

Муниципальный этап ВсОШ по химии
9 класс

В ходе решения используйте по возможности точные атомные массы!

Задача 1

75-летию атомной промышленности в России посвящается

Соединение **X** используется для разделения изотопов элемента **A**, используемого как ядерное топливо в ядерных реакторах. Зависимость плотности газообразного **X** ρ (в г/л) от давления p (в Па) и температуры T (в К) имеет следующий вид:

$$\rho = 4.291 \cdot 10^{-2} \frac{p}{T} + 1.2328 \cdot 10^4 \frac{p}{T^3}.$$

При давлении 0.70 атм и температуре 423 К 1 моль **X** имеет объем 18.78 л.

1. Рассчитайте плотность **X** при 0.70 атм и 423 К и его молярную массу (1 атм – 101325 Па).
2. Определите формулу **X**, если молекула **X** состоит из 7 атомов и содержит всего 146 электронов.
3. Изотоп элемента **A**, используемый в качестве ядерного топлива, содержит в ядре нейтронов на 51 больше, чем протонов. Запишите его обозначение (в виде ${}^x_y\text{A}$).
4. С парами воды вещество **X** образует соединение, молекулы которого состоят из 5 атомов, и газ с молярной массой 20 г/моль. Запишите уравнение этой реакции.

Задача 2

На столе стоят банки, содержащие равные массы (по 100 г) 10% растворов следующих веществ: AgF, $(\text{NH}_4)_2\text{S}$, BaCl_2 , $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$.

1. Дайте современные названия всем 4 веществам.
2. На старой этикетке на одной из банок лаборант сумел прочитать «... ристое», на другой – «... нокислый». Как вы думаете, на каких растворах были эти подписи и как подписи выглядели до того, как частично стерлись?
3. При сливании каких двух растворов выпадет максимальная масса осадка? Рассчитайте ее и запишите уравнение происходящей реакции. Считайте, что все реакции образования осадков (в том числе малорастворимых) идет количественно. Приведите кратко ход ваших рассуждений.
4. Все растворы упарили досуха, а затем прокалили. При этом от первого из растворов ничего не осталось на стадии упаривания. Из второго получилось бесцветное вещество, при прокаливании превратившееся в оранжевое, содержащее металл в двух различных степенях окисления. Из третьего и четвертого – бесцветные вещества, не изменяющиеся при прокаливании. Запишите описанные реакции (2 шт.) и определите состав первого и второго раствора.

Задача 3

В данной задаче описано 5 реакций, в которых образуется одно и то же простое вещество **X**.

1. Галогенид щелочного металла с массовой долей галогена 76.45% при взаимодействии с солью, содержащей тот же щелочной металл, тот же галоген и кислород, в присутствии соляной кислоты образует вещество **X**. Степень окисления галогена в одном из реагентов на 6 больше, чем в другом.
2. При пропускании в раствор бертолетовой соли газа с плотностью по воздуху 4.41 образуется вещество **X**.
3. При нагревании газа с плотностью по воздуху 4.41 образуется **X**.
4. Соединение меди при внесении в концентрированную азотную кислоту образует **X**. При этом в исходном соединении все элементы являются восстановителями в этой реакции.
5. При добавлении к водному раствору вещества, содержащего 90.69% галогена по массе, неполярного органического растворителя (например, гексана) образуется раствор **X** в органическом растворителе. После полного извлечения **X** в органический растворитель в водном растворе остается только галогенид щелочного металла, упоминавшийся в п.1.

Запишите уравнения 5 упомянутых реакций. Там, где необходимо, подтвердите расчетом Ваш ответ.

Задача 4

Газ **А** сгорает зеленым пламенем на воздухе с образованием твердого соединения **Б** и воды в массовом соотношении 1.29 : 1. При взаимодействии **Б** с водой образуется кислота **В**, нагреванием которой до 120°C получают кислоту **Г**, массовые доли водорода и кислорода в которой равны 2.28% и 73.06%.

При нагревании оксида **Д** с **Б** получается соединение **Е**, которое формально является солью кислоты **Г**. При нагревании же 2.804 г **Д** с газом **А** образуется 5.247 г бинарного вещества **Ж**, 0.900 г воды и 8.96 л газа **З** (в пересчете на н.у.) с плотностью по воздуху 0.07. В этой реакции в реакцию вступают 3.36 л **А** (в пересчете на н.у.).

1. Определите формулы веществ **А** – **З**. Там, где необходимо, ответ подтвердите расчетом. В конце Вашего ответа на этот вопрос приведите таблицу:

А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З

2. Запишите уравнения реакций (5 штук).

3. Какую форму имеют молекулы кислоты **Г** – плоскую или объемную?

4. В чем особенность химической связи в молекуле **А**? Опишите в одном-двух предложениях.

Задача 5

Бабушка Аня варила суп. Изначально объем жидкости составлял 3.0 л, а температура – +20°C. В супе содержалось 5 г поваренной соли. Плотность жидкости до кипячения составляла 1.03 г/мл.

После часа кипячения полученный суп имел плотность 1.07 г/мл. По оценкам бабушки Ани, за время кипячения из супа выкипело около 200 г воды.

Для нагрева супа использовался бытовой газ, теплота сгорания которого равна 50 кДж/г, а плотность – 0.71 г/л. Опыт бабушки Ани показывает, что всего 60% выделяющейся при сжигании газа теплоты идет на приготовление супа, теплоемкость супа равна теплоемкости воды (4.2 Дж/(г·°C)), а теплота испарения воды равна 2260 Дж/г.

Рассчитайте:

1. на сколько % уменьшилась масса супа за время кипячения;

2. на сколько % уменьшился объем супа за время кипячения;

3. массовую долю поваренной соли в супе до и после кипячения;

4. количество теплоты, которое выделилось от сгорания газа за время приготовления супа;

5. объем газа, который был затрачен за время приготовления.

Приведите Ваши расчёты.

Решение

Задача 1

1. Плотность X при давлении $p = 0.7 \cdot 101325 = 70927.5$ Па, температуре $T = 423$ К.

$$\rho = 4.291 \cdot 10^{-2} \frac{70927.5}{423} + 1.2328 \cdot 10^4 \frac{70927.5}{423^3} = 18.75 \text{ г/л}$$

Молярный объем по условию равен при этих условиях 18.78 л/моль. Молярная масса равна произведению плотности на молярный объем.

$$M = V_m \rho = 18.75 \cdot 18.78 = 352.1 \text{ г/моль}$$

2. В качестве ядерного топлива используются изотопы урана и, реже, плутония. Пусть формула вещества UY_6 , исходя из того, что молекула состоит из 7 атомов. Тогда

$$238 + 6M(Y) = 352$$

$$M(Y) = 19 \text{ г/моль}, Y = F.$$

Проверим UF_6 на количество электронов в молекуле: в атоме урана их 92, в атоме фтора – 9, значит в молекуле $UF_6 - 92 + 54 = 146$. Значит, UF_6 удовлетворяет всем условиям задачи.

Формула $X - UF_6$.

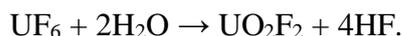
3. В ядре любого изотопа урана 92 протона, значит, в ядре нужного нам изотопа нейтронов $92 + 51 = 143$. Значит, атомная масса изотопа равна $143 + 92 = 235$.

Обозначение изотопа - ${}^{235}_{92}\text{U}$.

4. Газ с молярной массой 20 г/моль – это HF.

При гидролизе UF_6 степени окисления элементов не изменяются, значит, могут образоваться либо оксофториды урана, либо оксид урана(VI). В оксиде урана(VI) UO_3 только 4 атома в формульной единице. Для оксофторидов урана можно предложить два состава, исходя из степеней окисления: UOF_4 и UO_2F_2 . Под условие подходит UO_2F_2 .

Уравнение реакции:



Система оценивания:

	Элемент решения	Количество баллов
1	Расчет плотности – 3 балла Расчет молярной массы – 3 балла	6 балла
2	Формула X – 4 балла	4 балла
3	Расчет атомной массы – 2 балла Обозначение изотопа – 2 балла	4 балла
4	Формула газа (HF) – 2 балла Формула оксофторида (UO_2F_2) – 2 балла Уравнение реакции – 2 балла	6 баллов
	Итого:	20 баллов

Задача 2

1. Названия веществ.

AgF	фторид серебра
$(NH_4)_2S$	сульфид аммония
BaCl ₂	хлорид бария
Pb(NO ₃) ₂	нитрат свинца

Только для серебра и свинца допускается указание степени окисления: фторид серебра(I), нитрат свинца(II).

2. Средний род («...ристой») имеет только серебро. Значит, эта подпись была на **AgF**. Полностью эта подпись должна, в таком случае, выглядеть как «**серебро фтористое**».

Наличие корня «кисл» указывает на кислородсодержащую соль, значит, вторая подпись была на **Pb(NO₃)₂**. Полная подпись: «**свинец азотнокислый**».

3. Рассчитаем количества веществ в каждом растворе. Масса вещества в каждом растворе равна 10 г.

$$n(\text{AgF}) = m : M(\text{AgF}) = 10 : 127 = 0.0789 \text{ моль}$$

$$n((\text{NH}_4)_2\text{S}) = m : M((\text{NH}_4)_2\text{S}) = 10 : 68 = 0.147 \text{ моль}$$

$$n(\text{BaCl}_2) = m : M(\text{BaCl}_2) = 10 : 208 = 0.0481 \text{ моль}$$

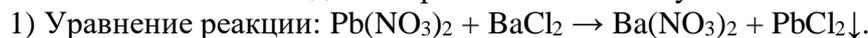
$$n(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = m : M(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = 10 : 331 = 0.0302 \text{ моль}$$

Выберем все пары растворов, из которых выпадает осадок при сливании и рассчитаем массы осадков.

	AgF	(NH ₄) ₂ S	BaCl ₂	Pb(NO ₃) ₂
AgF				
(NH ₄) ₂ S	↓			
BaCl ₂	↓	–		
Pb(NO ₃) ₂	↓	↓	↓	

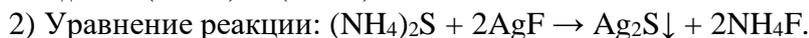
Начнем с солей свинца. Нитрат свинца находится в недостатке по отношению ко всем солям. Значит, все осадки свинца выпадут в количестве 0.0302 моль. Поскольку из трех осадков (PbF₂, PbS, PbCl₂) наибольшая молярная масса у хлорида свинца, то фторид и сульфид можно исключить из рассмотрения.

Рассчитаем массы осадков в трех оставшихся случаях.



Хлорид бария в избытке, значит $n(\text{PbCl}_2) = 0.0302$ моль.

$$m_{\text{осадка}} = n(\text{PbCl}_2) \cdot M(\text{PbCl}_2) = 0.0302 \cdot 278 = 8.40 \text{ г.}$$



По уравнению реакции сульфида аммония в 2 раза меньше, а в имеющихся растворах его почти в 2 раза больше, чем фторида серебра. Значит, сульфид аммония в избытке, расчет ведем по фториду серебра: $n(\text{Ag}_2\text{S}) = 0.5n(\text{AgF}) = 0.0395$ моль.

$$m_{\text{осадка}} = n(\text{Ag}_2\text{S}) \cdot M(\text{Ag}_2\text{S}) = 0.0395 \cdot 248 = 9.80 \text{ г.}$$



На взаимодействие с 0.0481 моль BaCl₂ необходимо 0.0481 · 2 = 0.0962 моль AgF. Значит, фторид серебра в недостатке и расчет ведем по нему.

$$n(\text{AgCl}) = n(\text{AgF}) = 0.0789 \text{ моль}$$

$$n(\text{BaF}_2) = 0.5n(\text{AgF}) = 0.0395 \text{ моль}$$

$$m_{\text{осадка}} = n(\text{AgCl}) \cdot M(\text{AgCl}) + n(\text{BaF}_2) \cdot M(\text{BaF}_2) = \mathbf{18.2 \text{ г.}}$$

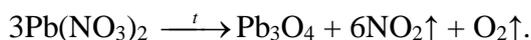
Итак, наибольшая масса осадка выпадает при сливании растворов AgF и BaCl₂.

4. Не осталось твердого остатка от раствора сульфида аммония:



Раствор 1 – (NH₄)₂S.

Из металлов, содержащихся в оставшихся солях, только свинец образует смешанные оксиды (и вообще имеет более одной устойчивой степени окисления). Таким образом, описанная реакция – реакция термического разложения нитрата свинца. Должен образоваться оксид, причем по условию – смешанный. Значит, продукт разложения – свинцовый сурик, Pb₃O₄, находивший применение как оранжево-красный пигмент.



Раствор 2 содержит Pb(NO₃)₂.

Система оценивания:

	Элемент решения	Количество баллов
1	Названия 4 веществ – по 0.5 балла	2 балла
2	Выбор растворов AgF и Pb(NO ₃) ₂ – по 1 баллу Полные устаревшие названия – по 1 баллу	4 балла
3	Расчет количеств солей в каждом растворе – всего 2 балла Выбор пар растворов, дающих осадки – 1 балл Любое строгое обоснование выбора пары растворов, обязательно обоснованное расчетом – 3 балла Уравнение реакции AgF + BaCl ₂ = 1 балл Выбор избытка-недостатка в паре AgF + BaCl ₂ – 1 балл Расчет массы осадка – 2 балла	10 баллов
4	2 реакции и 2 вещества в растворах 1 и 2 – по 1 баллу	4 балла
	Итого:	20 баллов

Задача 3

1. Судя по большим массовым долям галогена в соединениях во всей задаче, галоген – скорее всего, иод. Тогда галогенид щелочного металла – это иодид общего вида MI. Его молярная масса равна $127 : 0.7645 = 166.1$ г/моль, тогда молярная масса щелочного металла равна $166.1 - 127 = 39.1$ г/моль. Отлично подходит калий, галоген – это иод, галогенид щелочного металла – KI.

Он реагирует с соединением, в котором содержатся калий, иод и кислород, причем степень окисления иода равна +5 (на 6 больше, чем -1). Это KIO_3 , иодат калия.

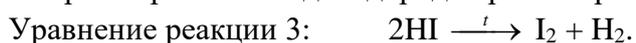


2. Бертолетова соль – хлорат калия, $KClO_3$.

Молярная масса газа равна $4.41 \cdot 29 = 128$ г/моль. С учетом того, что он должен содержать иод, это HI, иодоводород.



3. При нагревании иодоводород обратимо разлагается на простые вещества.

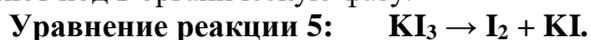


4. Соединение меди должно содержать иод. Оба элемента окисляются в этой реакции, значит иод в соединении имеет степень окисления -1 (т.к. превращается в I_2), а медь - +1 (т.к. имеет только две устойчивые положительные степени окисления: +1 и +2). Значит, это реакция с CuI. Из концентрированной азотной кислоты в качестве продукта ее восстановления выделяется NO_2 .



5. Продукты реакции – I_2 и KI (из п.1). значит, исходное вещество имеет формулу KI_x . Массовая доля калия в нем равна $1 - 0.9069 = 0.0931$, значит, молярная масса соединения равна $39.1 : 0.0931 = 420$ г/моль = $39.1 + 127x$. Получаем $x = 3$, реагентом является KI_3 , трийодид калия.

Органический растворитель реагентом не является, он выполняет роль растворителя, в котором растворимость иода значительно выше, чем в воде, поэтому соединения, легко высвобождающие иод, выделяют иод в органическую фазу.



Система оценивания:

Элемент решения	Количество баллов
Выбор галогена – 1 балл	5 баллов
Выбор щелочного металла – 1 балл	
Определение формулы газа с плотностью по воздуху 4.41 – 1 балл	
Определение формулы соединения меди с иодом – 1 балл	
Определение формулы трийодида калия – 1 балл	
Уравнения 5 реакций – по 3 балла	15 баллов
Итого:	20 баллов

Задача 4

1. Начнем определение с кислоты Г. Найдем соотношение числа атомов водорода и кислорода в ней.

$$n(H) : n(O) = \frac{w(H)}{M(H)} : \frac{w(O)}{M(O)} = \frac{2.28}{1} : \frac{73.06}{16} = 2.28 : 4.57 = 1 : 2$$

Тогда формула кислоты Г, вероятно, имеет вид $HЭO_2$. Молярная масса этого вещества равна $M = 2M(O) : w(O) = 43.8$ г/моль = $1 + 32 + M(Э)$. Получаем $M(Э) = 10.8$ г/моль – это бор, а кислота Г – HBO_2 (метаборная). Действительно, соединения бора горят зеленым пламенем.

Кислота В, при нагревании образующая HBO_2 – борная кислота (или «ортоборная»), В – H_3BO_3 . Значит, В, образующийся при горении на воздухе и реагирующий с водой с образованием H_3BO_3 – это оксид бора, B_2O_3 .

А образует при сгорании оксид бора и воду. Значит, А имеет общую формулу B_xH_y . Рассчитаем соотношение числа атомов бора и водорода по данным о количестве образовавшихся оксида бора и воды.

$$x : y = n(B_2O_3) : n(H_2O) = \frac{m(B_2O_3)}{M(B_2O_3)} : \frac{m(H_2O)}{M(H_2O)} = \frac{1.29}{69.6} : \frac{1}{18} = 0.33 = 1 : 3$$

Простейшая формула А – BH_3 , однако такого соединения не существует. Существует только диборан, А – B_2H_6 .

Рассмотрим взаимодействие Д с В₂Н₆.

$M(\mathbf{З}) = 0.07 \cdot 29 = 2$ г/моль, **З** – водород, Н₂.

$n(\text{H}_2) = 8.96 : 22.4 = 0.4$ моль

$n(\text{H}_2\text{O}) = 0.9 : 18 = 0.05$ моль

$n(\text{В}_2\text{H}_6) = 3.36 : 22.4 = 0.15$ моль

С учетом вычисленных количеств вещества, можно предположить следующий вид уравнения реакции с частью известных коэффициентов:

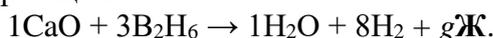


Ж точно содержит бор и металл из соединения Д, значит **Ж** не содержит кислорода, и суммарно в правой части 1 атом кислорода. Тогда в $d\mathbf{Д}$ тоже содержится только 1 атом кислорода, что возможно только если коэффициент перед Д: $d = 1$, а Д имеет формулу М₂О или МО.

Согласно коэффициенту 1 перед Д: $n(\mathbf{Д}) = n(\text{H}_2\text{O}) = 0.05$ моль.

$M(\mathbf{Д}) = 2.804$ г : 0.05 моль = 56.08 г/моль. Под формулу М₂О нет подходящего металла, а под МО подходит кальций. Итак, Д – это СаО.

Вновь перепишем уравнение реакции:

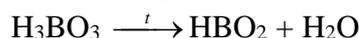
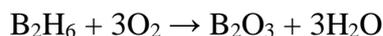


На $g\mathbf{Ж}$ приходится 1 атом Са и 6 атомов бора. Значит, $g = 1$, формула **Ж** – СаВ₆.

Е – кальциевая соль метаборной кислоты, Са(ВО₂)₂.

А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З
В ₂ Н ₆	В ₂ О ₃	Н ₃ ВО ₃	НВО ₂	СаО	Са(ВО ₂) ₂	СаВ ₆	Н ₂

2. Уравнения реакций:



3. В молекуле Н₃ВО₃ (или В(ОН)₃) центральный атом, бор, имеет 3 заместителя и ни одной электронной пары. Значит, фрагмент вокруг центрального атома имеет форму плоского треугольника, молекула **плоская**.

4. Молекула диборана, В₂Н₆, содержит не только обычные ковалентные связи (двухцентровые, то есть образованные парой атомов), но и **трехцентровые**: одна пара электронов делится сразу тремя атомами (1 атом В и 2 атома Н).

Система оценивания:

	Элемент решения	Количество баллов
1	8 формул веществ – по 1.5 балла (без обоснования состава веществ расчетом – по 1 баллу)	12 баллов
2	5 уравнений реакций – по 1 баллу	5 баллов
3	Форма молекулы – 1.5 балла	1.5 балла
4	Упоминание трехцентральной связи – 1.5 балла	1.5 балла
	Итого:	20 баллов

Задача 5

1. Масса супа до кипячения: $m_1 = V_1\rho_1 = 3000$ мл · 1.03 г/мл = 3090 г.

Масса супа в ходе кипячения уменьшилась на 200 г, то есть на $200 : 3090 \cdot 100\% = 6.5\%$.

2. Объем супа до кипячения равен 3000 мл.

Масса супа после кипячения равна $m_2 = 3090 - 200 = 2890$ г.

Объем супа после кипячения $V_2 = m_2 : \rho_2 = 2890 : 1.07 = 2701$ мл.

Объем изменился на $3000 - 2701 = 299$ мл, или $299 : 3000 \cdot 100\% = 10.0\%$.

3. Массовая доля соли до кипячения $w_1 = 5 : 3090 \cdot 100\% = 0.16\%$.

Масса соли в ходе кипячения не изменилась и осталась равна 5 г, изменилась лишь масса супа.

Массовая доля соли после кипячения: $w_2 = 5 : 2890 \cdot 100\% = 0.17\%$.

4. Теплота, необходимая для нагрева супа до 100°C: $Q_1 = cm(T_2 - T_1) = 4.2 \cdot 3090 \cdot (100 - 20) = 1038240$ Дж ≈ 1038.2 кДж.

Теплота, которая пойдет на кипение 200 г воды: $Q_2 = 2260$ Дж/г · 200 г = 452000 Дж = 452 кДж.

Общая теплота, пошедшая на приготовление супа: $Q_3 = 1038.2 + 452.0 = 1490.2$ кДж.

Она составляет только 60% от общей теплоты, выделившейся при сгорании газа, значит всего при сгорании газа выделилось $1490.2 : 0.6 = 2484$ кДж теплоты.

5. Масса потраченного газа равна $m = 2484 \text{ кДж} : 50 \text{ кДж/г} = 49.68$ г.

Объем потраченного газа: $V = m : \rho = 49.68 : 0.71 = 70$ л.

Система оценивания

	Элемент решения	Количество баллов
1	Масса супа до кипячения и уменьшение массы в % - по 1.5 балла	3 балла
2	Масса супа после кипячения, объем после кипячения и уменьшение объема в % - по 1.5 балла	4.5 балла
3	Массовая доля соли до и после кипячения – по 1.5 балла	3 балла
4	Теплота нагрева, теплота кипения, общая теплота приготовления супа, суммарная теплота сгорания газа – по 1.5 балла	6 баллов
5	Расчет массы и объема – суммарно 3.5 балла	3.5 балла
	Итого:	20 баллов