

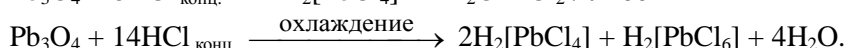
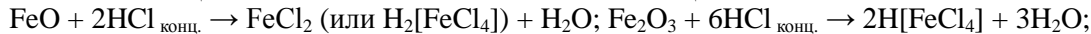
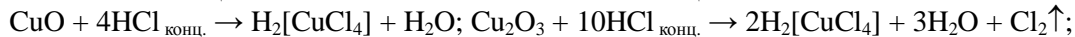
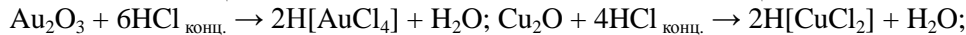
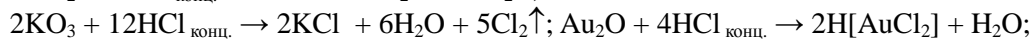
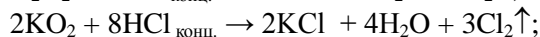
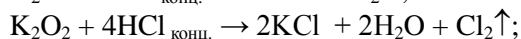
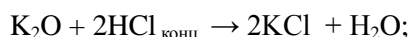
**Задача 1.** (автор В.А. Емельянов).

1. Силициум\*, сульфур, карбонеум, фосфорус, калиум, хлорум, аурум, купрум, феррум, нитрогениум, плюмбум, гидрогениум.

\*Латинское название засчитывается только при полном совпадении всех букв. Если совпадение не полное, то название не засчитывается.

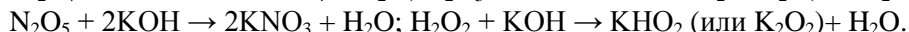
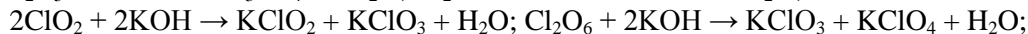
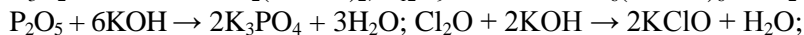
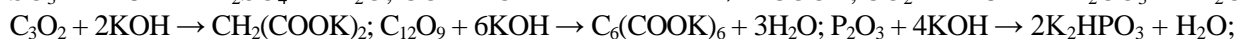
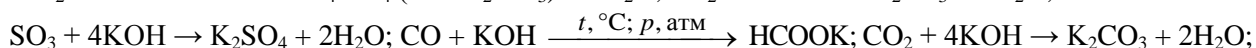
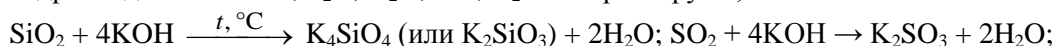
2. Для каждого из присутствующих в таблице элементов существует несколько соединений с кислородом: SiO, SiO<sub>2</sub>, S<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>O<sub>2</sub>, C<sub>12</sub>O<sub>9</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (P<sub>4</sub>O<sub>6</sub>), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (P<sub>4</sub>O<sub>10</sub>), K<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, KO<sub>2</sub>, KO<sub>3</sub>, Cl<sub>2</sub>O, ClO<sub>2</sub>, ClO<sub>3</sub> (Cl<sub>2</sub>O<sub>6</sub>), Cl<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, Au<sub>2</sub>O, Au<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cu<sub>2</sub>O, CuO, Cu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, NO, N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> (N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>), N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, PbO, PbO<sub>2</sub>, Pb<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

3. Уравнения реакций кислородных соединений металлов с концентрированной соляной кислотой\*\*:



\*\*Если в решении в каком-то уравнении реакции приведено только комплексное соединение, то на полный балл засчитывается только оно; если 11-классник написал обычную соль, то ставится половина баллов.

Уравнения реакций кислородных соединений неметаллов с избытком концентрированного раствора гидроксида калия: SiO, S<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>O, NO, H<sub>2</sub>O - не реагируют;



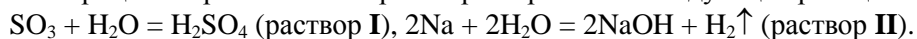
**Система оценивания:**

1. Латинские названия элементов по 0,5 б.	0,5×12 = 6 б.
2. Верные формулы соединений с кислородом по 0,25 б.	0,25×37 = 9,25 б.
3. Уравнения реакций по 0,5 б., условия в реакциях SiO <sub>2</sub> и CO с KOH по 0,25 б., отсутствие реакций для SiO, S <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub> O, NO, H <sub>2</sub> O по 0,25 б.	0,5×32+0,25×2 = 16,5 б.
<b>Всего</b>	<b>0,25×5 = 1,25 б.</b>
	<b>33 балла</b>

С	И	О	К	С	Е	Н	М	И	Ф
И	Л	М	С	И	Т	И	У	Д	Р
Ц	И	У	У	Л	М	У	И	Н	О
Е	Н	У	Ф	Б	У	Б	М	Е	Г
У	О	Р	К	М	М	Ш	Ю	Л	Н
М	Б	Р	А	У	Р	И	Ө	Г	Е
Ф	Р	У	С	Х	У	Т	Р	И	Н
О	О	А	К	Л	А	У	К	У	М
С	Ф	Л	М	О	М	Ш	Р	Р	Е
М	У	И	У	Р	У	Р	У	М	Ф

**Задача 2.** (автор В.А. Емельянов).

1. В процессе приготовления растворов протекали следующие реакции:



Пусть на 1 молекулу  $\text{H}_2\text{SO}_4$  в растворе I приходится  $n$  молекул  $\text{H}_2\text{O}$ . Тогда  $2n+2 = n+4$ , откуда  $n = 2$ , т. е. состав раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , а его «брутто-формула»  $\text{H}_6\text{SO}_6$ . Массовая доля элемента кислорода в растворе I:  $\omega_0 = 6 \cdot 16 / (6 \cdot 1 + 32 + 6 \cdot 16) = 0,7164$  или 71,64 %.

Пусть на 1 молекулу  $\text{NaOH}$  в растворе II приходится  $m$  молекул  $\text{H}_2\text{O}$ . Тогда  $2m+1 = 1,8(m+1)$ , откуда  $m = 4$ , т.е. состав раствора  $\text{NaOH} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , а его «брутто-формула»  $\text{H}_9\text{NaO}_5$ . Массовая доля элемента кислорода в растворе II:  $\omega_0 = 5 \cdot 16 / (9 \cdot 1 + 23 + 5 \cdot 16) = 0,7143$  или 71,43 %.

Таким образом, массовая доля элемента кислорода оказалась больше в растворе I.

2. Массовая доля серной кислоты в растворе I  $\omega = 98 / (98 + 2 \cdot 18) = 0,731$ . Масса 1 л такого раствора  $1000 \cdot 1,647 = 1647$  г, масса  $\text{H}_2\text{SO}_4$  в нем  $0,731 \cdot 1647 = 1204$  г, ее количество  $1204 / 98 = 12,29$  моля. Таким образом, молярная концентрация серной кислоты в растворе I  $C_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 12,29$  моль/л.

Массовая доля гидроксида натрия в растворе II  $\omega = 40 / (40 + 4 \cdot 18) = 0,357$ . Масса 1 л такого раствора  $1000 \cdot 1,387 = 1387$  г, масса  $\text{NaOH}$  в нем  $0,357 \cdot 1387 = 495$  г, его количество  $495 / 40 = 12,38$  моля. Таким образом, молярная концентрация гидроксида натрия в растворе II  $C_{\text{NaOH}} = 12,38$  моль/л.

3. После разбавления растворов (увеличения объема) ровно в 100 раз, молярные концентрации растворенных веществ уменьшаются ровно в 100 раз. По определению  $\text{pH} = -\lg[\text{H}^+]$ . В растворе Ia  $C_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 12,29 / 100 = 0,1229$  моль/л.  $[\text{H}^+] = 2 \cdot 0,1229 = 0,2458$  моль/л,  $\text{pH} = -\lg(0,2458) \approx 0,6$ .

Поскольку  $[\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-] = 10^{-14}$ , отсюда  $\text{pH} = 14 + \lg[\text{OH}^-]$ . В растворе IIa  $C_{\text{NaOH}} = 12,38 / 100 = 0,1238$  моль/л.  $[\text{OH}^-] = 0,1238$  моль/л,  $\text{pH} = 14 + \lg(0,1238) \approx 13,1$ .

4. В 100 мл (0,1 л) раствора Ia содержится  $0,1 \cdot 0,1229 = 0,01229$  моля серной кислоты, в 150 мл (0,15 л) раствора IIa –  $0,15 \cdot 0,1238 = 0,01857$  моля гидроксида натрия. В растворе III протекают следующие реакции:

До реакции, моль 0,01229 0,01857 0,01229 0,00628



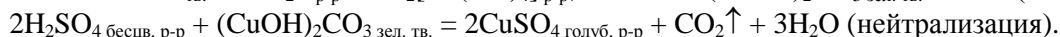
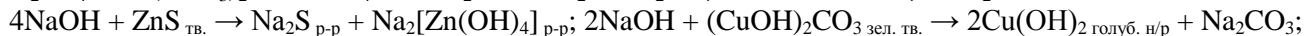
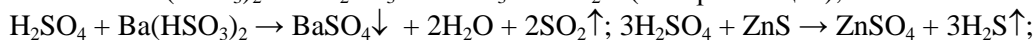
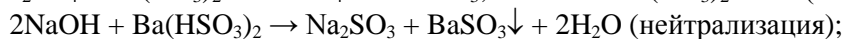
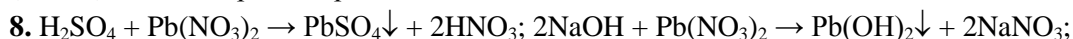
После реакции, моль 0 0,00628 0,01229 0,00601 0 0,00628

Серная кислота реагирует с равным количеством щелочи с образованием кислой соли, которая с избытком щелочи дает соль среднюю. При смешивании разбавленных растворов кислоты и щелочи объем конечного раствора можно считать равным сумме их объемов.

В результате в растворе III содержатся 0,00628 моль  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ( $C = 0,00628 / 0,25 = 0,02512$  моль/л) и 0,00601 моль  $\text{NaHSO}_4$  ( $C = 0,00601 / 0,25 = 0,02404$  моль/л).

5. Поскольку щелочь в недостатке, она вся (0,01857 моля) вступила в реакцию нейтрализации, которая в ионном виде записывается так  $\text{H}^+ + \text{OH}^- = \text{H}_2\text{O}$ . Общее количество выделившегося тепла будет равно  $Q = 0,01857 \cdot 55,9 = 1,038$  кДж или 1038 Дж. Это количество тепла нагреет раствор на  $\Delta T = 1038 / (250 \cdot 4,2) \approx 1$  К. Температура раствора составит приблизительно  $25 + 1 = 26$  °С.

7.  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  – нитрат свинца,  $\text{Ba}(\text{HSO}_3)_2$  – гидросульфит бария,  $\text{ZnS}$  – сульфид цинка,  $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$  – гидроксокарбонат меди.



**Система оценивания:**

1. Уравнения реакций по 1 б., массовая доля кислорода больше в растворе I 1 б., подтверждение расчетом 3 б. (грубый, но верный расчет с ответом «одинакова» 2 б.).	1×2+1 = 3 б. 3 б.
2. Молярные концентрации кислоты и щелочи в растворах I и II по 3 б.	3+3 = 6 б.
3. Верные значения pH растворов по 1 б.	1+1 = 2 б.
4. Верные вещества в растворе 2 б. (только эти 2 вместе; за одно из них или за любое другое сочетание солей с кислотой или со щелочью баллы не ставятся), их концентрации по 2 б.	2 б. 2×2 = 4 б.
5. Количество тепла 2 б., температура 2 б.	2+2 = 4 б.
7. Названия веществ по 0,5 б.	0,5×4 = 2 б.
8. Уравнения реакций по 1 б., верные признаки для каждой из реакций по 0,5 б. (в реакции $\text{NaOH} + \text{ZnS}$ оценивается отсутствие признаков), верные указания на реакции нейтрализации по 1 б. (неверные – штраф минус 1 б, но в целом за этот вопрос не меньше 0 б.).	1×8 = 8 б. 0,5×8 = 4 б. 1×2 = 2 б.
<b>Всего</b>	<b>40 баллов</b>

**Задача 3.** (авторы Н.В. Рубан, В.А. Емельянов).

1. Поскольку **A** – наиболее распространенный металл в земной коре, делаем вывод о том, что металл **A** – алюминий, а его оксид –  $Al_2O_3$ . К тому же выводу можно прийти на основании расчета.

Представим формулу оксида как  $A_2O_n$ , где  $n$  – степень окисления металла в оксиде. Составим уравнение:  $16n/(2M_A + 16n) = 0,47$ , откуда  $M_A = 9n$ . Единственное разумное решение получаем при  $n = 3$ , откуда  $M_A = 27$ , т. е. металл **A** – алюминий, а его оксид –  $Al_2O_3$ .

2. Уравнения реакций:  $2Al + 6HCl = 2AlCl_3 + 3H_2 \uparrow$  [1];

$8Al + 30HNO_3 = 8Al(NO_3)_3 + 3NH_4NO_3 + 9H_2O$  [2] (засчитывается  $N_2$ ,  $N_2O$ ,  $NO$ );

$2Al + 2NaOH + 6H_2O = 2Na[Al(OH)_4] + 3H_2 \uparrow$  [3];

$2Al + 6NaOH \xrightarrow{t, ^\circ C} 2Na_3AlO_3$  (можно  $NaAlO_2$ ) +  $3H_2 \uparrow$  [4];

$2Al + 6H_2O = 2Al(OH)_3 + 3H_2 \uparrow$  [5].

3. Алюминий не взаимодействует с концентрированными азотной и серной кислотами.

Амальгамами называются сплавы ртути (как твердые, так и жидкие) с другими металлами.

Чтобы увидеть реакцию алюминия с водой, необходимо нарушить оксидную пленку без доступа воздуха, защитив поверхность амальгамой. Для этого нужно лишь поскрести или поцарапать кусочки алюминия под слоем ртути, а уже затем поместить их в воду.

4. Метод получения металлов из их оксидов путем восстановления оксидов алюминием носит название алюмотермия (в некоторых источниках – алюминотермия).

$8Al + 3Fe_3O_4 = 4Al_2O_3 + 9Fe$  [6].

Тепловой эффект химической реакции рассчитывается по формуле:

$Q_{x.p.} = Q_{обр. \text{продуктов}} - Q_{обр. \text{реагентов}}$ , с учетом стехиометрических коэффициентов.

Теплоты образований простых веществ по определению равны нулю, тогда:

$Q_{x.p.} = 4Q(обр.  $Al_2O_3$ ) - 3Q(обр.  $Fe_3O_4$ ) = 4 \cdot 1676 - 3 \cdot 1120 = 3344$  кДж/моль.

5. Представим формулу оксида как  $M_2O_n$ , где  $n$  – степень окисления металла в оксиде. Составим уравнение:  $16n/(2M_M + 16n) = 0,316$ , откуда  $M_M = 17,3n$ . Единственное разумное решение получаем при  $n = 3$ ,  $M_M = 52$ , металл **M** – хром, оксид –  $Cr_2O_3$ .

6. Соединения хрома, устойчивые в щелочной среде:  $Cr(OH)_2$  (+2),  $K_3[Cr(OH)_6]$  (+3),  $K_2CrO_4$  (+6).

Уравнения реакций:  $2Cr(OH)_2 + 4H_2SO_{4 \text{ конц.}} = Cr_2(SO_4)_3 + SO_2 \uparrow + 6H_2O$  [7];

$K_3[Cr(OH)_6] + 5H_2O_2 = K_3CrO_8 + 8H_2O$  [8];

$2K_3[Cr(OH)_6] + 7H_2O_2 + 3H_2SO_4 + 2(C_2H_5)_2O = 3K_2SO_4 + 2CrO_5 \cdot (C_2H_5)_2O$  (или  $CrO_5$ ) +  $16H_2O$  [9];

$2K_2CrO_4 + 3K_2SO_3 + 5H_2SO_4 = Cr_2(SO_4)_3 + 5K_2SO_4 + 5H_2O$  [10];

$K_2CrO_4 + BaCl_2 = BaCrO_4 \downarrow + 2KCl$  [11].

7. Описанный в задаче красный драгоценный камень называется «рубин».

**Система оценивания:**

1. Алюминий 2 б., $Al_2O_3$ 1 б.	2+1 = 3 б.
2. Уравнения реакций [1]-[5] по 1 б.	1×5 = 5 б.
3. Примеры двух кислот по 1 б., амальгама 1 б., процесс 1 б.	1×2+1+1 = 4 б.
4. Уравнение реакции 1 б, тепловой эффект 2 б, алюмотермия 1 б	1+2+1 = 4 б.
5. Хром 2 б., $Cr_2O_3$ 1 б.	2+1 = 3 б.
6. Устойчивые соединения по 1 б., уравнения реакций [7]-[11] по 1 б.	1×3+1×5 = 8 б.
7. Рубин 1 б.	1 б.
<b>Всего</b>	<b>28 баллов</b>

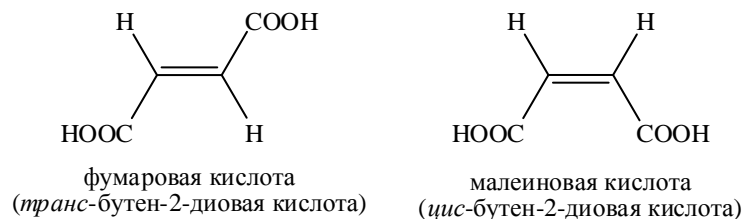
**Задача 4.** (автор В.Н. Конев).

1. Найдем молекулярную формулу соединения **X**. Поскольку продуктами сжигания являются только вода и углекислый газ, **X** содержит только С, Н и О. Найдем количество углекислого газа и воды, образовавшихся при сгорании:  $\nu(CO_2) = 1,79 / 22,4 = 0,08$  моль;  $\nu(H_2O) = 0,72 / 18 = 0,04$  моль.

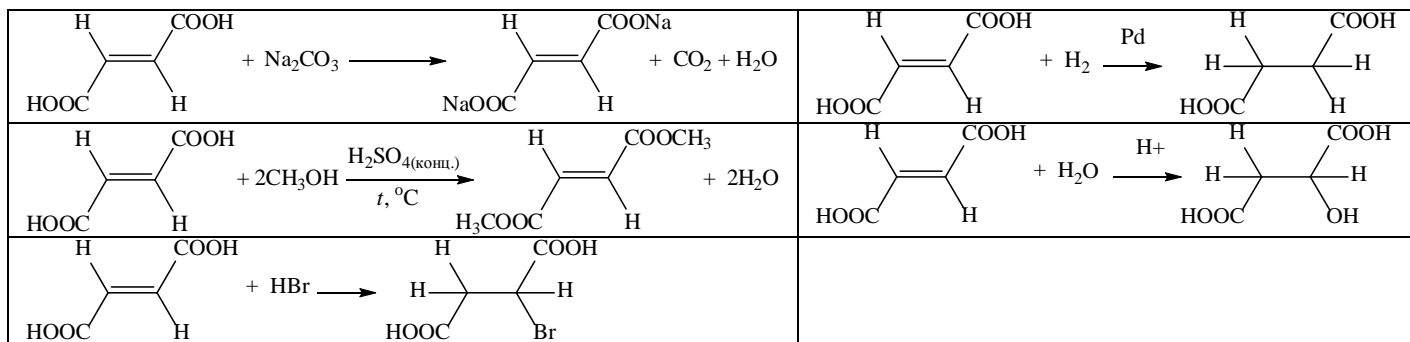
Следовательно, соотношение С : Н = 1 : 1. Найдем количество кислорода, входящее в состав кислоты **X**. Для этого найдем сумму масс углерода и водорода  $m(C + H) = 0,08 \cdot 12 + 2 \cdot 0,04 \cdot 1 = 1,04$  г; масса кислорода  $m(O) = 2,32 - 1,04 = 1,28$  г, его количество  $\nu(O) = 1,28 / 16 = 0,08$  моль. Следовательно, простейшая формула соединения **X** –  $CHO$ . Молярная масса, соответствующая этой простейшей формуле 29 г/моль. Учитывая, что молярная масса соединения **X** находится в пределах от 100 до 140 г/моль, найдем его молекулярную

формулу:  $100 / 29 = 3,4$ ;  $140 / 29 = 4,8$ . Ближайшее целочисленное значение, лежащее в пределах от 3,4 до 4,8 – четыре. Следовательно, молекулярная формула **X** –  $C_4H_4O_4$ .

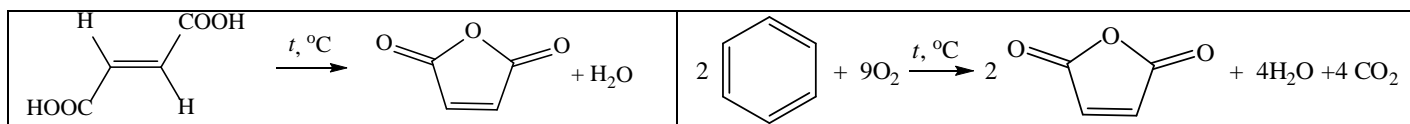
2. Из описания следует, что кислота  $C_4H_4O_4$  содержит двойную связь. Возможны две структуры такого соединения:  $HOOC-CH=CH-COOH$  и  $(HOOC)_2C=CH_2$ , однако лишь для первого из них возможно существование геометрических (*цис*- и *транс*-) изомеров, которые способны превращаться друг в друга. Тогда кислота **X** - *транс*-изомер (атомы водорода расположены по разные стороны от плоскости двойной связи), а кислота **Y** - *цис*-изомер. Структурные формулы и названия этих кислот:



### 3. Уравнения реакций [1]–[5]:

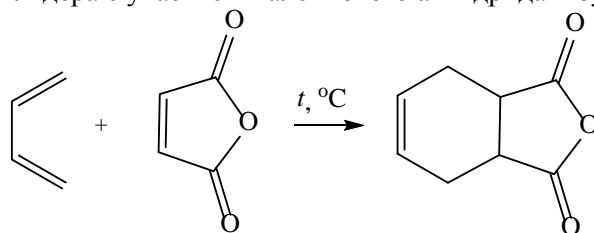


4. При нагревании малеиновой или фумаровой кислоты образуется малеиновый ангидрид **Z** (реакция [6]). Получают малеиновый ангидрид окислением бензола (реакция [7]).



При растворении малеинового ангидрида в воде в растворе образуется *цис*-изомер, т.е. малеиновая кислота (соединение **Y**).

5. Уравнение реакции Дильса-Альдера с участием малеинового ангидрида и бутадиена-1,3:



#### Система оценивания:

1. Установление молекулярной формулы <b>X</b> 3 б.	3 б.
2. Структурные формулы кислот по 1 б., названия по 1 б.	$1 \times 2 + 1 \times 2 = 4$ б.
3. Уравнения реакций по 2 б.	$2 \times 5 = 10$ б.
4. Структурная формула <b>Z</b> 1 б., уравнения реакций по 2 б., <i>цис</i> -изомер при растворении в воде 1 б.	$1 + 2 \times 2 + 1 = 6$ б.
5. Уравнение реакции 2 б.	2 б.
<b>Всего</b>	<b>25 баллов</b>