

**Олимпиада «Ломоносов»**  
**Заключительный тур**  
**5-9 классы**

**1.** Бинарное вещество имеет ионное строение. Общее число электронов во всех положительных ионах в 4 раза меньше общего числа электронов во всех отрицательных ионах. Предложите возможную формулу вещества и докажите, что она соответствует условию. Напишите электронную конфигурацию отрицательного иона в основном состоянии и положительного иона в первом возбужденном состоянии. **(10 баллов)**

*Решение.* Если ионы имеют конфигурацию инертного газа, то число электронов в них может быть равно 2, 10, 18, 36, 54, 86. Видно, что в этом ряду нет ни одной пары чисел, отличающихся в 4 раза. Но есть пара чисел, отличающихся в 2 раза – 18 и 36. Тогда, чтобы соответствовать условию задачи, отрицательный ион должен иметь 36 электронов, а число отрицательных ионов должно быть в 2 раза больше, чем положительных. То есть, анион с 36 электронами – однозарядный,  $\text{Br}^-$ , а катион с 18 электронами – двухзарядный,  $\text{Ca}^{2+}$ . Формула вещества –  $\text{CaBr}_2$ .

Конфигурация иона  $\text{Br}^-$  в основном состоянии:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^3 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6$

Конфигурация катиона  $\text{Ca}^{2+}$  в первом возбужденном состоянии:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^3 3p^5 4s^1$   
(произошел переход электрона  $3p \rightarrow 4s$ )

Также условиям задачи формально отвечают  $\text{CuI}_2$  (не существует) и  $\text{ZrBr}_4$  (нельзя однозначно считать ионным соединением).

*Ответ:*  $\text{CaBr}_2$ .

**Система оценивания:**

Разумные рассуждения о составе вещества – 2 балла

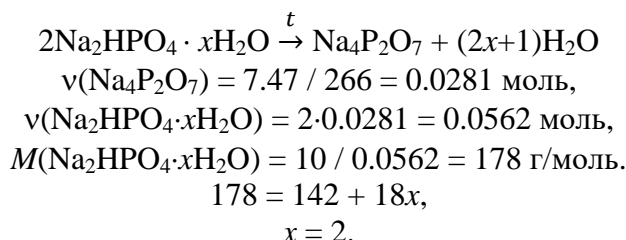
Формула вещества – 6 баллов, сюда входят 2 балла за разумные рассуждения о составе вещества.

Электронные конфигурации – по 2 балла за каждую, всего 4 балла  
(электронные конфигурации неправильных ионов не оцениваются)

**Всего – 10 баллов**

**2.** Навеску кристаллогидрата гидрофосфата натрия массой 10.00 г выдержали в течение длительного времени при 300 °С. Масса полученного твердого вещества составила 7.47 г. Определите формулы исходного и конечного веществ. Ответ подтвердите расчетом. **(10 баллов)**

*Решение.* При нагревании происходит полное отщепление кристаллизационной воды и дегидратация кислой соли:



*Ответ:*  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

**Система оценивания:**

Суммарное уравнение дегидратации – 4 балла, в том числе уравнение отщепления кристаллизационной воды – 2 балла, уравнение дегидратации кислой соли – 2 балла.

Уравнение для расчета  $x$  – 4 балла

Правильная формула кристаллогидрата – 2 балла (формула без расчета не оценивается, 0 баллов)

**Всего – 10 баллов**

3. Аммиак объемом 200 литров (н. у.) растворили в одном литре воды. Полученный раствор охладили до  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , в результате чего из раствора выпал осадок – чистый лед. Рассчитайте массовую долю аммиака в исходном растворе и найдите массу выпавшего осадка, если известно, что массовая доля аммиака в насыщенном при  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  водном растворе равна 27%.

**(12 баллов)**

*Решение.* Рассчитаем массовую долю аммиака в исходном растворе:

$$m(\text{NH}_3) = 17 \cdot (200 / 22.4) = 152 \text{ г,}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 1000 \text{ г,}$$

$$\omega(\text{NH}_3) = 152 / (1000 + 152) = 0.132 \text{ (или 13.2\%).}$$

Пусть при охлаждении раствора выпадет  $x$  г льда,  $\text{H}_2\text{O(тв)}$ , тогда для массовой доли  $\text{NH}_3$  в образовавшемся насыщенном растворе получим уравнение:

$$\omega(\text{NH}_3) = 152 / (1152 - x) = 0.27,$$

$$x = 589 \text{ (г).}$$

*Ответ.* 13.2%  $\text{NH}_3$ , 589 г льда.

**Система оценивания:**

Масса  $\text{NH}_3$  – 2 балла

Масса раствора – 1 балл

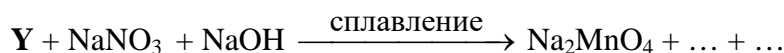
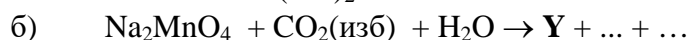
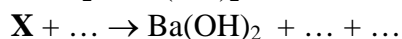
Массовая доля  $\text{NH}_3$  – 3 балла

Уравнение для массовой доли насыщенного раствора при  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  – 2 балла

Масса льда – 4 балла

**Всего – 12 баллов**

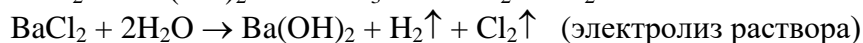
4. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующим схемам превращений:



Определите неизвестные вещества.

**(12 баллов)**

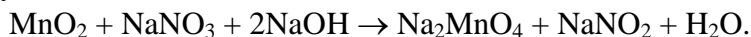
*Решение.* а) **X** –  $\text{BaCl}_2$



б) **Y** –  $\text{MnO}_2$



(реакция с получением  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  засчитывается за 50%, так как  $\text{CO}_2$  по условию в избытке)



*Ответ:* **X** –  $\text{BaCl}_2$ , **Y** –  $\text{MnO}_2$ .

**Система оценивания:**

Уравнения –  $4 \times 2 = 8$  баллов

(если все продукты указаны, но коэффициенты – неверные, по 1 баллу за уравнение)

Вещества **X** и **Y** –  $2 \times 2 = 4$  балла

(если вещества **X** и **Y** не записаны в явном виде – 0 баллов)

(Реакции с неправильными веществами не оцениваются)

**Всего – 12 баллов**

5. Навеску металла массой 8.96 г полностью растворили в 200 г 35%-ной азотной кислоты, при этом выделилось 5.376 л (н. у.) смеси двух газов, по плотности равной фтору. Найдите состав смеси (в об.%). Определите металл и напишите суммарное уравнение его растворения в этих условиях. Рассчитайте массовую долю нитрата металла в полученном растворе.

(16 баллов)

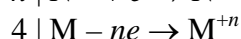
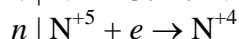
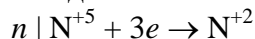
*Решение.* Массовая доля  $\text{HNO}_3$  достаточно велика, поэтому можно предположить, что выделяются  $\text{NO}$  ( $x$  моль) и  $\text{NO}_2$  ( $y$  моль)

$$v(\text{смеси}) = x + y = 5.376 / 22.4 = 0.24 \text{ моль}$$

$$M(\text{смеси}) = (30x + 46y) / (x + y) = M(\text{F}_2) = 38 \text{ г/моль.}$$

Решение полученной системы двух уравнений дает  $x = 0.12$ ,  $y = 0.12$  (моль).

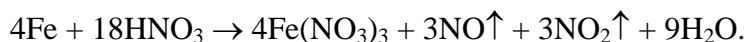
Отсюда состав смеси: 50%  $\text{NO}$ , 50%  $\text{NO}_2$  (по объему).



Азотная кислота принимает  $0.12 \cdot 3 + 0.12 = 0.48$  моль электронов, а металл – их отдает:

$$v(\text{M}) = 0.48 / n, M(\text{M}) = 8.96 / (0.48/n) = 18.67n.$$

Решая методом перебора, при  $n = 3$ , получим  $M = 56$  г/моль – это Fe. Суммарное уравнение реакции:



Найдем массовую долю нитрата:

$$v(\text{Fe}) = 8.96 / 0.56 = 0.16 \text{ моль} = v(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3),$$

$$m(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3) = 0.16 \cdot 242 = 38.72 \text{ г}$$

$$m(\text{раствора}) = 8.96 + 200 - 0.24 \cdot 38 = 199.84 \text{ г,}$$

$$\omega(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3) = 38.72 / 199.84 = 0.194 \text{ (или 19.4\%).}$$

*Ответ:* 50%  $\text{NO}$ , 50%  $\text{NO}_2$  (по объему), Fe, 19.4%.

#### Система оценивания:

Состав газовой смеси – 4 балла

(из них 1 балл – качественный состав, 1 балл – моли, 1 балл – средняя молярная масса)

Определение железа – 6 баллов

Суммарное уравнение реакции – 2 балла

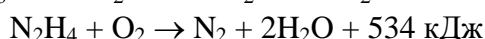
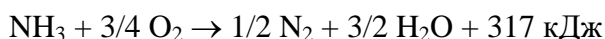
(если записаны два уравнения по отдельности – всего 1 балл)

Массовая доля нитрата железа – 4 балла

**Всего – 16 баллов**

6. Теплоты сгорания аммиака и газообразного гидразина ( $\text{N}_2\text{H}_4$ ) равны 317 и 534 кДж/моль соответственно. В обоих случаях продукты сгорания – азот и пары воды. Определите энергию связи  $\text{N-N}$  в гидразине, если энергия связи  $\text{N}\equiv\text{N}$  составляет 945 кДж/моль. Примите, что энергия связи  $\text{N-H}$  одинакова в аммиаке и гидразине. (20 баллов)

*Решение. Первый способ:*



По следствию из закона Гесса

$$317 = 1/2 \cdot 945 + 3E(\text{O-H}) - 3E(\text{N-H}) - 3/4 E(\text{O=O})$$

$$534 = 945 + 4E(\text{O-H}) - 4E(\text{N-H}) - E(\text{N-N}) - E(\text{O=O})$$

Умножим первое уравнение на 4, второе – на 3:

$$1268 = 2 \cdot 945 + 12E(\text{O-H}) - 12E(\text{N-H}) - 3E(\text{O=O})$$

$$1602 = 3 \cdot 945 + 12E(\text{O-H}) - 12E(\text{N-H}) - 3E(\text{N-N}) - 3E(\text{O=O})$$

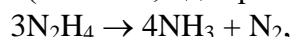
Вычтем из второго уравнения первое:

$$334 = 945 - 3E(\text{N-N}),$$

$$E(\text{N-N}) = 204 \text{ кДж/моль.}$$

*Второй способ.*

Запишем следующее уравнение (неважно, идет реакция на самом деле или нет):



и рассчитаем теплоту реакции двумя способами – через теплоты сгорания и через энергии связи:

$$Q = 3Q_{\text{сгор}}(\text{N}_2\text{H}_4) - 4Q_{\text{сгор}}(\text{NH}_3) - Q_{\text{сгор}}(\text{N}_2) = 3 \cdot 534 - 4 \cdot 317 - 0 = 334 \text{ кДж/моль}$$

$$Q = E(\text{N}\equiv\text{N}) - 3E(\text{N-N}) = 945 - 3E(\text{N-N}) \text{ (кДж/моль)}$$

Отсюда  $E(\text{N-N}) = 204 \text{ кДж/моль.}$

*Ответ:* 204 кДж/моль.

### Система оценивания:

*1 способ*

Уравнения сгорания –  $2 \times 4 = 8$  баллов

Правильное выражение для теплоты реакции через энергии связи –  $2 \times 3 = 6$  баллов

Правильный ответ – 6 баллов

**Всего – 20 баллов**

*2 способ*

Уравнение реакции – 8 баллов

Запись теплоты реакции через теплоты сгорания – 4 балла

Запись теплоты реакции через энергии связи – 4 балла

Правильный ответ – 4 балла

**Всего – 20 баллов**

7. Шпиль Главного здания МГУ имеет красивую желто-золотистую окраску, однако в нем нет ни грамма золота. Покрытие шпиля состоит из широко распространенного хрупкого, прозрачного, бесцветного материала **X**, в который для придания окраски добавлены оксиды **Y** и **Z**. В обоих оксидах элементы четырехвалентны. В оксиде **Y** масса элемента в 4.375 раза больше массы кислорода. Оксид **Z** получают из хлорида металла двумя способами: гидролизом с парами воды и прокаливанием в атмосфере кислорода. В первой реакции степени окисления элементов не изменяются, вторая является реакцией замещения. Для получения 100 г **Z** требуется минимально 237.5 г хлорида.

Назовите вещество **X** и перечислите четыре основных элемента, которые входят в его состав. Определите формулы веществ **Y** и **Z** (подтвердите расчетом). Напишите уравнения реакций получения **Z**. **(20 баллов)**

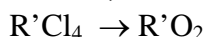
*Решение.* Широко распространенный хрупкий, прозрачный, бесцветный материал **X** – очевидно, стекло. В его состав входят элементы Na, Ca, Si, O.

Обозначим формулу оксида **Y** –  $\text{RO}_2$ . Тогда из условия на массы металла и кислорода следует:

$$M(\text{R}) / (2M(\text{O})) = 4.375,$$

откуда  $M(\text{R}) = 4.375 \cdot 32 = 140 \text{ г/моль}$  – это церий. Оксид **Y** –  $\text{CeO}_2$ .

Теперь определим оксид **Z** (обозначим его  $\text{R}'\text{O}_2$ ). Гидролиз хлорида металла происходит без изменения степеней окисления, следовательно, формула хлорида –  $\text{R}'\text{Cl}_4$ :



По условию задачи

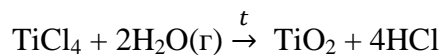
$$M(\text{R}'\text{Cl}_4) / M(\text{R}'\text{O}_2) = 237.5 / 100$$

$$(M(\text{R}') + 142) / (M(\text{R}') + 32) = 2.375,$$

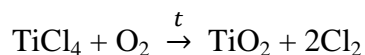
откуда  $M(\text{R}') = 48 \text{ г/моль}$ , это – титан. Оксид **Z** –  $\text{TiO}_2$ .

Добавка  $\text{CeO}_2$  придает стеклу желтоватый цвет, а в сочетании с  $\text{TiO}_2$  – золотисто-желтый.

Уравнения реакций:



Реакция с кислородом – реакция замещения, следовательно, в ней образуется простое вещество, это –  $\text{Cl}_2$ :



**Система оценивания:**

Вещество **X** – 4 балла

Элементы – 2 балла

(2 или 3 элемента из 4-х – 1 балл, один элемент – 0 баллов)

Формула **Y** с расчетом – 4 балла

(формула без расчета – 0 баллов)

Формула **Z** – 6 баллов

(из них – 2 балла за общую формулу хлорида)

Два уравнения реакций –  $2 \times 2 = 4$  балла

(правильные продукты с неправильными коэффициентами – по 1 баллу)

**Всего – 20 баллов**