

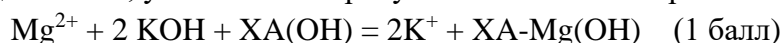
Всероссийская олимпиада студентов «Я – профессионал»

Решения заданий письменного тура
по направлению «Химия»
Категория участия: «Магистратура/специалитет»

Задача 1 (13 баллов).

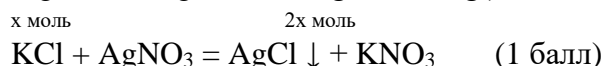
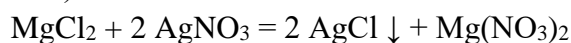
1. Окрашивание пламени в фиолетовый цвет при внесении в него образца минерала X позволяет предположить, что в состав его входит **калий**. (1 балл)

Синее окрашивание, появляющееся при растирании минерала X с хинализаринном (ХА) и едким кали, указывает на присутствие в этом минерале катионов **магния**:



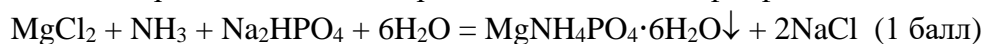
*хинализаринат магния,
васильково-синее окрашивание*

При добавлении к раствору минерала X в воде нитрата серебра выпадает хлорид серебра - белый творожистый осадок, нерастворимый в азотной кислоте. Значит, в состав образца растворенного минерала входят **хлориды** магния и калия (в количестве, соответственно, x и y моль):



$$(2x + y) = 8,61/143,5 = 0,06 \text{ моль.} \quad (1 \text{ балл})$$

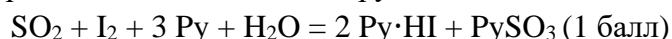
При добавлении к такому же раствору гидрофосфата натрия и аммиака выпадают бесцветные кристаллы гексагидрата магнийаммонийфосфата:



$$x = 4,90/245 = 0,02$$

$$\text{Значит, } y = 0,06 - 2 \cdot 0,02 = 0,02 = x. \quad (1 \text{ балл})$$

Минерал X содержит кристаллизационную воду, так как приведенная в условии задачи реакция титрования иодом в присутствии пиридина и диоксида серы – известный метод определения **воды** по Фишеру. Во взятой навеске минерала X – z моль воды:



$$z = 30,48/254 = 0,12 \text{ моль.} \quad (1 \text{ балл})$$

$$x:y:z = 0,02:0,02:0,12 = 1:1:6. \text{ Состав минерала – } \text{MgCl}_2 \cdot \text{KCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}. \quad (1 \text{ балл})$$

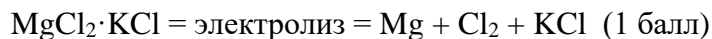
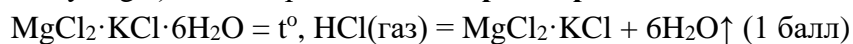
Для каждого из исследований было взято по 0,02 моль этого минерала, т.е., по $277,5 \cdot 0,02 = 5,55$ г, что совпадает с условием задачи. (0.5 балла)

Дополнительным доказательством правильности установленного состава минерала X является расчет массового содержания в нем магния: $24/277,5 = 0,0865$ (или 8,65 масс%), что совпадает с условием задачи. (0.5 балла)

2. Минерал $\text{MgCl}_2 \cdot \text{KCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ – **карналлит**, основным месторождением которого в России является **Верхнекамское месторождение** калийно-магниевых солей. Разрабатывает месторождение компания **Уралкалий**. (1 балл)

Всероссийская олимпиада студентов «Я – профессионал»

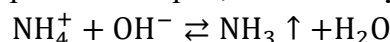
3. Для получения магния из карналлита проводят сначала его **обезвоживание** в присутствии хлороводорода (для предотвращения образования оксосолей из-за гидролиза по катиону Mg^{2+}), затем проводят **электролиз расплава**:



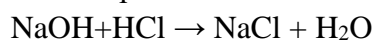
Задача 2 (13 баллов).

Схемы и уравнения реакций, происходящих процессов:

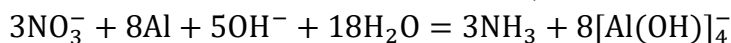
- Прибавление к пробе гидроксида натрия, для последующего отгона аммиака:



- Титрование избытка кислоты гидроксидом натрия

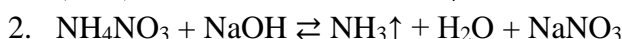
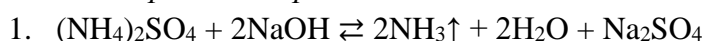


- Нитрат-ионы из нитрата аммония восстанавливают сплавом Дебарда (сплав меди, алюминия и цинка: 50%, 45% и 5% соответственно) в щелочной среде:



Пусть проба удобрения содержала x – моль сульфата аммония, y – моль нитрата аммония.

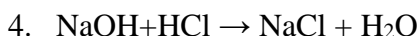
Тогда из первого титрования, на основании закона эквивалентов, получаем:



Отогнанный аммиак, поглотили избытком стандартного раствора соляной кислоты



Избыток кислоты оттитровали стандартным раствором гидроксида натрия



Суммарное количество, поглощенного аммиака, с учетом отобранной аликвоты:
 $n(NH_3) = (2 \times \frac{x}{4} + \frac{y}{4}) = \frac{2x+y}{4}$ моль. Найти это количество можно исходя из разницы количеств вещества $HCl_{исх.}$ и $NaOH_{израсход.}$ на титрование избытка HCl .

$$n(NH_3) = \frac{V_{HCl,исх}}{1000} c_{HCl} - \frac{V_{NaOH}}{1000} c_{NaOH} = \frac{30.0}{1000} 0.0842 - \frac{10.10}{1000} 0.0880 = 1.6372 \text{ ммоль}$$

Из второго титрования, на основании закона эквивалентов, получаем:

Суммарное количество, поглощенного аммиака, с учетом отобранной аликвоты:
 $n(NH_3) = (2 \times \frac{x}{8} + 2 \times \frac{y}{8}) = \frac{x+y}{4}$ моль, который получился из иона аммония – сульфата и нитрата аммония, а также из нитрат-иона, восстановленного сплавом Дебарда до иона аммония.

Найти это количество можно исходя из разницы количеств вещества $HCl_{исх.}$ и $NaOH_{израсход.}$ на титрование избытка HCl .

$$n(NH_3) = \frac{V_{HCl,исх}}{1000} c_{HCl} - \frac{V_{NaOH}}{1000} c_{NaOH} = \frac{60.0}{1000} 0.0421 - \frac{14.10}{1000} 0.0880 = 1.2852 \text{ ммоль.}$$

На основании данных двух серий титрований составим систему уравнений:

Всероссийская олимпиада студентов «Я – профессионал»

$$\begin{cases} \frac{2x + y}{4} = 1.6372 \\ \frac{x + y}{4} = 1.2852 \end{cases}$$

Откуда, $x=1.41$ ммоль, $y=3.73$ ммоль

Зная, молярные массы: $M((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)=132.140$ г/моль, $M(\text{NH}_4\text{NO}_3)=80.043$ г/моль, получаем

$m((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)=0.1863$ г, $m(\text{NH}_4\text{NO}_3)=0.2985$ г.

$\omega((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)=\frac{0.1863}{0.5000} \times 100\%=37.26\%$,

$\omega(\text{NH}_4\text{NO}_3)=\frac{0.2985}{0.5000} \times 100\%=59.70\%$.

Баллы (Σ 13 баллов)

Схемы и уравнения реакций основных, происходящих процессов	
Прибавление к пробе гидроксида натрия, для последующего отгона аммиака	1 балл
Титрование избытка кислоты гидроксидом натрия	1 балл
Нитрат-ионы из нитрата аммония восстанавливают сплавом Дебарда (засчитываем в виде полуреакции окисления и/или восстановления)	1 балл
Титрование I	
Схемы и уравнения реакций основных, происходящих процессов	1 балл
Расчеты первого титрования, на основании закона эквивалентов	2 балла
Титрование II	
Схемы и уравнения реакций основных, происходящих процессов	1 балл
Расчеты второго титрования, на основании закона эквивалентов	2 балла
Расчетный блок	
Составление системы уравнений на основании данных двух серий титрований	1 балл
Вычисление «х», «у» из системы уравнений (принимаются решения без составления системы уравнений)	2 балла
Расчет содержаний основных компонентов	1 балл
Расчет содержания примеси по условию не требуется	

Всероссийская олимпиада студентов «Я – профессионал»

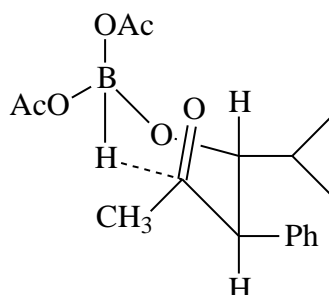
Задача 3 (13 баллов).

A 	B 	C 	D
E 	F 	G 	H $\text{HC}\equiv\text{CCH}_2\text{CH}_2\text{N}(\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}_2)\text{Ts}$
I 	J 	K 	L
M 	N 	O 	P
Q 	R 1) LiCl 2) PhLi 3) tBuOH	S 1) BuLi, HMPA 2)	T Bu ₃ SnH AIBN
U CH ₂ =CHSnBu ₃ Pd(PPh ₃) ₄	V 		

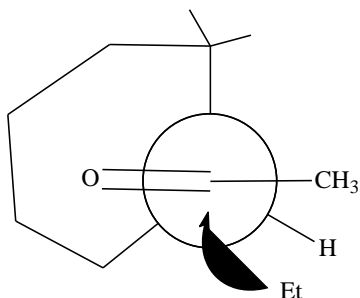
Всероссийская олимпиада студентов «Я – профессионал»

Объяснение стереохимического результата реакций **J-P**:

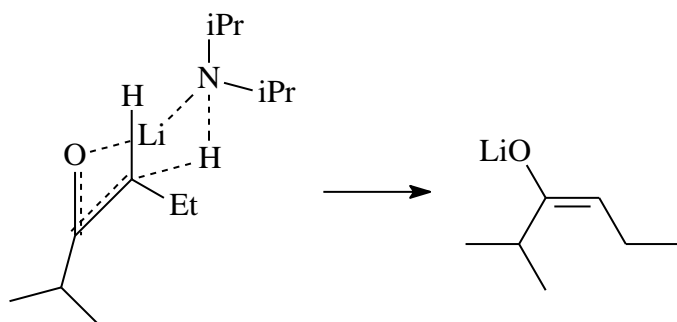
J : Триацетоксиборгидрид натрия восстанавливает гидроксикетоны с образованием шестичленного переходного состояния, в котором все заместители стремятся занять экваториальное положение:



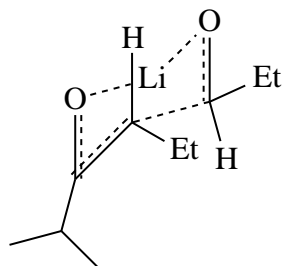
К: Присоединение нуклеофила к карбонильной группе идет по Фелкину-Ану:



L: Сначала надо показать, что в кинетических условиях образуется (E)-енолят:



Затем при помощи переходного состояния Циммермана-Тракслера предсказать структуру альдоля:

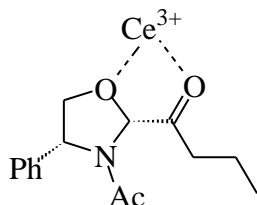


М: Оксид осмия(IV) атакует с менее стерически затрудненной стороны двойной связи, то есть сверху (поскольку снизу подходу реагента мешает метил в 5-м положении).

Всероссийская олимпиада студентов «Я – профессионал»

N : Реакция Цуджи-Троста идет как два замещения с обращением конфигурации. Сначала палладий при образовании аллильного комплекса вытесняет ацетокси-группу, а затем енолят вытесняет палладий из комплекса, атакуя по тому же самому атому.

O : Церий хелатируется кислородом в цикле и кетогруппой. Атака гидрида осуществляется с менее стерически загруженной стороны хелатного цикла (на рисунке – сверху):



P: м-Хлорпербензойная кислота предварительно связывается водородной связью с гидроксильной группой в субстрате. Таким образом, атака осуществляется с той же стороны, с которой находится гидроксиметильный заместитель (эффект Хенбеста).

За каждую правильно указанную структуру **A-V** – 1 балл (всего – 22 балла).

За правильно указанную стереохимию соединений **J-P** по 1 баллу (всего – 6 баллов).

За объяснение выбора стереохимии соединений **J-P** по 1 баллу (всего – 6 баллов).

Еще 5 дополнительных баллов можно было получить за

- лактон в качестве соединения **G**. (За гидроксифир с защитой на гидроксиде давался 1 балл, за лактон – 2 балла);
- стереохимию енолята, образующегося в синтезе соединения **L** (1 дополнительный балл за (E)-енолят, 1 балл – за шестичленное переходное состояние его образования);
- использование модификации Шлоссера реакции Виттига в синтезе транс-алкена (**R**) для обеспечения правильной стереохимии;
- использование НМРА (или купратов) для обеспечения 1,4-присоединения аниона дитиана к ненасыщенному кетону (**S**).

Итого максимально можно было набрать 39 технических баллов. Перевод технического балла в зачетный балл (ЗБ) $1/3 \text{ ТБ} = 1 \text{ ЗБ}$

Задача 4 (13 баллов).

Соединение **B** содержит 20.2 масс. % Al и 79.8 масс. % Ca. Пусть соединение B имеет формулу Al_xCa_y , тогда

$$\frac{x}{y} = \frac{0.202/27}{0.798/40} = \frac{3}{8}, \text{ следовательно, } B = \text{Al}_3\text{Ca}_8. \text{ (1 балл)}$$

Анализ кривой охлаждения расплава **A** позволяет сделать вывод о том, что **A** – это конгруэнтно плавящееся соединение, либо эвтектическая смесь. **A** плавится при 900 К, этому условию согласно фазовой диаграмме соответствует только эвтектический состав 95 мол. % Al и 5 мол. % Ca. (2 балла)

$$\begin{aligned} \text{Соединение C состоит из } 0.202 \cdot 12 + \frac{0.95 \cdot 27}{0.95 \cdot 27 + 0.05 \cdot 40} \cdot 10 &= 11.70 \text{ г Al и } 0.798 \cdot 12 + \\ \frac{0.05 \cdot 40}{0.95 \cdot 27 + 0.05 \cdot 40} \cdot 10 &= 10.30 \text{ г Ca. } x(\text{Al}) = \frac{11.70/27}{11.70/27 + 10.30/40} = 0.627, x(\text{Ca}) = 1 - 0.627 = 0.373. \\ \text{(2 балла)} \end{aligned}$$

Всероссийская олимпиада студентов «Я – профессионал»

Согласно фазовой диаграмме при медленном (равновесном) охлаждении расплав **С** превращается в смесь Al_2Ca и AlCa - **смесь 1**. (1 балл)

Количественный состав **смеси 1** может быть определен с помощью решения системы уравнений:

пусть $n(\text{Al}_2\text{Ca}) = a$ моль, $n(\text{AlCa}) = b$ моль, тогда

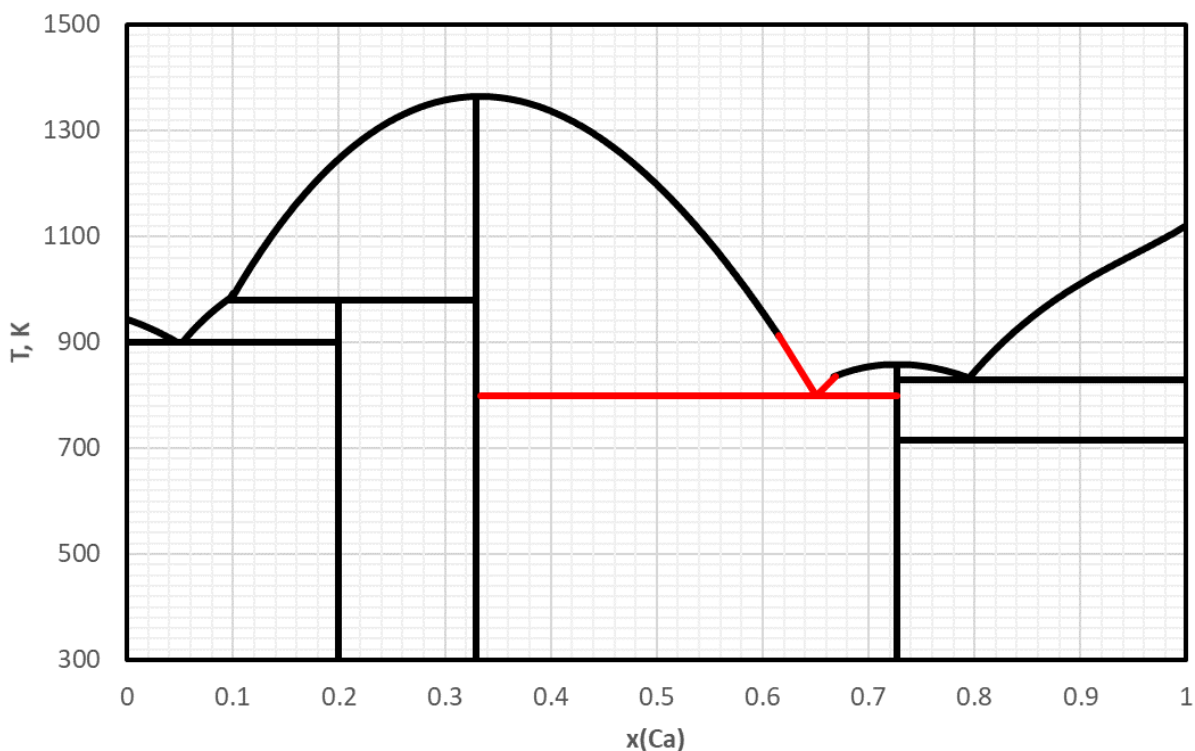
$$\begin{cases} a + b = 10.30/40 \\ 2a + b = 11.70/27 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} n(\text{Al}_2\text{Ca}) = a = 0.176 \\ n(\text{AlCa}) = b = 0.082 \end{cases}, \text{ следовательно,}$$

$m(\text{Al}_2\text{Ca}) = 16.50$ г, $m(\text{AlCa}) = 5.50$ г (2 балла)

При быстром охлаждении расплава **С** возможно образование метастабильного состояния. Если соединение AlCa не образовалось, то смесь 2 может быть образована фазами Al_2Ca и Al_3Ca_8 . (1 балл)

Количественный состав **смеси 2** может быть определен по аналогии с расчетом состава **смеси 1**. В результате **смесь 2** состоит из $m(\text{Al}_2\text{Ca}) = 19.46$ г, $m(\text{Al}_3\text{Ca}_8) = 2.54$ г (2 балла)

В случае быстрого охлаждения возможно образование метастабильной фазы. Так, если, например, по кинетическим причинам образование фазы AlCa затруднено, то в этом случае фазовая диаграмма может выглядеть следующим образом (см. рис). Эвтектическая температура в этом случае составляет 800 К, что согласуется с условиями задачи. (2 балла)



Задача 5 (12 баллов).

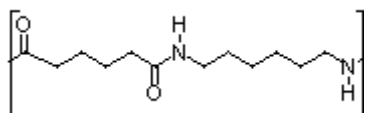
а) Определим простейшую формулу соединений А и Б (соотношение элементов в их составе). Сумма $63,7 + 12,4 + 14,2 = 90,3\%$, что меньше 100%. Предположим, что недостающим элементом (9,7% масс.) является водород.

$$\text{C:N:O:H} = (63,7/12):(12,4/14):(14,2/16):(9,7/1) = 5,31:0,89:0,89:9,7 = 6:1:1:11.$$

Всероссийская олимпиада студентов «Я – профессионал»

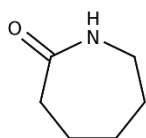
Простейшая формула $C_6H_{11}NO$ (1 балл за определение простейшей формулы)

а2) В цепном процессе полимеризации формула полимера совпадает, как правило, с формулой мономера, то есть формула мономера также должна быть $C_6H_{11}NO$. Также в цепном процессе мономерами являются ненасыщенные или циклические соединения. Предположим наличие амидной связи в соединении, $CHNO$, остаток C_5H_{10} является пентаметиленовым фрагментом. Возможный полимер А – полиамид-6 $[—HN(CH_2)_5CO—]_n$ (капрон). Полимер Б, предположим, имеет схожую структуру. Это может быть полиамид-6,6:



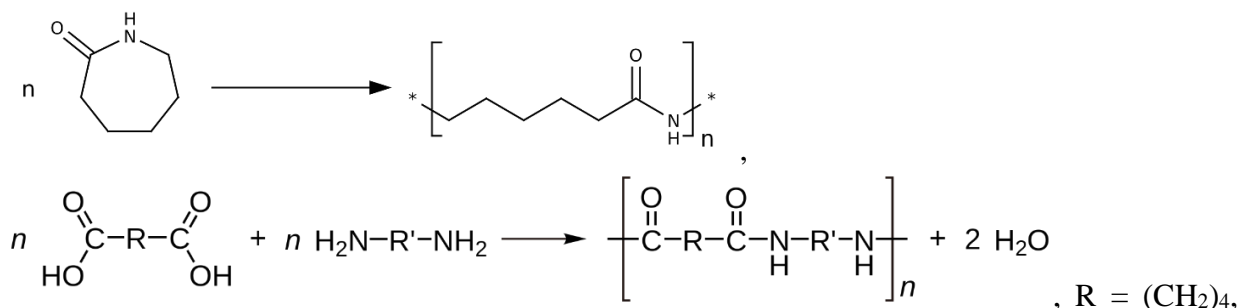
Его действительно получают ступенчатым процессом – поликонденсацией. (1 балл за формулы и названия полимеров – по 0,25 балла)

а3) Мономер в случае соединения А, - капролактam:



В случае соединения Б используются два сомономера – адипиновая кислота $HOOC-(CH_2)_4-COOH$ и гексаметилендиамин $H_2N-(CH_2)_6-NH_2$ (1 балл за формулы и названия мономеров – по 0,25 балла).

а4)



$R' = (CH_2)_6$ (1 балл за схемы реакций)

б) Рассмотрим получение капролактама из бензола:

1. Бензол восстанавливают (гидрируют) до циклогексана на платиновом катализаторе.
2. Циклогексан окисляют до циклогексанона кислородом, в жидкой фазе в присутствии олеата кобальта. При этом образуется также циклогексанол, который дегидрируют дополнительно на цинк-хромовых катализаторах.
3. Из циклогексанона получают оксим (с гидроксиламином).
4. Из оксима перегруппировкой Бекмана (в присутствии серной кислоты) получают капролактam.

Получение адипиновой кислоты и гексаметилендиамина

1. Окислением бензола на оксиде ванадия можно получить малеиновый ангидрид.
2. Малеиновый ангидрид гидрируют до бутандиола-1,4.

Всероссийская олимпиада студентов «Я – профессионал»

3. Бутандиол-1,4 можно превратить в дихлорбутан взаимодействием с хлороводородом.
4. Цианидом меди можно заменить хлор на нитрильные группы, получив адипонитрил. Альтернативно – дегидратировать бутандиол до бутадиена, затем с циановодородом получить адипонитрил.
5. Адипонитрил гидролизуют до адипиновой кислоты в кислой среде.
6. Адипонитрил гидрируют до образования гексаметилендиамина (на железо-кобальтовом катализаторе).

Альтернативно, адипиновую кислоту можно получить реакцией азотной кислоты с продуктом каталитического окисления циклогексана (смеси циклогексанона и циклогексанола) с последующей гидратацией циклического 2-нитрозоциклогексанона. Адипонитрил, соответственно, можно получить дегидратацией аммониевой соли адипиновой кислоты.

Конкретные химические реакции – любые доступные и адекватные.

(2 балла за схему синтеза, ещё 2 балла за правильно уравненные химические реакции)

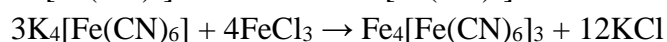
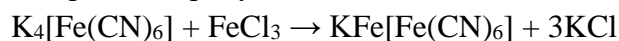
в1) Полиамид-6 и полиамид-6,6 используют, например, в виде волокон, то есть для изготовления нитей и тканей (2 балла за свойства).

в2) Свойство образовывать волокна связано, помимо цепной природы макромолекул, с достаточной жёсткостью молекул, обусловленной наличием «полуторной» амидной связи в основной цепи и возможностью внутримолекулярного и межмолекулярного взаимодействия за счёт образования водородных связей. (2 балла за объяснение свойств).

Задача 6 (12 баллов).

I.

Из приведенного описания (синтез при взаимодействии пары железосодержащих солей, переменный состав, получение в форме нерастворимых частиц) достаточно очевидно, что речь идет о соединениях **X** типа берлинской лазури. Это подтверждается расчетом массовой доли железа в $K_4[Fe(CN)_6]$ ($55.845 / (55.845 + 4 \cdot 39.10 + 6 \cdot 12.01 + 6 \cdot 14.01) = 0.1516$), которая в точности совпадает с таковой в соединении **B**. Таким образом, **B** = $K_4[Fe(CN)_6]$, а в качестве **A** подходит любая растворимая соль железа(III), например, хлорид. Их взаимодействие в зависимости от соотношения реагентов, порядка смешения и ряда других условий может давать разные продукты, наиболее очевидными из которых являются следующие:



Расчет массовых долей железа в этих продуктах дает 0.3639 и 0.4549, соответственно, что совпадает с приведенными в условии значениями. При этом растворимость K-содержащей формы гораздо выше (различные возможные объяснения так или иначе сводятся к пониженной энергии кристаллической решетки этой структуры).

При мольном соотношении $K_4[Fe(CN)_6]$ и $FeCl_3$ 3:5 количество соли железа(III) выше чем даже при соотношении 3:4, достаточного (см. уравнение выше) для полного замещения калия в комплексной соли. Таким образом, ионы железа(III) присутствуют в системе в значительном избытке и, адсорбируясь на поверхности растущих частиц, способствуют их эффективной электростатической стабилизации. (Избыток одного из реагентов является

Всероссийская олимпиада студентов «Я – профессионал»

необходимым, но не достаточными условием получения стабильной дисперсии наночастиц методом простого смешения, но именно фактор электростатической стабилизации должен быть указан как следующий из условия).

II.

Наличие в системе полярного и неполярного растворителей, а также поверхностно-активного вещества говорит о том, что синтез происходит в эмульсии. Ограниченное количество реагентов в ее каплях приводит к невозможности образования слишком крупных кристаллов. Кроме того, образующиеся наночастицы дополнительно стабилизируются ПАВ, что приводит к их гидрофобизации и переносу в органическую фазу.

Так как по условию соли аммонийные (а не двойные), они могут содержать железо только в комплексном анионе. Расчет по массовым долям показывает, что одна из солей – $(\text{NH}_4)_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ (20.99% Fe), а другая – $(\text{NH}_4)_3[\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]$ (14.93% Fe).

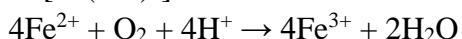
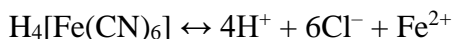
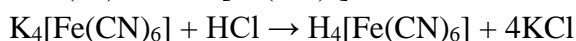
Так как обе соли содержат железо(III), образованию частиц берлинской лазури должно предшествовать восстановление одной из солей. Действительно, фотовосстановление – хорошо известное свойство оксалатных комплексов железа. Этот процесс может быть описан, например, таким суммарным уравнением (приводить детальный механизм не обязательно): $2[\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]^{3-} + h\nu \rightarrow 2[\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_2]^{2-} + 2\text{CO}_2 + \text{C}_2\text{O}_4^{2-}$

Оксалатные комплексы железа(II) существенно менее стабильны, чем для железа(III), и в достаточной степени диссоциированы, что обеспечивает некоторую равновесную концентрацию свободных ионов железа(II), которые и вступают во взаимодействие с образованием наночастиц.

Рассмотрение механизма показывает, таким образом, что еще одним фактором стабилизации полученных наночастиц может быть медленное образование одного из реагентов (см. также ниже, пункт III).

III.

В данном случае необходимо предложить механизм, объясняющий появление ионов железа(III) из $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ в солянокислом водном растворе:



(Приведена упрощенная схема, принимаются и другие варианты, включающие диссоциацию и окисление).

Основными факторами образования наночастиц берлинской лазури в данном случае являются большой избыток одного из реагентов ($\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$) вследствие медленного образования железа(III), что приводит, во-первых, к электростатической стабилизации наночастиц вследствие адсорбции находящихся в избытке комплексных анионов и, во-вторых, малой концентрации растущих наночастиц.

IV.

Всероссийская олимпиада студентов «Я – профессионал»

Электролиты дестабилизируют дисперсии наночастиц, стабилизированные электростатическим отталкиванием двойных электрических слоев. Из упомянутых в задаче наночастиц этому условию удовлетворяют полученные как описано в частях **I** и **III**.

Наибольшей коагулирующей способностью обладают электролиты, содержащие многозарядные ионы. Из приведенного списка это хлорид алюминия и фосфат натрия. В зависимости от знака заряда наночастиц (в случае, если он противоположен знаку заряда многовалентного иона) возможна также перезарядка поверхности частиц и их стабилизация в ограниченном интервале промежуточных концентраций электролита.

Полный ответ на вопрос - 3 балла. Ответ с незначительными недочетами - 2 балла. Ответ существенно неполный или с существенными ошибками - 1 балл.

Итого за 4 части - до 12 баллов.

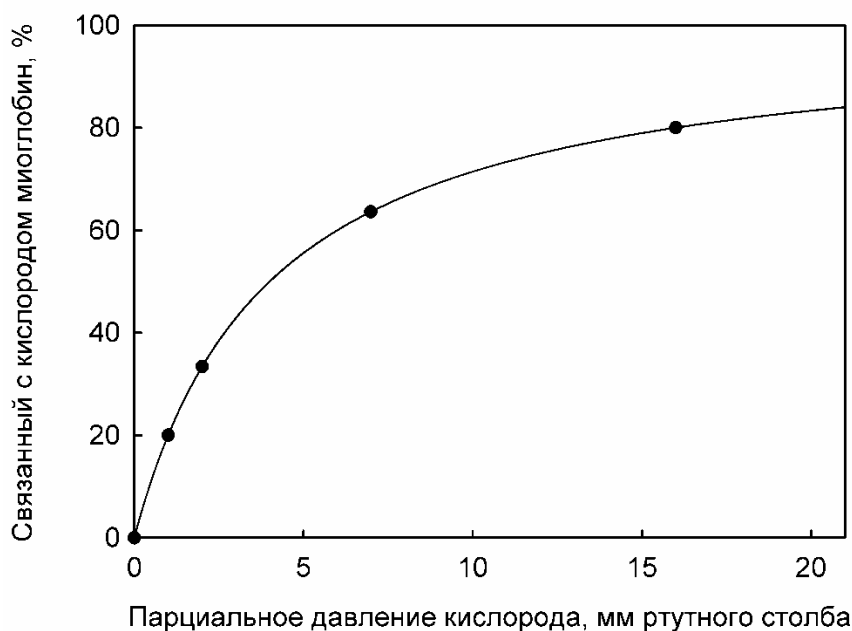
Задача 7 (12 баллов).

Графики зависимости равновесного насыщения кислородом миоглобина и гемоглобина от парциального давления кислорода хорошо знакомы большинству студентов ещё по школьным учебникам. Для гемоглобина характер кривой имеет сложный «S-образный» вид из-за так называемого явления кооперативности связывания кислорода субъединицами олигомерного транспортного белка, когда константа связывания кислорода изменяется в зависимости от степени заполнения транспортного белка лигандом. Для миоглобина же кривая имеет более простой вид, известный большинству как «изотерма сорбции Ленгмюра», которая описывается уравнением вида:

$$y = \frac{a \cdot x}{b + x}$$

Изотерма Ленгмюра соответствует случаю, когда константа связывания кислорода не меняется. При высоких значениях парциального давления зависимость стремится к горизонтальной асимптоте $y=a$, соответствующей максимальному насыщению миоглобина кислородом, которое в зависимости от выбора координат/размерности может соответствовать или количеству/концентрации миоглобина в системе или доле насыщенного кислородом миоглобина (например, 100%). Параметры **a** и **b** можно легко определить, исходя из значений в таблице. Для определения **a** и **b** также удобен способ решения с построением графика в двойных обратных координатах ($1/x$ и $1/y$). На рисунке дан пример построения графика в тех величинах, которые непосредственно исходно даны в задаче.

Всероссийская олимпиада студентов «Я – профессионал»



В случае грамотных теоретических пояснений и верных расчётов при выборе любого способа решения максимальный балл за задачу 12.

В случае грамотных пояснений решения, но с небольшими «случайными» ошибками расчётов (связанными только с невнимательностью, но не с непониманием) баллы начисляются в диапазоне 9- 11.

В случае явных признаков правильного понимания характера описанных в задаче явлений, но при отсутствии численных ответов возможно начисление баллов в диапазоне 4-8.

В случае отсутствия понимания химических закономерностей явления, отсутствия корректных объяснений решения, но при случайном верном «угадывании» типа уравнения для аппроксимирующей данные зависимости, при наличии правильных численных ответов возможно начисление баллов в диапазоне 4-6.

При отсутствии и решения в целом и правильных ответов, но при наличии отдельных элементов правильных теоретических рассуждений возможно начисление баллов в диапазоне 1-3.

Правильные ответы:

Парциальное давление кислорода, мм ртутного столба	Связанный с кислородом миоглобин, %
1	20.0
2	33.4
4	50
5	55,(5)
7	63.6
16	80.0
20	83,(3)

Всероссийская олимпиада студентов «Я – профессионал»

Задача 8 (12 баллов).

1. (3 балла) Рассчитайте энергетический эффект ядерной реакции образования ^{14}C из азота. Энергетический эффект ядерной реакции

$$Q = -\Delta Mc^2 = -\left(\sum M_{\text{продукты}} - \sum M_{\text{реагенты}}\right)c^2 =$$

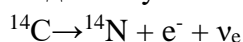
$$= -931,5 \cdot ((14,003242 + 1,007825) - (14,003074 + 1,008665)) =$$

$$= -931,5 \cdot (15,011067 - 15,011739) = \mathbf{0,626 \text{ МэВ} - \text{реакция экзотермическая}}$$

Примечание. В расчетах масс ядер можно использовать массы атомов по причине того, что одинаковое число электронов в продуктах и реагентах (атом азота 7 e^- , водород – 1 e^- , углерод – 6 e^-).

2. (3 балла) Определите продукт радиоактивного распада ^{14}C и рассчитайте максимальную энергию испускаемых при этом β -частиц (МэВ).

Ядро ^{14}C содержит 6 протонов и 8 нейтронов. Ядра с избытком нейтронов испытывают β^- распад с испусканием электрона и антинейтрино.



Максимальную энергию испускаемых при этом β -частиц (электронов) находим из разности масс атомов (баланс электронов здесь тоже сходится, масса покоя антинейтрино пренебрежимо мала).

$$E_{\text{max}} = -931,5 \cdot (14,003074 - 14,003242) = \mathbf{0,156 \text{ МэВ}}$$

Спектр β -частиц непрерывный от 0 до 0,156 МэВ.

3. (6 баллов) Рассчитайте возраст археологического объекта, если при измерении радиоактивности 1 г CO_2 , полученного при окислении содержащегося в нем углерода, была зафиксирована скорость счета 2,72 имп/мин (за вычетом фона) при эффективности регистрации 94%.

$$\text{Количество молей } \text{CO}_2 = 1 / (12,0096 + 2 \cdot 15,9994) = 0,022723 \text{ моль}$$

$$\text{Радиоактивность } \text{CO}_2 = 2,72 / 0,94 / 60 = 0,048229 \text{ Бк}$$

$$\text{Молярная радиоактивность } 0,048229 \text{ Бк} / 0,022723 \text{ моль} = 2,1225 \text{ Бк/моль}$$

Уменьшение молярной радиоактивности за счет распада позволяет определить возраст предмета

$$A = A_0 \exp(-\lambda t) = A_0 (1/2)^{(t/T_{1/2})}$$

$$t = \ln(A_0/A) / \lambda = \ln(A_0/A) T_{1/2} / \ln 2 = \ln(2,71/2,1225) \cdot 5730 / 0,693 =$$

$$= \ln(1,276796) \cdot 5730 / 0,693 = 0,24435 \cdot 5730 / 0,693 = 2020,4 \text{ лет} =$$

$$= \mathbf{2020 \text{ лет назад, то есть создан в 0 год н.э.}}$$