Муниципальный этап Всероссийской олимпиады школьников по химии
в 2026/27 учебном году
11 класс

I уровень

1. Химические элементы **X**, **Y** и **Z** с валентностями 1, 2 и 3 соответственно, образуют хлориды, массовые доли хлора в которых соотносятся как 1:2,5853:2,6492.

1. Определите химические элементы **X**, **Y** и **Z**, ответ подтвердите расчётом.

2. Напишите формулы хлоридов и для каждого хлорида – по 3 реакции, по которым их можно получить. Постарайтесь, чтобы представленные реакции относились к разным типам.

3. Растворимость этих хлоридов в воде – $1{,}91\cdot10^{-4}$/100 г H_2O, 74/100 г H_2O, 96,5 г/100 г H_2O соответственно для **X**, **Y** и **Z**. Рассчитайте массовые доли для каждого из этих хлоридов в насыщенном водном растворе.

Ответ.

1. **X** – Ag, **Y** – Ca, **Z** – Fe (5,5 баллов)

2. Например,

$2Ag + Cl_2 \rightarrow 2AgCl$

$Ag_2O + 2HCl \rightarrow AgCl + H_2O$

$AgNO_3 + NaCl \rightarrow AgCl + NaNO_3$ (0,5 балла за 1 реакцию, всего 4,5 балла)

3. $\omega(AgCl) = 1{,}91\cdot10^{-4}/(100+1{,}91\cdot10^{-4}) = 1{,}91\cdot10^{-4}\%$

$\omega(CaCl_2) = 74/174 = 42{,}53\%$

$\omega(FeCl_3) = 96{,}5/196{,}5 = 49{,}11\%$ (5 баллов)

15 баллов

2. Известно, что общей формуле C_2H_6O соответствуют два структурных изомера: этиловый спирт и диметиловый эфир.

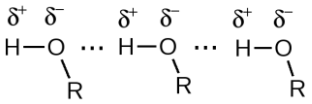
1. Объясните, почему эти два изомера имеют различные температуры кипения? $t_{кип}(C_2H_5OH) = +78°C$, $t_{кип}(CH_3{-}O{-}CH_3) = -24°C$.

2. В составе молекулы этанола и уксусной кислоты присутствует группа –OH. Объясните, почему в уксусной кислоте происходит диссоциация данной группы с отщеплением иона H^+, а в этаноле – нет.

3. Сравните реакционную способность этанола и уксусной кислоты со следующими веществами: натрий, цинк, хлороводород, хлор, метиловый спирт. Укажите условия протекания возможных реакций, укажите, какие продукты при этом образуются, назовите их.

Ответ.

1. В функциональной –OH группе спиртов более электроотрицательный кислород оттягивает на себя общую электронную пару O-H связи, и при этом приобретает частичный отрицательный заряд, а атом водорода – частичный положительный. Благодаря подобному распределению зарядов молекулы спиртов притягиваются друг к другу – возникает водородная связь:



Молекулы диметилового эфира не способны образовывать водородные связи, так как не содержат групп –OH. Следовательно, из-за того, что молекулы этанола ассоциированы, то есть «связаны» между собой водородными связями, температура кипения этанола выше, чем у диметилового эфира.

Всего 3 балла.

2. Отличие свойств спиртов от свойств карбоновых кислот объясняется тем, что в молекулах спиртов –OH группа связана с углеводородным радикалом, а в молекулах карбоновых кислот – с карбонильной –C=O группой. Ослабление связи между кислородом и водородом в гидроксиле объясняется разностью электроотрицательностей атомов углерода, кислорода и водорода. Атом углерода карбонильной группы приобретает частичный положительный заряд за счет смещения электронной плотности связи в сторону атома кислорода. В результате этот атом притягивает к себе электронную пару атома кислорода гидроксильной группы, тем самым компенсируя смещенную электронную плотность в сторону карбонильного атома кислорода. Таким образом атом кислорода гидроксильной группы пытается компенсировать воздействие углерода, и оттягивает электронную плотность связи O–H на себя. В следствие этого связь O–H становится более полярной и атом водорода приобретает большую подвижность и достаточно легко отщепляется в водном растворе.



Всего 2 балла.

3.

Этанол	Уксусная кислота
$2Na + 2C_2H_5OH \rightarrow 2C_2H_5ONa + H_2$ Этанолят (этилат) натрия	$2Na + 2CH_3COOH \rightarrow 2CH_3COONa + H_2$ Этаноат (ацетат) натрия
$Zn + C_2H_5OH \rightarrow$ реакции нет	$Zn + 2CH_3COOH \rightarrow (CH_3COO)_2Zn + H_2$ Этаноат (ацетат) цинка
$HCl + C_2H_5OH \xrightarrow{H_2SO_4} C_2H_5Cl + H_2O$ Хлорэтан	$HCl + CH_3COOH \rightarrow$ реакции нет
$Cl_2 + C_2H_5OH \rightarrow$ реакции нет	$Cl_2 + CH_3COOH \rightarrow Cl{-}CH_2{-}COOH + HCl$ Монохлоруксусная кислота (так же правильными будут ответы, в которых указаны в качестве продуктов дихлоруксусная

	и трихлоруксусная кислоты)
$CH_3OH + C_2H_5OH \xrightarrow{H_2SO_4, t<140^0C} CH_3\text{-}O\text{-}C_2H_5 + H_2O$ Метилэтиловый эфир Так же в реакционной смеси будут присутствовать диметилвый и диэтиловый эфиры	$CH_3OH + CH_3COOH \xrightarrow{H_2SO_4, t} CH_3COOCH_3 + H_2O$ Метиловый эфир уксусной кислоты (метилацетат)

За каждое уравнение (схему) по 0,5 балла.
Всего 10 баллов.
15 баллов

II уровень

3. При 20°C в стакан с 300 мл 6%-ного раствора гидроксида лития (ρ = 1,112 г/мл) внесли 3 г оксида лития, 1,4 г лития и 3,2 г гидрида лития.

1. Рассчитайте состав раствора в массовых долях (в %) после окончания реакций. Учтите, что растворимость гидроксида лития при 20°C – 12,8 г/100 г H_2O.

Вышеупомянутый стакан поставили в водяную баню, провели осторожное выпаривание, образовавшееся твердое вещество прокалили при 900°C в атмосфере водорода.

2. Определите качественный и количественный состав твердого остатка после прокаливания.

Соединения лития в некоторых аспектах похожи на соединения магния.

3. Объясните, в чем соединения лития похожи на соединения магния и укажите причину этого.

Ответ.

1. $m_{исх}$(р-ра) = 300·1,112 = 333,6 г. $m_{исх}$(LiOH) = 333,6·0,06 = 20,016 г.

$\nu_{исх}$(LiOH) = 20,016/24 = 0,834 моль.

При добавлении в раствор 3 г оксида лития, 1,4 г лития и 3,2 г гидрида лития протекали химические реакции, в ходе которых образовался LiOH.

$Li_2O + H_2O \rightarrow 2LiOH$

$2Li + 2H_2O \rightarrow 2LiOH + H_2$

$LiH + H_2O \rightarrow LiOH + H_2$

$\nu(Li_2O)$ = 3/30 = 0,1 моль. ν(Li) = 1,4/7 = 0,2 моль. ν(LiH) = 3,2/8 = 0,4 моль.

$\nu(H_2)$ = 0,1 + 0,4 = 0,5 моль. $m(H_2)$ = 0,5·2 = 1 г.

$\nu_{конечн}$(LiOH) = 0,834 + 0,2 + 0,2 + 0,4 = 1,634 моль.

$m_{конечн}$(LiOH) = 1,634·24 = 39,216 г

$m_{конечн}$(общая) = 333,6 + 3 + 1,4 + 3,2 – 1 = 340,2 г.

$m_{конечн}(H_2O)$ = 340,2 – 39,216 = 300,984 г.

В этой массе воды может раствориться 300,984·12,8/100 = 38,526 г LiOH.

Значит, 39,216 – 38,526 = 0,69 г LiOH не растворится, а будет лежать на дне стакана.

$m_{конечн}$(р-ра) = 340,2 – 0,69 = 339,51

ω(LiOH) = 38,526/339,51 = 0,1135 (11,35%) (10 баллов)

2. При прокаливании гидроксид лития разлагается $2LiOH \rightarrow Li_2O + H_2O\uparrow$. Твердый остаток после прокаливания – Li_2O.

$\nu_{конечн}$(LiOH) = 1,634 моль, $\Rightarrow \nu(Li_2O) = 0{,}5\nu_{конечн}$(LiOH) = 0,817 моль

$m(Li_2O)$ = 0,817·30 = 24,51 г (5 баллов)

3. Малый размер атома лития и, как следствие, высокая поверхностная плотность заряда и низкое координационное число делают химию лития отличной от других щелочных металлов. По многим свойствам химия лития оказывается гораздо ближе химии магния (нисходящая диагональная аналогия).

Литий – единственный из щелочных металлов, дающий устойчивый нитрид Li_3N (образование устойчивого нитрида характерно и для магния).

Литий, как и магний, реагирует с углеродом, образуя карбиды Li_2C_2, Li_4C_3.

Гидроксид лития при температуре выше 600°C начинает разлагаться на оксид и воду, в то время как гидроксиды остальных щелочных металлов не разлагаются при нагревании (характерно и для магния).

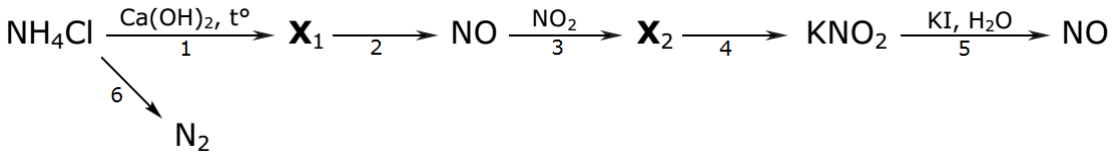
При сгорании на воздухе литий образует оксид Li_2O (характерно и для магния).

Карбонат лития при нагревании (> 800°C) разлагается (характерно и для магния).

Гидроксид, карбонат, ортофосфат и фторид лития малорастворимы в воде (характерно и для магния), что объясняется, вероятно, тем, что из-за самого малого в ряду $ЩЭ^+$ радиуса катиона при прочих равных условиях энергия кристаллической структуры солей лития максимальна. (5 баллов)

20 баллов

4. Дана схема превращений:



1. Напишите уравнения реакций приведенных превращений и укажите условия их проведения (все **X** – вещества, содержащие азот).

В закрытом сосуде находятся равные объемы хлора и оксида азота, массы которых соответственно равны 3,195 и 1,350 г.

2. Установите формулу оксида азота, ответ подтвердите расчётом.

3. Используя закон действующих масс, напишите уравнение протекающей реакции, если при увеличении объема в 2 раза скорость реакции изменится в 8 раз.

4. Рассчитайте массу образующегося продукта, если прореагировало 20% хлора, и определите относительную плотность по водороду образовавшейся газовой смеси.

Ответ.

1.

1) $2NH_4Cl_{тв} + Ca(OH)_{2\,тв} \xrightarrow{t^\circ} CaCl_2 + 2NH_3 + 2H_2O$ (**X**$_1$ – NH_3)

2) $4NH_3 + 5O_2 \xrightarrow{Pt,\,t^\circ} 4NO + 6H_2O$

3) $NO + NO_2 \xrightarrow{-80^\circ C} N_2O_3$ (**X**$_2$ – N_2O_3)

4) $N_2O_3 + 2KOH_{р\text{-}р} \rightarrow 2KNO_2$

5) $2KNO_2 + 2KI_{р\text{-}р} + 2H_2O \rightarrow I_2 + 2NO + 4KOH$

6) $2NH_4Cl_{тв} + 3CaOCl_{2\,тв} + Ca(OH)_{2\,тв} \xrightarrow{t^\circ} N_2 + 4CaCl_2 + 5H_2O$

или $10NH_4Cl + 6KMnO_4 + 4H_2SO_{4\,р\text{-}р} \xrightarrow{t^\circ} 5N_2 + 4MnSO_4 + 2MnCl_2 + 6KCl + 24H_2O$

или $NH_4Cl + KNO_2 \xrightarrow{t^\circ} N_2 + KCl + 2H_2O$ (5 баллов)

2. $\nu(N_xO_y) = \nu(Cl_2)$; 3,195/71 = 1,350/M(N_xO_y); M(N_xO_y) = 30 г/моль, т.е. оксид – NO (5 баллов)

3. $nNO + mCl_2 \rightarrow N_nO_nCl_{2m}$;

$v = kc_{NO}^{n}C_{Cl2}^{m} = kc^{n+m}$; $v' = k(c/2)^{n+m}$; $v/v' = 2^{n+m} = 8$; n + m = 3, n = 2, m = 1.

$2NO + Cl_2 \rightarrow 2NOCl$ (5 баллов)

4.

	2NO	+	Cl_2	⇄	2NOCl
$\nu_{ИСХ.}$	0,045		0,045		0
$\nu_{РЕАГ.}$	0,018		0,009		0,018
$\nu_{КОН.}$	0,027		0,036		0,018

m(NOCl) = 0,018·65,5 = 1,179 г.

$D_{H_2} = M_{СР}/2$; $M_{СР} = \chi(NO)M(NO) + \chi(Cl_2)M(Cl_2) + \chi(NOCl)M(NOCl)$; $\chi = \nu_1/(\nu_1+\nu_2+\ldots+\nu_n)$.

$\chi(NO) = 0,027/0,081 = 0,333$; $\chi(Cl_2) = 0,036/0,081 = 0,444$; $\chi(NOCl) = 0,223$;

$M_{СР} = 0,333\cdot30 + 0,444\cdot71 + 0,223\cdot65,5 = 56,12$.

$D_{H_2} = 56,12/2 = 28,06$. (5 баллов)

20 баллов

III уровень

5. Карбиды – это соединения металлов с углеродом. Многие из них при взаимодействии с водой образуют углеводороды. Например, карбид бериллия **Z** (ω(C) = 40,00%) при взаимодействии с водой или раствором соляной кислоты образует метан.

1) Определите формулу карбида бериллия **Z**, ответ подтвердите расчётом.

2) Напишите уравнения реакций **Z** с: а) соляной кислотой, б) кислородом (t°), в) хлором (t°).

При взаимодействии 23,1 г другого карбида **A** с эквивалентным количеством соляной кислоты выделяется 15,68 л газа **Б** (н.у.) с плотностью по кислороду 0,8125 и образуется раствор соединения **В**. При добавлении к этому раствору избытка раствора аммиака образуется 30,1 г осадка **Г**, который содержит 20,93% металла.

3) Определите зашифрованные соединения **А**, **Б**, **В** и **Г**, ответ подтвердите расчётом.

4) Напишите уравнения реакций, описанные для зашифрованных соединений **А** – **Г**.

Ответ.

1) Пусть дано 100 г **Z**.

m(C) = 40 г. ν(C) = 40/12 = 3,3333 моль

m(Be) = 60 г. ν(C) = 60/9 = 6,6667 моль

ν(Be):ν(C) = 2:1. Формула карбида бериллия **Z** – Be_2C. (5 баллов)

2) $Be_2C + 4HCl\,(разб.) \rightarrow 2BeCl_2 + CH_4\uparrow$

$Be_2C + 2O_2 \rightarrow 2BeO + CO_2$ (600–700°C)

$Be_2C + 4Cl_2 \rightarrow 2BeCl_2 + CCl_4$ (выше 300°C) (5 баллов)

3) Логично допустить, что осадок **Г** – гидроксид металла.

Пусть дано 100 г гидроксида $M(OH)_n$

$M(M(OH)_n) = x + 17n$ г/моль

x + 17n – 1

x – 0,2093, откуда x = 4,5n. Перебором n получаем единственное разумное значение x = 9 (Be)

m(Be) = 30,1·0,2093 = 6,3 г. ν(Be) = 6,3/9 = 0,7 моль

m(C) = 23,1 – 6,3 = 16,8 г. ν(C) = 16,8/12 = 1,4 моль

ν(Be):ν(C) = 1:2. Формула карбида бериллия **А** – BeC_2.

Тогда M(**Б**) = 32·0,8125 = 26. **Б** – C_2H_2. **В** – $BeCl_2$, **Г** – $Be(OH)_2$. (10 баллов)

4) $BeC_2 + 2HCl \rightarrow BeCl_2 + C_2H_2\uparrow$.

$BeCl_2 + 2(NH_3\cdot H_2O)\,[конц] \rightarrow Be(OH)_2\downarrow + 2NH_4Cl$ (10 баллов)

30 баллов