

# РЕШЕНИЯ ЗАДАНИЙ ПЕРВОГО ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ТУРА

## ДЕВЯТЫЙ КЛАСС

### Решение задачи 9-1

автор: Э. С. Сапарбаев

1. Вещество  $X_1$  имеет довольно низкие температуры кипения и плавления, поэтому можно предположить, что это вещество состоит из неполярных молекул и скорее всего простое. При его взаимодействии с водородом образуется вещество  $X_2$  с более высокими температурами кипения и плавления, чем при взаимодействии с кислородом ( $X_3$ ). Следовательно, логично предположить, что между молекулами вещества  $X_2$  возможно образование водородных связей. Элементы, водородные соединения которых образуют водородные связи – фтор, кислород и азот.

Фтор не подходит, так как фтороводород, образующийся при его взаимодействии с водородом, не реагирует с кислородом, да и температура его кипения существенно больше, чем  $-33\text{ }^\circ\text{C}$ .

Кислород также не подходит, так как температура кипения воды, образующейся при его взаимодействии с водородом, составляет  $100\text{ }^\circ\text{C}$ .

Отсюда можно сделать вывод, что вещество  $X_1 - N_2$  – азот.

Помимо этого есть еще один параметр, позволяющий практически сразу выйти на азот, – щелочная среда водного раствора водородного соединения.

Формулы и названия остальных веществ:

$X_1 - N_2$  – азот;

$X_2 - NH_3$  – аммиак;

$X_3 - NO$  – оксид азота (II), окись азота;

$X_4 - HNO_3$  – азотная кислота;

$X_5 - NH_4NO_3$  – нитрат аммония, азотнокислый аммоний, аммиачная селитра;

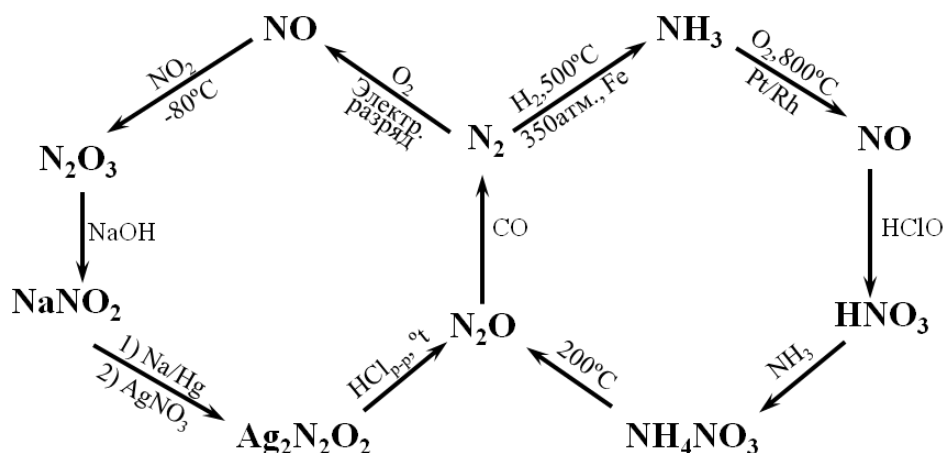
$X_6 - N_2O$  – оксид азота (I), закись азота, веселящий газ;

$X_7 - N_2O_3$  – оксид азота (III), азотистый ангидрид;

$X_8 - NaNO_2$  – нитрит натрия;

$X_9 - Ag_2N_2O_2$  – гипонитрит серебра (I).

**Схема реакции:**



## 2. Уравнения представленных на схеме реакций:

- $N_2 + 3H_2 = 2NH_3$
- $4NH_3 + 5O_2 = 4NO + 6H_2O$
- $2NO + 3HClO + H_2O = 2HNO_3 + 3HCl$
- $HNO_3 + NH_3 = NH_4NO_3$
- $NH_4NO_3 = N_2O + 2H_2O$
- $N_2O + CO = CO_2 + N_2$
- $N_2 + O_2 = 2NO$
- $NO + NO_2 = N_2O_3$
- $N_2O_3 + 2NaOH = 2NaNO_2 + H_2O$
- $2NaNO_2 + 2AgNO_3 + 4Na/Hg + 2H_2O = Ag_2N_2O_2 + 2NaNO_3 + 4NaOH + 4Hg$
- $Ag_2N_2O_2 + 2HCl = N_2O + 2AgCl + H_2O$

### Система оценивания:

- |  |                  |
|--|------------------|
| 1. Формулы веществ по 0,5 балла, названия по 0,5 балла | <b>9 баллов</b>  |
| 2. Уравнения реакций по 1 баллу                        | <b>11 баллов</b> |
| <b>ИТОГО:</b>  | <b>20 баллов</b> |

### Решение задачи 9-2

автор: С. А. Серяков

1-2. Определим неизвестный элемент **Z**, исходя из информации о составе вещества **A** (Поскольку все вещества содержат **Z** – вещество **A** является оксидом **Z**. Пусть состав оксида  $Z_2O_n$ , где  $n$  – степень окисления **Z**. Тогда:

$$\frac{n}{2} = \frac{w(O)}{A_r(O)} \cdot \frac{(100\% - w(O))}{A_r(Z)}, \text{ тогда } \frac{9,33}{16} \cdot \frac{(100\% - w(O))}{A_r(Z)} = \frac{n}{2} \text{ и } \frac{9,33}{16} \cdot \frac{A_r(Z)}{90,67} = \frac{n}{2},$$

$$\text{значит } A_r(Z) = \frac{n \cdot 16 \cdot 90,67}{2 \cdot 9,33} = 77,74n.$$

$n$	1	2	3	4	5
$A_r(Z)$	77,74	155,5	233,2 (Pa?)	311	388,7

Элементов с подходящей относительной атомной массой нет. Судя по тому, что при взаимодействии с уксусной кислотой образуются две различные

соли, можно допустить, что в составе оксида **A** элемент **Z** находится в двух различных степенях окисления. Чтобы не перебирать все возможные комбинации, попробуем определить элемент **Z**, исходя из информации об оксиде **E**. Поскольку нагревание **E** на воздухе приводит к **A**, увеличение массы происходит из-за присоединения кислорода. Определим содержание кислорода в оксиде **E** по данным условия задачи. Пусть было 100 г **E**, из которых  $x$  г приходилось на кислород, тогда после присоединения 2.39 г кислорода (2.39 % от 100 г), масса кислорода увеличится до  $(x + 2.39)$  г, а масса вещества до  $(100 + 2.39)$  г, отсюда выразим массовую долю кислорода в образующемся веществе через  $x$  и приравняем её к массовой доле кислорода в **A**. Получим:

$$\frac{x + 2.39}{102.39} = \frac{9.33\%}{100\%}, \text{ откуда } x = 7.16 \%. \text{ Используем это значение для}$$

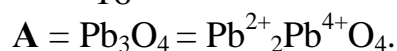
установления атомной массы **Z**, входящего в состав **E** ( $Z_2O_m$ , где  $m$  – степень окисления **Z**):

$$A_r(Z) = \frac{m \cdot 16 \cdot (100 - 7.16)}{2 \cdot 7.16} = 103.73m$$

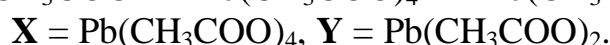
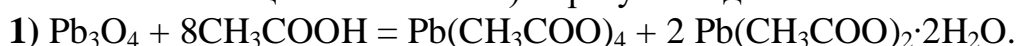
$m$	1	2	3
$A_r(Z)$	103.73	207.5 (Pb)	311.2

Следовательно, **Z** = Pb, **E** = PbO ( $1600/(207.5+16) = 7.16$ ). Состав **A** определим по массовым долям в  $Pb_pO_q$ :

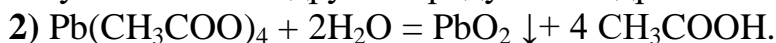
$$p : q = \frac{100\% - 9.33\%}{207.2} : \frac{9.33\%}{16} = 0.4375 : 0.5831 = 1 : 1.333 = 3 : 4.$$



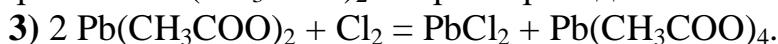
При взаимодействии с уксусной кислотой (с учетом информации о дигидрате вещества **Y** и окислительных свойствах **X**, указывающих на большую степень окисления свинца в его составе) образуются две соли:



Гидролиз **X** приводит к **B** = PbO<sub>2</sub>, на состав оксида указывает его цвет и отсутствие упоминания о других продуктах гидролиза:



Обработка  $Pb(CH_3COO)_2$  хлором приводит к **C** = PbCl<sub>2</sub>, помимо **X**:



Разложение **X** на первой стадии сопровождается окислением аниона, по аналогии с анодным окислением солей карбоновых кислот:

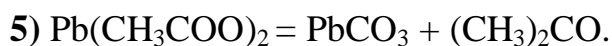


возможен также путь:

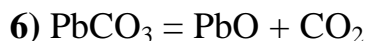


соответствующий реакции Кочи.

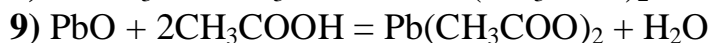
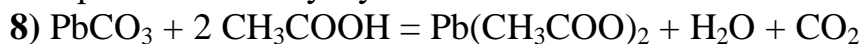
Разложение на второй стадии безводного ацетата приводит к карбонату (на что указывает выделение газа при обработке продукта **D** уксусной кислотой):



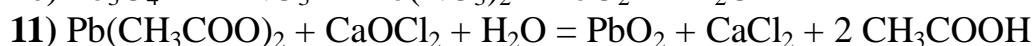
Последующие стадии нагревания приводят к описанным выше веществам:



Растворение **D** и **E** в уксусной кислоте:



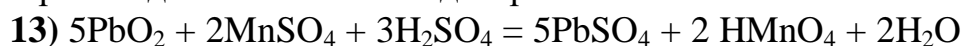
### 3. Реакции получения **PbO<sub>2</sub>**



4. а) В реакции участвуют два окислителя – перекись водорода и диоксид свинца. Выделяющийся газ с резким запахом – озон, образующийся по реакции:



б) Происходит окисление бледно-розового  $\text{Mn}^{2+}$  в малиновый  $\text{MnO}_4^-$ :



Буква	Формула вещества	Буква	Формула вещества
<b>Z</b>	Pb	<b>Y</b>	$\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$
<b>A</b>	$\text{Pb}_3\text{O}_4$	<b>D</b>	$\text{PbCO}_3$
<b>B</b>	$\text{PbO}_2$	<b>E</b>	PbO
<b>X</b>	$\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_4$	<b>C</b>	$\text{PbCl}_2$

5. Масса осадка, выпавшего при охлаждении раствора  $m = (m_2 - m_1)$ , где  $m_2$  и  $m_1$  – массы раствора при 100 °C и при 25 °C, соответственно. Если  $m_0$  - масса воды в растворе (потери на испарение пренебрегаем), то  $m_2 = m_0 \cdot 100\% / (100\% - w_2)$ , а  $m_1 = m_0 \cdot 100\% / (100\% - w_1)$ , отсюда найдем массу воды, необходимой для перекристаллизации:

$$m_0 = \frac{m \cdot (100\% - w_1) \cdot (100\% - w_2)}{100\% \cdot (w_2 - w_1)} = \frac{1z \cdot (100\% - 1.067\%) \cdot (100\% - 3.203\%)}{100\% \cdot (3.203\% - 1.067\%)} = 44.8z$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 44.8 \text{ мл}$$

Масса вещества, взятого для перекристаллизации равна массе растворенного вещества при температуре кипения.

$$m_{\text{исх}} = m_2 - m_0 = \frac{m_0 \cdot w_2}{100\% - w_2} = \frac{44.8 \cdot 3.203\%}{100\% - 3.203\%} = 1.483 \text{ г.}$$

Ответ:  $V = 44.8$  мл,  $m_{\text{исх}} = 1.483$  г

### Система оценивания:

1 Определение **Z** с обоснованием

1,5 балла

2 Определение веществ **A – E, X, Y** по 0,5 балла (3,5 балла)

12,5 баллов

9 уравнений реакций по 1 баллу (9 баллов)

3	Методы получения оксида В из А и У по 1 баллу	2 балла
4	Уравнения взаимодействия В с H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> и MnSO <sub>4</sub> по 1 баллу	2 балла
5	Определение массы С и воды для перекристаллизации	2 балла
<b>ИТОГО:</b>		<b>20 баллов</b>

### Решение задачи 9-3

**авторы: А. А. Дроздов, М. Н. Андреев, В.А. Емельянов**

1. Так как металл У хранят в керосине, можно предположить, что это активный металл, например, щелочной или щелочноземельный. По условию, из 3,22 г У при сжигании образуется 5,46 г желтого порошка Z. При сгорании щелочных и щелочноземельных металлов на воздухе образуются оксиды, пероксиды или надпероксиды. Масса кислорода, идущая на окисление 3,22 г У равна 5,46 - 3,22 = 2,24 г, что соответствует 2,24 / 32 = 0,07 моль газообразного кислорода. Запишем уравнение реакции в общем виде:



$$\text{Тогда } v(\text{Met}) : v(\text{O}_2) = 2 : n/2 = 4 : n$$

$$v(\text{Met}) = m/M(\text{Met}) = 3,22/M(\text{Met})$$

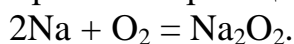
$$3,22/M(\text{Met}) = 4 : n, \text{ откуда } M(\text{Met}) = 11,5n.$$

То же выражение можно получить, если провести вычисления через массовую долю металла в полученном соединении с кислородом.

Единственное разумное решение получается при  $n = 2 : M(\text{Met}) = 23$  г/моль, Met = Na = У.

Тогда Z = Na<sub>2</sub>O<sub>2</sub> - пероксид натрия.

Уравнение реакции горения натрия:



Таким образом, описанные в задаче персонажи проводили реакцию между перманганатом калия и пероксидом натрия в сернокислой среде (по сути, пероксидом водорода). Она сопровождается выделением кислорода, следовательно, газ X = O<sub>2</sub> – кислород.

2. Различный объем кислорода, выделяющийся при проведении реакции разными персонажами, объясняется множеством параллельно или последовательно протекающих в растворе между реагентами процессов.

Кислотный гидролиз пероксида натрия приводит к образованию пероксида водорода H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Пероксид водорода в разных процессах может выступать в качестве окислителя, восстановителя или диспропорционировать, в зависимости от условий проведения реакции:

а) H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> + 2H<sup>+</sup> + 2e = 2H<sub>2</sub>O (полуреакция восстановления в присутствии восстановителя);

б) H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> - 2e = 2H<sup>+</sup> + O<sub>2</sub> (полуреакция окисления в присутствии окислителя);

в) 2H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> = 2H<sub>2</sub>O + O<sub>2</sub> (реакция диспропорционирования в присутствии катализатора).

Заметим, что если при окислении пероксида водорода из одного моля пероксида получается один моль кислорода, то при диспропорционировании из

одного моля пероксида получается всего 0,5 моль кислорода.

Однако, помимо окисления пероксида водорода, возможен еще один процесс, приводящий к выделению кислорода: окисление перманганатом калия воды. Этот процесс протекает медленно, в отсутствие перекиси, то есть когда вся перекись израсходуется, а перманганат еще остается (если он взят в избытке):

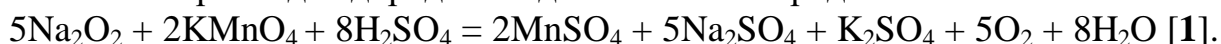
г)  $\text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ + 5\text{e} = \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$  (полуреакция восстановления в присутствии восстановителя);

д)  $2\text{H}_2\text{O} - 4\text{e} = 4\text{H}^+ + \text{O}_2$  (полуреакция окисления воды в присутствии сильного окислителя).

Теперь посчитаем, какое соотношение кислорода и пероксида получается в реакциях [1-4].

По расчету Крокодила Гены [уравнение 2] 5,46 г или  $5,46/78 = 0,07$  моль пероксида натрия должны были выделить 4,704 л или  $4,704/22,4 = 0,21$  моль кислорода, т.е. соотношение кислорода к пероксиду по его расчету составляет 3 : 1.

В реакции, выполненной Чебурашкой [уравнение 1], кислорода получилось в 3 раза меньше, т.е. соотношение кислорода к пероксиду 1:1, что согласуется с реакцией окисления пероксида перманганатом калия (полуреакции б и г). Действительно, перманганат калия - сильный окислитель и окисляет пероксид водорода с выделением кислорода:



Окислитель – перманганат калия, восстановитель – пероксид натрия (водорода).

В реакции, проведенной Крокодилем Геней [уравнение 3], кислорода получилось в 3,5 раза меньше, чем он ожидал, т.е.  $0,21/3,5 = 0,06$  моль. Соотношение кислорода к пероксиду 6 : 7. Поскольку  $0,5 < 6/7 < 1$ , это означает, что только часть пероксида окислялась перманганатом (полуреакции б и г), а часть пероксида диспропорционировала (реакция в). Это действительно возможно, т.к. Гена добавлял перманганат калия медленно, а примесь диоксида марганца, содержащаяся в самом кристаллическом перманганате и в приготовленном заранее растворе, выступает катализатором диспропорционирования пероксида водорода. По рассчитанному нами соотношению коэффициенты перед кислородом и пероксидом в уравнении [3] относятся как 6:7:

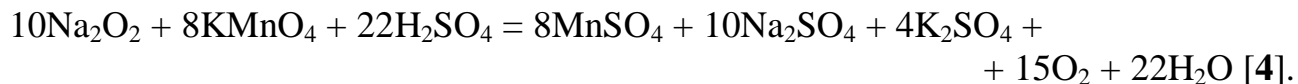
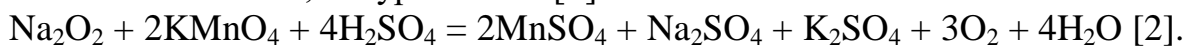


Окислители – перманганат калия и пероксид натрия (водорода), восстановитель – пероксид натрия (водорода).

В реакции, проведенной Старухой Шапокляк [уравнение 4], кислорода получилось в 2 раза меньше, чем ожидал Крокодил Гена, т.е.  $0,21 / 2 = 0,105$  моль. Соотношение кислорода к пероксиду  $0,105 : 0,07 = 1,5 : 1$  или 3 : 2. Поскольку  $1,5 > 1$  (как и в уравнении [2], где это соотношение 3 : 1), это означает, что кислород у Шапокляк получается (а по расчету Крокодила Гены должен был получаться) не только из пероксида, но и откуда-то еще. Как мы

отметили ранее, возможен еще один процесс, приводящий к выделению кислорода: окисление перманганатом калия воды (полуреакции г и д).

Тогда реакции [2] и [4] представляют из себя комбинации процессов б), д) и г), а коэффициенты перед кислородом и пероксидом в уравнении [2] относятся как 3 : 1, а в уравнении [4] как 3 : 2:



В обоих случаях окислитель – перманганат калия, восстановители – пероксид натрия (водорода) и вода.

3. Процесс восстановления пероксида перманганатом протекает сложно, в несколько стадий, и требует катализатор – ионы марганца (+2) или диоксид марганца. Если взять чистый (не успевший подвергнуться разложению) свежеприготовленный раствор свежеперекристаллизованного перманганата калия, реакция окисления им пероксида водорода протекает крайне медленно. По мере того, как она протекает, ее скорость возрастает, так как образующиеся ионы марганца (+2) ее катализируют. Это пример автокаталитической реакции. Поэтому в реакции, которую проводил Чебурашка с друзьями, газ сначала не выделялся, а затем реакция «пошла».

4. Как мы выяснили в п. 2, реакция [4], проведенная Старухой Шапокляк, представляет собой комбинацию процессов окисления перманганатом калия пероксида натрия (водорода) и воды. Эти два процесса протекают последовательно: после того, как весь пероксид израсходуется, начинается медленное окисление воды избытком перманганата калия. Заметим, что для получения большого объема газа за не очень продолжительное время, раствор необходимо выдерживать на свету. Таким образом, условиями реакции, необходимыми для образования такого количества газа, являются избыток перманганата калия, длительное время и хранение раствора на свету.

#### **Система оценивания:**

1	Определение X, Y, Z по 1.5 балла	4.5 балла
	Расчет состава Z	1.5 балла
	Уравнение реакции горения Y	1 балл
2	Уравнения реакций [1-4] 4 уравнения по 2 балла	8 баллов
	Указание окислителей и восстановителей в 4 уравнениях по 0.5 балла	2 балла
3	Каталитическая роль $\text{Mn}^{2+}$	1,5 балла
4	Условия проведения реакции Шапокляк: 3 параметра по 0,5 балла	1,5 балла

**ИТОГО: 20 баллов**

**Решение задачи 9-4**  
**автор: А. И. Жиров**

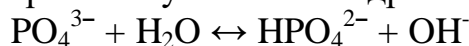
Три вида солей может образовывать многоосновная кислородсодержащая кислота: средней силы по первой стадии, слабая по второй стадии и очень слабая по третьей стадии. Судить о силе кислоты можно по рН растворов ее солей. По совокупности свойств: образование трех видов солей (две кислых и одна средняя соль), дающих осадки с  $\text{BaCl}_2$ , растворимые в азотной кислоте, можно заключить, что **I** - **III** – соли ортофосфорной кислоты – одно-, двух-, и трехзамещенная соответственно. Значительная потеря массы при нагревании объясняется тем, что эти соли выделяются из водного раствора в форме гидратов общей формулы  $\text{Na}_x\text{H}_{3-x}\text{PO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , где  $x = 1, 2, 3$ .  $n$  – целое число ( $\leq 12$ ). После нагревания не изменились химические свойства (окраска осадков) для **III**, следовательно, **III** – гидрат трехзамещенного ортофосфата натрия ( $x = 3$ ). Рассчитаем его гидратный состав. Для этого составим пропорцию:

$$\frac{\Delta m, \%}{100 - \Delta m, \%} = \frac{M(\text{H}_2\text{O}) \cdot n}{M(\text{Na}_3\text{PO}_4)}$$

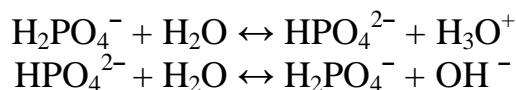
откуда:  $18n = 56,84 \cdot 164 : 43,15$   $n = 12$

**III** –  $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  додекагидрат трехзамещенного ортофосфата натрия

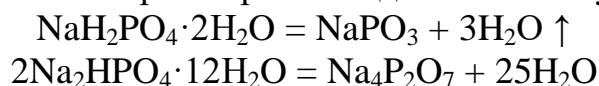
Щелочная среда раствора **III** обусловлена гидролизом ортофосфат-иона:



Тогда на основании рН растворов можно определить, что слабо кислая среда будет соответствовать раствору дигидрофосфата натрия (гидрат однозамещенного ортофосфата натрия), а раствор со слабо щелочной средой соответствует гидрату гидрофосфата натрия (гидрату двузамещенного ортофосфата натрия).



Расчет потери воды описанным выше способом для соли **II** при подстановке  $M(\text{Na}_2\text{HPO}_4)$  дает  $n = 13,3$ , что наводит на мысль о разложении этой кислой соли при нагревании. С учетом этого предположения, при подстановке молярной массы формульной единицы полностью дегидратированного соединения  $M(\text{Na}_2\text{PO}_{3,5})$ , получим  $n = 12,5$ , из которых на долю кристаллизационной воды приходится:  $12,5 - 0,5 = 12$ . Аналогично, для соли **I** получим  $n = 3$ , из которых на долю кристаллизационной воды приходится:  $3 - 1 = 2$ . О том, что не вся вода является кристаллизационной, можно также заключить, поскольку из таблицы видно, что после прокаливании изменились свойства солей. При нагревании до  $500^\circ\text{C}$  получается



Таким образом, **I** – дигидрат дигидрофосфата натрия (дигидрат однозамещенного ортофосфата натрия).

**II** – додекагидрат гидрофосфата натрия (додекагидрат двузамещенного ортофосфата натрия).

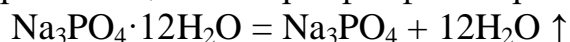
**IV** – **VI** продукты термического разложения **I** – **III** :

**IV** – безводный метафосфат натрия,

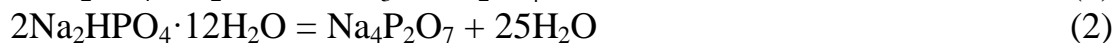


V - безводный пирофосфат натрия,

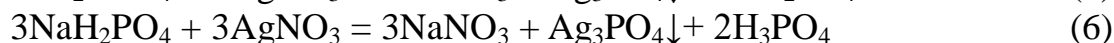
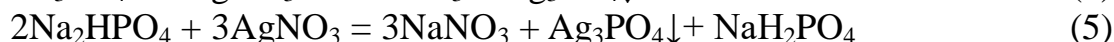
VI - – безводный трехзамещенный ортофосфат натрия.



Реакции термического разложения:



Желтые осадки с нитратом серебра – трехзамещенный ортофосфат серебра:



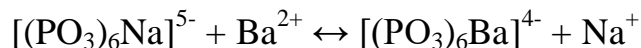
Белый осадок, выпадающий при действии нитрата серебра, - пирофосфат серебра:



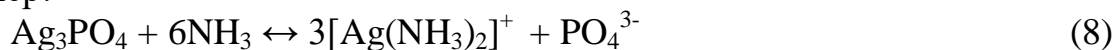
В указанных условиях (500 °С) образуется метафосфат циклического строения, поэтому осадок не образуется до заполнения всех циклофосфатных циклов ионами серебра



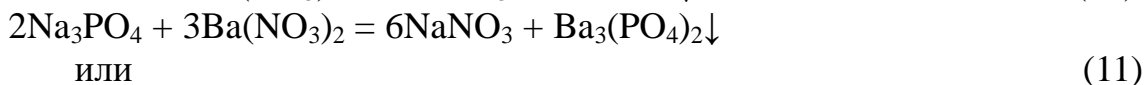
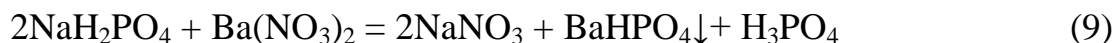
или бария:



Осадки, содержащие ионы серебра, будут растворяться в водном растворе аммиака за счет образования прочного аммиачного комплекса ионами серебра. Например:



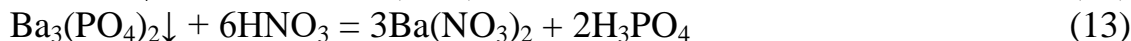
С растворимыми солями бария могут выпадать осадки различного состава:



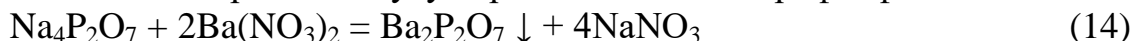
или



Процесс растворения осадка фосфата бария можно рассмотреть на следующих примерах:



Аналогичные процессы будут происходить и с пирофосфатами:

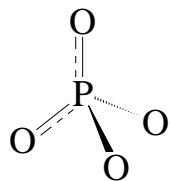


Ортофосфат-ион  $\text{PO}_4^{3-}$  (частица изоэлектронная сульфат и перхлорат ионам) имеет тетраэдрическое строение: атомы кислорода находятся в вершинах тетраэдра, а атом фосфора в центре тетраэдра.

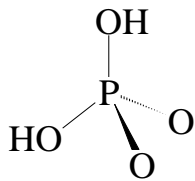
Гидрофосфат-ион и дигидрофосфат являются искаженными тетраэдрами.

Пирофосфат-ион – два тетраэдра с одной общей вершиной.

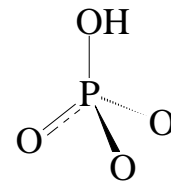
Метафосфат-ионы – тетраэдры, соединенные двумя мостиковыми атомами кислорода либо в бесконечные цепи (нерастворимые метафосфаты), либо образующие небольшие циклы (преимущественно 4 или 6 тетраэдров в цикле) - растворимые формы.



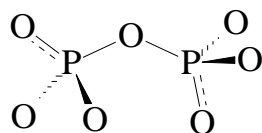
Ортофосфат



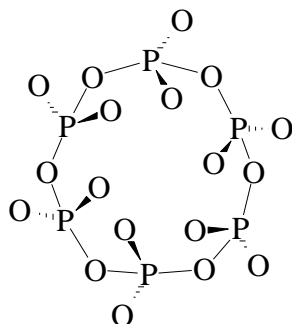
Дигидрофосфат



Гидрофосфат



Пирофосфат



Метафосфат

**Система оценивания:**

- |               |  |                  |
|---------------|--|------------------|
| 1             | Установление состава <b>I – III</b> по 1 баллу       | 3 балла          |
| 2             | Установление состава ( <b>IV – VI</b> ) по 1.5 балла | 4,5 балла        |
| 3             | Уравнения реакций. 15 уравнений по 0.5 балла         | 7,5 баллов       |
| 4             | Строение и комментарий 5 структур по 1 баллу         | 5 баллов         |
| <b>ИТОГО:</b> |  | <b>20 баллов</b> |

**Решение задачи 9-5**

**автор: С. И. Каргов**

1. Экзотермической является только реакция присоединения электрона к атому хлора, следовательно,  $\Delta H_4 = -349$  кДж/моль. Из оставшихся эндотермических реакций: меньше всего энергии затрачивается на превращение твёрдого натрия в газ, а больше всего – на ионизацию атомов Na, поэтому  $\Delta H_1 = 107$  кДж/моль,  $\Delta H_2 = 496$  кДж/моль. Тогда  $\Delta H_3 = 244$  кДж/моль. Значения  $\Delta H$  реакций в правильном порядке:

$\Delta H_1 =$	107 кДж/моль
$\Delta H_2 =$	496 кДж/моль
$\Delta H_3 =$	244 кДж/моль
$\Delta H_4 =$	-349 кДж/моль

Исходя из цикла Борна–Габера,

$$\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 + 0.5 \Delta H_3 + \Delta H_4 + \Delta H_5,$$

откуда

$$\Delta H_5 = \Delta H - \Delta H_1 - \Delta H_2 - 0.5 \Delta H_3 - \Delta H_4 =$$

$$= -411 - 107 - 496 - 122 + 349 = -787 \text{ кДж/моль.}$$

Следовательно, энергия кристаллической решётки:

$$E_{\text{cr}} = -\Delta H_5 = 787 \text{ кДж/моль.}$$

**2.** Энергия кристаллической решётки – величина положительная, так как для того, чтобы превратить 1 моль кристаллического соединения в газ, состоящий из ионов, необходимо затратить энергию.

**3.** Радиус иона  $\text{Li}^+$  меньше, чем иона  $\text{Na}^+$ , поэтому энергия электростатического взаимодействия ионов  $\text{Li}^+$  и  $\text{Cl}^-$  больше, чем ионов  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$ . Следовательно, энергия кристаллической решётки  $\text{LiCl}$  по абсолютной величине больше, чем  $\text{NaCl}$ . (Табличное значение для  $\text{LiCl}$  равно 852 кДж/моль).

Радиус иона  $\text{K}^+$  больше, чем иона  $\text{Na}^+$ , поэтому энергия кристаллической решётки  $\text{KCl}$  меньше, чем  $\text{NaCl}$ . (Табличное значение для  $\text{KCl}$  равно 717 кДж/моль).

Радиус иона  $\text{F}^-$  меньше, чем иона  $\text{Cl}^-$ , поэтому энергия взаимодействия ионов  $\text{Na}^+$  и  $\text{F}^-$  больше, чем ионов  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$ . Следовательно, энергия кристаллической решётки  $\text{NaF}$  больше, чем  $\text{NaCl}$ . (Табличное значение для  $\text{NaF}$  равно 926 кДж/моль).

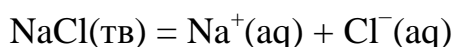
Радиус иона  $\text{Br}^-$  больше, чем иона  $\text{Cl}^-$ , поэтому энергия кристаллической решётки  $\text{NaBr}$  меньше, чем  $\text{NaCl}$ . (Табличное значение для  $\text{NaBr}$  равно 752 кДж/моль).

**4.** Ион  $\text{Mg}^{2+}$  двухзарядный, поэтому энергия электростатического взаимодействия между ионами  $\text{Mg}^{2+}$  и  $\text{Cl}^-$  больше, чем между ионами  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$ .

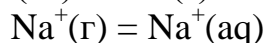
**5. а)** Количество энергии, которое нужно затратить для образования иона  $\text{Na}^{2+}(\text{г})$  из  $\text{Na}(\text{г})$ , равно  $496 + 4562 = 5058$  кДж/моль. Поскольку кристаллического  $\text{NaCl}_2$  не существует, его энергия кристаллической решётки неизвестна. В качестве грубой оценки можно считать, что эта энергия сравнима с энергией решётки  $\text{MgCl}_2$  (поскольку радиусы ионов  $\text{Na}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  близки). Очевидно, что энергии, которая выделяется при образовании решётки из ионов  $\text{Na}^{2+}$  и  $\text{Cl}^-$ , недостаточно, чтобы компенсировать затраты энергии для образования иона  $\text{Na}^{2+}$ .

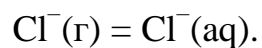
**б)** Количество энергии, которое нужно затратить для образования иона  $\text{Mg}^+(\text{г})$  из  $\text{Mg}(\text{г})$ , равно 738 кДж/моль. Поскольку кристаллического  $\text{MgCl}$  не существует, его энергия кристаллической решётки неизвестна. В качестве грубой оценки можно считать, что она меньше энергии решётки  $\text{NaCl}$  (поскольку радиус  $\text{Mg}^+$  больше радиуса  $\text{Na}^+$ ). Можно сделать вывод, что энергия, которая выделяется при образовании решётки из ионов  $\text{Mg}^+$  и  $\text{Cl}^-$ , слишком мала, чтобы компенсировать затраты энергии для образования иона  $\text{Mg}^+$ .

**6. а)** Реакцию растворения  $\text{NaCl}$  в воде с образованием гидратированных ионов

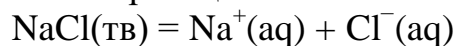


можно представить как сумму трёх реакций:





Соответственно, энтальпия реакции



равна сумме энтальпий этих трёх реакций, то есть

$$\Delta H (\text{растворения}) = 787 - 406 - 377 = 4 \text{ Дж/моль}.$$

Энтальпия растворения положительная, значит, при растворении кристаллического NaCl в воде теплота поглощается.

б) Количество NaCl равно  $n(\text{NaCl}) = 46.8 / 58.5 = 0.8$  моль.

Значит, при растворении поглотится  $Q = 0.8 \cdot 4 = 3.2$  кДж теплоты.

### **Система оценивания**

1.	За каждую правильную величину $\Delta H$ по 1 баллу	4 балла
	За расчёт энергии кристаллической решётки	2 балла
2.	За объяснение знака значения энергии кристаллической решётки	1 балл
3.	За каждый правильный ответ с объяснением – по 1 баллу	4 балла
4.	За правильное объяснение	1 балл
5.	За каждое правильное объяснение – по 2 балла	4 балла
6.	За расчёт энтальпии реакции растворения 2 балла	4 балла
	За расчёт количества теплоты 2 балла	

**ИТОГО: 20 баллов**