.



б) Нарисуй структурные формулы синтезированных относительно стабильных оксидов с молекулярными формулами  $\text{C}_6\text{O}_6$ ,  $\text{C}_8\text{O}_8$ ,  $\text{C}_{10}\text{O}_{10}$  и  $\text{C}_{12}\text{O}_{12}$ .

(6)

В 2019-ом году путем удаления шести молекул CO из оксида **A** (эмпирическая формула  $\text{C}_4\text{O}$ ) был синтезирован новый углеродный аллотроп **B**. Оксид **A** имеет в своей структуре одно 18-членное кольцо и три 4-членных кольца и соединяется сам с собой, если его повернуть на  $120^{\circ}$  вокруг оси симметрии.

с) Нарисуй структурные формулы **A** и **B**.

(2)

### Задача 6. Определение неорганических соединений

(10 б)

Требовательный руководитель объяснил Мари, как последовательно идентифицировать простые неорганические соединения путем качественного определения присутствующих в них ионов. Затем руководитель дал Мари соли **A–E** для определения их состава. Он уточнил, что соли могут содержать анионы  $\text{Br}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{I}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  и катионы  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ . Мари использовала следующую блок-схему для обнаружения анионов. Для каждого опыта она готовила новый раствор соли и добавляла соответствующий реагент:  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{AgNO}_3$ ,  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{MnO}_2/\text{H}_2\text{SO}_4$  или  $\text{Cu}/\text{H}_2\text{SO}_4$ . На схеме отмечены соли **A–F**, анион которых дает указанный на схеме результат. Кроме того, Мари попарно сливала растворы **A–E**.

В таблице приведена часть результатов: “–” означает, что реакции не происходило, “↓” означает, что выпал осадок, а “↑” означает, что в ходе реакции выделился газ. Также известно, что раствор соли **E** имеет синий цвет, а между растворами солей как **B** и **D**, так **D** и **E** проходят реакции.

а) Напиши формулы солей **A–E**.

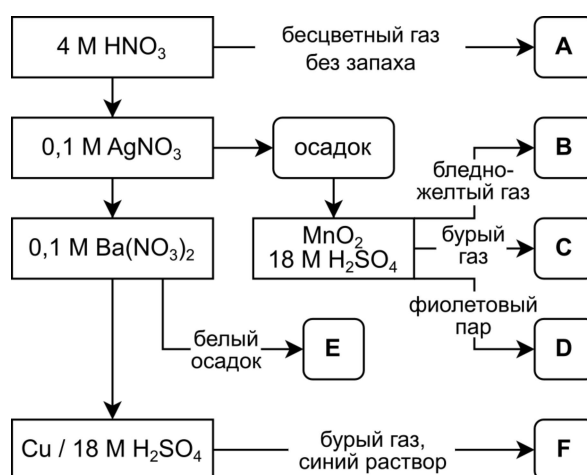
(6)

б) Заполни таблицу Мари до конца.

(2)

с) Напиши уравнения реакций в растворах и расставь коэффициенты i) **B** + **D** и ii) **D** + **E**

(2)

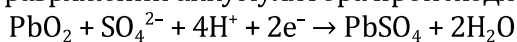


|   | A  | B | C | D | E | F |
|---|----|---|---|---|---|---|
| A |    |   |   |   |   |   |
| B | ↑↓ |   |   |   |   |   |
| C | ↑  |   |   |   |   |   |
| D | ↓  |   |   |   |   |   |
| E | ↓  |   |   |   |   |   |
| F |    | ↓ | ↓ |   | ↓ |   |

### Задача 7. Свинцовый аккумулятор

(10 б)

Свинцовые аккумуляторы изобрели во Франции в 1859-ом году и это был первый перезаряжаемый химический источник тока. В настоящее время около 85% добываемого в мире свинца используется для производства свинцовых аккумуляторов. Электроды свинцового аккумулятора состоят из диоксида свинца и свинца. При разрядке аккумулятора происходят следующие реакции:



Когда свинцовый аккумулятор разряжается, серная кислота вступает в реакцию, и концентрация серной кислоты в аккумуляторе уменьшается. На графике показана зависимость между концентрацией раствора серной кислоты и температурой замерзания раствора.

а) Почему зимой рекомендуется держать автомобильный аккумулятор полностью заряженным? Ответ полным предложением. (1)

б) Рассчитай массу воды (кг), которую нужно добавить к 3,0 дм<sup>3</sup> 34%-ого раствора серной кислоты ( $\rho = 1,24 \text{ г/см}^3$ ), чтобы получить раствор, температура замерзания которого равна  $-14^\circ\text{C}$ . (1,5)

Обычный свинцовый аккумулятор весит 14,5 кг, из которых обычно 91% образуют вместе свинец, оксид свинца и 34%-ый раствор серной кислоты ( $\rho = 1,24 \text{ г/см}^3$ ). Масса свинца и оксида свинца в 2,5 раза больше, чем масса раствора серной кислоты. Предположи, что количество моль свинца и оксида свинца в аккумуляторе равно.

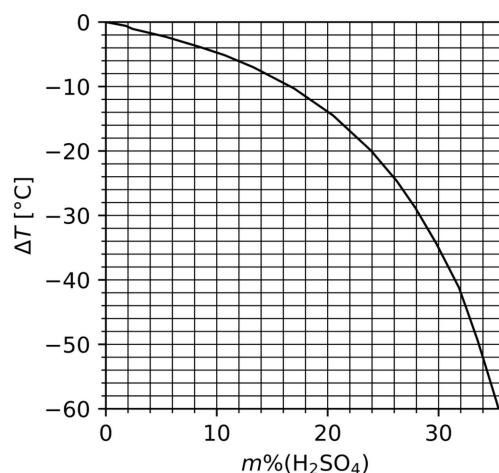
в) Сколько килограмм металлического свинца содержится в автомобильном аккумуляторе? (2,5)

Для одного свинцового аккумулятора была обнаружена зависимость между концентрацией серной кислоты ( $c$ ) и напряжением элемента ( $U$ ), действующая в промежутке 1,9–2,1 В:  $U = 47,7 \text{ мВ} \cdot \text{дм}^3 / \text{моль} \cdot c + 1,91 \text{ В}$ .

д) Рассчитай напряжение ячейки (В), если  $m\% = 9$  и  $\rho = 1,06 \text{ г/см}^3$ . (2)

е) Рассчитай массу (кг)  $\text{PbSO}_4$ , образовавшегося при разрядке аккумулятора, если между электродами протекает 24 моль электронов ( $F = 96485 \text{ Кл/моль}$ ). (1)

ф) Учитывая данные предыдущих подразделов, рассчитай емкость аккумулятора (А·ч/кг) и мощность ( $W = A \cdot V$ ), если для разряда аккумулятора потребовалось 700 минут, а напряжение аккумулятора составляло 2,0 В. (2)

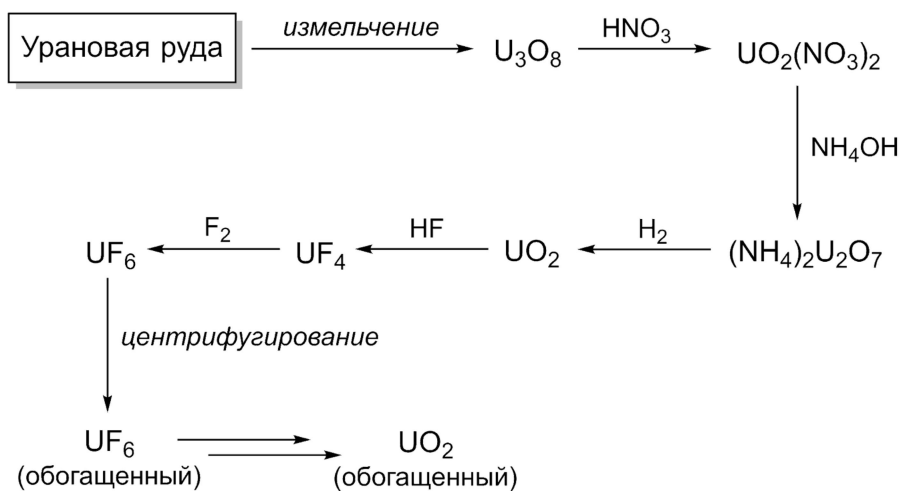


### Задача 8. Химия урана

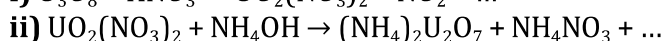
(10 б)

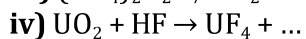
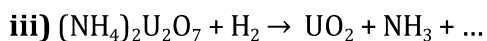
С середины 20-го века уран вызывает большой интерес как высокоэффективный источник энергии. Уран встречается в природе в виде двух изотопов:  $^{235}\text{U}$  и  $^{238}\text{U}$ , из которых только  $^{235}\text{U}$  способен к цепной ядерной реакции деления. Природные урановые руды содержат слишком мало  $^{235}\text{U}$ , чтобы его можно было использовать в ядерной энергетике. Для повышения содержания  $^{235}\text{U}$  урановую руду перерабатывают в газообразный  $\text{UF}_6$ .

Природные урановые руды содержат слишком мало  $^{235}\text{U}$ , чтобы его можно было использовать в ядерной энергетике. Для повышения содержания  $^{235}\text{U}$  урановую руду перерабатывают в газообразный  $\text{UF}_6$ .



а) Закончи и расставь коэффициенты в уравнениях реакций: (4)



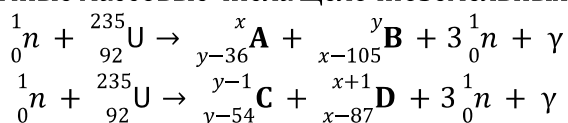


Для искусственного повышения содержания  $^{235}\text{U}$  в ядерном топливе его обогащают центрифугированием. Предположим, что топливо, используемое в ядерном реакторе, должно содержать не менее 3,0%  $^{235}\text{U}$  по массе, а каждый цикл центрифугирования увеличивает содержание  $^{235}\text{U}$  в топливе на 10%. Учти, что массы изотопов урана равны 235,0439 а.е.м. и 238,0508 а.е.м., а средняя атомная масса природного урана равна 238,0289 а.е.м.

**b)** Найди содержание  $^{235}\text{U}$  по массе в природном уране. (2)

**c)** Найди, сколько циклов центрифугирования потребуется, чтобы обогатить ядерное топливо, полученное из природной урановой руды. (2)

Процесс деления атома  $^{235}\text{U}$  может быть активирован при помощи нейтронов. При этом существует множество возможностей для ядерного деления. Ниже приведены две реакции деления  $^{235}\text{U}$ . Известно, что элементы **A–D** представляют собой щелочноземельные металлы или благородные газы. Известно также, что атомные массовые числа щелочноземельных металлов нечетные.



**d)** Определи элементы **A–D** и найди числа  $x$  и  $y$ . (2)

### Задача 9. Выхлопные газы

(10 б)

В промышленных процессах и при сжигании топлива выделяются выхлопные газы. Выбросы вызывают множество экологических проблем, таких как глобальное потепление и кислотные дожди. Соединения **A–E** являются типичными выхлопными газами. При растворении **A**, **C** и **D** в воде не меняют среду водного раствора, **B** делают его основным, а **E** и **F** делают его кислотным. Оксид **E** образуется при сгорании газа **A**. При взаимодействии оксида **F** с горячей водой образуется сильная кислота и оксид **D**. В насыщенном водном растворе соединение **C** образует тример. В таблице приведены плотности газов **A–F** (г/дм<sup>3</sup>) при температуре 25,0°C и давлении 100 кПа:

| A      | B      | C     | D     | E     | F     |
|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| 0,6472 | 0,6872 | 1,211 | 1,211 | 1,775 | <3,71 |

**a)** Рассчитай молярный объем идеального газа при  $T = 25,0^\circ\text{C}$ ,  $p = 100$  кПа,  $R = 8,314$  Дж/(моль·К). (1)

**b)** Определи при помощи расчетов соединения **A–E**. (5)

**c)** Вычисли молярную массу газа **F** и объясни, почему она отличается от молярной массы газа **F**. (2)

**d)** Закончи уравнение реакции и расставь коэффициенты:  $\text{F} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{D} + \dots$  (1)

**e)** Нарисуй структурную формулу тримера соединения **C**. (1)