



ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
ПО ХИМИИ. 2023–2024 уч. г.
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП. 9 КЛАСС

1. При прокаливании 10,0 г мела, 20,0 г оксида хрома (VI) и 4,8 г угля образовался черный порошок вещества X и выделился газ Y, плотность которого равна плотности азота. Объем выделившегося газа составляет 11,2 л (н.у.).

Запишите формулы веществ X и Y, если известно, что для проведения реакции вещества взяты в стехиометрических количествах.

Ответ: X = CaCr₂O₄; Y = CO

Решение. CaCO₃ + 2CrO₃ + 4C = CaCr₂O₄ + 5CO

По 4 балла за каждую формулу

Итого – 8 баллов

Решение.

$\nu(\text{CaCO}_3) : \nu(\text{CrO}_3) : \nu(\text{C}) = (10,0/100) : (20,0/100) : (4,8/12) = 1 : 2 : 4.$

Вещества взяты в стехиометрических количествах. Уравнение реакции:



Вещество X – CaCr₂O₄ (Ca(CrO₂)₂), вещество Y – CO.

2. В результате химической реакции между твердым веществом X массой 14,2 г и твердым гидроксидом натрия массой 4,0 г образовалась средняя соль Y массой 16,4 г.

а) Определите вещество X, если известно, что оно окрашивает пламя в желтый цвет. В ответе приведите формулы веществ X и Y.

б) Действием каких веществ вещество Y можно превратить в X?

1) $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

2) NH_3

3) H_2SiO_3

4) KOH

5) NH_4Cl

в) Укажите цвет осадка, выпадающего при действии на раствор X нитратом серебра

1) Белый

2) Жёлтый

3) Красный

4) Зелёный

5) Чёрный

Ответ: а) $\text{X} = \text{Na}_2\text{HPO}_4$, $\text{Y} = \text{Na}_3\text{PO}_4$ по 2 балла за вещество

б) 1), 5) – по 1 баллу за каждый правильный ответ, минус 1 балл за каждый неправильный.

2) жёлтый 2 балла

Итого – 8 баллов

Решение.

а) X – кислая соль натрия. В результате реакции нейтрализации образуются средняя соль и вода. Масса воды: $m(\text{H}_2\text{O}) = 14,2 + 4,0 - 16,4 = 1,8$ г, или 0,1 моль. $\nu(\text{NaOH}) = 4,0 / 40 = 0,1$ моль = $\nu(\text{X}) = \nu(\text{Y})$.

$M(\text{Y}) = 16,4 / 0,1 = 164$ г/моль – Na_3PO_4 . Кислая соль X – Na_2HPO_4 . Уравнение реакции:



б) Фосфорная кислота – очень слабая по 3-й ступени, поэтому Na_3PO_4 будет переходить в Na_2HPO_4 даже в слабокислой среде. Кислая среда – в растворах CO_2 и NH_4Cl (гидролиз по катиону).

в) Ag_3PO_4 – осадок желтого цвета.

3. При взаимодействии равных количеств серного ангидрида и хлорида серы(II) образуются летучая жидкость X и газ Y с относительной плотностью по водороду 32.

1) Определите вещества X и Y. Запишите их формулы.

2) Запишите химическую формулу вещества, выступающего восстановителем в данной реакции.

3) Запишите символ химического элемента, выступающего окислителем в данной реакции.

4) Вещество X способно обезвоживать некоторые кристаллогидраты. Какие два газа выделяются при действии X на гексагидрат хлорида железа(III)? Запишите их формулы в порядке увеличения молярной массы.

Ответ

1) X = SOCl₂, Y = SO₂ по 2 балла за вещество

2) SCl₂ 1 балл

3) S 1 балл

4) HCl, SO₂ по 1 баллу за вещество

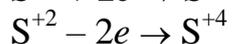
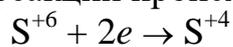
Итого – 8 баллов

Решение.

1) SO₃ + SCl₂ = SOCl₂ + SO₂

Относительную плотность по водороду 32, т.е. молярную массу $32 \cdot 2 = 64$ г/моль имеет SO₂. Жидкость X – SOCl₂, газ Y – SO₂.

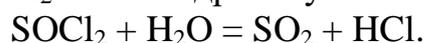
2) В реакции происходит сопропорционирование серы:



Восстановитель – S⁺² – входит в состав SCl₂.

3) Окислитель – S⁺⁶, в ответ записываем символ S.

4) SOCl₂ легко гидролизуеться:



В ответ первым записываем вещество с меньшей молярной массой – HCl.

4. Смесь, полученную сплавлением двух массовых частей железа и одной массовой части серы, обработали соляной кислотой.

а) Определите среднюю молярную массу (г/моль) образовавшейся газовой смеси. Ответ приведите с точностью до целых.

б) Во сколько раз уменьшится масса твердого вещества при сжигании исходной смеси в большом избытке кислорода?

Ответ.

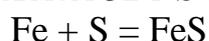
а) 30 5 баллов

б) 1,05 3 балла

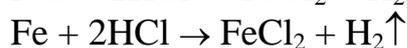
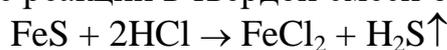
Итого – 8 баллов.

Решение.

а) Возьмем 32 г S (1 моль) и 64 г Fe (8/7 моль).



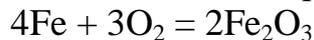
После реакции в твердой смеси будет 1 моль FeS и 1/7 моль Fe.



$\nu(\text{H}_2\text{S}) = 1$ моль, $\nu(\text{H}_2) = 1/7$ моль.

$$M_{\text{ср}} (34 \cdot 1 + 2 \cdot 1/7) / (1 + 1/7) = 30 \text{ г/моль.}$$

б) Возьмем 1 моль Fe (56 г) и 28 г S, общая масса твердого вещества 84 г. Сера при сжигании не дает твердого остатка, поэтому рассматриваем только Fe. В большом избытке кислорода образуется Fe₂O₃.



$\nu(\text{Fe}_2\text{O}_3) = \nu(\text{Fe}) / 2 = 0,5$ моль, $m(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 0,5 \cdot 160 = 80$ г.

Масса твердого вещества уменьшится в $84/80 = 1,05$ раза. Принимались также ответы 1,04 и 1,06.

5. Имеется 5 л раствора серной кислоты. Известно, что по первой ступени кислота диссоциирует полностью, а по второй ступени – только на 10%. Концентрация ионов водорода в растворе $[H^+] = 0,11$ моль/л.

а) Каких частиц из перечисленных больше всего в растворе?

- 1) H_2SO_4
- 2) HSO_4^-
- 3) SO_4^{2-}
- 4) H^+

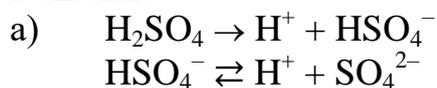
б) Сколько граммов сульфат-ионов SO_4^{2-} находится в растворе? Ответ приведите с точностью до десятых.

Ответ.

- а) 4) 2 балла
б) 4,8 6 баллов

Итого 8 баллов

Решение.



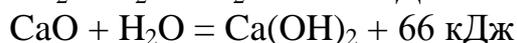
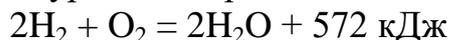
Из перечисленных частиц больше всего в растворе ионов H^+ , они образуются на обеих ступенях диссоциации.

б) Пусть начальная концентрация равна C , тогда по первой ступени диссоциации $[H^+]_1 = C$, а по второй $[H^+]_2 = 0,1C$. Равновесная концентрация ионов водорода: $[H^+] = C + 0,1C = 0,11$, откуда $C = 0,1$ моль/л.

$[SO_4^{2-}] = [H^+]_2 = 0,1C = 0,01$ моль/л.

$\nu(SO_4^{2-}) = 0,01 \cdot 5 = 0,05$ моль, $m(SO_4^{2-}) = 0,05 \cdot 96 = 4,8$ г.

6. Даны уравнения реакций с тепловыми эффектами¹:



а) Используя данные уравнения, составьте и запишите уравнение реакции с целочисленными коэффициентами, в которой выделяется 1270 кДж. **Пробелы в уравнении не ставьте!**

б) Сколько теплоты (кДж) выделяется, если в реакцию из п. а) вступает 16,0 г твёрдого вещества? Ответ приведите в виде натурального числа.

Ответ. а) $2\text{Ca} + \text{O}_2 = 2\text{CaO}$ или $\text{O}_2 + 2\text{Ca} = 2\text{CaO}$ 6 баллов

б) 254 2 балла

Всего – 8 баллов

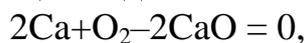
Решение.

$$\text{а) } 1270 = 2 \cdot 415 + 572 - 2 \cdot 66.$$

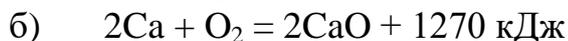
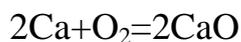
Скомбинируем уравнения реакций с теми же коэффициентами (для термохимических уравнений – это общепринятая процедура):



Сокращая подобные члены, получаем:



или



Составляем пропорцию:

$$2 \text{ моль (80 г) Ca} - 1270 \text{ кДж}$$

$$16 \text{ г Ca} - x \text{ кДж}$$

$$x = 1270 \cdot 16 / 80 = 254.$$

¹ Все вещества находятся в их обычном агрегатном состоянии при комнатной температуре. Тепловой эффект в каждом уравнении соответствует количествам веществ (в молях), равным коэффициентам в уравнении.

7. Для получения ценного вещества смешали равные объемы SO_2 и O_2 . В смесь внесли катализатор и создали необходимые температуру и давления. Полного превращения реагентов в продукты добиться не удалось: по окончании реакции в газовой смеси объем O_2 оказался в 3 раза больше, чем объем SO_2 .

а) Запишите формулу ценного вещества.

б) Во сколько раз число атомов кислорода в исходной смеси больше, чем атомов серы?

в) Чему равен выход ценного вещества? Ответ выразите в процентах и приведите в виде целого числа.

Ответ. а) SO_3 2 балла

б) 4 2 балла

в) 80 4 балла

Всего – 8 баллов

Решение.

а) Ценное вещество – серный ангидрид, SO_3 .

б) Возьмем по 1 моль SO_2 и O_2 , тогда $\nu(\text{O}) : \nu(\text{S}) = (2+2) : 1 = 4$.

в) $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 = 2\text{SO}_3$,

SO_2 – в недостатке. Пусть x моль SO_2 и $x/2$ O_2 прореагировало, тогда:

$$\nu_{\text{ост}}(\text{O}_2) : \nu_{\text{ост}}(\text{SO}_2) = (1-x/2) / (1-x) = 3,$$

$x = 0,8$, а был 1 моль SO_2 . Выход равен 80%.

8. Сравните между собой по составу и строению атом кислорода O и ион кислорода O^{2-} . В каждой из строчек поставьте знак $>$, $=$ или $<$.

Заряд ядра O Заряд ядра O^{2-}

Число электронов O Число электронов O^{2-}

Число неспаренных электронов O Число неспаренных электронов O^{2-}

Масса O Масса O^{2-}

Указание. Число неспаренных электронов относится к основному состоянию.

Ответ. $=$, $<$, $>$, $<$

Заряд ядра O = Заряд ядра O^{2-}

Число электронов O $<$ Число электронов O^{2-}

Число неспаренных электронов O $>$ Число неспаренных электронов O^{2-}

Масса O $<$ Масса O^{2-}

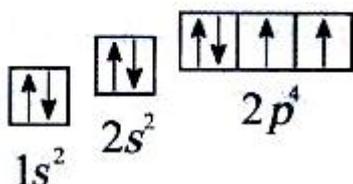
Каждый правильный знак – 2 балла.

Всего – 8 баллов

Решение.

- 1) Заряд ядра у атома и отрицательного иона – один и тот же, он равен порядковому номеру элемента, +8.
- 2) Число электронов в атоме O равно 8, а в анионе O^{2-} - на 2 больше: $8 + 2 = 10$.
- 3) Согласно правилу Хунда, в атоме O – 2 неспаренных электрона на $2p$ -подуровне:

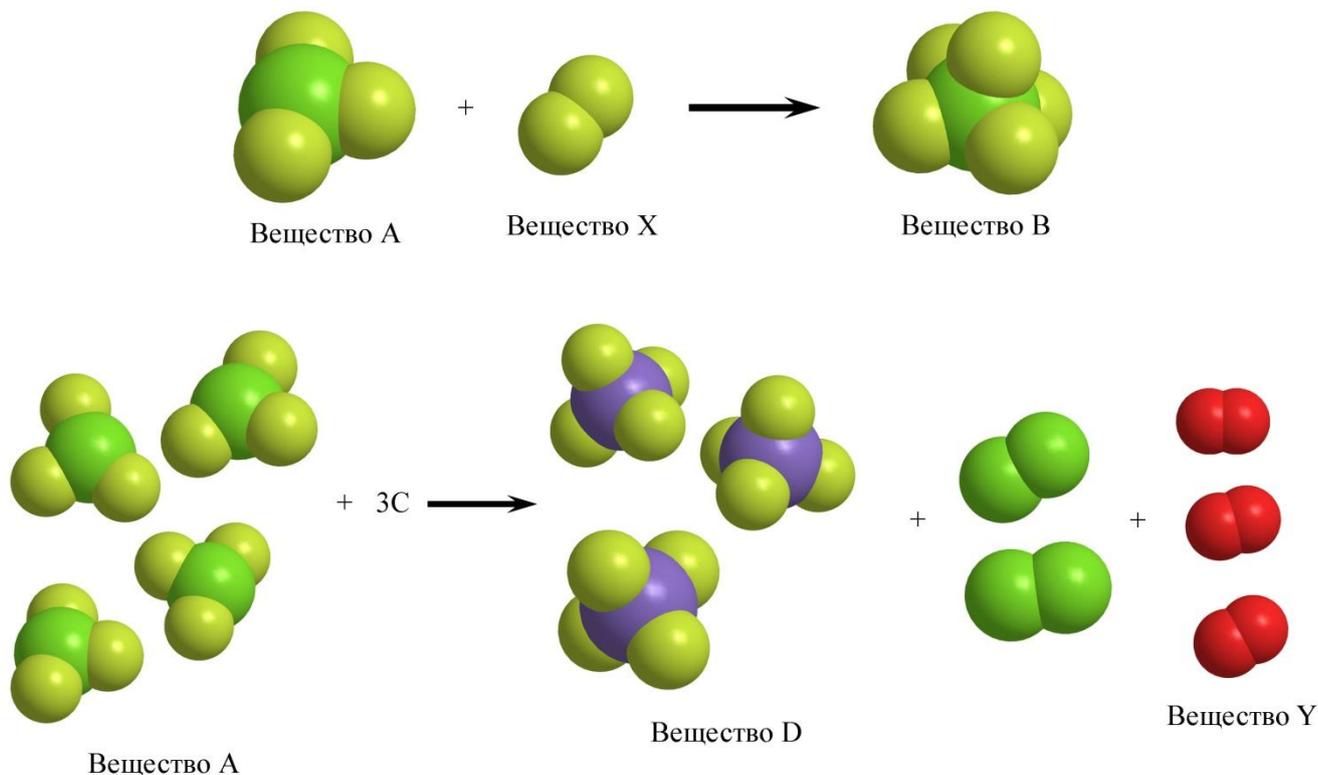
O (+8) 2) 6) $1s^2 2s^2 2p^4$



В анионе O^{2-} нет неспаренных электронов, так как 2-й энергетический уровень заполнен до конца.

- 4) Масса аниона больше массы атома за счет двух дополнительных электронов.

9. Два химических элемента являются «соседями» по периоду в Периодической системе Д.И. Менделеева. Простые вещества, образованные этими элементами, — газы X и Y. С элементами соседнего периода они образуют бинарные соединения A, B, C и D. Ниже представлены схемы процессов с участием этих веществ. В схеме использованы масштабные модели молекул.



Известно, что соединение C имеет немолекулярное строение, широко распространено в земной коре. Встречается, в основном, в аморфном состоянии, но кристаллические модификации тоже хорошо известны. Молекула вещества A в 2,43 раза тяжелее молекулы вещества X, а молекула вещества D в 3,25 раза тяжелее молекулы вещества Y.

Установите состав веществ X, Y, A, B, C и D. В поля для ответов введите химические формулы этих веществ.

X	Y	A	B	C	D

Ответ

X	Y	A	B	C	D
F ₂	O ₂	ClF ₃ или F ₃ Cl	ClF ₅ или F ₅ Cl	SiO ₂	SiF ₄ или F ₄ Si

По 1 баллу за верные формулы X и Y, по 2 балла за верные формулы A, B, C и D.

Итого 10 баллов

Решение. Судя по молекулярным моделям, элемент, образующий двухатомное простое вещество X, имеет валентность 1. Тогда X – H₂, F₂ или Cl₂. Но H₂ и Cl₂ не имеют соседей по периоду, образующих двухатомные простые вещества. Тогда X – F₂, Y – O₂ (простое вещество, образованное соседом по периоду).

$M(A) = 2,43 \cdot 38 = 92,34$ г/моль, в молекуле A – три атома F, на атом неизвестного элемента приходится $92,34 - 3 \cdot 19 = 35,34$ г/моль – это Cl. Вещество A – ClF₃, вещество B – ClF₅.

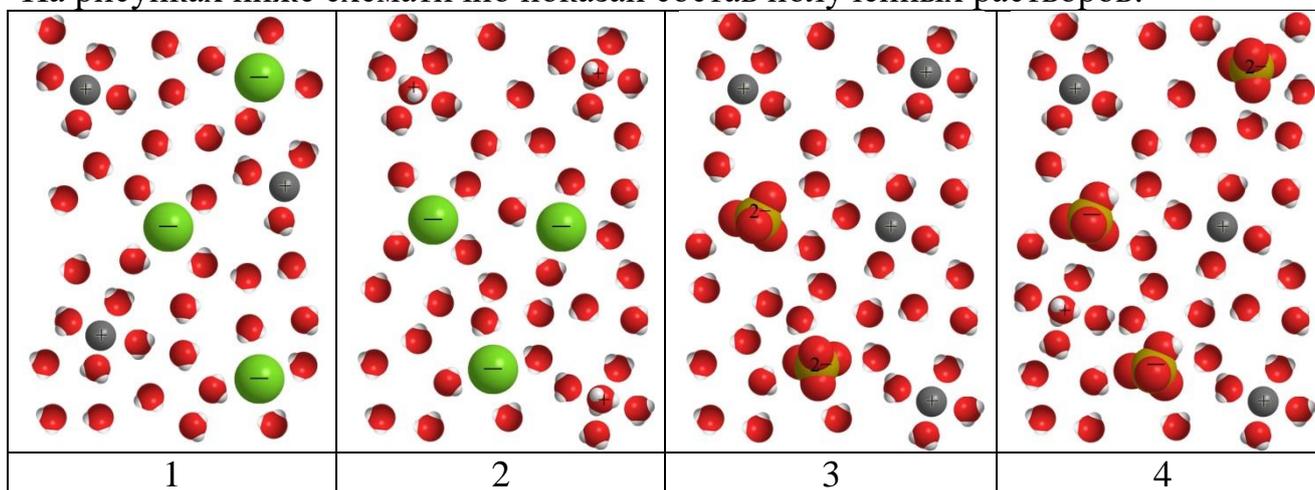
$M(D) = 3,25 \cdot 32 = 104$ г/моль, в молекуле A – 4 атома F, на атом неизвестного элемента приходится $104 - 4 \cdot 19 = 28$ г/моль – это Si. Вещество C – SiO₂, вещество D – SiF₄.

10. В лаборатории приготовили 4 раствора, смешивая растворы исходных веществ, сведения о которых представлены в таблице.

Сведения о растворах исходных веществ, взятых для смешивания

Состав раствора I	Состав раствора II	Обозначение раствора, полученного смешением растворов I и II
1 моль NaOH	1 моль H ₂ SO ₄	A
2 моль NaOH	1 моль H ₂ SO ₄	B
1 моль NaOH	1 моль HCl	C
1 моль BaCl ₂	1 моль H ₂ SO ₄	D

На рисунках ниже схематично показан состав полученных растворов.



Установите соответствие между обозначением полученного раствора и рисунком, изображающим его состав. К каждой позиции, обозначенной буквой, подберите соответствующую позицию, обозначенную цифрой.

A	B	C	D

Ответ

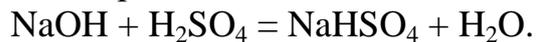
A	B	C	D
4	3	1	2

По 2 балла за каждое верное совпадение

Итого 8 баллов

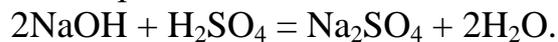
Решение. Уравнения реакций:

Раствор А.



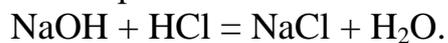
В растворе – ионы Na^+ , H^+ , SO_4^{2-} . Это – модель 4.

Раствор В.



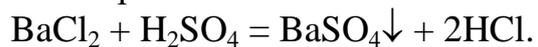
В растворе – ионы Na^+ , SO_4^{2-} . Это – модель 3.

Раствор С.



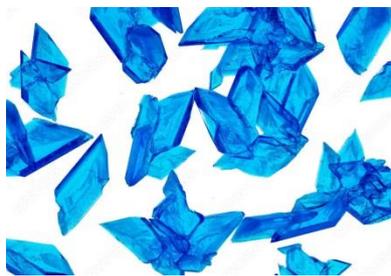
В растворе – ионы Na^+ , Cl^- . Это – модель 1.

Раствор D.



В растворе – ионы H^+ , Cl^- . Это – модель 2.

11. Вещество X — кристаллическое соединение голубого цвета, хорошо растворяется в воде, обладает дезинфицирующими, антисептическими, вяжущими свойствами.



Навеску X массой 6,242 г, растворили в воде и довели объем раствора до 500 мл. Из полученного раствора отобрали три пробы, объем каждой из которых составлял 100 мл.

В первую пробу пропустили избыток сероводорода. При этом выпал осадок черного цвета, масса которого 479 мг. Ко второй пробе добавили избыток раствора хлорида бария, наблюдали выпадение осадка белого цвета, масса которого составила 1,165 г. Через раствор в третьей пробе пропустили постоянный электрический ток до полного прекращения выделения металла на катоде. Масса металла составила 318 мг.

Установите химические элементы, из которых состоит вещество X. В поля для ответов введите символы этих элементов **в порядке возрастания их относительных атомных масс** и число атомов каждого из них в одной формульной единице X.

Например, для $\text{NaOH} \cdot \text{H}_2\text{O}$ ответ нужно ввести так:

Химические элементы, входящие в состав $\text{NaOH} \cdot \text{H}_2\text{O}$	H	O	Na	
Число атомов каждого элемента	3	2	1	

Химические элементы, входящие в состав X				
Число атомов каждого элемента				

Ответ

Химические элементы, входящие в состав X	H	O	S	Cu
Число атомов каждого элемента	10	9	1	1

По 1 баллу за каждое верное совпадение
Итого 8 баллов

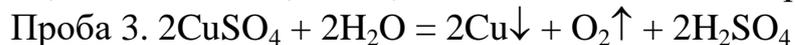
Решение. По описанию подходит медный купорос $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Подтвердим расчетами. В каждой пробе содержится $\nu(\text{CuSO}_4) = 6,242/250 \cdot 100/500 = 0,005$ моль = 5 ммоль.



$\nu(\text{CuS}) = 5$ ммоль, $m(\text{CuS}) = 5 \cdot 96 = 480$ мг – верно.



$\nu(\text{BaSO}_4) = 5$ ммоль, $m(\text{BaSO}_4) = 5 \cdot 233 = 1165$ мг – верно.



$\nu(\text{Cu}) = 5$ ммоль, $m(\text{Cu}) = 5 \cdot 64 = 320$ мг – верно.

12. В литературе описаны три оксида металла X: A, B и C. Школьники решили изучить их свойства. Результаты исследований представлены в табл.

Результаты исследования свойств оксидов металла X

Действия с исходными веществами	Массы исходных веществ	Массы продуктов реакции
Нагревание навески оксида A	1251 мг оксида A	998 мг оксида B и 253 мг металла X
Нагревание навески оксида C	1238 мг оксида C	998 мг оксида B и 240 мг газа Y
Нагревание навески оксида B в избытке водорода	998 мг оксида B	758 мг металла X и 270 мг воды

Установите состав веществ X, Y, A, B и C. В поля для ответов введите химические формулы этих веществ.

X	Y	A	B	C

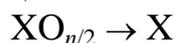
Ответ

X	Y	A	B	C
Ru	O ₂	Ru ₂ O ₃	RuO ₂	RuO ₄

По 2 балла за каждое верное соответствие

Итого 10 баллов

Решение. Это – хорошая расчетная задача на установление формул посредством стехиометрических расчетов. Рассмотрим последнюю строчку таблицы: из 998 мг оксида получается 758 мг металла:



$$998 / (M(X) + 8n) = 758 / M(X)$$

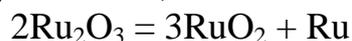
$$M(X) = 25,27n.$$

При $n = 4$, $M(X) = 101,1$ г/моль. Металл X – Ru, оксид B – RuO₂.

Определим формулы остальных оксидов.

Опыт 1.

$\nu(\text{RuO}_2) = 998/133 = 7,5$ ммоль, $\nu(\text{Ru}) = 253 / 101 = 2,5$ ммоль, соотношение продуктов 3 : 1, что соответствует уравнению реакции:



Вещество A – Ru₂O₃.

Опыт 2. Газ Y, очевидно, – O₂.

$\nu(\text{RuO}_2) = 998/133 = 7,5$ ммоль, $\nu(\text{O}_2) = 240 / 32 = 7,5$ ммоль, соотношение продуктов 1 : 1, что соответствует уравнению реакции:



Вещество С – RuO₄.

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
баллы	8	8	8	8	8	8	8	8	10	8	8	10

Всего – 100 баллов