

**11 класс**

**Задача 11-1**

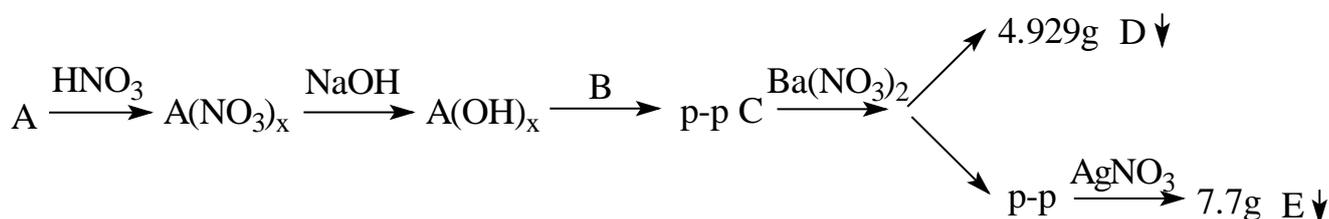
Вещество **С** считается перспективным реагентом для очистки и обеззараживания воды, поскольку оно в отличие от хлора не образует ядовитых хлорорганических производных, не токсично, не ухудшает органолептические свойства воды и не инициируют коррозию трубопроводов. Ниже описан эксперимент, который позволит установить химический состав **С**.

Навеску металла **А** массой 1.000 г полностью растворили в разбавленном растворе  $\text{HNO}_3$ . К полученному раствору добавили избыток раствора  $\text{NaOH}$  и через образовавшуюся суспензию пропустили газ **В** до полного растворения осадка и образования раствора вещества **С**. К полученному прозрачному раствору добавили избыток раствора  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ , в результате чего выпал фиолетово-красный кристаллогидрат **Д** массой 4.926 г. Осадок отфильтровали, а фильтрат подкислили раствором  $\text{HNO}_3$  и добавили избыток раствора  $\text{AgNO}_3$ . При этом выпало 7.700 г белого аморфного осадка **Е**, который также отфильтровали. Анализ полученного фильтрата показал, что он не содержит никаких анионов, кроме  $\text{NO}_3^-$ .

1. Установите вещества **А – Е**.
2. Ответ подтвердите соответствующими расчетами и рассуждениями. При вычислениях пренебрегите взаимодействием **В** с щелочью.
3. Напишите уравнения протекающих реакций.

**Решение**

1. **А – Fe; В –  $\text{Cl}_2$ ; С –  $\text{Na}_2\text{FeO}_4$ ; Д –  $\text{BaFeO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ; Е –  $\text{AgCl}$ .**
2. Схематично описанный в условии эксперимент можно представить следующим образом:



Нитрат серебра используется в качестве реагента на хлорид-ионы, что дает основание считать, что белый аморфный осадок – это хлорид серебра, а газ **В** содержит атомы хлора.

Фиолетово-красная окраска осадка, образующегося при действии нитрата бария, может быть обусловлена лишь элементом **А**, находящемся в высшей степени окисления и входящем в состав аниона. Сопоставление этих двух фактов может свидетельствовать о том, что газ **В** – **хлор  $\text{Cl}_2$** , который является сильным окислителем и в щелочной среде переводит **А** в высшую степень окисления.

Теперь установим природу металла **А**.

На основании условия задачи и схемы можно записать:

$$n(\text{А}) = 1/M(\text{А});$$

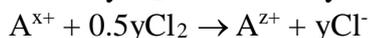
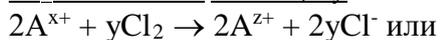
$$n(\text{А}^{x+}) = n(\text{А});$$

где  $n(\text{А}^{x+})$  – количество ионов  $\text{А}^{x+}$ ;

$n(\text{А})$  – количество атомов **А**;

$M(\text{А})$  – молярная масса **А**.

Из схемы реакции окисления-восстановления:



видно, что  $n(\text{Cl}^-) = yn(\text{А}^{x+})$ .

Таким образом,  $n(\text{Cl}^-) = y \cdot n(\text{A})$ , где  $y$  – целое число, равное числу электронов, отдаваемых  $\text{A}^{x+}$  при окислении хлором. С учетом этого получаем выражение:  
 $7.7/143.5 = y/M(\text{A})$  или  $M(\text{A}) = y/0.0537$ . Для  $y = 3$  получаем  $M(\text{A}) = 55.8$  г/моль, т.е. **A – железо Fe.**

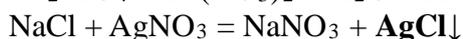
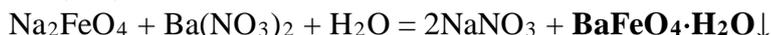
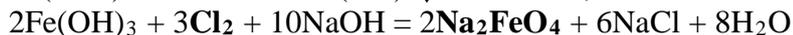
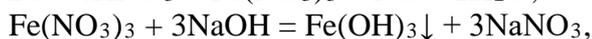
Вычислим число молекул воды в **D – BaFeO<sub>4</sub>·mH<sub>2</sub>O.**

$$n(\text{BaFeO}_4 \cdot m\text{H}_2\text{O}) = n(\text{A}) = 0.05366 \text{ моль};$$

$$M(\text{BaFeO}_4 \cdot m\text{H}_2\text{O}) = 4.924 \text{ г} / 0.0179 \text{ моль} = 275.1 \text{ г/моль}$$

$$275.1 - 137.3 - 55.8 - 16 \cdot 4 = 18, \text{ то есть формула кристаллогидрата } \mathbf{D - BaFeO}_4 \cdot \mathbf{H}_2\mathbf{O}.$$

3.



Разбалловка:

За установление формул веществ A-D	2 б·5 = 10 б
За рассуждения и вычисления	5 б
За правильное написание реакций	2 б·5 = 10 б
<b>Всего</b>	<b>25 б</b>

### Задача 11-2

В методе кулонометрического титрования определяемое вещество – аналит – взаимодействует с реагентом, который образуется в результате электрохимической реакции. В ходе проведения эксперимента устанавливают количество электричества, которое требуется для получения реагента, необходимого для взаимодействия с аналитом. Исходя из полученных данных, вычисляют массу или концентрацию аналита.

Для кулонометрического определения мышьяка (III) к раствору, содержащему арсенит натрия, добавляют кристаллический KI, NaHCO<sub>3</sub> и несколько капель водного раствора крахмала. Затем включают секундомер и начинают электролиз. Окончание реакции устанавливают по появлению характерной темно-синей окраски.

1. Напишите уравнения химических реакций, происходящих в растворе.

2. Рассчитайте массу мышьяка в растворе, если реакция окисления арсенита завершилась через 3 минуты 25 секунд, а сила электрического тока на протяжении всего эксперимента составляла 15 мА.

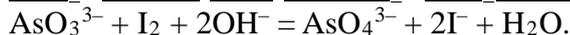
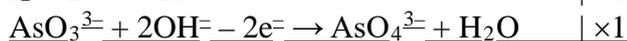
3. С какой целью к раствору добавляют NaHCO<sub>3</sub> и крахмал?

### Решение

1. Во время электролиза на аноде генерируется свободный йод:



В слабощелочной среде арсенит-ионы окисляются йодид-ионами:



2. О содержании мышьяка (III) в анализируемом растворе можно судить по количеству йода, пошедшего на взаимодействие с ним. Это количество можно найти из закона Фарадея:

$$m(\text{I}_2) = M(\text{I}_2) \cdot I \cdot t / (z \cdot F);$$

$$n(\text{I}_2) = m(\text{I}_2) / M(\text{I}_2) = I \cdot t / (z \cdot F) = 15 \cdot 10^{-3} \cdot (3 \cdot 60 + 25) / (2 \cdot 96500) = 1.6 \cdot 10^{-5} \text{ моль}.$$

Из уравнения реакции и химической формулы арсенита видно, что

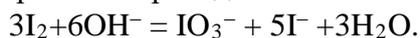
$$n(\text{As}) = n(\text{AsO}_3^{3-}) = n(\text{I}_2) = 1.6 \cdot 10^{-5} \text{ моль}.$$

Отсюда масса мышьяка равна  $m(\text{As}) = 1.6 \cdot 10^{-5} \cdot 74.92 = 0.0012$  г.

$$m(\text{As}) = (74.92 \cdot I \cdot t) / (n \cdot F) = 74.92 \cdot 15 \cdot 10^{-3} \cdot (3 \cdot 60 + 25) / (2 \cdot 96500) = 0.00119 \text{ (г)}.$$

3. NaHCO<sub>3</sub> добавляют для создания слабощелочной среды. В сильнощелочной среде

титрование проводить нельзя из-за диспропорционирования йода:



В кислой среде возможно частичное окисление йода кислородом воздуха с образованием йодид-ионов, что может вносить серьезную систематическую погрешность в результаты анализа.

Крахмал выполняет функцию индикатора. При добавлении йода к анализируемому раствору он взаимодействует с арсенит-ионами. После того, как все арсенит-ионы прореагировали, йод образует комплекс с крахмалом, который придает раствору синее окрашивание и сигнализирует об окончании реакции с мышьяком.

#### Разбалловка:

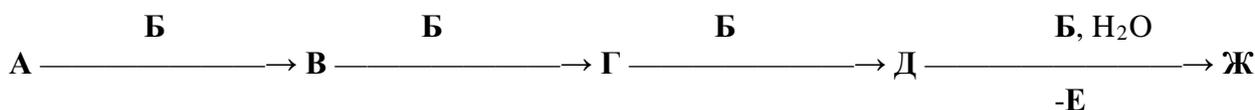
За вычисление массы мышьяка	10 б
За уравнения реакций (образование йода + аналитическая реакция)	5+5 = 10 б
Объяснение причин добавления $\text{NaHCO}_3$ и крахмала	3+2 = 5 б
Всего	25 б

#### Задача 11-3

Одной из характерных реакций карбонильных соединений является реакция альдольной конденсации, включающая катализируемое щелочью нуклеофильное присоединение по карбонильной группе с образованием новой С-С связи согласно схеме:



С помощью такой реакции получают пентаэритрит, применяемый в производстве лаков, красок, пиротехники. Расшифруйте схему синтеза пентаэритрита **Ж** из исходных веществ **А** и **Б**, которые являются ближайшими гомологами друг друга. Все 4 стадии проходят в водном растворе при 15-45°C с катализатором известью. На последней стадии 1 моль воды вступает в реакцию. Других реагентов и продуктов кроме указанных на схеме нет.



Вещество	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж
Плотность паров веществ по газообразному <b>Б</b>	1.467	1.000	2.467	3.467	4.467	1.533	4.533
Выход $\text{Ag}$ в реакции серебряного зеркала (моль на 1 моль вещества)	2	$x$	2	2	2	2	0

Составьте 7 структурных формул органических соединений **А-Ж**.

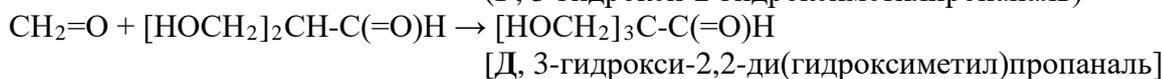
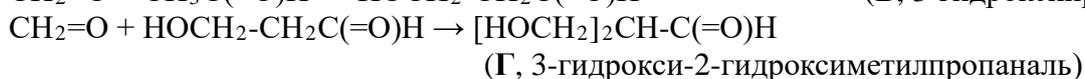
Напишите 4 уравнения реакций по схеме и 1 уравнение реакции серебряного зеркала для **В**. Определите значение  $x$ .

#### Решение

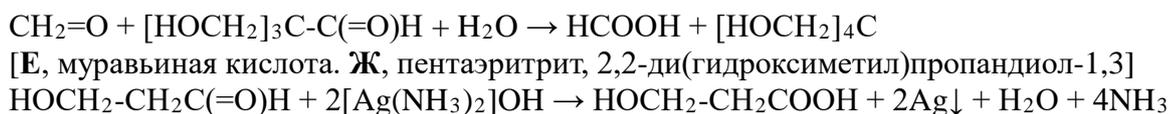
Вычислим молярную массу гомологов А и Б. Обозначим их  $M(\text{А})$  и  $M(\text{Б})$ .  $M(\text{А})=14+M(\text{Б})$ .

По плотности паров  $M(\text{А})/M(\text{Б}) = [14+M(\text{Б})]/M(\text{Б})=1.467$  Получаем  $M(\text{Б})=30$ ,  $M(\text{А})=44$

Значит А – ацетальдегид  $\text{CH}_3\text{C}(=\text{O})\text{H}$ , Б – формальдегид  $\text{CH}_2=\text{O}$ .



На последней стадии протекает окислительно-восстановительная реакция, где формальдегид окисляется до кислоты, а альдегид **Г** восстанавливается до спирта:



Разбалловка:

За определение веществ А-Ж со структурными формулами	14 б
За 5 уравнений реакций	10 б
За значение $x=4$	1 б
Всего	25 б

### Задача 11-4

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,  $Q^{\circ}\text{обр}(\text{NaOH}, \text{p-p})=779$  кДж/моль.

### Решение



Для термохимического уравнения  $Q_1$  определим по теплотам образования NaOH и H<sub>2</sub>O:

$$Q_1 = 2Q^{\circ}\text{обр}(\text{NaOH}, \text{p-p}) - 2Q^{\circ}\text{обр}(\text{H}_2\text{O}, \text{ж}) = \mathbf{986}$$
 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 (14.38х0.626) на 16°C:

$$Q_3(\text{нагрев пентана}) = 16 \cdot 9 \cdot 1.666 = \mathbf{240}$$
 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

### 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 см<sup>3</sup> 5.000 моль/дм<sup>3</sup> 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<sub>a</sub> или M<sub>1/a</sub>F (a – степень окисления металла)

0.125 моль фторид-ионов образует 3.125 г осадка M<sub>1/a</sub>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

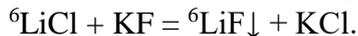
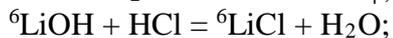
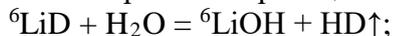
a = 3, то M(M) = 18 – нет такого металла

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

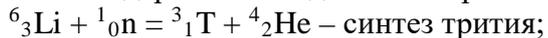
Металлов с молярной массой 12 и 18 г/моль не существует, а магний не проявляет степень окисления +4. Единственным металлом с молярной массой 6 г/моль может быть только литий, точнее, его легкий нуклид <sup>6</sup>Li.

Молярная масса соединения X (Li<sub>b</sub>R или LiR<sub>1/b</sub>, где b – степень окисления R) равна 1 г/0.125 моль = 8 г/моль, а M(R<sub>1/b</sub>) = 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 <sup>6</sup>Li<sup>2</sup>H или <sup>6</sup>LiD.

2. Уравнения реакций:



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

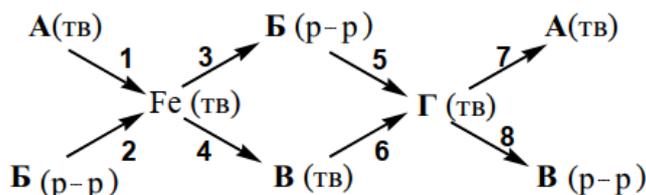


#### **Разбалловка:**

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:

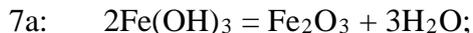
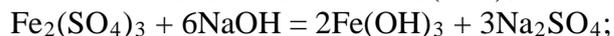
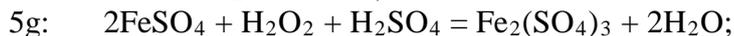


1. Определите зашифрованные вещества А–Г и запишите уравнения химических реакций. Примите во внимание, что каждое из преобразований 1-8 необходимо сопоставить с его описанием, приведенным ниже под одной из букв а-г:
  - а) нагревание вещества на воздухе при высокой температуре;
  - б) нагревание вещества 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 – Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Б – FeSO<sub>4</sub>, В – FeCl<sub>3</sub>, Г – Fe(OH)<sub>3</sub>.



2. Железный купорос или гептагидрат сульфата железа (II) – FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O.

3. Твердый, бурого цвета, нерастворимый в воде немагнитный α-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> встречается в природе в виде минерала гематита, а его гидраты – как минерал лимонит. В свое время магнитный γ-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (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

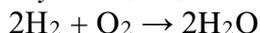
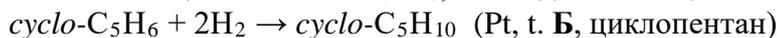
### Задача 10-3

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 CO<sub>2</sub>. 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 FeCl<sub>2</sub>. Определите 7 веществ **A-Ж**, запишите их структурные формулы. Составьте 7 уравнений описанных реакций, в том числе с озоном в виде краткой общей схемы.

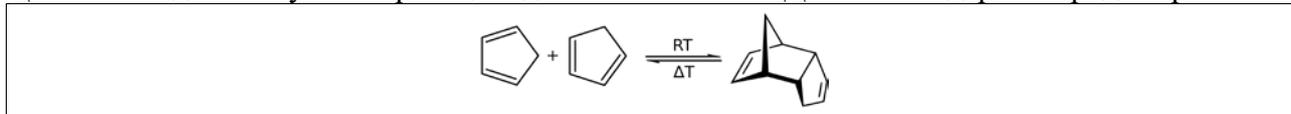
### Решение

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

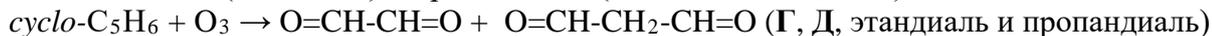
При сгорании смеси 1 моль **B** и 1 моль H<sub>2</sub> образуются 6 моль воды и 5 моль CO<sub>2</sub>. Значит **B** - циклопентан C<sub>5</sub>H<sub>10</sub>, а исходный **A** – циклопентадиен C<sub>5</sub>H<sub>6</sub>.



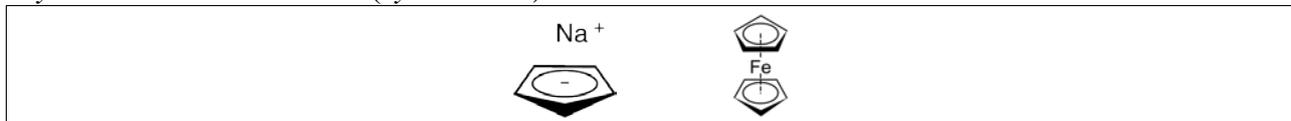
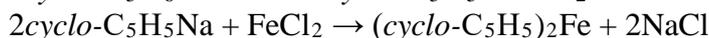
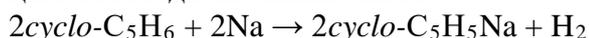
Циклопентадиен вступает в реакцию диенового синтеза Дильса-Альдера с обр. димера **B**:



Озонолиз циклопентадиена по С=С 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 <sub>5</sub> H <sub>6</sub>	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  $\text{H}_2\text{O}$ :

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

**9 класс**

**Задача 9-1**

Концентрированная кислородсодержащая кислота А может использоваться как окислитель ракетного топлива, а ее смеси с концентрированной  $H_2SO_4$  применяются в производстве взрывчатых веществ. При взаимодействии А с металлами выделяется не водород, а соединения элемента Х.

1. Какая кислота обозначена буквой А?
2. Почему для получения взрывчатых веществ применяют смесь А с серной кислотой?
3. Какие продукты могут образовываться при взаимодействии меди с водными растворами А разной концентрации? Напишите соответствующие уравнения реакций.
4. Какие продукты могут образовываться при взаимодействии магния с водными растворами А разной концентрации? Напишите соответствующие уравнения реакций.
5. Укажите, каким образом влияет концентрация кислоты А и природа металла на состав продуктов реакции.

**Решение**

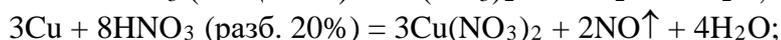
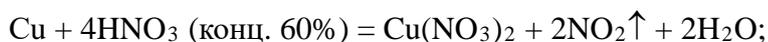
1. А –  $HNO_3$ .

2. Считают, что в смеси кислот устанавливается равновесие:

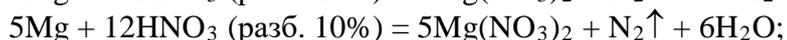
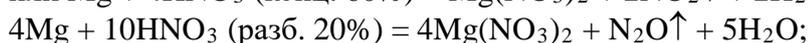
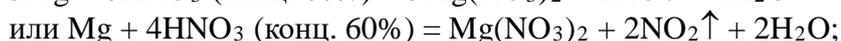
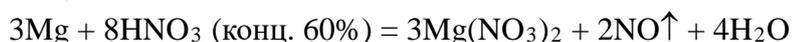


смещенное вправо при избытке  $H_2SO_4$  ( $H_2SO_4$  выступает еще и как водопоглощающее средство; обычно используют смесь азотной и серной кислот 1 : 2 по объему). Именно катион  $NO_2^+$  выступает нитрующим агентом при получении ряда взрывчатых веществ (тротил, тетрил, гексоген).

3.



4.



5. Сущность окисления различных веществ азотной кислотой заключается в том, что ион  $NO_3^-$ , имеющий в своем составе азот в степени окисления +5, в зависимости от условий (концентрации кислоты, природы восстановителя, температуры) может восстанавливаться до различных продуктов:

← увеличение концентрации кислоты



→ увеличение активности металла

Разбалловка:

За формуле вещества А	4 б
За ответ на вопрос 2	5 б
За уравнения реакций с медью (2 реакции)	6 б
За уравнения реакций с магнием (3 реакции с разными продуктами и логичными продуктами)	6 б
За принцип влияния концентрации кислоты и активности металла на продукты реакции	4 б
Всего	25 б

### Задача 9-2

Бинарное соединение **А** некоторого металла нагрели в автоклаве с кислородом при 1000°C до полного образования оксида **Б**, автоклав продули инертным газом и охладили. При этом масса твердого вещества уменьшилась в 1.104 раза. Массовая доля кислорода в оксиде **Б** составляет 10.43%.

1. Определите формулы соединений **А** и **Б**. Ответы подтвердите соответствующими расчетами.
2. Напишите уравнения протекающих реакций.
2. Объясните, зачем автоклав продували инертным газом перед охлаждением.

### Решение

1. Общие формулы веществ **А** и **Б** можно представить следующим образом:

**А** –  $X_y Y_x$ , где  $x$  и  $y$  – валентность  $X$  и  $Y$ ;

**Б** –  $X_2 O_x$  или  $XO_{0.5x}$ .

По содержанию кислорода в оксиде **Б** определяем формулу оксида:

$$\omega(O) = 0.5xM(O)/[M(X) + 0.5xM(O)];$$

$$0.1043 = 8x/[M(X) + 8x];$$

$$M(X) = 8x/0.1043 - 8x = 68.7x;$$

Для  $x = 2$ , получаем  $M(X) = 137.4$  г/моль, т.е.  $X$  – это  $Ba$ .

Формулу вещества **А** можно записать  $Ba_y Y_2$  или  $BaY_{2/y}$ . Из условия задачи можно записать:

$$[M(Ba) + (2/y)M(Y)]/[M(Ba) + M(O)] = 1.104;$$

$$[137.4 + (2/y)M(Y)]/[137.4 + 16] = 1.104;$$

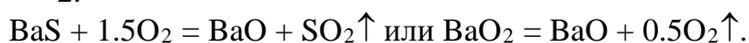
$$[137.4 + (2/y)M(Y)]/153.4 = 1.104;$$

$$(2/y)M(Y) = 32.$$

Для  $y = 2$  получаем  $M(Y) = 32$  г/моль, т.е.  $Y$  – это  $S$ ;  $y = 1$  получаем  $M(Y) = 16$  г/моль, т.е.  $Y$  – это  $O$ .

Таким образом, **А** – это сульфид бария  $BaS$  или пероксид бария  $BaO_2$ , а **Б** – это оксид бария  $BaO$ .

2.



3. Продувка инертным газом предотвращает образование пероксида бария  $BaO_2$ , которое происходит около 500°C.

Разбалловка:

За формулы веществ <b>А</b> и <b>Б</b>	5+5=10 б
За вычисления	5 б
За уравнения реакций	5 б
За объяснение п. 3	5 б
Всего	25 б

### Задача 9-3

Предложите 4 варианта простого или сложного вещества, которое можно растворить в серной кислоте для получения  $HgSO_4$  с обязательным выделением при этом  $SO_2$  и  $H_2O$ . Других продуктов быть не должно. Запишите уравнения реакций, укажите условия протекания.

### Решение



Разбалловка:

За 4 варианта с уравнениями и условиями реакций	25 б
Всего	25 б

### Задача 9-4

Безопасный и быстрый метод разложения натрия водой в лаборатории заключается в том, что в воду наливают инертный углеводородный растворитель, например гептан  $C_7H_{16}$ . 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. Термохимическое уравнение:



Выделяющаяся теплота реакции расходуется на нагревание воды и гептана. Предположим, что для такого опыта в пробирку налили 14.88 мл воды и 14.38 мл пентана  $C_5H_{12}$  (плотность 0.626 г/мл) при  $20^\circ C$  и бросили кусочек 0.23г натрия. За счет выделяющейся теплоты реакции вода и пентан смогут нагреться до  $36^\circ C$ , после этого пентан закипит и будет испаряться, поглощая теплоту. 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.

Определите количество теплоты, выделяющейся в реакции 0.23г натрия с водой.

Определите количество теплоты, расходуемое на нагревание воды, пентана, на испарение пентана, и сделайте вывод о безопасности опыта.

Теплоемкость нагреваемой воды  $C(H_2O, ж) = 4.2 \text{ Дж/г}\cdot\text{град}$ . Теплоемкость нагреваемого пентана  $C(\text{пентан}, ж) = 1.666 \text{ Дж/г}\cdot\text{град}$ . Теплота испарения пентана  $Q_{\text{исп}}(\text{пентан}) = 26.43 \text{ кДж/моль}$ .

### Решение

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

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

Определим расход теплоты на нагревание 14.88г воды на  $16^\circ C$  (с  $20$  до  $36^\circ C$ ):

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

Определим расход теплоты на нагревание всей массы 9г пентана ( $14.38 \times 0.626$ ) на  $16^\circ C$ :

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

Определим расход теплоты на испарение пентана (9г или 0.125 моль) при  $36^\circ C$ :

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

Определим суммарное максимальное поглощение теплоты для безопасного опыта:

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

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

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

### Разбалловка:

За расчет $Q(\text{выдел})$ , $Q(\text{погл})$ , $Q_2$ , $Q_3$ , $Q_4$ по 4 б.	20 б
За вывод об опасности опыта	5 б
Всего	25 б

### 8 класс

#### Задача 8-1

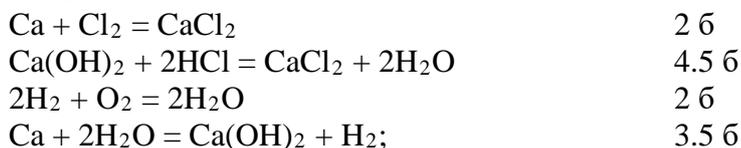
Всем хорошо известна игра «Эрудит», в которой игрок получает случайный набор букв и должен составить из них слова. Поиграем в «Химического эрудита». В этой игре вместо слов будут правильные химические уравнения, а вместо букв – символы химических элементов или чисел, которые могут быть индексами или коэффициентами уравнений. Количество знаков «+», «=», «(» и «)» не ограничивается. Например, уравнение  $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 = 2\text{SO}_3$  состоит из двух символов S, трех O, четырех 2 и одной 3.

Вам выпал следующий набор символов (в скобках указано их число):  
Ca (6), O (6), H (8), Cl (4), 2 (16).

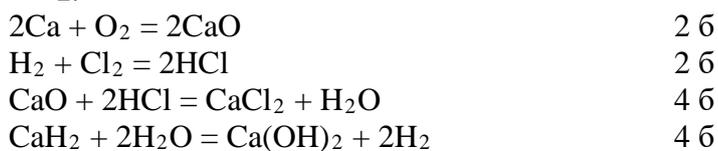
Необходимо составить химические уравнения, используя наибольшее число символов. Приведите два варианта решения этой задачи.

#### Решение

1.



2.



Разбалловка:

За правильное использование каждого символа химического элемента по 0.5 б	$0.5 \times (6+6+8+4) \times 2 = 24$
За правильное использование всех символов цифр	1 б
Всего	25 б

#### Задача 8-2

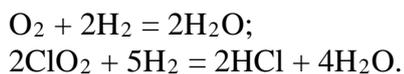
В эвдиометре взорвали смесь газов **A**, **B** и **B** в объемном соотношении  $(\text{A}+\text{B}) : \text{B} = 1 : 2.125$ . После реакции в приборе содержался только водный раствор галогеноводородной кислоты  $\text{HNaI}$  ( $\text{Hal}$  – галоген). Плотности газов **A** и **B**, измеренные при одинаковых условиях, отличаются в 2.11 раза.

1. Определите вещества **A** – **B**. Ответ подтвердите соответствующими рассуждениями.
2. Запишите уравнение протекающих реакций.
3. Установите соотношение количеств веществ **A** и **B** в исходной смеси.
4. Определите массовую долю кислоты  $\text{HNaI}$  в образовавшемся растворе.

#### Решение

1. В состав реагентов должны входить O, H и Hal. Водород может содержаться в соединениях  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{HNaI}$  или входить как простое вещество. Но  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{HNaI}$  являются продуктами реакции. Газ, которого больше всего (**B**), – это  $\text{H}_2$ , поскольку следует удовлетворить такое соотношение между количествами атомов:  $n(\text{Hal}) + 2n(\text{O}) = n(\text{H})$ . Если взять вторым компонентом даже не смесь  $(\text{A}+\text{B})$ , а чистый кислород, то  $\text{H}_2$  окажется в избытке. Поэтому кислород должен входить в состав обоих веществ **A** и **B**. Если одно из них является кислородом, то молярная масса второго составляет 15.2 или 67.5 г/моль. Первый вариант невозможен, второй отвечает  $\text{ClO}_2$ .

2. Уравнения реакций:



3.

Для установления состава смеси составим систему уравнений:

$$n(\text{O}_2) + n(\text{ClO}_2) = 1$$

$$2n(\text{O}_2) + 2.5n(\text{ClO}_2) = 2.125$$

Отсюда  $n(\text{O}_2) = 0.75$  моль,  $n(\text{ClO}_2) = 0.25$  моль, т.е. соотношение  $n(\text{O}_2):n(\text{ClO}_2)=3:1$ .

$$4. n(\text{H}_2\text{O}) = 1.5 + 0.5 = 2 \text{ моль}, n(\text{HCl}) = 0.25 \text{ моль}$$

$$\omega(\text{HCl}) = 36.5 \cdot 0.25 / (36.5 \cdot 0.25 + 18 \cdot 2) = 0.2022 \text{ или } 20.22\%.$$

Разбалловка:

За установление природы веществ А, Б и В	3·3 = 9 б
За уравнения реакций	4·2 = 8 б
За расчет соотношения газов А и Б	4 б
За расчет концентрации кислоты	4 б
Всего	25 б

### Задача 8-3

Выведите формулу минерала малахита по следующим результатам. При прокаливании (200°C) 4.44г его выделилось 3.20г оксида меди(II), 0.36г воды и 0.88г углекислого газа. Раньше прокаливанием в атмосфере СО из малахита выплавляли медь. Напишите уравнения описанных 2 реакций.

### Решение

Вычислим количества веществ продуктов:  $n(\text{CuO})=3.20/80= 0.04$  моль.

$n(\text{H}_2\text{O})=0.36/18=0.02$  моль.  $n(\text{CO}_2)= 0.88/44=0.02$  моль.

Количества моль атомов элементов равны:  $n(\text{Cu})=0.04$  моль,  $n(\text{H})=0.04$  моль,  $n(\text{C})=0.02$  моль,  $n(\text{O})=0.1$  моль. Соотношение  $n(\text{Cu}):n(\text{H}):n(\text{C}):n(\text{O})=4:4:2:10$  или  $2:2:1:5$ . Состав  $\text{Cu}_2\text{H}_2\text{CO}_5$ .

Это гидроксикарбонат меди  $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ .



Разбалловка:

За вывод формулы вещества	9 б
За 2 уравнения реакций по 8 б	16 б
Всего	25 б

### Задача 8-4

При взаимодействии натрия с водой протекает экзотермическая реакция с выделением теплоты. Процесс описывается термохимическим уравнением, включающим исходные вещества и продукты с указанием их агрегатного состояния, а также тепловой эффект:



Это уравнение показывает, что на 2 моль твердого натрия расходуется 2 моль жидкой воды, выделяется 2 моль NaOH в виде раствора и 1 моль газообразного водорода, и при этом выделяется 986 кДж теплоты.

Предположим, что кусочек натрия 2.3г бросили в смесь воды и 7.2 г органического растворителя пентана  $\text{C}_5\text{H}_{12}$ . Весь натрий прореагировал, при этом от разогревания за счет экзотермической реакции пентан нагрелся до температуры кипения 36°C и испарился. Какой объем займет каждый образовавшиеся в опыте газ (в пересчете на нормальные условия)?

Напишите уравнения горения получившихся газов. Вычислите, какое количество теплоты образуется при реакции 2.3г натрия.

**Решение**

Кусочек натрия 2.3г составляет 0.1 моль, значит выделение теплоты составит:

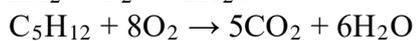
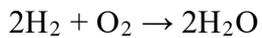
$$Q(\text{выдел}) = 49.3 \text{ кДж.}$$

Определим количества веществ и объемы газообразного водорода и пентана:

$$V(\text{H}_2) = 0.05 \text{ моль} \cdot 22.4 \text{ л/моль} = 1.12 \text{ л.}$$

$$V(\text{C}_5\text{H}_{12}) = 0.1 \text{ моль} \cdot 22.4 \text{ л/моль} = 2.24 \text{ л.}$$

Суммарный объем газов 3.36 л.



Разбалловка:

За расчет $Q(\text{выдел})$	5 б
За расчет объемов 2 газов	10 б
За 2 уравнения	10 б
Всего	25 б