

Заключительный этап

8-й класс

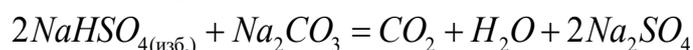
Задача 1 (25 баллов).

1. Гидросульфат натрия — $NaHSO_4$, пищевая сода — $NaHCO_3$, кальцинированная сода — Na_2CO_3

2. Отсутствие изменения массы раствора при смешении (опыт №1) указывает на то, что смешивались растворы $NaHCO_3$ и Na_2CO_3 . Следовательно, **образец №3 — раствор $NaHSO_4$.**

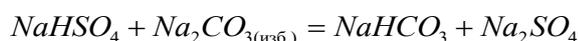
3. Разные массы итогового раствора (опыты № 3, № 4) могут получаться только при смешении растворов $NaHSO_4$ и Na_2CO_3 , поскольку:

- При медленном добавлении Na_2CO_3 к избытку $NaHSO_4$ кислая соль постоянно находится в избытке. В этом случае кислотный гидролиз соды идёт **сразу с выделением газообразного продукта**:



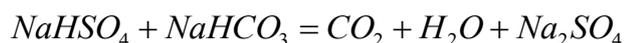
Реакция идёт до полного израсходования одного из реагентов.

- При медленном добавлении $NaHSO_4$ к избытку Na_2CO_3 кислая соль постоянно находится в недостатке. В этом случае сначала реакция проходит по схеме:



Пока в растворе остаётся избыток карбонат-иона, **углекислый газ не выделяется.**

После этого реакция кислотного гидролиза проходит по второй стадии, с выделением CO_2 :

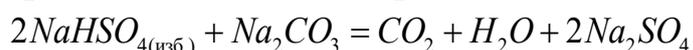


- При мольном отношении $NaHSO_4 : Na_2CO_3 \geq 2 : 1$ массы растворов, полученных при смешении, были бы одинаковыми вне зависимости от того, в каком порядке смешали растворы, т.к. кислотный гидролиз соды проходил бы полностью.

- При мольном отношении $NaHSO_4 : Na_2CO_3 \leq 1 : 1$ во втором случае газ из раствора не выделялся бы вообще, масса конечного раствора была бы равна сумме масс исходных растворов.

- Таким образом, **образец №2 — это раствор Na_2CO_3** , мольное отношение $NaHSO_4 : Na_2CO_3$ в растворах №2 и №3 соответственно находится в диапазоне от 1:1 до 2:1.

4. В опыте №3 гидросульфат натрия находится в избытке. Реакция протекает до полного израсходования кислой соли:



$$m(\text{CO}_2) = 200 - 197,8 = 2,2 \text{ г}$$

$$n(\text{CO}_2) = 0,05 \text{ моль} \quad \Rightarrow \quad n(\text{NaHSO}_4) = 0,1 \text{ моль (в 100 г раствора)}$$

$$m(\text{NaHSO}_4) = 12 \text{ г}$$

Исходная концентрация NaHSO_4 в растворе №3 = 12 %

5. В опыте №4 карбонат натрия находится в избытке. Реакция протекает в две стадии: $\text{NaHSO}_4 + \text{Na}_2\text{CO}_3(\text{изб.}) = \text{NaHCO}_3 + \text{Na}_2\text{SO}_4$ газ не выделяется



$$m(\text{CO}_2) = 200 - 198,9 = 1,1 \text{ г}$$

$$n(\text{CO}_2) = 0,025 \text{ моль} \quad \Rightarrow \quad \text{На второй стадии в реакцию вступило } 0,025 \text{ моль } \text{NaHSO}_4$$

До начала смешивания в 100 г раствора NaHSO_4 было 0,1 моль NaHSO_4
 \Rightarrow

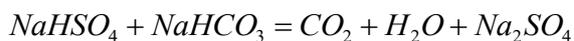
$$\Rightarrow \text{На первой стадии в реакцию вступило } 0,075 \text{ моль } \text{NaHSO}_4 \quad \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \quad n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,075 \text{ моль (в 100 г раствора)}$$

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 7,95 \text{ г}$$

Исходная концентрация Na_2CO_3 в растворе №2 = 7,95 %

6. **Образец №1 — раствор NaHCO_3** . По уменьшению массы раствора в опыте №2 рассчитывается количество выделившегося углекислого газа:



$$m(\text{CO}_2) = 200 - 197,8 = 2,2 \text{ г}$$

$$n(\text{CO}_2) = 0,05 \text{ моль} \quad \Rightarrow \quad \text{Прореагировало: } n(\text{NaHCO}_3) = n(\text{NaHSO}_4) = 0,05 \text{ моль}$$

В данном опыте в конечном растворе остался избыток гидросульфата натрия (было 0,1 моль, осталось 0,05 моль). Реакция прошла до полного израсходования NaHCO_3

Таким образом, в 100 г раствора №1 находилось 0,05 моль NaHCO_3 .

$$m(\text{NaHCO}_3) = 4,2 \text{ г}$$

Исходная концентрация NaHCO_3 в растворе №3 = 4,2 %

Критерии:

Идентификация каждого вещества — 3,3 балла	3·3,3 = 10
Нахождение массовой доли каждого вещества — 5 баллов	3·5 = 15
Итого	25 баллов

Задача 2 (25 баллов).

1-2. Об элементах можно догадаться по описанию: в честь небесных тел названы химические элементы *He, Se, Pd, Te, Ce, U, Ne, Pu*. Соседями можно назвать пары *Se—Te* (по группе), *U—Pu* (хотя между ними ещё *Np*, поэтому соседи с натяжкой). А элементов, атомная масса которого больше, чем у

правого соседа совсем немного: *Ar, Co, Te, Th, U, Pu*, хотя для *Th, U, Pu* это сравнения уже с самыми долгоживущими изотопами, что тоже можно считать не совсем корректным. Из такого перебора можно заключить, что лучше всего подходит пара **X — Se (селен), Y — Te (теллур)**. Селен назван в честь Луны, теллур — в честь Земли.

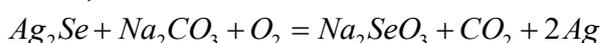
Даже если по описанию не получилось определить, можно воспользоваться числовыми данными, рассчитать молярную массу C и D на 1 атом известного металла: $M(C)=108/0,7322=147,5$ г/моль. $M(\text{остатка за вычетом серебра})=147,5 - 108 = 39,5$ г/моль. Такого элемента нет, но при двух атомах серебра $M(\text{ост})=79$ г/моль, что соответствует селену. Значит, **C = Ag_2Se** . Если вспомнить, что селен похож по химическим свойствам на серу, то формула выглядит логичной (Ag_2S). По аналогии с сульфидом C можно назвать **селенид серебра**. Аналогично сделаем расчёт для D, $M(D)=64/0,5=128$ г/моль, за вычетом меди $M(\text{ост})=128 - 64 = 64$ г/моль на 1 атом меди. Это может быть 4 атома кислорода, что не сходится по валентностям, 2 атома серы, но она не подходит по требованию, что Y имеет молярную массу больше, чем сосед с большим атомным номером. Если считать на 2 атома меди подходит теллур, он же подходит под требование по атомной массе соседа. **D = Cu_2Te , теллурид меди I. A = Se (селен), B = Te (теллур)**.

X	Y	A	B	C	D
<i>Se</i>	<i>Te</i>	<i>Se</i>	<i>Te</i>	<i>Ag₂Se</i>	<i>Cu₂Te</i>
Селен	Теллур	Селен	Теллур	Селенид серебра	Теллурид меди(I)

3-5. Рассмотрим продукты реакций. Сначала для 1-й реакции: простое вещество-металл могут быть серебро или натрий, логично, что получится серебро (с его термически неустойчивым оксидом), $M(\text{газа})=1,52 \cdot 29=44$ г/моль, что в присутствии карбоната даст углекислый газ CO_2 . Рассчитаем соль, в ней должен присутствовать селен, натрий (от карбоната) и кислород (кислородсодержащая соль). $M(E)=79/0,4566=173$ г/моль (на 1 атом селена), $M(\text{ост})=173 - 79=94$ г/моль, на что подходит 2 натрия и 3 кислорода (можно отнимать кислороды по очереди и «искать» натрий по остатку: $94 - 16=78$, $78 - 16=62$, $62-16=46$, что соответствует 2-м атомам натрия).

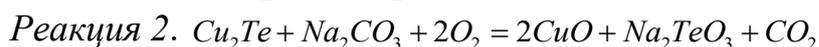
Таким образом, **E = Na_2SeO_3** , можно опять провести аналогию с известным сульфитом натрия (Na_2SO_3), такое вещество по аналогии будет называться **селенит натрия**.

Реакция 1.



Для второй реакции сделаем аналогичные расчёты. Оксид $M=16/0,2=80$ г/моль, что хорошо соответствует оксиду меди(II) CuO

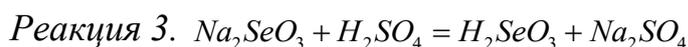
(теоретически и TeO_2 подходит, но тогда медь надо добавлять к F). Газ можно найти по плотности: раз условия нормальные, то 1 моль газа занимает объём 22,4 литра, найдём массу газа объёмом 22,4 л, $1,964 \cdot 22,4 = 44$ г/моль, следовательно, это опять CO_2 (можно ещё воспользоваться уравнением Клапейрона — Менделеева, результат будет аналогичный). Соль F тогда содержит теллур, кислород и натрий. $M(F) = 128 / 0,5766 = 222$ г/моль, без учёта теллура $222 - 128 = 94$ г/моль, опять 3 кислорода и 2 натрия. Тогда, **F = Na_2TeO_3 , теллурит натрия.**



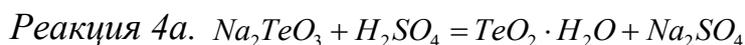
Тривиальное название карбоната натрия — кальцинированная сода, можно зачесть по слову «сода» без неверных уточнений, натрий углекислый.

E	F
Na_2SeO_3	Na_2TeO_3
Селенит натрия	Теллурит натрия

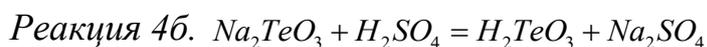
6-7. Селениту соответствует селенистая кислота (по аналогии с серой, где сульфиту — сернистая). Кислота образуется из-за того, что селенистая кислота более слабая, чем серная.



G = H_2SeO_3 , селенистая кислота



или



В качестве продукта можно засчитать **H = $TeO_2 \cdot H_2O$, $TeO_2 \cdot xH_2O$, TeO_2 , H_2TeO_3 .** И далее учитывать в реакциях полученное вещество. В качестве названия можно засчитать: **моногидрат оксида теллура(IV), гидрат оксида теллура(IV), оксид теллура(IV), диоксид теллура, теллуристая кислота.**

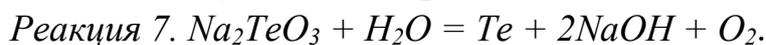
Действием SO_2 (сера +4) мы получаем Se, значит, он восстановился, значит, сера окислилась до +6, в кислой среде — это серная кислота.



В 6-й реакции оксид с щёлочью в теллурит — обычная реакция кислотного оксида (на самом деле диоксид теллура будет проявлять амфотерные свойства) и щелочи с получением соли (как, например, у той же серы).



Электролиз нам даёт теллур и щёлочь (по условию) и какой-то простой газ, это может быть кислород или водород (исходя из элементного состава реагентов), тяжелее воздуха — кислород.

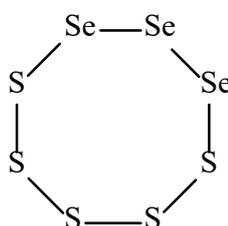


G	H
---	---

H_2SeO_3	$TeO_2 \cdot H_2O$
Селенистая кислота	Моногидрат оксида теллура(IV)

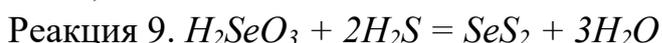
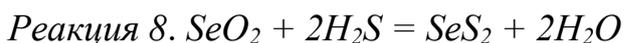
8. $M(Q)=190,75 \cdot 2=381,5$ г/моль. Это смесь, поэтому дробная молярная масса выглядит нормально. Найдём «среднюю» формулу, нам сказано, что это 8-ми членные циклы, а атомов Z в 2 раза больше, чем X (селена). Значит, селен занимает $1/3$ всех атомов, а Z — $2/3$. Так как суммарно атомов в «средней» молекуле 8, то получаем $Se_{2,67}Z_{5,33}$. Получаем выражение для молярной массы $2,67 \cdot 79 + 5,33 \cdot M(Z) = 381,5$, откуда $M(Z) = 32$ г/моль, $Z = S$, сера.

9. Можно привести наиболее близкие к составу $Se_{2,67}S_{5,33}$ вещества, например, Se_3S_5 или Se_2S_6 . Нам сказано, что он представляет собой 8-ми членные циклы, значит, надо сделать цикл из 8 атомов, где часть будет занимать селен, часть — сера. Например Se_3S_5 :



Засчитать можно любой 8-ми членный цикл с любым количеством селенов от 1 до 7, изомерия в расчёт не берётся.

10-11. Считаем, что формула $Q = SeS_2$. Рассчитаем I , $M(I) = 16/0,2883 = 55,5$ г/моль на 1 атом кислорода и содержит Se, если взять 2 атома кислорода, получится $I = SeO_2$, оксид селена(IV), диоксид селена. Посчитаем молярную массу J , $M(J) = 32/0,9412 = 34$ г/моль, без учета серы $34 - 32 = 2$ г/моль, что соответствует двум водородам. $J = H_2S$, сероводород.



I	J
SeO_2	H_2S
Оксид селена(IV)	Сероводород

Критерии:

Реакции 1–7 по 1 баллу (если неверно уравнено, то 0,5 балла). Для реакций 1–2 без расчёта продуктов 0,5 балла, реакции 8–9 по 0,5 балла.	$7 \cdot 1 + 2 \cdot 0,5 = 8$
Элементы X и Y по 1 баллу, небесные тела по 0,25 балла	$2 \cdot 1 + 2 \cdot 0,25 = 2,5$
Формулы A–D по 1 баллу, названия A–D по 0,25 балла. Без расчёта формулы C и D 0,5 балла.	$4 \cdot 1 + 4 \cdot 0,25 = 5$
Тривиальное название карбоната натрия — 0,5 балла	0,5
Формулы E и F по 1 баллу, названия — по 0,25 балла	$2 \cdot 1 + 2 \cdot 0,25 = 2,5$
Формулы G и H по 1 баллу, названия — по 0,25 балла	$2 \cdot 1 + 2 \cdot 0,25 = 2,5$

Элемент Z — 1 балл (без расчёта 0,5 балла)	1
Структурная формула одного из составляющих Q — 0,5 балла	0,5
Формулы I и J по 1 баллу (без расчёта 0,5 балла), названия — по 0,25 балла	$2 \cdot 1 + 2 \cdot 0,25 = 2,5$
Итого	25 баллов

Задача 3 (25 баллов).

1. Возьмём 1 литр уксусной эссенции и найдём количество молей уксусной кислоты в нём.

$$m(p-pa) = \rho \cdot V = 1,0685 \cdot 1000 = 1068,5 \text{ г.}$$

$$m(CH_3COOH) = m(p-pa) \cdot \omega = 1068,5 \cdot 0,7 = 747,95 \text{ г.}$$

$$n(CH_3COOH) = m/M = 747,95/60 = 12,47 \text{ моль.}$$

Аналогично для NaOH:

$$m(p-pa) = \rho \cdot V = 1,3279 \cdot 1000 = 1327,9 \text{ г.}$$

$$m(NaOH) = m(p-pa) \cdot \omega = 1327,9 \cdot 0,3 = 398,37 \text{ г.}$$

$$n(NaOH) = m/M = 398,37/40 = 9,96 \text{ моль.}$$

2. Общий объём должен быть 2 литра, можно воспользоваться ранее рассчитанной молярной концентрацией: пусть уксусной кислоты было x литров, тогда количество кислоты $12,47 \cdot x$ моль, а щелочи тогда $(2 - x)$ литров и $9,96 \cdot (2 - x)$ моль. Так как реагируют вещества 1:1, то $n(CH_3COOH) = n(NaOH)$, получаем уравнение $12,47 \cdot x = 9,96 \cdot (2 - x)$, решая, получаем $x = 0,8881$ л, или 888,1 мл уксусной эссенции и 1111,9 мл раствора натриевой щелочи.

3. Посчитаем количество кислоты: $12,47 \cdot 0,8881 = 11,07$ моль (щелочи столько же), значит, может выделиться тепла $11,07 \cdot 55,8 = 617,71$ кДж энергии (или 617710 Дж). Общая масса раствора при смешении будет $1,0685 \cdot 888,1 + 1,3279 \cdot 1111,9 = 2425,43$ г (или 2,42543 кг).

Из формулы $Q = C \cdot m \cdot \Delta T$ выразим

$$\Delta T = Q / (C \cdot m) = 617710 / (4200 \cdot 2,42543) = 60,64 \text{ (}^\circ\text{C)}.$$

Таким образом, нагреть раствор в грелке можно было до $82,64$ $^\circ\text{C}$.

4. Мощность по определению — это скорость работы (изменения энергии), поэтому

$$N = \Delta Q / \Delta t.$$

$$\Delta Q = C \cdot m \cdot \Delta T = 4200 \cdot 2,42543 \cdot (82,64 - 38) = 454739,02 \text{ Дж.}$$

$$\Delta t = 4 \cdot 60 \cdot 60 = 14400 \text{ с}$$

$$N = 454739 / 14400 = 31,58 \text{ Вт.}$$

Критерии:

Для п. 2–4 действует правило отсутствия двойного наказания — если участник использует неверные данные, полученные на предыдущем этапе, и из-за этого

получает неверный численный ответ при верном ходе решения, он получает за пункт полный балл.

Расчёт молярной концентрации кислоты и щёлочи — по 5 баллов (расчёт массы раствора 1,25 балла, расчёт массы чистого вещества 1,25 балла, расчёт количества вещества 1,25 балла, расчёт молярной концентрации 1,25 балла)	2·5 = 10
Расчёт объёмов кислоты и щелочи — по 4 балла (составление выражений для количества вещества кислоты и щелочи 1 балл, факт равенства количеств веществ 1 балл, решение уравнения 2 балла)	2·4 = 8
Расчёт температуры грелки — 5 баллов (кол-во вещества в грелке 1 балл, общая масса грелки 1 балл, изменение температуры 2 балл, итоговая температура 1 балл)	5
Расчёт мощности теплоотдачи — 2 балла (количество энергии при остывании 1 балл, расчёт мощности — 1 балл)	2
Итого	25 баллов

Задача 4 (25 баллов).

К решению задачи можно подходить со стороны расчётов или размышлений. Размышления подсказывают, что так как это физраствор, его состав желательно должен быть близок к составу наших жидкостей. Из чего состоит плазма крови человека? Конечно, это вода, в которой растворены различные органические вещества (белки, глюкоза, липиды, гормоны, витамины, ферменты), но это явно не бинарные вещества. Из неорганических веществ это катионы Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , анионы HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , HPO_4^{2-} .

Мы видим большое преобладание вещества А, логично предположить, что это $NaCl$ (именно этой соли больше всего в морской воде и в нашей крови). Видимо, общим элементом будет хлор, остальные вещества тоже хлориды. Среди оставшихся основных электролитов, необходимых человеку, можно выделить K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} . Вторым компонентом физрастворов обычно являются ионы калия. Из кальция и магния можно сделать выбор в пользу кальция исходя из массовой доли карбоната Е. Получается, что А — $NaCl$, D — $AgCl$, Е — $CaCO_3$. Так как Е растворяется с образованием С, то С содержит кальций, С — $CaCl_2$, тогда по остаточному принципу В — KCl .

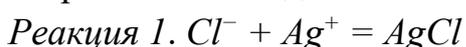
Таблица. Ионный и молярный состав жидкостей тела

Ионный состав	Плазма		ИнЖ		ВнуКЖ	
	мЭКВ/л	ммоль/л	мЭКВ/л	ммоль/л	мЭКВ/л	ммоль/л
Катионы Na^+	140	140	142	142	10	10

K^+	4	4	4	4	160	160
Ca^{2+}	5	2,5	2	5	2	1
Mg^{2+}	2	1	2	2	26	13
всего	151	147,5	151	151	198	184
Неорганические анионы:	103	103	114	114	3	3
Cl^-	24	24	28	27	11	11
HCO_3^-	2	1	2	1	100	50
HPO_4^{2-}	1	0,5	1	0,5	20	10
SO_4^{2-}	5	5	5	5	—	—
Органические анионы	16	2	—	—	64	8
Белки	151	135,5	150	147,5	198	82
Всего						

[Для тех, кто больше разбирается в медицине или биологии, можно ещё сильней сократить варианты перебора: физраствор вливается как внеклеточная жидкость. Во внеклеточной жидкости у нас преобладают катионы Na^+ , немного K^+ , Ca^{2+} , анионы в основном Cl^- и меньше HCO_3^- . Для внутриклеточной жидкости характерно большое кол-во катионов K^+ и немного Mg^{2+} , Na^+ , анионы представлены в основном HPO_4^{2-} (и $H_2PO_4^-$), сильно менее SO_4^{2-} и HCO_3^- , а Cl^- совсем немного. Тогда становится понятным, что катионы — это Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , анион Cl^- .]

Если подходить к решению задачи со стороны расчётов, то можно сначала вычислить общее содержание хлорид-ионов по реакции 1. $D = AgCl$ — белый творожистый осадок с ионами серебра.

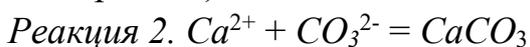


Если писать уравнение в молекулярном виде, то необходимо, чтобы в реагентах было одно из веществ А–С.

$$n(AgCl) = n(Cl^-) = m/M = 1,1265/143,5 = 0,00785 \text{ моль.}$$

$$c(Cl^-) = n/V = 0,00785/0,05 = 0,157 \text{ моль/л.}$$

В реакции 2 выпадение в осадок какого-то карбоната, по массовой доле $M(E) = 16/0,48 = 33,33 \text{ г/моль}$, за вычетом кислорода $33,33 - 16 = 17,33 \text{ г/моль}$ на 1 кислород, взяв 3 кислорода, получим 52 г/моль — это кальций и углерод (это же карбонат). $E = CaCO_3$.



Так как при реакции с кислотой получается С, то С содержит кальций, значит, $C = CaCl_2$.



Если писать реакцию в молекулярном виде, то кислоту нужно брать соляную, чтобы получить именно хлорид.

Рассчитаем кол-во кальция: $n(\text{Ca}^{2+}) = n(\text{CaCO}_3) = m/M = 0,150/100 = 0,0015$ моль. Значит, концентрация ионов кальция $c(\text{Ca}^{2+}) = n/V = 0,0015/0,5 = 0,003$ моль/л.

Каждый ион кальция имеет 2 иона хлора, получается, что в 1 л раствора на кальций приходится $0,003 \cdot 2 = 0,006$ моль ионов хлора. Можно их вычесть из общего количества: $0,157 - 0,006 = 0,151$ моль.

Раз пламя окрашивается в жёлтый цвет, то один из ионов — натрий.

Общий элемент — хлор (уже есть натрий, кальций и хлор), значит, одно из веществ NaCl .

Даже если не догадаться, что NaCl должно быть большинство, то можно составить два уравнения и найти решение для 3-го хлорида.

Пусть **A** — это NaCl . $n(\text{NaCl}) = n(\text{Cl}^-) = 8,60/58,5 = 0,147$ моль, значит на вещество **B** остаётся $0,151 - 0,147 = 0,004$ моль хлорид-ионов. Получается, $M = m/n = 0,298/0,004 = 74,5$ г/моль на один хлорид-ион, что соответствует KCl . Тогда **A** = NaCl , **B** = KCl .

Если посчитать обратно, пусть **B** — это NaCl (1-й вариант, что **A** — NaCl , 2-й вариант, что **B** — NaCl), $n(\text{NaCl}) = n(\text{Cl}^-) = 0,298/58,5 = 0,00509$ моль, тогда на **A** остаётся $0,151 - 0,00509 = 0,14591$ моль, тогда молярная масса **A** на 1 хлорид-ион составляет $M = 8,60/0,14591 = 58,94$ г/моль, без учёта хлора 23,44 г/моль. Примерно подобрать можно GaCl_3 , что не очень сходится с расчётами и тем более с логикой физраствора.

A	B	C	D	E
NaCl	KCl	CaCl_2	AgCl	CaCO_3

Критерии:

Определение А—Е по 2 балла (по факту верной формулы), за идею, что общий элемент хлор — 3 балла (по факту указания или выбора А—С), выбор 3-х катионов из Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} — 3 балла (по факту рассуждений или выбора А—С)	$5 \cdot 2 + 2 \cdot 3 = 16$
Реакции 1–3 по 3 балла	$3 \cdot 3 = 9$
Итого	25 баллов