

10 класс

Задача 10-1

В таможенную лабораторию доставили очень тяжелый герметичный контейнер, который содержал небольшое количество бинарного белого кристаллического вещества X. Для проведения анализа навеску X массой 1.000 г внесли в небольшой объем воды. Газ, выделившийся при растворении, занял объем 3.069 л при 23°C и 752 мм рт. ст. На титрование полученного раствора было израсходовано 25.00 см³ 5.000 моль/дм³ раствора соляной кислоты. Затем к нейтральному раствору долили избыток раствора фторида калия; выпавший осадок отделили, высушили и взвесили. Его масса составила 3.125 г.

1. Установите формулу X. Ответ подтвердите соответствующими расчетами.
2. Запишите уравнения реакций.
3. Для чего может использоваться X? Напишите уравнения соответствующих реакций.

Решение

1. Найдем количество вещества выделившегося газа:

$$n = PV/RT = (752/760) \text{ атм} \cdot 3.069 \text{ л} / (0.082 \text{ л} \cdot \text{атм} / (\text{моль} \cdot \text{К}) \cdot 296 \text{ К}) = 0.125 \text{ моль}$$

Количество кислоты, которое потребовалось на реакцию нейтрализации, равно:

$$n(\text{HCl}) = 0.025 \text{ л} \cdot 5 \text{ моль/л} = 0.125 \text{ моль},$$

$$n(\text{HCl}) = n(\text{KF}).$$

Зная массу осадка фторида и количество вещества израсходованной кислоты, можно определить молярную массу металла:

1 моль фторид-ионов образует M г осадка MF_a или M_{1/a}F (a – степень окисления металла)

0.125 моль фторид-ионов образует 3.125 г осадка M_{1/a}F,

$$M(M_{1/a}) = (3.125/0.125) - 19 = 6$$

Если a = 1, то M(M) = 6 – возможно литий M(Li) = 6.9 г/моль

a = 2, то M(M) = 12 – нет такого металла

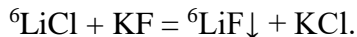
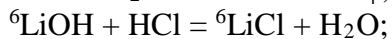
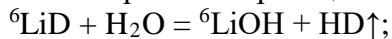
a = 3, то M(M) = 18 – нет такого металла

a = 4, то M(M) = 24 – возможно магний M(Mg) = 24.3 г/моль

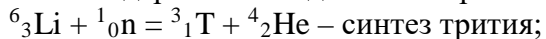
Металлов с молярной массой 12 и 18 г/моль не существует, а магний не проявляет степень окисления +4. Единственным металлом с молярной массой 6 г/моль может быть только литий, точнее, его легкий нуклид ⁶Li.

Молярная масса соединения X (Li_bR или LiR_{1/b}, где b – степень окисления R) равна 1 г/0.125 моль = 8 г/моль, а M(R_{1/b}) = 8 – 6 = 2 г/моль. При b = 1 молярная масса второго элемента 2 г/моль, что соответствует «тяжелому» водороду или дейтерию D. Таким образом, X – дейтерид лития ⁶Li²H или ⁶LiD.

2. Уравнения реакций:



3. Дейтерид "легкого" лития – основной компонент заряда термоядерного оружия и объект ядерных исследований. Происходящие ядерные реакции:

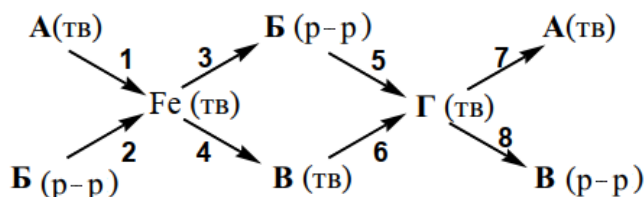


Разбалловка:

| | |
|--|------------|
| Установление X (формула + расчеты и объяснения) | 6+7 = 13 б |
| Уравнения химических реакций | 3·3 = 9 |
| Указание возможного использования, включая реакции | 1+1+1 = 3 |
| Всего | 25 б |

Задача 10-2

В этой схеме зашифрованы четыре соединения и восемь химических превращений:

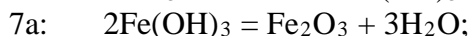
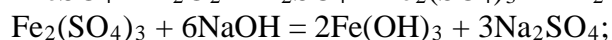
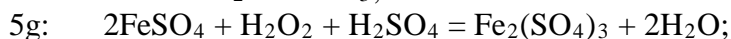
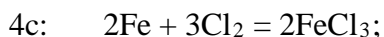


1. Определите зашифрованные вещества А–Г и запишите уравнения химических реакций. Примите во внимание, что каждое из преобразований 1-8 необходимо сопоставить с его описанием, приведенным ниже под одной из букв а-г:
 - а) нагревание вещества на воздухе при высокой температуре;
 - б) нагревание вещества в струе водорода при высокой температуре;
 - в) нагревание вещества в струе хлора при высокой температуре;
 - г) реакция с разбавленной серной кислотой;
 - д) реакция с разбавленной хлороводородной кислотой;
 - е) реакция с разбавленным водным раствором гидроксида натрия;
 - ж) реакция с пероксидом водорода в водном растворе, далее реакция с водным раствором гидроксида натрия (две реакции);
 - з) реакция с пылевидным магнием в водном растворе
2. Запишите формулу соединения, выделяемого при осторожном испарении Б(р-р), и назовите его.
3. Что вам известно о физических свойствах вещества А, его нахождении в природе и использовании в быту?

Решение

1.

А – Fe₂O₃, Б – FeSO₄, В – FeCl₃, Г – Fe(OH)₃.



2. Железный купорос или гептагидрат сульфата железа (II) – FeSO₄·7H₂O.

3. Твердый, бурого цвета, нерастворимый в воде немагнитный α-Fe₂O₃ встречается в природе в виде минерала гематита, а его гидраты – как минерал лимонит. В свое время магнитный γ-Fe₂O₃ (магемит) применяли как магнитную составляющую покрытия магнитных лент. Использование этого материала ограничено из-за его химической и термической неустойчивости.

Разбалловка:

| | |
|---|------------|
| За идентификацию веществ А – Г | 4·1 = 4 б |
| За уравнения химических реакций | 9·2 = 18 б |
| За химическую формулу и название вещества, образующегося при выпаривании раствора Б | 2 б |
| За физические свойства, нахождение в природе и использование в быту соединения А | 1 б |
| Всего | 25 б |

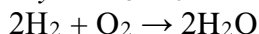
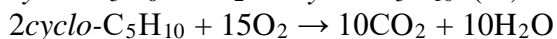
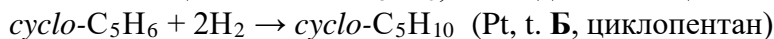
Задача 10-3

Непредельный углеводород **A**, имеющий важное промышленное значение, представляет бесцветную жидкость с сильным запахом, с т.кип. 41°C. Если 1 моль **A** смешать с 3 моль водорода и нагреть в присутствии Pt, то давление смеси полученного предельного продукта **B** с оставшимся водородом станет 50% от исходного. Сжигание этой смеси дает 108г воды и 220г CO₂. Продукт **B** имеет неразветвленный углеродный скелет. Углеводород **A** при комнатной температуре обратимо димеризуется с образованием трициклического соединения **B** (реакция Дильса-Альдера). При озонлизе **A** получается смесь карбонильных соединений **Г** и **Д** (они гомологи) в эквимольном соотношении. Вещество **A** проявляет свойства слабой СН-кислоты, растворяет натрий с образованием белого твердого натрийорганического соединения **Е**, превращающегося в ферроцен **Ж** при добавлении к нему FeCl₂. Определите 7 веществ **A-Ж**, запишите их структурные формулы. Составьте 7 уравнений описанных реакций, в том числе с озоном в виде краткой общей схемы.

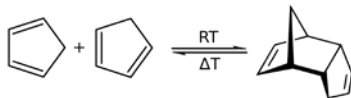
Решение

При нагревании 1 моль **A** и 3 моль H₂ (всего 4 моль) происходит падение давления в 2 раза, значит образуется 1 моль **B** и остается 1 моль H₂ (всего 2 моль). Значит, расходуется 2 моль H₂ на моль **A**. Следовательно, **A** – диен либо алкин.

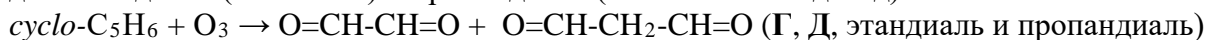
При сгорании смеси 1 моль **B** и 1 моль H₂ образуются 6 моль воды и 5 моль CO₂. Значит **B** - циклопентан C₅H₁₀, а исходный **A** – циклопентадиен C₅H₆.



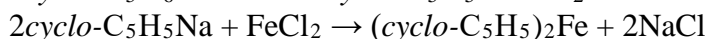
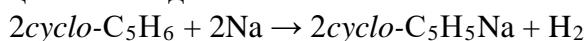
Циклопентадиен вступает в реакцию диенового синтеза Дильса-Альдера с обр. димера **B**:



Озонолиз циклопентадиена по C=C связям после гидролиза промежуточного озонида дает этандиаль (глиоксаль) и пропандиаль (малоновый альдегид):



Циклопентадиен образует циклопентадиениды металлов, включающие ароматический циклопентадиенильный анион:



Разбалловка:

| | |
|--|------|
| За вывод формулы C ₅ H ₆ | 4 б |
| За идентификацию 7 веществ А-Г и структурные формулы | 7б |
| За 7 уравнений реакций по 2 б. | 14 б |
| Всего | 25 б |

Задача 10-4

Безопасный и быстрый метод разложения натрия водой в лаборатории заключается в том, что в воду наливают инертный углеводородный растворитель, например гептан. При погружении кусочка натрия он тонет в гептане (плотность натрия 0.98, а у гептана 0.68), касается поверхности воды, бурно реагирует с ней, расплавляется в шарик, поднимается пузырьками выделяющегося водорода в слой гептана, там реакция затухает, выделение

водорода прекращается, шарик вновь опускается вниз на поверхность воды, и это много раз повторяется вплоть до полного растворения натрия. Выделяющаяся теплота реакции расходуется на нагревание воды и гептана. Предположим, что для такого опыта в стакан налили 14.88 мл воды и 14.38 мл пентана (плотность 0.626 г/мл) при 20°C и бросили кусочек 0.23г натрия. Если теплоты выделится слишком много, то вода сможет нагреться до 36°C, при этом пентан тоже нагреется, закипит и будет испаряться. В случае, если весь пентан улетит, натрий начнет бурно реагировать с водой и воздухом, загорятся водород и натрий, возможен взрыв. Если же не весь пентан испарится, опыт пройдет спокойно.

Запишите термохимическое уравнение реакции натрия с водой с тепловым эффектом, сопоставьте количество теплоты, выделяющейся в реакции и расходуемой на нагревание воды, пентана, на испарение пентана, и сделайте вывод о безопасности опыта.

Теплоемкость нагреваемой воды $C(\text{H}_2\text{O}, \text{ж})=4.2$ Дж/г·град, $C(\text{пентан}, \text{ж})=1.666$ Дж/г·град, теплота испарения $Q_{\text{исп}}(\text{пентан})=26.43$ кДж/моль, стандартная мольная теплота образования воды $Q^{\circ}\text{обр}(\text{H}_2\text{O}, \text{ж})=286$ кДж/моль, $Q^{\circ}\text{обр}(\text{NaOH}, \text{р-р})=779$ кДж/моль.

Решение



Для термохимического уравнения Q_1 определим по теплотам образования NaOH и H_2O :

$$Q_1 = 2Q^{\circ}\text{обр}(\text{NaOH}, \text{р-р}) - 2Q^{\circ}\text{обр}(\text{H}_2\text{O}, \text{ж}) = \mathbf{986}$$
 кДж.

Кусочек натрия 0.23г составляет 0.01 моль, значит выделение теплоты составит:

$$Q(\text{выдел}) = \mathbf{4.93}$$
 кДж.

Определим расход теплоты на нагревание 14.88г воды на 16°C (с 20 до 36°C):

$$Q_2(\text{нагрев воды}) = 16 \cdot 14.88 \cdot 4.2 = \mathbf{1.0}$$
 кДж.

Определим расход теплоты на нагревание 9г пентана (14.38x0.626) на 16°C:

$$Q_3(\text{нагрев пентана}) = 16 \cdot 9 \cdot 1.666 = 240$$
 Дж (**0.240** кДж).

Определим расход теплоты на испарение 9г пентана 0.125 моль) при 36°C:

$$Q_4(\text{испарение пентана}) = 0.125 \cdot 26.43 = \mathbf{3.304}$$
 кДж.

Определим суммарное максимальное поглощение теплоты для безопасного опыта:

$$Q(\text{поглощ}) = Q_2 + Q_3 + Q_4 = 1.0 + 0.240 + 3.304 = \mathbf{4.544}$$
 кДж.

Таким образом, $Q(\text{выдел}) = 4.93$ кДж больше, чем $Q(\text{поглощ}) = 4.544$ кДж.

Вывод: с таким кусочком натрия опыт **опасен**, натрий загорится.

Разбалловка:

| | |
|--|------|
| За химическое уравнение | 3 б |
| За расчет Q_1 , $Q(\text{выдел})$, $Q(\text{поглощ})$, Q_2 , Q_3 , Q_4 по 3 б. | 18 б |
| За вывод об опасности опыта | 4 б |
| Всего | 25 б |