10 класс

Задача 1. 20 баллов

Вариант 1. В 1808 году Гей-Люссак при проведении реакции между бесцветными газами **A** и **B** (плотности по водороду 8.5 и 33.9 соответственно) при комнатной температуре в закрытом стеклянном сосуде наблюдал образование твердого белого порошка **C** в качестве единственного продукта. При кипячении **C** со щёлочью выделяется газ **A**. При термическом разложении соединения **C** образуется огнеупорный керамический материал **D**.

Определите соединения **A**, **B**, **C**, **D**, напишите уравнения всех протекающих реакций. Какого типа связь реализуется в соединении **C**? Изобразите его пространственную структуру.

Решение. Плотность по водороду равна отношению молярных масс вещества и водорода. *(1 балл)*. Исходя из значений плотности по водороду, найдём молярные массы соединений **A** и **B**, это 8.5·2 = 17 *(1 балл)* и 33.9·2 = 67.8 *(1 балл)*. Тогда **A** – аммиак *(2 балла)*, **B** – трифторид бора *(2 балла)*,

При реакции между ними образуется твердый комплекс, **C** – это BF_3NH_3 *(2 балла)*. При термическом разложении BF_3NH_3 образуется нитрид бора, **D** – это BN *(2 балла)*.

Уравнения реакций:

$$NH_3\ (газ) + BF_3\ (газ) = BF_3NH_3\ (тв.) \quad \textit{(1 балл)}$$

$$4BF_3NH_3 + 3.5\ NaOH = 3Na[BF_4] + ¼\ Na_2B_4O_7 + {}^7/_4\ H_2O + 4\ NH_3\uparrow \quad \textit{(1 балл)}$$

$$BF_3NH_3 = BN(тв.) + 3\ HF\ (г) \quad \textit{(1 балл)}$$

Соединение **C** имеет этаноподобную структуру *(1 балл)* с ковалентной полярной связью между атомами бора и азота *(1 балл)*, образованной по донорно-акцепторному механизму *(1 балл)*. Неподелённая пара атома азота аммиака донирует электронную плотность на вакантную орбиталь атома бора *(1 балл)*. Окружение атомов бора и азота – искаженный тетраэдр *(2 балла)*.

Ответ: A – аммиак NH_3, **B** – трифторид бора BF_3, **C** – BF_3NH_3, **D** – нитрид бора BN.

Вариант 2. При проведении реакции между бесцветными газами **A** и **B** (плотности по азоту 0.607 и 4.184 соответственно) при комнатной температуре в закрытом стеклянном

сосуде наблюдается образование твердого белого порошка **C** в качестве единственного продукта. При кипячении **C** со щёлочью выделяется газ **A**. При термическом разложении соединения **C** образуется огнеупорный керамический материал **D**.

Определите соединения **A**, **B**, **C**, **D**, напишите уравнения всех протекающих реакций. Какого типа связь реализуется в соединении **C**? Изобразите его пространственную структуру.

Ответ: A – аммиак NH_3, **B** – трихлорид бора BCl_3, **C** – BCl_3NH_3, **D** – нитрид бора BN.

Вариант 3. При проведении реакции между бесцветными газами **A** и **B** (плотности по метану 1.063 и 6.5 соответственно) при комнатной температуре в закрытом стеклянном сосуде наблюдается образование твердого белое соединение **C** в качестве единственного продукта. При кипячении **C** со щёлочью выделяется газ **A**. При термическом разложении соединения **C** образуется термостойкий керамический материал **D**.

Определите соединения **A**, **B**, **C**, **D**, напишите уравнения всех протекающих реакций. Какого типа связь реализуется в соединении **C**? Изобразите его пространственную структуру.

Ответ: A – аммиак NH_3, **B** – тетрафторид кремния SiF_4, **C** – $SiF_4 \cdot 2NH_3$, **D** – нитрид кремния Si_3N_4.

Вариант 4. Бесцветные газы **A** и **B** (плотности по гелию 8.5 и 31.98, соответственно) при комнатной температуре в закрытом стеклянном сосуде реагируют с образованием твердого белого соединения **C** в качестве единственного продукта реакции. При обработке **C** раствором щёлочи в инертной атмосфере выделяется газ **A**. Газ **B** термически неустойчив и при нагревании разлагается.

Определите соединения **A**, **B**, **C**, напишите уравнения всех протекающих реакций. Какую среду имеет водный раствор соединения **B**? Какого типа связь реализуется в соединении **C**? Предложите лабораторные способы синтеза газа **A**.

Ответ: A – фосфин PH_3, **B** – иодоводород HI, **C** – PH_4I

Задача 2. 20 баллов

Вариант 1. Смесь фосфористой и фосфорной кислот обработали стехиометрическим количеством йода, необходимого для ее окисления. На последующую нейтрализацию полученной смеси (до получения средних солей) было потрачено 100 г 4,4% раствора NaOH. Определить содержание кислот в исходной смеси в мас%, если на нейтрализацию исходной смеси было потрачено 72,7 г раствора щелочи такой же концентрации.

Решение. В исходной смеси окисляется только фосфорная кислота по уравнению:

$$H_3PO_3 + I_2 + H_2O = H_3PO_4 + 2HI$$ *(3 балла)*

Таким образом в конечной смеси будут две кислоты: фосфорная и иодоводородная.

Запишем уравнения нейтрализации этих кислот:

$$H_3PO_4 + 3NaOH = Na_3PO_4 + 3H_2O$$ *(2 балла)*

$$HI + NaOH = NaI + H_2O$$ *(2 балла)*

Обозначив за *x* – количество фосфорной кислоты в исходном растворе, а за *y* – количество фосфористой кислоты, можно составить первое уравнение:

$$3(x+y) + 2y = 0.11$$ *(2 балла)*

Уравнение реакций нейтрализации исходной смеси кислот щёлочью:

$$H_3PO_3 + 2NaOH = Na_2HPO_4 + 2H_2O$$ (фосфористая кислота – двухосновная!) *(3 балла)*

$$HI + NaOH = NaI + H_2O$$ *(2 балла)*

Из второго условия можно составить второе уравнение:

$$3x + 2y = 0.08$$ *(1 балл)*

Решая эту систему уравнений, находим количества кислот в исходной смеси:

$x = 0.02$ моль, $y = 0.01$ моль. *(1 балл)*

Тогда масса кислот в исходной смеси:

$$m(H_3PO_4) = 0{,}02 \cdot 98 = 1{,}96 \text{ г},$$ *(1 балл)*

$$m(H_3PO_3) = 0{,}01 \cdot 82 = 0{,}82 \text{ г},$$ *(1 балл)*

и определим их массовые доли

$$\omega(H_3PO_4) = 1{,}96/(1{,}96 + 0{,}82) = 0{,}705 \ (70{,}5\%),$$ *(1 балл)*

$$\omega(H_3PO_3) = 0{,}82/(1{,}96 + 0{,}82) = 0{,}295 \ (29{,}5\%).$$ *(1 балл)*

Ответ: $\omega(H_3PO_4) = 70{,}5\%$, $\omega(H_3PO_3) = 29{,}5\%$.

Вариант 2. Смесь фосфорноватистой и фосфористой кислот обработали стехиометрическим количеством йода, необходимого для ее окисления. На последующую нейтрализацию полученной смеси (до получения средних солей) было потрачено 532 г 20% раствора KOH. Определить содержание кислот в исходной смеси в масс%, если на нейтрализацию исходной смеси было потрачено 364 г раствора щелочи такой же концентрации.

Ответ: $\omega(H_3PO_4) = 85{,}6\%$, $\omega(H_3PO_2) = 14{,}4\%$.

Вариант 3. Смесь фосфорноватистой и фосфористой кислот обработали стехиометрическим количеством йода, необходимого для ее окисления. На последующую нейтрализацию полученной смеси (до получения средних солей) было потрачено 923 г 5% раствора RbOH. Определить содержание кислот в исходной смеси в масс%, если на нейтрализацию исходной смеси было потрачено 205 г раствора щелочи такой же концентрации.

Ответ: $\omega(H_3PO_3) = 48{,}2\%$, $\omega(H_3PO_2) = 51{,}8\%$.

Задача 3. 20 баллов

На планете Кассиопея инопланетяне научились управлять электронами и получать химические соединения, используя максимальное для данного элемента число электронов. При этом степень окисления другого элемента может остаться привычной для нас. Например, на планете Кассиопея возможно получение соединения натрия с хлором состава $NaCl_{11}$, или для железа с кислородом состава FeO_{13}.

Известно, что число атомов галогена, которые могут присоединить элементы X и Y отличается на 4. Если для элемента X галоген заменить кислородом, то число присоединенных атомов галогена для Y и кислорода для X будет отличаться на 6.

О каких элементах идет речь? Могут ли эти элементы взаимодействовать между собой на планете Земля? Если могут, то напишите уравнение этой химической реакции

Решение.

Число электронов равно порядковому номеру элемента. Следовательно, в первом случае разность атомов галогена совпадает с разностью порядковых номеров X и Y. Во втором

условии число атомов галогена в два раза больше числа атомов кислорода. Отсюда можно составить 2 уравнения:

$$x - y = 4$$ *(4 балла)*

$$y - x/2 = 6$$ *(4 балла)*

(обратного быть не может, т.к. разность увеличилась, а не уменьшилась).

Решая систему, находим x = 20, y = 16. Это кальций *(4 балла)* и сера *(4 балла)*.

Взаимодействуя между собой, они образуют сульфид кальция:

$$Ca + S = CaS$$ *(4 балла)*

Вариант 2. На планете Кассиопея инопланетяне научились управлять электронами и получать химические соединения, используя максимальное для данного элемента число электронов. При этом степень окисления другого элемента может остаться привычной для нас. Например, на планете Кассиопея возможно получение соединения натрия с хлором состава $NaCl_{11}$, или для железа с кислородом состава FeO_{13}.

Известно, что число атомов галогена, которые могут присоединить элементы X и Y на планете Кассиопея отличается на 2. Если для элемента X галоген заменить кислородом, то число присоединенных атомов галогена для Y и кислорода для X будет отличаться на 5.

О каких элементах идет речь? Могут ли эти элементы взаимодействовать между собой на планете Земля?

Ответ: Mg и Si.

Вариант 3. На планете Кассиопея инопланетяне научились управлять электронами и получать химические соединения, используя максимальное для данного элемента число электронов. При этом степень окисления другого элемента может остаться привычной для нас. Например, на планете Кассиопея возможно получение соединения натрия с хлором состава $NaCl_{11}$, или для железа с кислородом состава FeO_{13}

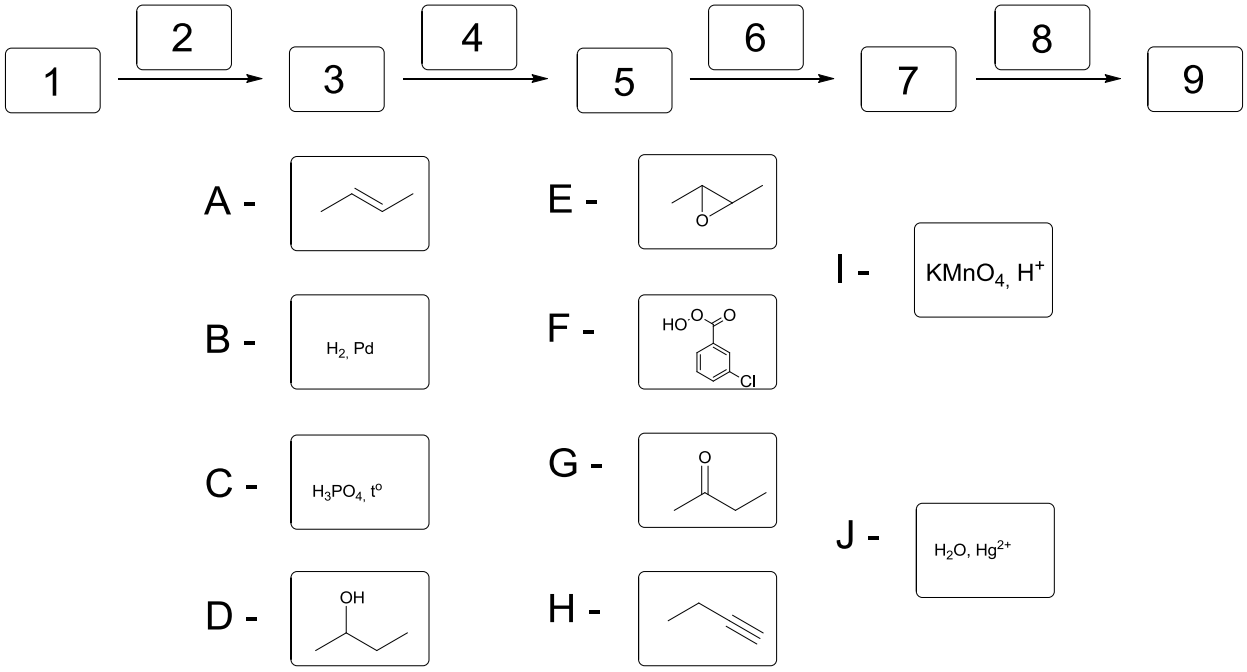
Известно, что число атомов галогена, которые могут присоединить элементы X и Y на планете Кассиопея отличается на 13. Если для элемента X галоген заменить кислородом, а для Y азотом, то число присоединенных атомов кислорода и азота будет отличаться на 10.

О каких элементах идет речь? Могут ли эти элементы взаимодействовать между собой на планете Земля?

Ответ: Sc и Se

Задача 4. 20 баллов

Вариант 1. Из предложенного перечня реагентов и катализаторов составьте синтетическую 4-х стадийную схему превращений, обратите внимание, что один из реагентов или катализаторов является лишним. Ответ представьте в виде буквенной последовательности.

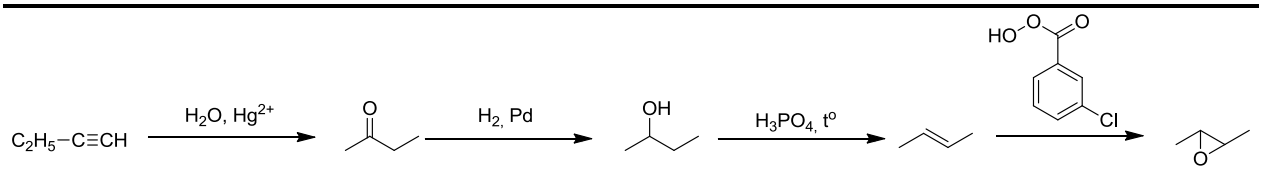


Ответ: HJGBDCAFE – 100%

За наличие в последовательности 3-х последовательно определенных символа по 25% от максимального балла:

- HJG – 25%
- GBD – 25%
- DCA – 25%
- AFE – 25%

Решение:



Вариант 2. Из предложенного перечня реагентов и катализаторов составьте синтетическую 4-х стадийную схему превращений, обратите внимание, что один из реагентов или катализаторов является лишним. Ответ представьте в виде буквенной последовательности.

A - H_3PO_4, t^o

B - $KMnO_4$, H^+

C - Br_2, CCl_4

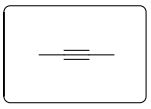
D -

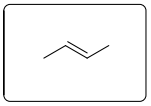
E -

F -

G - H_2, Pd

H - KOH, t^o

I - 

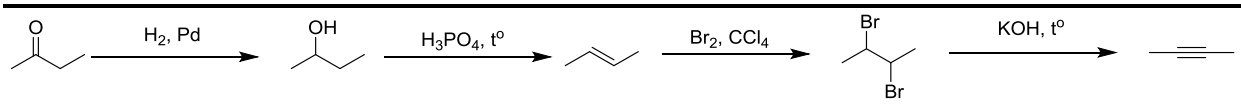
J - 

Ответ: FGEAJCDHI – 100%

За наличие в последовательности 3-х последовательно определенных символа по 25% от максимального балла:

- FGE – 25%
- EAJ – 25%
- JCD – 25%
- DHI – 25%

Решение:



Задача 5. 20 баллов

Вариант 1. В газовых плитах многоквартирных домов обычно используется природный газ – метан, в то время как на дачах приготовление пищи происходит с использованием бутана, пропана или их смеси. Напишите термохимические уравнения реакций горения метана и пропана. Исходя из справочных данных, рассчитайте, при полном сгорании одинаковой массы какого газа, метана или пропана, выделяется больше тепла? $Q_{обр}(H_2O_{(г)})$ = 242 кДж/моль, $Q_{обр}(CO_{2(г)})$ = 394 кДж/моль, $Q_{обр}(CH_{4(г)})$ = 75 кДж/моль, $Q_{обр}(C_2H_{6(г)})$ = 85 кДж/моль, $Q_{обр}(C_3H_{8(г)})$ = 105 кДж/моль, $Q_{обр}(C_4H_{10(г)})$ = 126 кДж/моль.

Решение.

Термохимическое уравнения горения метана:

$$CH_{4(г)} + 2O_{2(г)} = CO_{2(г)} + 2H_2O_{(г)} + Q_1 \textit{ (1 балл)}$$

$$Q_1 = Q_{обр}(H_2O_{(г)})\cdot 2 + Q_{обр}(CO_{2(г)}) - Q_{обр}(CH_{4(г)}) = 803 \text{ кДж/моль } \textit{(2 балла)}$$

$$CH_{4(г)} + 2O_{2(г)} = CO_{2(г)} + 2H_2O_{(г)} + 803 \text{ кДж/моль } \textit{(2 балла)}$$

Термохимическое уравнения горения пропана:

$$C_3H_{8(г)} + 5O_{2(г)} = 3CO_{2(г)} + 4H_2O_{(г)} + Q_2 \textit{ (1 балл)}$$

$$Q_2 = Q_{обр}(H_2O_{(г)})\cdot 4 + Q_{обр}(CO_{2(г)})\cdot 3 - Q_{обр}(C_3H_{8(г)}) = 2045 \text{ кДж/моль } \textit{(2 балла)}$$

$$C_3H_{8(г)} + 5O_{2(г)} = 3CO_{2(г)} + 4H_2O_{(г)} + 2045 \text{ кДж/моль } \textit{(2 балла)}$$

Рассчитаем, сколько тепла выделится при сгорании 1 кг метана и пропана.

$$n(CH_4) = 1000 \text{ г} / 16 \text{ г/моль} = 62.5 \text{ моль } \textit{(2 балла)}$$

$$Q_{сгорания}(1 \text{ кг } CH_4) = n(CH_4)\cdot Q_1 = 62.5 \text{ моль}\cdot 803 \text{ кДж/моль} = 50.19 \text{ МДж } \textit{(2 балла)}$$

$$n(C_3H_8) = 1000 \text{ г} / 44 \text{ г/моль} = 22.7 \text{ моль } \textit{(2 балла)}$$

$$Q_{сгорания}(1 \text{ кг } C_3H_8) = n(C_3H_8)\cdot Q_2 = 22.7 \text{ моль}\cdot 2045 \text{ кДж/моль} = 46.42 \text{ МДж } \textit{(2 балла)}$$

$$Q_{сгорания}(1 \text{ кг } CH_4) > Q_{сгорания}(1 \text{ кг } C_3H_8) \textit{ (2 балла)}$$

Следовательно, больше тепла выделится при полном сгорании одинаковой массы метана

Ответ.

$CH_{4(г)} + 2O_{2(г)} = CO_{2(г)} + 2H_2O_{(г)} + 803$ кДж/моль

$C_3H_{8(г)} + 5O_{2(г)} = 3CO_{2(г)} + 4H_2O_{(г)} + 2045$ кДж/моль

Больше тепла выделится при полном сгорании одинаковой массы метана.

Вариант 2. В газовых плитах многоквартирных домов обычно используется природный газ – метан, в то время как на дачах приготовление пищи происходит с использованием бутана, пропана или их смеси. Напишите термохимические уравнения реакций горения метана и бутана. Исходя из справочных данных, рассчитайте, при полном сгорании одинаковой массы какого газа, метана или бутана, выделяется больше тепла? $Q_{обр}(H_2O_{(г)})$ = 242 кДж/моль, $Q_{обр}(CO_{2(г)})$ = 394 кДж/моль, $Q_{обр}(CH_{4(г)})$ = 75 кДж/моль, $Q_{обр}(C_2H_{6(г)})$ = 85 кДж/моль, $Q_{обр}(C_3H_{8(г)})$ = 105 кДж/моль, $Q_{обр}(C_4H_{10(г)})$ = 126 кДж/моль

***Ответ*.**

$CH_{4(г)} + 2O_{2(г)} = CO_{2(г)} + 2H_2O_{(г)} + 803$ кДж/моль

$C_4H_{10(г)} + 6.5O_{2(г)} = 4CO_{2(г)} + 5H_2O_{(г)} + 2660$ кДж/моль

Больше тепла выделится при полном сгорании одинаковой массы метана.