

**Муниципальный этап Всероссийской олимпиады школьников по химии 11 класс  
2020-2021 учебный год**

Общее время выполнения работы – 5 часов.

Общие указания: если в задаче требуются расчёты, они обязательно должны быть приведены в решении. Ответ, приведённый без расчётов или иного обоснования, не засчитывается. Используйте Периодическую таблицу химических элементов, таблицу растворимости и непрограммируемый калькулятор.

**Максимальное количество баллов – 60 баллов**

**Задание 11-1. (16 баллов)**

1. Элемент X, который образует соединения во многих степенях окисления, может быть получен в виде простого вещества при прокаливании в электрической печи кальциевой соли, содержащей этот элемент, с коксом и кварцевым песком. Образующиеся при этом пары элемента X конденсируются при пропускании их через воду, образуя реакционноспособную аллотропную модификацию.

2. Наиболее важное из соединений элемента X с водородом образуется при действии X на крепкие растворы щелочей. В этих реакциях данное простое вещество диспропорционирует с образованием соединений в степенях окисления –3 и +1. Полученное водородное соединение обладает характерным запахом.

3. Простое вещество X сгорает в хлоре, окисляясь до степени окисления +3, причем образующееся хлорпроизводное гидролизуеться в присутствии влаги.

4. Полученное при хлорировании соединение может окисляться при нагревании в атмосфере хлора дальше.

5. Элемент X образует ряд кислородсодержащих кислот, в которых он обладает различными степенями окисления и степенями гидратации оксида X.

6. Ангидрид  $X_2O_5$  образуется непосредственно при сгорании простого вещества X, однако орто-кислоту получают не при реакции этого оксида с водой, а при взаимодействии кальциевой соли с серной кислотой.

7. Существует ряд солей (например, натриевых), соответствующих замене одного, двух или трех атомов водорода в орто-кислоте на металл. Их водные растворы при равной концентрации солей обладают различной кислотностью (с различными концентрациями в них ионов водорода).

Установите, о каком элементе идет речь. Объясните процессы, упомянутые в условиях задачи. Напишите формулы веществ и уравнения реакций, названных в задаче. При ответе на пункт 7 охарактеризуйте кислотность растворов натриевых солей.

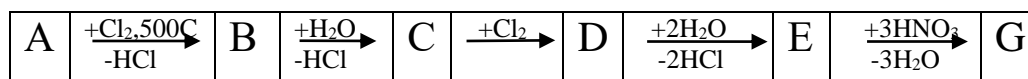
**Решение:**

<b>Содержание верного ответа и указания по оцениванию</b> (допускаются иные формулировки ответа, не искажающие его смысла)	<b>Баллы</b>
1) Фосфор получают прокаливанием фосфорита с песком и углем: $Ca_3(PO_4)_2 + 5C + 3SiO_2 = 3CaSiO_3 + 5CO + 2P$ или $2Ca_3(PO_4)_2 + 10C + 6SiO_2 = 6CaSiO_3 + 10CO + P_4$ Пары фосфора конденсируются, и расплавленный фосфор кристаллизуется с образованием кристаллической аллотропной $\alpha$ -модификации белого фосфора.	<b>1</b>
2) $P_4 + 3KOH + 3H_2O = PH_3 + 3KH_2PO_2$	<b>1</b>
3) $P_4 + 6Cl_2 = 4PCl_3$	<b>0,5</b>

$PCl_3 + 3H_2O = H_3PO_3 + 3HCl$ $PCl_3$ «дымит» на воздухе, поскольку его пары гидролизуются парами воды с образованием тумана $H_3PO_3$ и $HCl$ .	<b>1</b> <b>0,5</b>
4) $PCl_3 + Cl_2 = PCl_5$ $PCl_5 + H_2O = POCl_3 + 2HCl$ или $PCl_5 + 4H_2O = H_3PO_4 + 5HCl$	<b>0,5</b> <b>1</b>
5) Существует ряд кислородсодержащих кислот фосфора: $H_3PO_2$ фосфорноватистая; $H_3PO_4$ ортофосфорная; $H_3PO_3$ ортофосфористая; $H_4P_2O_7$ дифосфорная (пирофосфорная); $H_4P_2O_5$ дифосфористая; $HPO_2$ метафосфористая; $HPO_3$ метафосфорная; $H_4P_2O_6$ фосфорноватая. ( <b>8 б - 0,5 за каждую формулу и 0,5 за каждое название</b> )	<b>8</b>
6) $4P + 5O_2 = 2P_2O_5$ $Ca_3(PO_4)_2 + 3H_2SO_4 = 3CaSO_4 + 2H_3PO_4$	<b>0,5</b> <b>1</b>
7) $NaH_2PO_4 \rightarrow Na_2HPO_4 \rightarrow Na_3PO_4$ слабокислая среда $\rightarrow$ щелочная среда	<b>1</b>
<b>Максимальный балл</b>	<b>16</b>

### Задание 11-2 (13 баллов)

Дана схема превращений:



Вещество А содержит 85,71% углерода и 14,29% водорода по массе, вещество Д содержит 55,04% хлора по массе, G представляет собой взрывчатое вещество. Напишите формулы и названия всех веществ, приведите уравнения указанных реакций

**Решение:**

Содержание верного ответа и указания по оцениванию (допускаются иные формулировки ответа, не искажающие его смысла)	Баллы
1). Рассчитаем простейшую формулу вещества А: (85,71:12):(14,29:1)=7,1425:14,29=1:2=C:H; простейший состав: $CH_2$	<b>1</b>
2). Найдём молярную массу вещества <b>D</b> , так как по схеме видно, что данное вещество содержит два атома хлора в результате реакции присоединения и один атом кислорода: $M(D)=71:0,5504=129$ , тогда $M(R)=129-71-16=42$ ; $14n = 42$ ; $n(C)=42:14=3$ это $C_3H_6$ , следовательно, А – пропен - $CH_3-CH=CH_2$	<b>2</b>
Составим уравнения реакций:	<b>2</b>
1). $CH_3-CH=CH_2 + Cl_2 \rightarrow CH_2(Cl)CH=CH_2 + HCl$ (t=500C) <b>B</b> (1-хлорпропен)	<b>2</b>
2). $CH_2(Cl)CH=CH_2 + H_2O \rightarrow CH_2(OH)-CH=CH_2 + HCl$ <b>C</b> (пропен-2-ол-1)	<b>2</b>
3). $CH_2(OH)-CH=CH_2 + Cl_2 \rightarrow CH_2(OH)-CH(Cl)-CH_2(Cl)$ <b>D</b> (2,3-дихлорпропанол-1)	<b>2</b>
4). $CH_2(OH)-CH(Cl)-CH_2(Cl) + 2H_2O \rightarrow CH_2(OH)-CH(OH)-CH_2(OH) + 2HCl$ <b>E</b> (глицерин)	<b>2</b>
5). $CH_2(OH)-CH(OH)-CH_2(OH) + 3HNO_3 \rightarrow CH_2(NO_2)-CH(NO_2)-CH_2(NO_2) + 3H_2O$ <b>G</b> (тринитроглицерин)	<b>2</b>
<b>Максимальный балл</b>	<b>13</b>

**Задание 11-3. (5 баллов)**

При сжигании органического вещества X массой 26,1 г получено 26,88 л (при н.у.) углекислого газа и 18,9 г воды. Известно, что в ходе щелочного гидролиза этого вещества образуются две соли, одна из которых содержит четвертичный атом углерода. На основании данных в задаче: 1) проведите необходимые вычисления (указывайте единицы измерения искомых физических величин) и установите молекулярную формулу неизвестного вещества X; 2) составьте возможную структурную формулу вещества X, которая однозначно отражает порядок связи атомов в его молекуле; 3) напишите уравнение реакции гидролиза вещества X в растворе гидроксида калия, используя структурную формулу вещества.

**Решение:**

Содержание верного ответа и указания по оцениванию (допускаются иные формулировки ответа, не искажающие его смысла)	Баллы
1). Формула вещества $C_xH_yO_z$ ; $n(CO_2) = V : V_M = 26,88 : 22,4 = 1,2$ моль $= n(C)$ $n(H_2O) = m : M = 18,9 : 18 = 1,05$ моль; $n(H) = 2n(H_2O) = 2,1$ моль;	<b>1</b>
2). $m(O) = 26,1 - 1,2 \cdot 12 - 2,1 \cdot 1 = 9,6$ г; $n(O) = m : M = 9,6 : 16 = 0,6$ моль $x : y : z = 1,2 : 2,1 : 0,6 = 2 : 3,5 : 1 = 4 : 7 : 2 = 8 : 14 : 4$	<b>1</b>
3). Молекулярная формула: $C_8H_{14}O_4$	<b>1</b>
4). Структурная формула $CH_3C(CH_3)_2COOCH_2CH_2OOCCH_3$	<b>0,5</b>
5). $CH_3C(CH_3)_2COOCH_2CH_2OOC + 2KOH \rightarrow CH_3C(CH_3)_2COOK + CH_2(OH)CH_2(OH) + HCOOK$	<b>0,5</b>

**Задание 11-4. (12 баллов)**

Смесь алюминия, оксида и гидроксида алюминия, в котором количество атомов алюминия, кислорода и водорода соотносится как 8:15:9, растворили в нужном количестве раствора гидроксида калия массой 112 г. При этом наблюдали выделение газа 3,36 л (н.у.). К этому раствору добавили минимальное количество 20%-ного раствора соляной кислоты, получив при этом прозрачный раствор. Из раствора удалили 400 г воды. Раствор охладили до 25°C.

- 1) Вычислите массу раствора соляной кислоты;
- 2) Вычислите массу выпавших кристаллов шестиводной соли (кристаллогидрата), если растворимость хлорида алюминия при 25°C равна 44,38 г на 100 г воды.

**Решение:**

Содержание верного ответа и указания по оцениванию (допускаются иные формулировки ответа, не искажающие его смысла)	Баллы
$2Al + 2KOH + 6H_2O = 2K[Al(OH)_4] + 3H_2$ (1)	0,5 б
$Al_2O_3 + 2KOH + 3H_2O = 2K[Al(OH)_4]$ (2)	0,5 б
$Al(OH)_3 + KOH = K[Al(OH)_4]$ (3)	0,5 б
1) Выражение для соотношения атомов: $N(Al) : N(O) : N(H) = 8 : 15 : 9$ В таких же соотношениях находятся и количества вещества: $n(Al) : n(O) : n(H) = 8 : 15 : 9$ $n(H_2) = 3,36 : 22,4 = 0,15$ моль, тогда $n(Al) = n(H_2) \cdot 2 : 3 = 0,15 \cdot 2 : 3 = 0,1$ моль	<b>1</b>
2) Пусть $n(H) = 9x$ , тогда $n(O) = 15x$ , $n(Al) = 8x$ моль, так как водород содержится только в $Al(OH)_3$ . Найдём через водород ( <b>9x</b> ), следовательно, $n(Al(OH)_3) = 3x$ и в нём содержится <b>3x</b> моль – Al и <b>9x</b> моль кислорода	<b>1</b>
3) Кислород был в гидроксиде и в оксиде, а всего $n(O) = 15x$ , тогда $n(O)$ в $Al_2O_3 = 15x - 9x = 6x$ , тогда $n(Al_2O_3) = 6x : 3 = 2x$ , $n(Al) = 4x$	<b>1</b>
4) Al был везде, тогда $n(Al) = 8x - 3x - 4x = x$ моль, $n(Al)$ в (1) = 0,1	<b>1</b>

моль, следовательно $x = 0,1$ моль	
5) $n(\text{Al}_2\text{O}_3) = 2x = 2 \cdot 0,1 = 0,2$ моль $n(\text{Al}(\text{OH})_3) = 3x$ моль = $3 \cdot 0,1 = 0,3$ моль	<b>1</b>
$\text{K}[\text{Al}(\text{OH})_4] + 4\text{HCl} = \text{AlCl}_3 + \text{KCl} + 4\text{H}_2\text{O}$ (4)	<b>0,5</b>
6) В трёх реакциях образовалось $\text{K}[\text{Al}(\text{OH})_4] = 0,1 + 0,4 + 0,3 = 0,8$ моль, тогда в 4-й реакции $n(\text{AlCl}_3) = 0,8$ моль, тогда $m(\text{AlCl}_3) = 0,8 \cdot 133,5 = 106,8$ г	<b>1</b>
7) $n(\text{HCl}) = 0,8 \cdot 4 = 3,2$ моль, $m(\text{HCl}) = 36,5 \cdot 3,2 = 116,8$ г, 8) $m(\text{р-ра HCl}) = 116,8 \cdot 100 : 20 = 584$ г	<b>1</b>
9) $m(\text{р-ра конечного}) = m(\text{Al}) + m(\text{Al}_2\text{O}_3) + m(\text{Al}(\text{OH})_3) + m(\text{KOH}) - m(\text{H}_2) + m(\text{HCl}) - 400 = 0,1 \cdot 27 + 0,2 \cdot 102 + 0,3 \cdot 78 + 112 - 0,15 \cdot 2 + 584 - 400 = 342,2$	<b>1</b>
10) Пусть $m(\text{к/г})$ упавшего в осадок = $X$ грамм, тогда $m(\text{раствора}) = (342,2 - X)$ грамм $M(\text{к/г AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = 241,5$ г/моль; $M(\text{AlCl}_3) = 133,5$ г/моль $241,5 \text{ ----- } X$ г к/г $133,5 \text{ ----- } m(\text{AlCl}_3)$ $m(\text{AlCl}_3) = 133,5 \cdot X : 241,5 = 0,55X$	<b>1</b>
11) Воспользуемся растворимостью: 44,38 в 100 граммах $\text{H}_2\text{O}$ $44,38 \text{ ----- } 144,38$ $(106,8 - 0,55X) \text{ ----- } (342,2 - X)$ $X = 6,65$ грамм Ответ: $m(\text{к/г})$ упавшего в осадок = 6,65 грамм	<b>16</b>

### Задание 11-5. (9 баллов)

Российский химик Иван Каблуков славился своими чудачествами. Например, он подписывался не иначе как «Каблук Иван». С 1882 по 1888 год он преподавал на Высших женских курсах в Москве, а с 1884 года в Московском университете. Однажды он показал студентам удивительный опыт с четырьмя газометрами, наполненных ртутью, где хранились четыре разных газа - два бесцветных, а другие два - красно-бурого цвета. Каблуков поочередно попускал эти газы через трубки с раскаленной медной стружкой и показывал, что вне зависимости от состава исходного газа получается оксид меди (I) и газ, плотность которого по водороду 14. Известно, что один из газов применяется в качестве лёгкого наркоза в хирургии, а один из окрашенных газов часто называют «газом мегаполиса», так как больше всего этого газа образуется в больших промышленных городах. Студенты терялись в догадках. Помогите найти объяснения опытам Каблукова. Определите газы, дайте им названия. Напишите уравнения химических реакций.

### Решение:

Содержание верного ответа и указания по оцениванию (допускаются иные формулировки ответа, не искажающие его смысла)	Баллы
Газ, который образуется в результате всех реакций - это азот, т.к. $M(\text{газа}) = 14 \cdot 2 = 28$ г/моль.	<b>1</b>
Газометры наполнены оксидами азота: $\text{N}_2\text{O}$ - оксид азота (I), бесцветный $\text{NO}$ - оксид азота (II), бесцветный $\text{NO}_2$ - оксид азота (IV), бурый	<b>3</b>
$\text{N}_2\text{O}_3$ при комнатной температуре на 90% разлагается до $\text{NO}$ и $\text{NO}_2$ , поэтому тоже приобретает бурый цвет.	<b>1</b>
Все эти газы реагируют с медью, превращая ее в оксид меди (I)	<b>4</b>

$\text{N}_2\text{O} + 2 \text{Cu} = \text{Cu}_2\text{O} + \text{N}_2$ $2\text{NO} + 4 \text{Cu} = 2 \text{Cu}_2\text{O} + \text{N}_2$ $2\text{NO}_2 + 8 \text{Cu} = 4 \text{Cu}_2\text{O} + \text{N}_2$ $\text{N}_2\text{O}_3 + 6 \text{Cu} = 3 \text{Cu}_2\text{O} + \text{N}_2$	
---	--

**Задание 10-6. (5 баллов)**

При реакции эквивалентной смеси порошков алюминия и оксида железа (III) выделилось 300 кДж теплоты. Определите массу термитной смеси, если тепловые эффекты окисления алюминия и железа соответственно равны 3292 кДж и 2174 кДж.

**Решение:**

<b>Содержание верного ответа и указания по оцениванию</b> (допускаются иные формулировки ответа, не искажающие его смысла)	<b>Баллы</b>
1. Уравнение реакции: $2\text{Al} + \text{Fe}_2\text{O}_3 = 2 \text{Fe} + \text{Al}_2\text{O}_3$	<b>0,5</b>
2. Ход процесса можно представить в виде двух термохимических уравнений: $4 \text{Al} + 3 \text{O}_2 = 2 \text{Al}_2\text{O}_3 + 3292 \text{ кДж};$ $4\text{Fe} + 3 \text{O}_2 = 2 \text{Fe}_2\text{O}_3 + 2174 \text{ кДж}$	<b>0,5</b> <b>0,5</b>
3. Вычитая из первого уравнения второе и разделив на два, мы получим термохимическое уравнение восстановления железа: $4 \text{Al} + 3 \text{O}_2 - 4\text{Fe} - 3 \text{O}_2 = 2 \text{Al}_2\text{O}_3 + 3292 \text{ кДж} - 2 \text{Fe}_2\text{O}_3 - 2174 \text{ кДж}$ (делим на два), Получаем: $2\text{Al} + \text{Fe}_2\text{O}_3 = 2 \text{Fe} + \text{Al}_2\text{O}_3 + 559 \text{кДж}$	<b>1,5</b>
4. $n(\text{Al}) = 300 \cdot 2 : 559 = 1,07$ ; $m(\text{Al}) = 1,07 \cdot 27 = 30$ $n(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 300 \cdot 1 : 559 = 0,54$ ; $m(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 0,54 \cdot 160 = 85,9$ ; $m(\text{смеси}) = 115,9 \text{ грамм}$	<b>2</b>