

**Межрегиональные предметные олимпиады КФУ**  
**профиль «Химия»**  
**заключительный этап**  
**2020-2021 учебный год**  
**8 класс**

**Не забывайте приводить *кратко* Ваши расчеты и рассуждения!**

**Задача 1. Чужая химия. (25 баллов)**

Некоторые элементы Периодической системы элементов, даже находясь в разных группах, проявляют неожиданное сходство между собой. Ярким примером этого является химия таллия.

Металлический таллий легко окисляется кислородом воздуха до оксида таллия (I). Аналогично щелочным металлам происходят и его реакция с хлором, реакции его оксида в степени окисления +1 с водой и углекислым газом. При этом гидроксид таллия(I) растворим в воде и является сильным основанием!

Растворимость и даже окраска многих солей таллия(I), однако, чрезвычайно схожа с солями серебра: так при приливании к раствору гидроксида таллия(I) соляной кислоты выпадает осадок, так же, как и при добавлении иодида или сульфида калия.

Сильные окислители, такие как  $\text{KMnO}_4$  в среде серной кислоты, превращают соли таллия(I) (например, сульфат) в соли таллия в высшей степени окисления. Последние являются окислителями, что можно продемонстрировать реакцией с сульфидом натрия, приводящей к смеси двух осадков, один из которых уже был упомянут ранее.

**?1.** Какова электронная конфигурация валентных электронов иона  $\text{Tl}^+$ ?

**?2.** Запишите уравнения реакций с участием таллия и его соединений, описанные в тексте (всего 9 уравнений).

**?3.** Как Вы думаете, какую окраску имеют осадки, выпадающие в реакциях гидроксида таллия с а) соляной кислотой, б) иодидом калия, в) сульфидом калия?

**?4.** Таллий образует смешанные соли со следующими эмпирическими формулами:  $\text{TlSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Tl}_2\text{Cl}_3$ . В них он проявляет только свои типичные степени окисления (+1 и высшую). Для обеих солей найдите соотношение количеств атомов таллия в двух степенях окисления.

## Задача 2. (25 баллов)

Вещество **X** можно получить взаимодействием двух простых веществ. **X** представляет собой сильно пахнущую жидкость, которая при сгорании в кислороде образует только два газообразных вещества, **A** и **Б** (плотность **Б** по **A** равна 1.45).

**A** представляет собой газ без цвета и запаха, содержащийся в воздухе в небольших количествах. При его взаимодействии с раствором малорастворимого гидроксида **B** выпадает белый осадок **Г**, по составу совпадающий с несколькими природными минералами и имеющий молярную массу 100 г/моль.

**Б** имеет неприятный запах. Плотность **Б** при нормальных условиях составляет 2.86 г/л. При его взаимодействии с бурым газом **Д** образуется соединение **Е** и газ **Ж**, имеющий плотность по водороду 15. При пропускании избытка газа **Б** в раствор гидроксида натрия образуется кислая соль **З**, при попытке кристаллизации которой образуется соль **И**, содержащая 24.19% натрия и 42.08% кислорода по массе.

?1. Рассчитайте молярные массы **A**, **Б**, **Ж**.

?2. Определите неизвестные вещества **X**, **A** - **И**.

?3. Приведите названия хотя бы двух минералов, образованных веществом **Г**.

?4. Запишите уравнения описанных в задаче реакций (всего 6 уравнений).

?5. Нарисуйте структурную формулу кислоты, соответствующей аниону соли **И**. В ней есть только двух-, четырех- и шестивалентные атомы (кроме атомов водорода).

## Задача 3. Легкая задача о тяжелых сплавах. (25 баллов)

Тяжелые сплавы – сплавы с высокой плотностью на основе вольфрама. Они служат не только конструкционным материалом, но и для изготовления защитных экранов от радиоактивного излучения.

Один из таких сплавов был получен спеканием порошков 3.870 г вольфрама, 0.301 г никеля и  $2.33 \cdot 10^{-3}$  моль металла **X**. Таким образом было получено  $0.253 \text{ см}^3$  сплава плотностью  $17.00 \text{ г/см}^3$ .

?1. Определите металл **X**. Ответ подтвердите расчетом его молярной массы.

?2. Какова массовая доля **X** в этом сплаве?

Для приготовления другого тяжелого сплава необходимо взять порошки вольфрама, металла **Y** и никеля. Массы вольфрама и **Y** должны соотноситься как 27.8 : 1, а массы никеля и **Y** – как 1 : 1.62. При этом мольная доля (доля от общего количества атомов) металла **Y** в сплаве составляет 8.87%.

?3. Рассчитайте массовый состав сплава (в %).

?4. Определите металл Y.

Тяжелые сплавы благодаря высокой плотности являются эффективными материалами для защиты от радиации. Одной из характеристик защитного материала является слой половинного ослабления – толщина слоя заданного материала, уменьшающая уровень радиации в два раза. Для одного из тяжелых сплавов эта величина составляет 1.50 см, а для свинца – наиболее распространенного защитного материала – 2.28 см.

?5. Во сколько раз ослабляет радиацию слой свинца толщиной 114 см, а во сколько раз – такой же слой из обсуждаемого тяжелого сплава? Постарайтесь представить ответ в стандартном виде (например,  $5.6 \cdot 10^{10}$ ). Приведите Ваши расчеты.

#### Задача 4. Водород и метеозонды. (25 баллов)

Гидрид кальция ( $\text{CaH}_2$ ) – твердое вещество, которое в первой половине двадцатого века под торговым названием «гидролит» использовалось как источник водорода: при реакции с водой он образует большое количество этого газа и гидроксид кальция. В настоящее время это его свойство используется реже, например, для заполнения воздушных шаров, поднимающих метеорологические зонды, которые собирают бесценную информацию о состоянии атмосферы. Сегодня водород доступен и в виде баллонов с газом под давлением.

?1. Запишите уравнение реакции гидрида кальция с водой.

?2. При какой максимальной цене гидрида кальция (в руб./кг) его использование в качестве источника водорода по реакции с водой более выгодно, чем использование водорода из баллонов, если сорокалитровый баллон, в который водород закачан до плотности 14.1 г/л, стоит 3120 рублей? Приведите Ваши расчеты.

Водород значительно легче воздуха, это создает подъемную силу шаров, наполненных водородом. До определенной высоты газообразный водород внутри шара и воздух снаружи находятся при одних и тех же условиях.

Фотография справа сделана с помощью зонда общим весом 1.5 кг в штате Орегон, США. Расстояние до горизонта на этом снимке составляет около 670 км.



?3. Воздушный шар какого объема необходимо надуть водородом при н.у., чтобы поднять в воздух 1.5 кг груза? Молярная масса воздуха 29 г/моль.

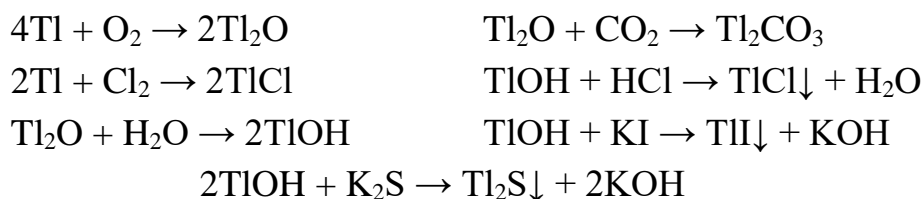
**?4.** С какой высоты сделан этот снимок, если радиус Земли составляет 6371 км? Можно считать, что высота подъема зонда намного меньше радиуса Земли. Приведите Ваши рассуждения и расчеты.

## 8 класс. Решения

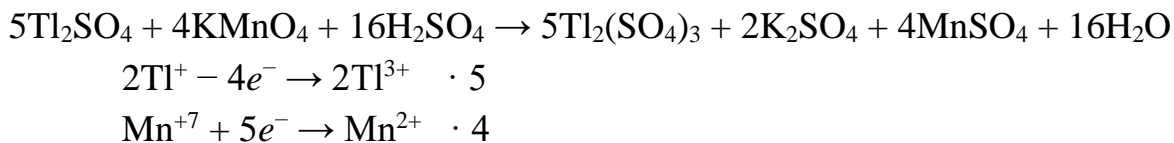
### Задача 1. Чужая химия (25 баллов)

1. Конфигурация валентных электронов  $Tl^+$ :  $6s^2$ . Иные верные фрагменты электронной конфигурации ( $5d^{10}6s^2$  или  $4f^{14}5d^{10}6s^2$ ) оцениваются в половину баллов, т.к. таллий –  $p$ -элемент главной подгруппы III группы, значит  $f$ - и  $d$ -электроны валентными не являются.

2. Уравнения реакций составляются на основании аналогии части реакций с химией щелочных металлов, а части – с химией серебра(I).



Окислительно-восстановительные реакции с участием таллия менее просты. Перманганат калия окисляет таллий(I) до таллия(III). Поскольку реакция проводится в среде кислоты, то образуется также соль калия и марганца(II).



Таллий(III) – сильный окислитель, поэтому получается вновь соединения таллия(I). Из упоминавшихся соединений таллия в этой реакции мог образоваться только сульфид. Тогда второй осадок – это продукт окисления серы в степени окисления  $-2$ , наиболее простой и логичный вариант – это сера.



3. Согласно условию, растворимость и окраска некоторых солей таллия(I) аналогична соединениям серебра. Тогда: а)  $TlCl$  – белый, б)  $TlI$  – желтый, в)  $Tl_2S$  – черный.

4.  $TlSO_4$  запишем как  $Tl_4(SO_4)_4$ , то есть  $Tl_2SO_4 \cdot Tl_2(SO_4)_3$ ,  $n(Tl^+) : n(Tl^{3+}) = 1:1$ .  
 $Tl_2Cl_3$  запишем как  $Tl_4Cl_6$ , то есть  $3TlCl \cdot TlCl_3$ ,  $n(Tl^+) : n(Tl^{3+}) = 3:1$ .

*Система оценивания:*

1. Электронная конфигурация – **2 балла**.
2. 9 реакций по 2 балла – **18 баллов**.
3. Окраска трех осадков по 1 баллу – **3 балла**.
4. Соотношение  $n(Tl^+) : n(Tl^{3+})$  в двух соединениях по 1 баллу – **2 балла**.

## Задача 2. Угадайка (25 баллов)

1. Молярная масса **Б**:  $M(\mathbf{Б}) = \rho \cdot V_m = 2.86 \cdot 22.4 = 64$  г/моль.

Молярная масса **А**:  $M(\mathbf{А}) = M(\mathbf{Б}) : D_{\mathbf{Б}}(\mathbf{А}) = 64 : 1.45 = 44$  г/моль.

Молярная масса **Ж**:  $M(\mathbf{Ж}) = M(\text{H}_2) \cdot D_{\text{H}_2}(\mathbf{Ж}) = 2 \cdot 15 = 30$  г/моль.

2. **А** образуется при горении в кислороде и представляет собой газ без цвета и запаха, содержащийся в воздухе в небольших количествах с молярной массой 44 г/моль. **А** – это  $\text{CO}_2$ . При взаимодействии с гидроксидами **А** образует карбонаты. Из молярной массы **Г** (100 г/моль) вычтем молярную массу карбонат-иона (60 г/моль), в остатке получим 40 г/моль, что соответствует кальцию. Тогда **Г** –  $\text{CaCO}_3$ , **В** –  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (действительно, малорастворимый гидроксид).

**Б** – газообразный оксид с неприятным запахом и молярной массой 64 г/моль. **Б** – это  $\text{SO}_2$ . Бурый газ **Д** – это  $\text{NO}_2$ , тогда газ **Ж** с молярной массой 30 г/моль – это  $\text{NO}$ . По реакции  $\text{SO}_2 + \text{NO}_2 \rightarrow \text{NO} + \mathbf{Е}$ , очевидно, что **Е** –  $\text{SO}_3$ .

Кислая соль **З**, образующаяся из  $\text{SO}_2$  и  $\text{NaOH}$  – это гидросульфит натрия,  $\text{NaHSO}_3$ . Рассчитаем соотношение  $\text{Na} : \text{O}$  в **И**.

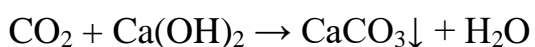
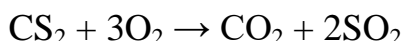
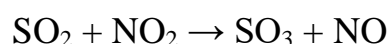
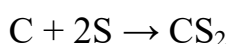
$$n(\text{Na}) : n(\text{O}) = \frac{w(\text{Na})}{A_r(\text{Na})} : \frac{w(\text{O})}{A_r(\text{O})} = \frac{24.19}{23} : \frac{42.08}{16} = 1.052 : 2.630 = 2 : 5$$

Исходя из двух атомов натрия,  $M(\mathbf{И}) = 2 \cdot 23 : 0.2419 = 190$  г/моль. За вычетом 2 атомов натрия (46 г/моль) и 5 атомов кислорода (80 г/моль), остается 64 г/моль, что соответствует 2 атомам серы. Тогда **И** –  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  (пиросульфит натрия).

**Х** образуется из двух простых веществ, значит является бинарным. При горении **Х** образует  $\text{CO}_2$  и  $\text{SO}_2$ , значит **Х** – соединение углерода с серой. В соответствии с типичными валентностями и степенями окисления, **Х** –  $\text{CS}_2$ .

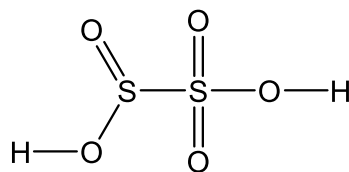
3. Карбонат кальция встречается в виде минералов мел, кальцит, арагонит, исландский шпат.

4. Уравнения реакций:



5. Структурная формула, согласно условию, включает четырехвалентные и шестивалентные атомы (это могут быть только атомы серы, по одному), а также

двухвалентные атомы (очевидно, кислорода). В соответствии с формулой кислоты  $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_5$  получаем следующую структуру:



*Система оценивания:*

1. Молярные массы **А**, **Б**, **Ж** по 1 баллу – **3 балла**.
2. Соединения **А** – **З** по 1 баллу, **И** и **Х** по 1.5 балла – **11 баллов**.
3. 2 названия по 1 баллу – **2 балла**.
4. 6 реакций по 1 баллу – **6 баллов**.
5. Структурная формула – **3 балла**.

### Задача 3. Легкая задача о тяжелых сплавах (25 баллов)

1. Общая масса сплава равна  $m = V\rho = 0.253 \cdot 17 = 4.301$  г

Масса металла **Х** в сплаве равна  $4.301 - 0.301 - 3.870 = 0.130$  г

Молярная масса **Х** равна  $M = m : n = 0.130 : 2.33 \cdot 10^{-3} = 55.8$  г/моль.

**Х** – это Fe, железо.

2. Массовая доля **Х**:

$$w(\mathbf{X}) = \frac{m(\mathbf{X})}{m_{\text{сплава}}} = \frac{0.130}{4.301} = 3.0\%$$

3. На 1 г никеля в сплаве приходится 1.62 г **У**, в значит,  $1.62 \cdot 27.8 = 45.036$  г вольфрама. Общая масса сплава равна  $1 + 1.62 + 45.036 = 47.656$  г.

$$w(\mathbf{W}) = 45.036 : 47.656 = 94.5\%$$

$$w(\mathbf{Y}) = 1.62 : 47.656 = 3.40\%$$

$$w(\mathbf{Ni}) = 100\% - 94.5\% - 3.4\% = 2.1\%.$$

4. Рассмотрим порцию сплава массой 100 г.

$$m(\mathbf{W}) = 94.5 \text{ г}, n(\mathbf{W}) = 94.5 : 184 = 0.514 \text{ моль}$$

$$m(\mathbf{Ni}) = 2.1 \text{ г}, n(\mathbf{Ni}) = 2.1 : 59 = 0.0356 \text{ моль}$$

На **W** и **Ni** приходится  $100\% - 8.87\% = 91.13\%$  от общего количества всех атомов. То есть в 100 г сплава всего  $(0.514 + 0.0356) : 0.9113 = 0.6031$  моль атомов трех металлов. На оставшиеся 3.4 г **У** тогда приходится  $0.6031 - 0.0356 - 0.514$

= 0.0535 моль. То есть молярная масса  $Y$  равна  $3.4 : 0.0535 = 63.6$  г/моль,  $Y$  – это медь,  $Cu$ .

5. Слой защиты можно представить состоящим из  $114 : 1.5 = 76$  вплотную стоящих слоев половинного ослабления. Каждый такой слой ослабляет радиацию в 2 раза, то есть 76 слоев ослабят ее в  $2^{76}$  раз. Для примерной оценки можно воспользоваться приблизительным равенством  $2^{10} \approx 10^3$ : тогда  $2^{76} \approx 2^6 \cdot 10^{21} = 6.4 \cdot 10^{22}$  (точное значение  $2^{76} = 7.6 \cdot 10^{22}$ ).

Для свинца:  $114 : 2.28 = 50$  слоев, радиация ослабляется в  $2^{50} \approx 10^{15}$  раз (точное значение  $2^{50} = 1.1 \cdot 10^{15}$ ). Точные и приближенные значения принимаются как верные в обоих случаях. Ответ в виде степени двойки оценивается в половину баллов.

*Система оценивания:*

1. Расчет молярной массы  $X$  4 балла, элемент  $X$  1 балл – **5 баллов**.
2. Расчет массовой доли  $X$  – **2 балла**.
3. Доли  $W$ ,  $Ni$ ,  $Y$  по 2 балла – **6 баллов**.
4. Расчет молярной массы  $Y$  5 баллов, элемент  $Y$  1 балл – **6 баллов**.
5. Значения для двух сплавов по 3 балла – **6 баллов**.

#### **Задача 4. Водород и метеозонды (25 баллов)**

1. Уравнение реакции:  $CaH_2 + 2H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + 2H_2\uparrow$

2. Масса водорода в баллоне равна  $m = V\rho = 40 \cdot 14.1 = 564$  г

Количество водорода в баллоне:  $n = m : M = 564 : 2 = 282$  моль

Для получения этого количества водорода необходимо  $282/2 = 141$  моль гидроксида кальция.

Масса  $CaH_2$ :  $m = nM = 141 \cdot 42 = 5922$  г = 5.922 кг

Такая масса  $CaH_2$  выделяет водород, который при использовании баллона с газом стоил бы 3120 рублей. Значит, максимальная цена  $CaH_2$ , при которой его использование выгодно, равна  $3120 : 5.922 = 527$  руб./кг.

3. Плотность воздуха при н.у. равна  $\rho_{\text{возд}} = M : V_m = 29 : 22.4 = 1.29$  г/л.

Плотность водорода при н.у. рассчитывается аналогично:  $\rho = 0.089$  г/л.

Сила тяжести должна быть равна силе Архимеда. Воспользуемся этим условием.

$$F_A = F_T$$



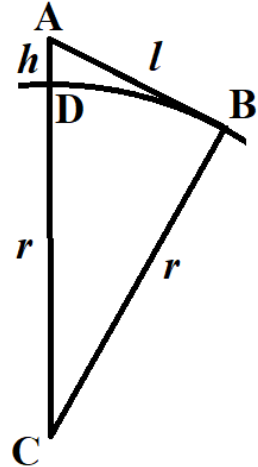
$$V\rho_{\text{возд}}g = mg$$

$$V\rho_{\text{возд}} = m = m(\text{H}_2) + m(\text{груза}) = V\rho + m(\text{груза})$$

$$V = \frac{m(\text{груза})}{\rho_{\text{возд}} - \rho} = \frac{1500}{1.29 - 0.089} = 1249 \text{ л} \approx 1.25 \text{ м}^3$$

Без учета массы водорода в шаре (без слагаемого  $V\rho$ ) получается  $1163 \text{ л} \approx 1.16 \text{ м}^3$  (в случае такого решения выставляется на 1.5 балла меньше).

4. Сделаем рисунок: в точке А расположен метеозонд, точка В обозначает горизонт,  $AB = l = 670 \text{ км}$ . Расстояние AD до поверхности Земли обозначим  $h$ , центр Земли – С, радиус Земли  $r = CD = CB = 6371 \text{ км}$ . Поскольку АВ – касательная, то  $\angle ABC$  – прямой. Применим теорему Пифагора к треугольнику ABC.



$$AB^2 + BC^2 = AC^2$$

$$l^2 + r^2 = (r + h)^2$$

$$l^2 + r^2 = r^2 + 2rh + h^2$$

$$l^2 = 2rh + h^2$$

С учетом замечания о том, что высота подъема мала по сравнению с радиусом Земли, слагаемым  $h^2$  можно пренебречь по сравнению с  $2rh$ .

$$l^2 \approx 2rh$$

$$h = \frac{l^2}{2r} = \frac{670^2}{2 \cdot 6371} = 35 \text{ км}$$

Решение квадратного уравнения без приближений дает тот же ответ (с точностью до целых) и, конечно, такое решение также считается верным.

*Система оценивания:*

1. Уравнение реакции – **2 балла**.

2. Расчет массы водорода, количества водорода, количества гидрида кальция, массы гидрида кальция и цены гидрида кальция по 1.5 балла – **7.5 баллов**.

3. Расчет плотности воздуха и водорода, запись равенства сил, выражение сил, упрощение выражения, расчет объема по 1.5 балла – **9 баллов**.

4. Идея о прямом угле в треугольнике, запись теоремы Пифагора, составление уравнения относительно  $h$  и известных величин по 1.5 балла, расчет значения  $h$  2 балла – **6.5 баллов**.