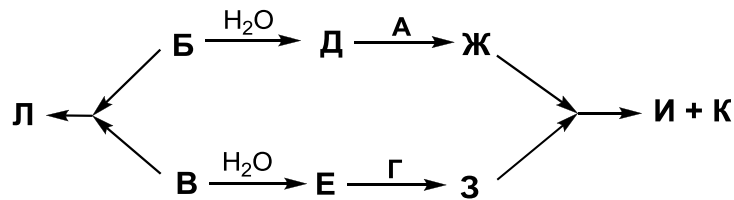


### 9 класс

#### Задача 1. Четыре оксида

Вещества **А** – **Г** являются оксидами элементов третьего периода ПСХЭ имени Д.И. Менделеева, их молярные массы относятся между собой как 6 : 6.2 : 8 : 10.2. Кроме того, про эти оксиды известно следующее:

- **А** – одно из самых распространенных веществ на Земле, огромные его залежи находятся на пляжах морей и океанов;
- **Г** также широко встречается в природе, как в чистом виде, так и в виде сложных минералов; он составляет основу глины и таких драгоценных камней как рубин и сапфир;
- вещества **Б** и **В** активно реагируют с водой (*реакции 1 и 2*) и друг с другом (*реакция 3*). Продукт первой реакции – вещество **Д** – способно растворить **А** с образованием вещества **Ж** (*реакция 4*), составляющего основу силикатного канцелярского клея. Продукт второй реакции – вещество **Е** – способно растворить **Г** с образованием вещества **З** (*реакция 5*). Вещества **Ж** и **З** реагируют между собой в растворе, образуя смесь аморфных осадков гидроксидов **И** и **К** (*реакция 6*). Указанные реакции отражены на схеме:



1. Установите формулы веществ **А** – **Л**.
2. К каким типам оксидов относятся вещества **А** – **Г**? Для оксидов **А** и **Г** напишите по одному тривиальному названию.
3. Напишите уравнения *реакций 1–6*.
4. Рассчитайте массовую долю (%) вещества **Е** в растворе, полученном при смешении 10 г **В** и 10 г воды.

#### Решение и Критерии оценивания

№	Элемент ответа (допускаются иные формулировки и способы решения, удовлетворяющие условию задачи)	Баллы
1.	<p>По описанию несложно догадаться, что оксидом <b>А</b> является <math>\text{SiO}_2</math> – в виде песка он распространен на пляжах; а оксидом <b>Г</b> – <math>\text{Al}_2\text{O}_3</math>, который составляет основу глины и некоторых драгоценных камней. Из оставшихся оксидов третьей группы с водой могут реагировать оксиды натрия, фосфора, серы и хлора. Учитывая, что только оксид натрия является основным, а остальные – кислотными, и принимая во внимание, что оксиды <b>Б</b> и <b>В</b> реагируют друг с другом, можно однозначно заключить, что один из этих оксидов – <math>\text{Na}_2\text{O}</math>. Выбор второго оксида можно сделать на основе приведенного в условии соотношения молярных масс:</p> <p><math>M(\text{SiO}_2) : M(\text{Al}_2\text{O}_3) = 60 : 102 = 6 : 10.2</math>, тогда <math>M(\text{Б}) = 62</math> г/моль, следовательно, <b>Б</b> – оксид натрия <math>\text{Na}_2\text{O}</math>; а <math>M(\text{В}) = 80</math> г/моль, что соответствует оксиду серы (VI) <math>\text{SO}_3</math>.</p> <p>Взаимодействие основного оксида с водой приводит к образованию основания <math>\text{NaOH}</math> (вещество <b>Д</b>), которое в реакции с кислотным оксидом <math>\text{SiO}_2</math> образует соль <b>Ж</b> – <math>\text{Na}_2\text{SiO}_3</math>, составляющую основу силикатного клея. Аналогично, взаимодействие кислотного оксида с водой приводит к образованию кислоты <math>\text{H}_2\text{SO}_4</math> (вещество <b>Е</b>), которая может взаимодействовать с амфотерным оксидом с образованием соли <b>З</b> – <math>\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3</math>. При</p>	

	<p>взаимодействии двух солей должна протекать реакция ионного обмена, однако если обратиться к таблице растворимости, то можно обнаружить, что силикат алюминия в водном растворе не существует, что обусловлено протеканием совместного необратимого гидролиза с образованием слабого основания <b>И</b> – <math>\text{Al}(\text{OH})_3</math> и слабой кислоты <b>К</b> – <math>\text{H}_2\text{SiO}_3</math> (<math>\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}</math>), представляющих собой аморфные осадки. Наконец, взаимодействие кислотного и основного оксидов приводит к образованию соли <b>Л</b> – <math>\text{Na}_2\text{SO}_4</math>.</p> <p>Таким образом,</p> <p><b>А</b> – <math>\text{SiO}_2</math>            <b>Б</b> – <math>\text{Na}_2\text{O}</math>            <b>В</b> – <math>\text{SO}_3</math>            <b>Г</b> – <math>\text{Al}_2\text{O}_3</math>  <b>Д</b> – <math>\text{NaOH}</math>            <b>Е</b> – <math>\text{H}_2\text{SO}_4</math>            <b>Ж</b> – <math>\text{Na}_2\text{SiO}_3</math>            <b>З</b> – <math>\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3</math>  <b>И</b> – <math>\text{Al}(\text{OH})_3</math>            <b>К</b> – <math>\text{H}_2\text{SiO}_3</math> (<math>\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}</math>)            <b>Л</b> – <math>\text{Na}_2\text{SO}_4</math></p>	11×1 = 11 б
2.	<p><math>\text{SiO}_2</math> – <b>кислотный</b> оксид            <math>\text{Na}_2\text{O}</math> – <b>основный</b> оксид  <math>\text{SO}_3</math> – <b>кислотный</b> оксид            <math>\text{Al}_2\text{O}_3</math> – <b>амфотерный</b> оксид</p> <p>Тривиальные названия (засчитываются по одному верному названию для каждого оксида):</p> <p><math>\text{SiO}_2</math> – <b>кремнезем, кварц</b>            <math>\text{Al}_2\text{O}_3</math> – <b>глинозем, корунд</b></p>	<p>4×1 = 4 б</p> <p>2×1 = 2 б</p>
3	<p><i>Реакция 1:</i> <math>\text{Na}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} = 2\text{NaOH}</math>  <i>Реакция 2:</i> <math>\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{SO}_4</math>  <i>Реакция 3:</i> <math>\text{Na}_2\text{O} + \text{SO}_3 = \text{Na}_2\text{SO}_4</math>  <i>Реакция 4:</i> <math>\text{SiO}_2 + 2\text{NaOH} = \text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{H}_2\text{O}</math>  <i>Реакция 5:</i> <math>\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{H}_2\text{O}</math>  <i>Реакция 6:</i>  <math>3\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 6\text{H}_2\text{O} = 2\text{Al}(\text{OH})_3\downarrow + 3\text{H}_2\text{SiO}_3</math> (<math>\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}</math>)<math>\downarrow + 3\text{Na}_2\text{SO}_4</math></p>	6×1 = 6 б
4.	<p><math>n(\text{SO}_3) = 10 / 80 = 0.125</math> моль  <math>n(\text{H}_2\text{O}) = 10 / 18 = 0.556</math> моль  Из уравнения <i>реакции 2</i> видно, что вода взята в избытке, тогда  <math>n(\text{H}_2\text{SO}_4) = n(\text{SO}_3) = 0.125</math> моль.  <math>m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0.125 \times 98 = 12.25</math> г  <math>m(\text{p-ра}) = m(\text{SO}_3) + m(\text{H}_2\text{O}) = 10 + 10 = 20</math> г  <math>\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 12.25 / 20 = \mathbf{0.6125}</math> (<b>61.25%</b>)</p>	2 б
	<b>Итого</b>	<b>25 баллов</b>

При отсутствии (неправильной расстановке) коэффициентов в уравнениях реакций необходимо снижать баллы вдвое.

### Задача 2. Четыре кислоты

В четырех пронумерованных пробирках находится по 10 г 10% водных растворов следующих кислот: азотной, фосфорной, серной, соляной. Известно, что самая слабая кислота находится с краю, а двухосновная кислота – рядом с ней. При внесении медной стружки в 4-ую пробирку наблюдается выделение газа (*реакция 1*), быстро бурящего на воздухе (*реакция 2*). В третью пробирку внесли 1 г металла **X** и дождались окончания реакции (*реакция 3*), затем полученный раствор перелили в соседнюю пробирку, при этом выпал белый осадок (*реакция 4*).



1. Напишите химические формулы четырех кислот, описанных в задаче. Для каждой кислоты определите номер пробирки, в которой она находится, ответ аргументируйте.

2. Определите металл **X**, если в 1 г этого вещества содержится  $4.39 \cdot 10^{21}$  атомов. Для металла **X** укажите количество протонов в ядре, количество валентных электронов и конфигурацию внешнего электронного уровня в виде  $ns^x np^y$ .

3. Напишите уравнения *реакций 1 – 4*. Для *реакции 3* составьте схему электронного баланса, укажите окислитель и восстановитель.

4. Рассчитайте объем газа, выделившегося в *реакции 3*, и массовую долю соли (в %) в полученном растворе.

### Решение и Критерии оценивания

№	Элемент ответа (допускаются иные формулировки и способы решения, удовлетворяющие условию задачи)	Баллы						
1.	<p>Формулы кислот:                      азотная кислота – <math>\text{HNO}_3</math>      фосфорная кислота – <math>\text{H}_3\text{PO}_4</math>                      серная кислота – <math>\text{H}_2\text{SO}_4</math>      соляная кислота – <math>\text{HCl}</math></p> <p>Газ, быстро бурящийся на воздухе (<math>\text{NO}</math>), может выделяться только при взаимодействии меди с разбавленной азотной кислотой, следовательно, в пробирке 4 – <math>\text{HNO}_3</math>. Из данного перечня кислот самой слабой является фосфорная кислота. Поскольку крайняя пробирка справа занята азотной кислотой, значит, фосфорная находится в крайней слева, то есть в пробирке 1 – <math>\text{H}_3\text{PO}_4</math>. Двухосновная кислота, находящаяся рядом с ней в пробирке 2 – <math>\text{H}_2\text{SO}_4</math>, тогда в пробирке 3 – <math>\text{HCl}</math>.</p> <p>Таким образом,  <b>1 – <math>\text{H}_3\text{PO}_4</math>    2 – <math>\text{H}_2\text{SO}_4</math>    3 – <math>\text{HCl}</math>    4 – <math>\text{HNO}_3</math></b></p>	<p><b>4×1 = 4 б</b></p> <p><b>4×1 = 4 б</b></p>						
2.	<p><math>n(\text{X}) = N/N_A = 4.39 \cdot 10^{21} / 6.02 \cdot 10^{23} = 7.29 \cdot 10^{-3}</math> моль  <math>M(\text{X}) = m/n = 1 / 0.00729 = 137</math> г/моль, что соответствует барии <b>Ba</b>                      Количество протонов в ядре атома бария – <b>56</b>                      Количество валентных электронов – <b>2</b>                      Конфигурация внешнего электронного уровня: <b><math>6s^2</math></b></p>	<p><b>1 б</b></p> <p><b>1 б</b></p> <p><b>1 б</b></p> <p><b>1 б</b></p>						
3	<p><i>Реакция 1:</i> <math>3\text{Cu} + 8\text{HNO}_3 = 3\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NO} + 4\text{H}_2\text{O}</math>  <i>Реакция 2:</i> <math>2\text{NO} + \text{O}_2 = 2\text{NO}_2</math>  <i>Реакция 3:</i> <math>\text{Ba} + 2\text{HCl} = \text{BaCl}_2 + \text{H}_2</math>  <i>Реакция 4:</i> <math>\text{BaCl}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{BaSO}_4 + 2\text{HCl}</math>                      Схема электронного баланса для <i>реакции 3</i>:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td style="padding: 2px;"><math>\text{Ba}^0 - 2e = \text{Ba}^{+2}</math></td> <td style="padding: 2px; text-align: center;">1</td> <td style="padding: 2px;"><math>\text{Ba}^0</math> – восстановитель</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;"><math>2\text{H}^+ + 2e = \text{H}_2\text{O}</math></td> <td style="padding: 2px; text-align: center;">1</td> <td style="padding: 2px;"><math>\text{H}^+</math> (<math>\text{HCl}</math>) – окислитель</td> </tr> </tbody> </table>	$\text{Ba}^0 - 2e = \text{Ba}^{+2}$	1	$\text{Ba}^0$ – восстановитель	$2\text{H}^+ + 2e = \text{H}_2\text{O}$	1	$\text{H}^+$ ( $\text{HCl}$ ) – окислитель	<p><b>4×2 = 8 б</b></p> <p><b>2 б</b></p>
$\text{Ba}^0 - 2e = \text{Ba}^{+2}$	1	$\text{Ba}^0$ – восстановитель						
$2\text{H}^+ + 2e = \text{H}_2\text{O}$	1	$\text{H}^+$ ( $\text{HCl}$ ) – окислитель						

4.	$n(\text{Ba}) = 0.00729$ моль $n(\text{HCl}) = 10 \times 0.1 / 36.5 = 0.0274$ моль По уравнению <i>реакции 3</i> кислота взята в избытке, следовательно, $n(\text{H}_2) = n(\text{BaCl}_2) = n(\text{Ba}) = 0.00729$ моль $V(\text{H}_2) = n \times V_m = 0.00729 \times 22.4 = \mathbf{0.1633}$ л ( <b>163.3</b> мл) $m(\text{BaCl}_2) = n \times M = 0.00729 \times 208 = 1.516$ г $m(\text{p-ра}) = m(\text{p-ра HCl}) + m(\text{Ba}) - m(\text{H}_2) = 10 + 1 - 0.00729 \times 2 = 10.985$ г $\omega(\text{BaCl}_2) = m(\text{BaCl}_2) / m(\text{p-ра}) = 1.516 / 10.985 = \mathbf{0.138}$ ( <b>13.8%</b> )	<p style="text-align: center;"><b>1 б</b></p> <p style="text-align: center;"><b>2 б</b></p>
<b>Итого</b>		<b>25 баллов</b>

*При отсутствии (неправильной расстановке) коэффициентов в уравнениях реакций необходимо снижать баллы вдвое.*

### Задача 3. «Кухонные» соли

Соли **A** и **B** можно обнаружить на любой кухне. Обе соли растворимы в воде и дают характерную желто-оранжевую окраску при внесении их в пламя спиртовки. При нагревании водного раствора соли **A** никаких изменений не происходит, а вот при пропускании через раствор электрического тока (*реакция 1*) наблюдается выделение ядовитого желто-зеленого газа **B** с плотностью 3.17 г/л (н.у.), а в растворе остается только вещество **Г**. Раствор соли **B** уже при незначительном нагревании (*реакция 2*) начинает выделять газ **Д**, вызывающий помутнение известковой воды (*реакция 3*), а в растворе остается соль **Е**, выделяющая газ **Д** (*реакция 4*) при действии соляной кислоты.

1. Определите формулы веществ **A** – **Е**, ответ аргументируйте.
2. Запишите уравнения *реакций 1–4*.
3. Для *реакции 4* составьте полное и сокращенное ионно-молекулярные уравнения.
4. Соль **Е** часто поступает в продажу в виде кристаллогидрата, содержащего 72.73% кислорода по массе. Установите формулу данного кристаллогидрата. Рассчитайте, какую массу данного кристаллогидрата и какую массу воды необходимо взять для приготовления 200 г 5% раствора **Е**.

### Решение и Критерии оценивания

№	Элемент ответа (допускаются иные формулировки и способы решения, удовлетворяющие условию задачи)	Баллы
1.	<p>Желто-оранжевая окраска пламени характерна для ионов натрия, следовательно, обе соли являются солями натрия.</p> <p><math>M(\mathbf{B}) = \rho \times V_m = 3.17 \times 22.4 = 71</math> г/моль, что соответствует желто-зеленому газу <b>хлору Cl<sub>2</sub></b>.</p> <p>Тогда соль <b>A</b> – <b>хлорид натрия NaCl</b> (поваренная соль), при электролизе раствора этой соли наряду с хлором происходит выделение водорода, а в растворе остается <b>гидроксид натрия NaOH</b> (вещество <b>Г</b>). Газом, вызывающим помутнение известковой воды, может быть либо углекислый газ CO<sub>2</sub>, либо сернистый газ SO<sub>2</sub>, но натриевые соли сернистой кислоты вряд ли можно обнаружить на кухне. А вот соли угольной кислоты – карбонат или гидрокарбонат натрия – как раз можно встретить. Известно, что гидрокарбонат натрия термически неустойчив и при нагревании превращается в карбонат натрия с выделением углекислого газа. Карбонат натрия, в свою очередь, тоже может выделять углекислый газ при действии кислот. Исходя из этого, можно сделать вывод, что газ <b>Д</b> – <b>углекислый газ CO<sub>2</sub></b>, соль <b>B</b> – <b>гидрокарбонат натрия NaHCO<sub>3</sub></b> (пищевая или питьевая сода), а соль <b>Е</b> – <b>карбонат натрия Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></b>.</p> <p>Таким образом,</p> <p><b>A</b> – NaCl      <b>B</b> – NaHCO<sub>3</sub>      <b>B</b> – Cl<sub>2</sub>  <b>Г</b> – NaOH      <b>Д</b> – CO<sub>2</sub>      <b>Е</b> – Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></p>	6×1 = 6 б
2.	<p><i>Реакция 1:</i> <math>2\text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{NaOH} + \text{H}_2\uparrow + \text{Cl}_2\uparrow</math> (электролиз)</p> <p><i>Реакция 2:</i> <math>2\text{NaHCO}_3 = \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2\uparrow</math></p> <p><i>Реакция 3:</i> <math>\text{CO}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 = \text{CaCO}_3\downarrow + \text{H}_2\text{O}</math></p> <p><i>Реакция 4:</i> <math>\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{HCl} = 2\text{NaCl} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2\uparrow</math></p>	4×2 = 8 б

3	<p>Полное ионное уравнение:  <math>2\text{Na}^+ + \text{CO}_3^{2-} + 2\text{H}^+ + 2\text{Cl}^- = 2\text{Na}^+ + 2\text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2\uparrow</math>                  Сокращенное ионное уравнение: <math>\text{CO}_3^{2-} + 2\text{H}^+ = \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2\uparrow</math></p>	<p><b>2 б</b> <b>2 б</b></p>
4.	<p>Для нахождения формулы кристаллогидрата соли <b>Е</b> – <math>\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}</math> – составим уравнение:  <math>(16 \times 3 + 16x) / (106 + 18x) = 0.7273</math>, откуда <math>x = 10</math>                  Формула кристаллогидрата <b>Е</b> – <b><math>\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}</math></b>                  При расчете массы соли для приготовления раствора следует учесть наличие в ней кристаллизационной воды. В приготовленном растворе  <math>m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 200 \times 0.05 = 10</math> г                  Массовая доля соли в кристаллогидрате:  <math>\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = M(\text{Na}_2\text{CO}_3) / M(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 106 / 286 = 0.3706</math>                  С учетом этого, <b><math>m(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 10 / 0.3706 = 27</math> г</b>  <b><math>m(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{р-ра}) - m(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 200 - 27 = 173</math> г</b></p>	<p><b>3 б</b> <b>3 б</b> <b>1 б</b></p>
<b>Итого</b>		<b>25 баллов</b>

*При отсутствии (неправильной расстановке) коэффициентов в уравнениях реакций необходимо снижать баллы вдвое.*

#### Задача 4. Зеленая энергетика

В настоящее время в большинстве стран мира, в том числе в России, приняты программы перехода на «зеленую» энергетику, подразумевающие выработку энергии максимально экологичными способами. Одним из наиболее перспективных топлив будущего является водород. Помимо экологичности водород имеет еще одно большое преимущество – очень большую удельную теплоту сгорания – количество полученной энергии на единицу массы. Так, при сгорании 1 г водорода выделяется 120 кДж энергии.

1. Рассчитайте тепловой эффект реакции сгорания водорода в кДж/моль и запишите термохимическое уравнение данной реакции.

2. Теплота сгорания метана (CH<sub>4</sub>) составляет 802 кДж/моль. Напишите термохимическое уравнение данной реакции. Рассчитайте теплоту сгорания метана в кДж/г. Во сколько раз удельная теплота сгорания водорода больше, чем у метана?

3. Имеется 100 л (н.у.) газовой смеси водорода с метаном, имеющей плотность по воздуху 0.31. Рассчитайте объемные доли газов в смеси и количество энергии, которое выделится при полном сгорании данной смеси.

#### Решение и Критерии оценивания

№	Элемент ответа (допускаются иные формулировки и способы решения, удовлетворяющие условию задачи)	Баллы
1.	$n(\text{H}_2) = m/M = 1 / 2 = 0.5$ моль $Q = 120 / 0.5 = \mathbf{240}$ кДж/моль Термохимическое уравнение реакции сгорания водорода: $\mathbf{H_2 + \frac{1}{2} O_2 = H_2O + 240 \text{ кДж}}$ или $\mathbf{2H_2 + O_2 = 2H_2O + 480 \text{ кДж}}$	<p>4 б</p> <p>3 б</p>
2.	Термохимическое уравнение сгорания метана: $\mathbf{CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O + 802 \text{ кДж}}$ Удельная теплота сгорания метана: $q(\text{CH}_4) = Q / M = 802 / 16 = \mathbf{50.125}$ кДж/г $q(\text{H}_2) / q(\text{CH}_4) = 120 / 50.125 = 2.4$ Таким образом, удельная теплота сгорания водорода <b>в 2.4 раза</b> больше удельной теплоты сгорания метана.	<p>3 б</p> <p>3 б</p> <p>1 б</p>
3	Для газовой смеси $M_{\text{ср}} = 0.31 \times 29 = 9$ г/моль Пусть в данной смеси $\varphi(\text{H}_2) = x$ , тогда $\varphi(\text{CH}_4) = 1-x$ Составим уравнение: $M_{\text{ср}} = \varphi(\text{H}_2) \times M(\text{H}_2) + \varphi(\text{CH}_4) \times M(\text{CH}_4) = 2x + 16(1-x) = 9$ , откуда $x = 0.5$ Таким образом, состав газовой смеси: $\mathbf{\varphi(\text{H}_2) = 50\%; \varphi(\text{CH}_4) = 50\%}$ $V(\text{H}_2) = V(\text{CH}_4) = V(\text{смеси}) / 2 = 50$ л $n(\text{H}_2) = n(\text{CH}_4) = V/V_m = 50 / 22.4 = 2.232$ моль При полном сгорании смеси выделится: $Q = n_1 \times Q_1 + n_2 \times Q_2 = 2.232 \times 240 + 2.232 \times 802 = \mathbf{2325.7}$ кДж	<p>3 б</p> <p>4 б</p> <p>4 б</p>
	<b>Итого</b>	<b>25 баллов</b>

При отсутствии (неправильной расстановке) коэффициентов в уравнениях реакций необходимо снижать баллы вдвое.