

**Муниципальный этап ВсОШ по химии**  
**10 класс**

*В ходе решения используйте по возможности точные атомные массы!*

**Задача 1**

*75-летию атомной промышленности в России посвящается*

Один из ключевых элементов в устройстве ядерного реактора – жидкий теплоноситель. Он омывает зону, в которой идет цепная реакция деления ядер и образования нейтронов, которые инициируют новые акты цепной реакции, и уносит выделяющееся тепло из нее. В некоторых реакторах в качестве него используют жидкие сплавы металлов. Один из таких сплавов, имеющий название *советский сплав*, содержит натрий, калий и цезий и имеет рекордную для металлических сплавов температуру плавления  $-78^{\circ}\text{C}$ !

Для анализа отобрали в вакуумированную ампулу 3.256 г жидкого советского сплава. Объем газа, выделившегося при растворении всего сплава в воде, равен 741.1 мл (при н.у.). Объем полученного раствора довели до 200 мл. Методом фотометрии пламени определено, что концентрация ионов, окрашивающих пламя в желтый цвет, в растворе равна 0.0849 моль/л.

1. Рассчитайте количества (моль) каждого из щелочных металлов в растворенном образце советского сплава.

2. Рассчитайте массовые доли каждого металла в сплаве.

3. Какие требования должны быть выполнены для хорошего теплоносителя в ядерном реакторе? Отметьте нужные пункты.

- а) высокая теплоемкость;
- б) низкая теплоемкость;
- в) высокая температура кипения;
- г) низкая температура кипения;
- д) высокая теплопроводность;
- е) низкая теплопроводность;
- ж) высокая способность поглощать нейтроны или замедлять их;
- з) низкая способность поглощать нейтроны или замедлять их.

**Задача 2**

*Когда говорят «метод сжигания Либиха», Либиха становится жалко.  
Студенческий фольклор*

Формулы органических и некоторых неорганических соединений исторически принято определять методом сжигания Либиха, в котором массовые доли элементов (углерода, водорода, серы и некоторых других) определяют путем полного сжигания в кислороде определяемого вещества.

При сжигании 1.00 г соединения **A** образуется только 272 мг воды и 679 мл газа (при н.у.) с плотностью по воздуху 2.2.

При сжигании 2.00 г соединения **B** образуется только 1.74 г воды и смесь двух газов, один из которых образовался также и при сжигании **A**. При пропускании смеси в сернокислый раствор  $\text{KMnO}_4$  масса раствора увеличивается на 2.06 г. Поглощение всего оставшегося газа раствором  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  приводит к выпадению осадка, масса которого после высушивания равна 6.45 г.

1. Вычислите массовые доли элементов в **A** и **B**, определите их молекулярные формулы и запишите уравнения реакций их сгорания.

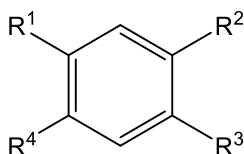
2. Нарисуйте структурную формулу **A**.

3. Нарисуйте две возможные структурные формулы **B**.

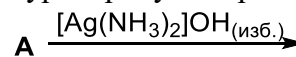
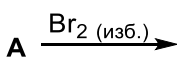
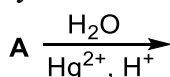
4. Дополнительный опыт показал, что **B** реагирует с натрием с образованием твердого соединения. Напишите уравнение этой реакции и укажите, какая из двух структур соответствует **B**.

### Задача 3

Углеводород **A** содержит в молекуле 1 бензольное кольцо и 2 тройные связи вне кольца, иных циклов и кратных связей **A** не содержит. Всего в бензольном кольце данного соединения 4 заместителя, которые расположены друг относительно друга так, как показано на рисунке. Молекула **A** содержит 10 атомов водорода.



1. Определите молекулярную формулу **A**.
2. Нарисуйте 3 возможные структурные формулы **A**.
3. Нарисуйте для любого из нарисованных Вами изомеров структуры продуктов реакций:



### Задача 4

Два металла (**X** и **Y**), расположенные в разных группах и периодах таблицы Менделеева, названы в честь минералов с очень похожими названиями, употреблявшимися еще до открытия самих элементов: **X** – в честь «белой ...», **Y** – в честь «черной ...» («...» заменяет одно и то же слово). Поэтому и названия самих элементов **X** и **Y** схожи.

«Белая ...» имеет молярную массу 40.3 г/моль и содержит 60.30% **X** по массе, а молярная масса «черной ...» – 86.9 г/моль. Степень окисления **Y** в «черной ...» в два раза выше, чем **X** в «белой ...», причем оба минерала содержат один общий элемент-неметалл.

Сплавлением «черной ...» с «белой ...» можно получить несколько различных соединений, например, **A** и **B**, массовое содержание **X** в которых приведено в таблице ниже.

	<b>A</b>	<b>B</b>
$w(\text{X}), \%$	29.01	44.35

1. Определите формулы «черной ...» и «белой ...», элементы **X** и **Y** и формулы веществ **A** и **B**. Ответ подтвердите расчетом.
2. Запишите уравнения реакций получения **A** и **B** и реакций взаимодействия с раствором  $\text{HBr}$  «черной ...» и «белой ...».
3. Заполните пропуск в названиях минералов одним словом. В какой стране расположена географическая область, давшая название этим минералам?

### Задача 5

Смесь **1** в сосуде объемом 30 л содержит 1 моль газа **A** и 2 моль газа **B**. Плотность Смеси 1 равна 4.0 г/л.

Смесь **2** в сосуде объемом 30 л содержит 2 моль газа **B** и 1 моль газа **Г**. Плотность Смеси 2 равна 3.4 г/л.

Молярная масса газа **A** равна молярной массе **B**, а молярная масса **B** – молярной массе **Г**.

1. Рассчитайте молярные массы газов.
2. Предложите формулы газов **A** и **B**, если **A** – бинарный, а **B** – монозамещенное производное **A**.
3. Предложите формулы газов **B** и **Г**, если они содержат один общий элемент.
4. Запишите уравнение реакции, которая произойдет при нагревании **A** с **Г**.
5. При полимеризации **B** образуется полимер  $(\text{B})_n$ , использующийся как покрытие, понижающее воспламеняемость материалов, и для производства дождевиков. Приведите его структуру и предложите его тривиальное название.

## Решение и система оценивания

### Задача 1

1. Катион, окрашивающий пламя в желтый цвет – это катион натрия. Количество натрия можно рассчитать из концентрации и объема раствора:

$$n(\text{Na}) = c(\text{Na})V_{\text{р-ра}} = 0.01698 \text{ моль.}$$

Рассчитаем количество выделившегося водорода:

$$n(\text{H}_2) = V/V_m = 0.7411 : 22.4 = 0.03308 \text{ моль.}$$

Пусть в сплаве помимо натрия  $x$  моль калия и  $y$  моль цезия. Тогда можно записать два уравнения: для общей массы сплава и для количества вещества выделившегося водорода (с учетом того, что согласно уравнению реакции его количество в 2 раза меньше количества щелочного металла).

$$39.1x + 132.9y + 23 \cdot 0.01698 = 3.256$$

$$(x + y + 0.01698) \cdot 0.5 = 0.03308$$

Решением этой системы является  $x = 0.0391$ ,  $y = 0.0100$  моль.

Итак, образец содержал **0.017 моль Na**, **0.039 моль K**, **0.010 моль Cs**.

2. Масса натрия:  $m_{\text{Na}} = 0.01698 \cdot 23 = 0.391 \text{ г}$

Массовая доля натрия:  $w_{\text{Na}} = 0.391 : 3.256 \cdot 100\% = \mathbf{12\%}$

Масса калия:  $m_{\text{K}} = 0.0391 \cdot 39.1 = 1.529 \text{ г}$

Массовая доля калия:  $w_{\text{K}} = 1.529 : 3.256 \cdot 100\% = \mathbf{47\%}$ .

Массовая доля цезия:  $w_{\text{Cs}} = 100\% - 12\% - 47\% = \mathbf{41\%}$ .

3. Теплоемкость должна быть высокой (во избежание перегрева теплоносителя), теплопроводность – тоже высокой (для высокой скорости теплопереноса и отсутствия локальных перегрева), температура кипения – также высокой (низкокипящий при нагревании будет иметь значительное давление паров), способность поглощать нейтроны – низкой (нейтроны, согласно условию, необходимы для продолжения цепной реакции).

Ответ: **а, в, д, з.**

	Элемент решения	Количество баллов
1	Расчет количества натрия – 2 балла Расчет количества водорода – 2 балла Расчет количества калия и цезия – по 3 балла (если составлена система уравнений, но решена неверно – всего 2 балла из последних 6 баллов)	<b>10 баллов</b>
2	Расчет трех массовых долей – по 2 балла	<b>6 баллов</b>
3	Выбор четырех верных свойств теплоносителя – по 1 баллу (за каждый лишний либо неверный пункт – минус 0.5 балла, в минус за п.3 уйти нельзя)	<b>4 балла</b>
	<b>Итого:</b>	<b>20 баллов</b>

### Задача 2

1. Молярная масса газа, образовавшегося при сжигании **A** равна  $29 \cdot 2.2 = 63.8 \approx 64 \text{ г/моль}$ . Этот газ, поскольку он образуется при сжигании в кислороде, это  $\text{SO}_2$ .

Значит, в исходном соединении точно содержатся сера и водород. Рассчитаем их количества и массы.

$$n(\text{S}) = n(\text{SO}_2) = V : V_m = 0.679 : 22.4 = 0.0303 \text{ моль}$$

$$m(\text{S}) = n(\text{S}) \cdot M(\text{S}) = 0.0303 \cdot 32 = 0.9696 \text{ г}$$

$$n(\text{H}) = 2n(\text{H}_2\text{O}) = 2m(\text{H}_2\text{O})/M(\text{H}_2\text{O}) = 0.0302 \text{ моль}$$

$$m(\text{H}) = n(\text{H})M(\text{H}) = 0.0302 \text{ г}$$

$$m(\text{S}) + m(\text{H}) = 0.9998 \approx 1.00 \text{ г}$$

Значит, исходное соединение – соединение серы с водородом (и кислорода не содержит).

$$w_{\text{S}}(\text{A}) = m(\text{S})/m = \mathbf{96.96\%}$$

$$w_{\text{H}}(\text{A}) = m(\text{H})/m = \mathbf{3.04\%}$$

Количества атомов водорода и серы в **A** почти равны, но соединения HS не существует. **A** – **H<sub>2</sub>S<sub>2</sub>**, дисульфид диводорода (дисульфан).

При сжигании **B** образуется тот же газ, то есть SO<sub>2</sub>, и именно он должен поглощаться раствором KMnO<sub>4</sub>. Значит,  $m(\text{SO}_2) = 2.06 \text{ г}$ .

Другой газ, получающийся при сжигании и дающий осадок с Ca(OH)<sub>2</sub> – это CO<sub>2</sub>, а осадок – CaCO<sub>3</sub>,  $m(\text{CaCO}_3) = 6.45 \text{ г}$ . Значит, **B** точно содержит углерод, серу и водород.

$$n(\text{C}) = n(\text{CaCO}_3) = 6.45 : 100 = 0.0645 \text{ моль}$$

$$m(\text{C}) = 0.0645 \cdot 12 = 0.774 \text{ г}$$

$$n(\text{H}) = 2n(\text{H}_2\text{O}) = 2 \cdot 1.74 : 18 = 0.193 \text{ моль}$$

$$m(\text{H}) = 0.193 \text{ г}$$

$$n(\text{S}) = n(\text{SO}_2) = 2.06 : 64 = 0.0322 \text{ моль}$$

$$m(\text{S}) = 0.0322 \cdot 32 = 1.03 \text{ г}$$

$$m(\text{C}) + m(\text{H}) + m(\text{S}) = 1.997 \text{ г} \approx 2.00 \text{ г}$$

Значит, кислорода **B** не содержит.

$$w_{\text{S}}(\text{B}) = 1.03 : 2 = 0.515 = \mathbf{51.5\%}$$

$$w_{\text{H}}(\text{B}) = 0.193 : 2 = 0.0965 = \mathbf{9.65\%}$$

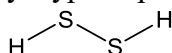
$$w_{\text{C}}(\text{B}) = 0.774 : 2 = 0.387 = \mathbf{38.7\%}$$

Соотношение количеств атомов C, H, S в **B** равно:

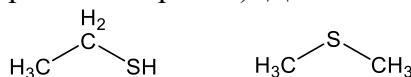
$$n(\text{C}) : n(\text{H}) : n(\text{S}) = 0.0645 : 0.193 : 0.0322 = 2 : 6 : 1.$$

Молекулярная формула **B** – **C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>S**.

2. Структура дисульфана аналогична структуре перекиси водорода.



3. Как и для кислородсодержащих органических соединений, существует изомерия между тиоэфирами и тиолам (как между эфирами и спиртами). Две возможные структуры **B**:



4. Продолжая аналогию с кислородсодержащими соединениями, с щелочными металлами реагируют соединения вида RSH (тиолы), но не тиоэфиры (RSR'). **B** соответствует C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>SH.

Уравнение реакции с натрием:  $2\text{C}_2\text{H}_5\text{SH} + 2\text{Na} \rightarrow 2\text{C}_2\text{H}_5\text{SNa} + \text{H}_2$ .

Система оценивания:

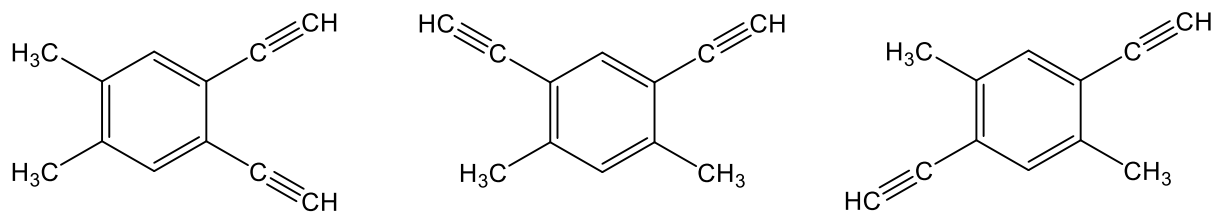
	Элемент решения	Количество баллов
1	Определение качественного состава <b>A</b> (H, S) и <b>B</b> (C, H, S) – по 1 баллу Расчет массовых долей элементов в <b>A</b> и <b>B</b> (5 значений) – по 1 баллу Определение простейшей формулы <b>A</b> или расчет соотношения $n(\text{H}) : n(\text{S})$ – 1 балл Молекулярные формулы <b>A</b> и <b>B</b> – по 1 баллу	<b>10 баллов</b>
2	Структура <b>A</b>	<b>2 балла</b>
3	Две возможные структуры <b>B</b> – по 2 балла	<b>4 балла</b>
4	Выбор верной структуры – 2 балла Уравнение реакции – 2 балла	<b>4 балла</b>
	<b>Итого:</b>	<b>20 баллов</b>

### Задача 3

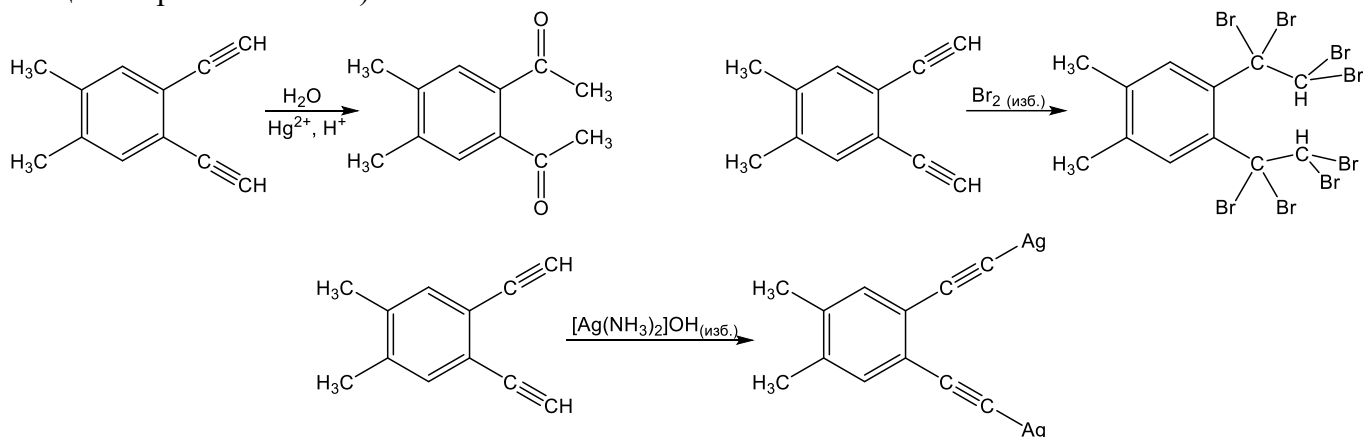
1. По сравнению с общей формулой алканов C<sub>n</sub>H<sub>2n+2</sub> цикл уменьшает количество атомов водорода на 2, три двойные связи в бензольном кольце – еще на 2·3 = 6, каждая тройная связь – еще на 4 атома H. В итоге общая формула любого такого углеводорода – C<sub>n</sub>H<sub>2n+2-16</sub> или C<sub>n</sub>H<sub>2n-14</sub>. Значит, для **A**:  $2n - 14 = 10$ , и  $n = 12$ .

Молекулярная формула **A** – C<sub>12</sub>H<sub>10</sub>.

2. Три возможные структурные формулы вещества **A**:



3. Первая реакция – реакция Кучерова (приводит к образованию тройных связей с образованием кетонов), вторая – присоединение брома к кратным связям (но НЕ замещение в бензольном кольце), третья – образование ацетиленида серебра из терминального алкина (алкина с концевой тройной связью).



Принимаются аналогичные ответы и для двух других изомеров.

Система оценивания:

	Элемент решения	Количество баллов
1	Определение молекулярной формулы А – 2 балла	2 балла
2	3 возможные структуры А – по 3 балла	9 баллов
3	3 продукта реакций – по 3 балла	9 баллов
	<b>Итого:</b>	<b>20 баллов</b>

#### Задача 4

1. Найдем часть молярной массы «Белой ...», приходящуюся на элемент X:

$$w_X \cdot M = 40.3 \cdot 0.603 = 24.3 \text{ г/моль}$$

Очевидно, этот элемент – магний, X = Mg.

На остаток, помимо магния, тогда приходится  $40.3 - 24.3 = 16$  г/моль, что соответствует кислороду, «Белая ...» - это оксид магния, MgO.

Значит, «черная ...» - тоже оксид, содержащий элемент в степени окисления +4, который, в таком случае, имеет формулу YO<sub>2</sub>. Молярная масса Y равна  $86.9 - 16 \cdot 2 = 54.9$  г/моль, тогда Y = Mn. Названия магния и марганца, действительно, похожи (учителя хорошо знакомы с путаницей в школьных работах восьмиклассников, как только задача касается марганца).

«Черная ...» - диоксид марганца, MnO<sub>2</sub>.

Диоксид марганца формально можно отнести к амфотерным (по поведению в реакциях с оксидами активных металлов в расплаве). Поэтому при реакции с MgO MnO<sub>2</sub> может образовать смешанные оксиды (или манганаты(IV) магния) общей формулы Mg<sub>x</sub>Mn<sub>y</sub>O<sub>z</sub>. Исходя из степеней окисления, можно записать:

$$+2x + 4y - 2z = 0, \text{ т.е. } z = x + 2y.$$

Общая формула принимает вид Mg<sub>x</sub>Mn<sub>y</sub>O<sub>x+2y</sub>.

Для соединения А получим уравнение:

$$w(\text{Mg}) = \frac{24.3x}{24.3x + 54.9y + 16(x + 2y)} = 0.2901$$

$$12.61x = 25.21y$$

$$x = 2y$$

Получаем после подстановки Mg<sub>2y</sub>Mn<sub>y</sub>O<sub>4y</sub>, то есть формула А – Mg<sub>2</sub>MnO<sub>4</sub>.

Для соединения Б получим уравнение:

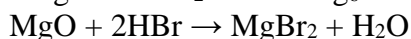
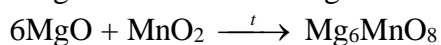
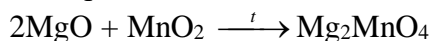
$$w(\text{Mg}) = \frac{24.3x}{24.3x + 54.9y + 16(x + 2y)} = 0.4435$$

$$6.43x = 38.54y$$

$$x = 6y$$

Получаем после подстановки  $\text{Mg}_{6y}\text{Mn}_y\text{O}_{8y}$ , то есть формула **Б** –  $\text{Mg}_6\text{MnO}_8$ .

2. Уравнения реакций:



3. «...» стоит заменить на слово **магнезия**. Названы эти минералы в честь области (нома Магнисия) в **Греции**.

Система оценивания:

	Элемент решения	Количество баллов
1	Элементы X, Y, формулы «черной ...» и «белой ...», веществ А, В – по 2 балла	<b>12 баллов</b>
2	Уравнения 4 реакций – по 1.5 балла	<b>6 баллов</b>
3	Заполненный пропуск (магнезия) и страна (Греция) – по 1 баллу	<b>2 балла</b>
	<b>Итого:</b>	<b>20 баллов</b>

### Задача 5

1. Молярные массы А и В равны, обозначим их молярную массу  $x$  г/моль. Аналогично, молярная масса Б и Г пусть равна  $y$  г/моль.

$$\text{Масса первой смеси равна } 30 \cdot 4 = 120 = x + 2y$$

$$\text{Масса второй смеси равна } 30 \cdot 3.4 = 102 = 2x + y$$

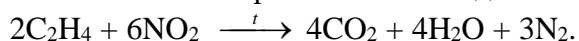
Решение полученной системы уравнения является  $x = 28$  г/моль,  $y = 46$  г/моль.

2. Молярную массу 28 г/моль имеют этилен, молекулярный азот и угарный газ. Говорить о «монозамещенном» производном можно только в случае этилена. Значит, **А** =  $\text{C}_2\text{H}_4$ .

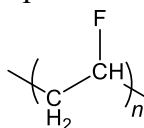
Монозамещенный этилен имеет общую формулу  $\text{C}_2\text{H}_3\text{X}$ . Если молярная масса соединения 46 г/моль, то на X приходится  $46 - 24 - 3 = 19$  г/моль. Простейший вариант такого заместителя – это атом фтора, **Б** =  $\text{C}_2\text{H}_3\text{F}$  (монофторэтилен, винилфторид).

3. Молярную массу 46 г/моль (из достаточно простых газов) имеет диоксид азота. Тогда условию удовлетворяет вариант, **В** =  $\text{N}_2$ , **Г** =  $\text{NO}_2$ .

4. Оксиды азота при нагревании окисляют органические соединения аналогично кислороду:



5. Этот полимер – **поливинилфторид**. Устроен аналогично поливинилхлориду.



Система оценивания:

	Элемент решения	Количество баллов
1	Две молярные массы – по 3 балла	<b>6 баллов</b>
2	Газы А и Б – по 2 балла	<b>4 балла</b>
3	Газы В и Г – по 2 балла	<b>4 балла</b>
4	Уравнение реакции – 2 балла	<b>2 балла</b>
5	Структура и название полимера – по 2 балла	<b>4 балла</b>
	<b>Итого:</b>	<b>20 баллов</b>