



**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА**

ОЛИМПИАДНАЯ РАБОТА

Наименование олимпиады школьников: **«Ломоносов»**

Профиль олимпиады: **Химия**

ФИО участника олимпиады: **Кудан Софья Павловна**

Технический балл: **93**

Дата: **12 мая 2020 года**

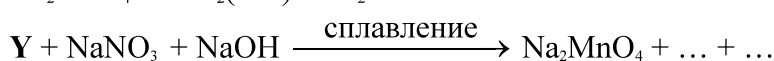
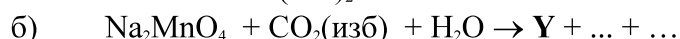
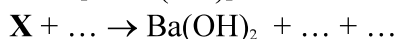
Олимпиада «Ломоносов»
5-9 классы

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)**

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)**

3. Аммиак объемом 200 литров (н.у.) растворили в одном литре воды. Полученный раствор охладили до –60 °С, 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 °С водном растворе равна 27%. **(12 баллов)**

4. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующим схемам превращений:



Определите неизвестные вещества.

(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)

6. Теплоты сгорания аммиака и газообразного гидразина (N_2H_4) равны 317 и 534 кДж/моль соответственно. В обоих случаях продукты сгорания – азот и пары воды. Определите энергию связи N–N в гидразине, если энергия связи $\text{N}\equiv\text{N}$ составляет 945 кДж/моль. Примите, что энергия связи N–H одинакова в аммиаке и гидразине. **(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 4 основных элемента, которые входят в его состав. Определите формулы веществ **Y** и **Z** (подтвердите расчетом). Напишите уравнения реакций получения **Z**. **(20 баллов)**

Софья Павловна Кудан

Решения и ответы даны в виде приложенных файлов

Задача: 1

Ответ: -

Балл: 7

Задача: 2

Ответ: -

Балл: 10

Задача: 3

Ответ: -

Балл: 12

Задача: 4

Ответ: -

Балл: 8

Задача: 5

Ответ: -

Балл: 16

Задача: 6

Ответ: -

Балл: 20

Задача: 7

Ответ: -

Балл: 20

№1.

Какой состав, какое вещество - CaBr_2 .

У металлического кальция 20 электронов.

У иона Ca^{2+} - 18 электронов.

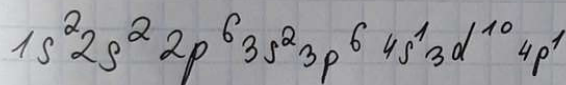
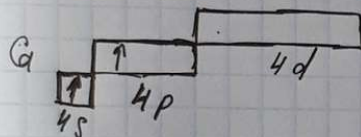
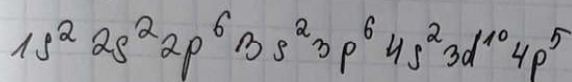
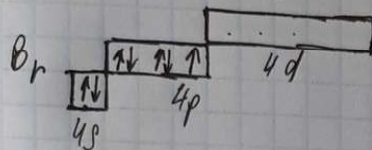
$$18 \cdot 2 = 36 \text{ электронов.}$$

$$\frac{36}{2} = 18 \text{ электронов.}$$

У атома Br 35 электронов.

У иона Br^- 36 электронов. *

Значит, CaBr_2 соответствует условию.



Ответ: CaBr_2 .

* Также хотелось бы добавить, что Ca - металл, Br - неметалл, значит, CaBr_2 имеет ионное строение.

N2.

Пусть формула кристаллогидрата $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$. При выдерживании в печи при температуре 300°C , на мой взгляд, могут получиться такие продукты:

1) $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot y\text{H}_2\text{O}$, если дегидратация прошла не полностью.
($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{t^\circ} \text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot y\text{H}_2\text{O} + (x-y)\text{H}_2\text{O}\uparrow$);

2) Na_2HPO_4 , если вся кристаллизационная вода «ушла» ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{t^\circ} \text{Na}_2\text{HPO}_4 + x\text{H}_2\text{O}\uparrow$);

3) $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$, если вся кристаллизационная вода «ушла» и гидрофосфат натрия разложился ($2\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{t^\circ} \text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 + (2x+x)\text{H}_2\text{O}\uparrow$).

300°C достаточно высокая температура для разложения неустойчивого к термической обработке гидроортофосфата натрия. Поэтому следует предположить, что конечный продукт — это $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$.

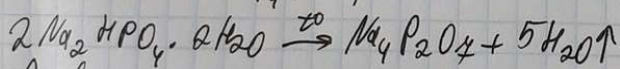
$$m(\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7) = 444 \text{ г}$$

$$\nu(\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7) = \frac{444 \text{ г}}{266 \frac{\text{г}}{\text{моль}}} = \frac{444}{266} \text{ моль} \approx 0,28 \text{ моль}$$

$$\nu(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = \nu(\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7) \cdot 2 = \frac{444}{13300} \text{ моль} \approx 0,056 \text{ моль}$$

$$M(\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}) = \frac{10 \text{ г}}{0,056 \text{ моль}} = 178 \frac{\text{г}}{\text{моль}} \Rightarrow \text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$$

Значит, исходное вещество — $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, конечное вещество — $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$.



Ответ: $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$.

№3.

$$V(\text{NH}_3) = 200 \mu$$

$$\rho(\text{NH}_3) = \frac{200 \mu}{28,4 \frac{\mu}{\text{моль}}} = \frac{125}{14} \text{ моль}$$

$$m(\text{NH}_3) = \frac{125}{14} \text{ моль} \cdot 14 \frac{\text{г}}{\text{моль}} = \frac{2125}{14} \text{ г}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 1000 \text{ г} \quad (1 \mu = 0,001 \text{ м}^3, \rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}, m_{\text{H}_2\text{O}} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \cdot 1 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 1 \text{ кг} = 1000 \text{ г})$$

$m_{\text{р-ра н.}}$

$$= \frac{2125}{14} \text{ г} + 1000 \text{ г} = \frac{16125}{14} \text{ г}$$

$$w(\text{NH}_3)_{\text{н.}} = \frac{2125 \text{ г} \cdot 14}{14 \cdot 16125} \cdot 100\% = 13,1483\%$$

П.к. осадок не содержит аммиака, но масса аммиака осталась в растворе.

$$m(\text{NH}_3) = \frac{2125}{14} \text{ г}$$

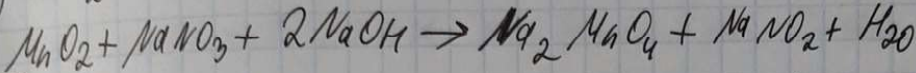
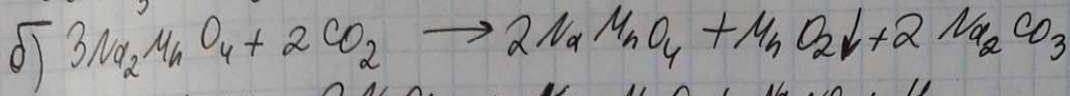
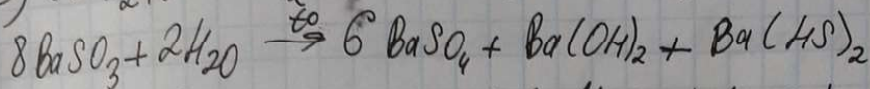
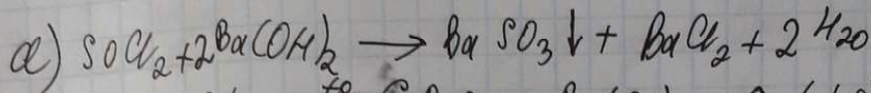
$$w(\text{NH}_3)_{\text{к.}} = 24\% = 0,24$$

$$m_{\text{р-ра к.}} = \frac{2125}{14 \cdot 0,24} \text{ г} = 562,1693 \text{ г}$$

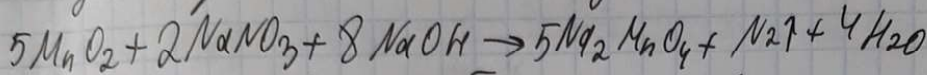
$$m_{\text{осадка}} = \frac{16125}{14} \text{ г} - 562,1693 \text{ г} = 589,6164 \text{ г}$$

Ответ: 13,1483%; 589,6164 г.

N4.



Эту же реакцию можно записать как



что, как мой друг, более точно воспроизводит продукты

Таким образом, $x - \text{BaSO}_3$, $y - \text{MnO}_2$.

Ответ: BaSO_3 ; MnO_2 .

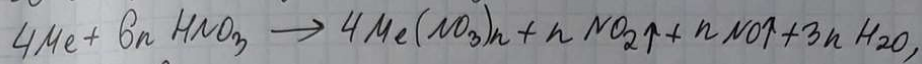
15.
 У смеси газов плотность как у фтора. Газ фтор и смесь газов
 находится при одинаковых условиях, то $M(F_2) = M_{ср.}(2 \text{ газов})$.

$$M(F_2) = 38 \frac{\text{г}}{\text{моль}} \Rightarrow M_{ср.}(2 \text{ газов}) = 38 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$$

Такая молярная масса соответствует смеси NO и NO₂,
 взятых в отношении 1:1 ($\varphi(NO_2) = 50\%$, $\varphi(NO) = 50\%$).

$$M(NO \text{ и } NO_2) = \frac{46 \frac{\text{г}}{\text{моль}} \cdot 1 \text{ моль} + 30 \frac{\text{г}}{\text{моль}} \cdot 1 \text{ моль}}{2 \text{ моль}} = 38 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$$

Уравнение растворения металла в азотной кислоте
 в общем виде выглядит так:

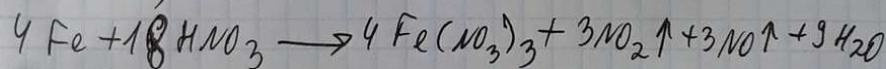


где n — валентность металла.

Составим таблицу:

n	$\nu(2 \text{ газов}), \text{ моль}$	$\nu(NO), \text{ моль}$	$\nu(Me), \text{ моль}$	$M(Me), \frac{\text{г}}{\text{моль}}$	Me
1	$\frac{5,346 \text{ г}}{22,4 \frac{\text{л}}{\text{моль}}} = 0,24 \text{ моль}$	$\frac{0,24 \text{ моль}}{2} = 0,12 \frac{\text{моль}}{1 \text{ моль}}$	0,48 моль	$\frac{56}{3} \frac{\text{г}}{\text{моль}}$	—
2	0,24 моль	0,12 моль	0,24 моль	$\frac{112}{3} \frac{\text{г}}{\text{моль}}$	—
3	0,24 моль	0,12 моль	0,16 моль	$56 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$	Fe
4	0,24 моль	0,12 моль	0,12 моль	$\frac{224}{3} \frac{\text{г}}{\text{моль}}$	—

Значит, металл — Fe.



$$m(Fe) = 8,96 \text{ г}$$

$$\nu(Fe) = \frac{8,96 \text{ г}}{56 \frac{\text{г}}{\text{моль}}} = 0,16 \text{ моль}$$

$$\nu(NO) = 0,12 \text{ моль}$$

$$m(NO) = 0,12 \text{ моль} \cdot 30 \frac{\text{г}}{\text{моль}} = 3,6 \text{ г}$$

$$\nu(NO_2) = 0,12 \text{ моль}$$

$$m(NO_2) = 0,12 \text{ моль} \cdot 46 \frac{\text{г}}{\text{моль}} = 5,52 \text{ г}$$

$$m_{\text{р-ра}} = 8,96 \text{ г} + 200 \text{ г} - 3,6 \text{ г} - 5,52 \text{ г} = 199,84 \text{ г}$$

$$\nu(Fe(NO_3)_3) = 0,16 \text{ моль}$$

$$m(Fe(NO_3)_3) = 0,16 \text{ моль} \cdot 242 \frac{\text{г}}{\text{моль}} = 38,72 \text{ г}$$

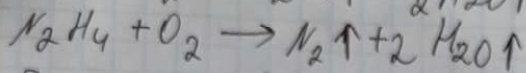
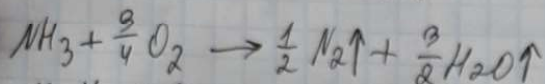
$$w(Fe(NO_3)_3) = \frac{38,72 \text{ г}}{199,84 \text{ г}} \cdot 100\% = 19,3755\%$$

Ответ: 50%; 50%; Fe; 19,3755%.

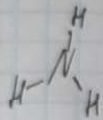
№6,

$$Q_{\text{св.}}(\text{NH}_3) = 314 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$$

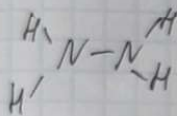
$$Q_{\text{св.}}(\text{N}_2\text{H}_4) = 534 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$$



$$E_{\text{N} \equiv \text{N}} = 945 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$$



В аммиаке 3 связи N-H.



В гидразине 1 связь N-N и 4 связи N-H.

$$Q_{\text{св.}}(\text{NH}_3) = -3E_{\text{N-H}} - \frac{3}{4}E_{\text{O=O}} + \frac{1}{2}E_{\text{N} \equiv \text{N}} + \frac{3}{2} \cdot 2E_{\text{O-H}} = 314 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$$

$$Q_{\text{св.}}(\text{N}_2\text{H}_4) = -E_{\text{N-N}} - 4E_{\text{N-H}} - E_{\text{O=O}} + E_{\text{N} \equiv \text{N}} + 4E_{\text{O-H}} = 534 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}} \cdot \frac{3}{4}$$

$$\frac{3}{4}E_{\text{N} \equiv \text{N}} + \frac{3}{2}E_{\text{O-H}} \cdot 2 - \frac{3}{4}E_{\text{N-N}} - 3E_{\text{N-H}} - \frac{3}{4}E_{\text{O=O}} = 400,5 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$$

$$\frac{1}{4}E_{\text{N} \equiv \text{N}} - \frac{3}{4}E_{\text{N-N}} = 83,5 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$$

$$\frac{3}{4}E_{\text{N-N}} = \frac{1}{4} \cdot 945 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}} - 83,5 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$$

$$\frac{3}{4}E_{\text{N-N}} = 152,45 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$$

$$E_{\text{N-N}} = 203,4 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$$

$$\text{Ответ: } 203,4 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}.$$

N4.

Бесцветный материал X - стекло. Я думаю, что содово-известковое, поэтому оно содержит Na, Ca, Si и O.

Найдём Y. Это оксид четырёхвалентного элемента, но есть он имеет вид MeO_2 .

$$M(Me) = \frac{32 \cdot 4,375}{100} = 140 \frac{\text{г}}{\text{моль}} \Rightarrow Ce - Me$$

Y - CeO_2

Найдём Z. Z имеет формулу MO_2 (по условию), значит, хлорид имеет формулу MCl_4 . В обоих веществах по 1 атому металла, значит, количества Z и хлорида равны.

$$Z(Z) = \frac{100 \text{ г}}{M(M) + 32 \frac{\text{г}}{\text{моль}}}$$

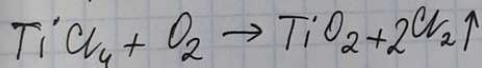
$$Z(MCl_4) = \frac{237,5 \text{ г}}{M(M) + 142 \frac{\text{г}}{\text{моль}}}$$

$$\frac{100 \text{ г}}{M(M) + 32 \frac{\text{г}}{\text{моль}}} = \frac{237,5 \text{ г}}{M(M) + 142 \frac{\text{г}}{\text{моль}}}$$

Решаем это уравнение:

$$M(M) = 48 \frac{\text{г}}{\text{моль}} \Rightarrow Ti - M$$

Z - TiO_2



Ответ: X - стекло; Y - CeO_2 ; Z - TiO_2 .