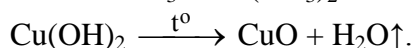
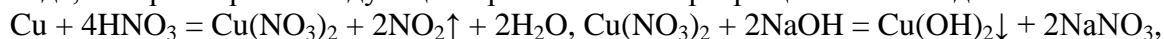
**Задание 1.** (Авторы Сапарбаев Э.С., Емельянов В.А.).

1. В условии задачи сказано, что обязательный компонент бронзы это медь. Медь в азотной кислоте растворяется, а при обработке полученного раствора щелочью дает голубой осадок гидроксида, который при последующем прокаливании превращается в оксид:



Количество исходной меди равняется количеству образовавшегося оксида: $n(\text{Cu}) = n(\text{CuO})$, следовательно, $m(\text{Cu}) = (M_r(\text{Cu}) \cdot m(\text{CuO})) / M_r(\text{CuO}) = 63,55 \cdot 6,053 / 79,55 = 4,836$ г.

$$\omega(\text{Cu}) = 4,836 / 4,986 = 0,9699 \text{ или } 96,99\%, \text{ металл А - медь.}$$

При растворении сплава в концентрированной азотной кислоте один из металлов превратился в белый осадок, прокалив который, Андрей получил оксид массой 0,032 г. По отношению к исходной навеске это составляет $0,032 / 4,986 = 0,00642$ или 0,642 %. Следовательно, это тот металл, доля которого в сплаве составляла 0,5 % (металл **В**). Значит, самого металла было в сплаве $0,005 \cdot 4,986 = 0,025$ г. Количество металла, входившего в состав сплава, равно количеству металла, вошедшего в состав оксида. Пусть формула оксида B_2O_x , где 2 - степень окисления кислорода, а x - степень окисления металла, тогда схема превращения $2\text{B} \rightarrow \text{B}_2\text{O}_x$. $n(\text{B}) = 2n(\text{B}_2\text{O}_x)$, $n(\text{B}) = 0,025 / M_r(\text{B})$, $n(\text{B}_2\text{O}_x) = 0,032 / (2 \cdot M_r(\text{B}) + x \cdot 16)$.

Составляем уравнение $0,025 / M_r(\text{B}) = 2 \cdot 0,032 / (2 \cdot M_r(\text{B}) + x \cdot 16)$, откуда $M_r(\text{B}) = 29x$. Поскольку этого металла было очень мало и для массы оксида приведены всего 2 значащие цифры (0,032 г = $3,2 \cdot 10^{-2}$ г), мы получим молярную массу металла с очень низкой точностью. При $x = 4$ получается $M_r(\text{B}) = 116$, что относительно близко к молярной массе олова.

Действительно, олово – единственный металл из перечисленных, способный давать осадок в реакции с HNO_3 : $\text{Sn} + 4\text{HNO}_3 + (x-2)\text{H}_2\text{O} = \text{SnO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O} (\text{Sn}(\text{OH})_4)\downarrow + 4\text{NO}_2\uparrow$, $\text{SnO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{t^\circ} \text{SnO}_2 + x\text{H}_2\text{O}\uparrow$.

$$\text{Проведем проверку: } m(\text{Sn}) = (M_r(\text{Sn}) \cdot m(\text{SnO}_2)) / M_r(\text{SnO}_2) = 0,032 \cdot 118,71 / 150,71 = 0,025 \text{ г.}$$

$$\omega(\text{Sn}) = 0,025 / 4,986 = 0,005 \text{ или } 0,5\%, \text{ металл В - олово.}$$

Поскольку в осадках третьего металла не оказалось, это значит, что гидроксид третьего металла амфотерен, и растворяется в щелочи. Из перечисленных металлов только гидроксиды алюминия, цинка и бериллия способны растворяться в растворе гидроксида натрия.

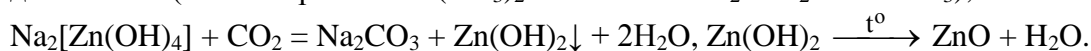
$$\text{Масса неизвестного металла В составляет } m(\text{B}) = 0,025 \cdot 4,986 = 0,1247 \text{ г.}$$

После пропуска углекислого газа через раствор, очищенный от SnO_2 и $\text{Cu}(\text{OH})_2$, выпадает осадок гидроксида амфотерного металла (Al, Zn или Be). А после прокаливании гидроксид амфотерного металла превратится в оксид, т.е. $2\text{B} \rightarrow \text{B}_2\text{O}_x$, где 2 - степень окисления кислорода, а x - степень окисления металла.

$$n(\text{B}) = 2n(\text{B}_2\text{O}_x), n(\text{B}) = 0,1247 / M_r(\text{B}), n(\text{B}_2\text{O}_x) = 0,155 / (2 \cdot M_r(\text{B}) + x \cdot 16).$$

Составляем уравнение: $0,1247 / M_r(\text{B}) = 2 \cdot 0,155 / (2 \cdot M_r(\text{B}) + x \cdot 16)$, $1,995x = 0,0606M_r(\text{B})$, откуда $M_r(\text{B}) = 32,9x$, где x - степени окисления металла. Единственное разумное решение получается при $x = 2$, $M_r(\text{B}) = 63,8 \approx 63,4$ г/моль, металл **Б** - цинк.

Уравнения реакций, в которых участвовал цинк: $\text{Zn} + 4\text{HNO}_3 = \text{Zn}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NO}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$ (можно принять и N_2 и N_2O); $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 + 4\text{NaOH} = \text{Na}_2[\text{Zn}(\text{OH})_4] + 2\text{NaNO}_3$ или те же реакции последовательно (можно принять $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 + 4\text{NaOH} = \text{Na}_2\text{ZnO}_2 + 2\text{NaNO}_3$);



2. Плотность сплава медали будем искать по формуле $\rho(\text{сплава}) = m/V(\text{медали})$.

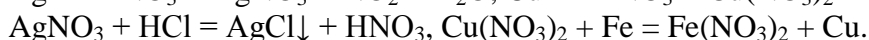
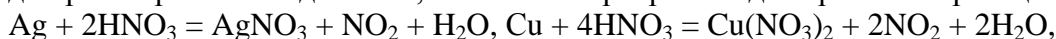
$$V(\text{медали}) = S(\text{медали}) \cdot h(\text{медали}), S(\text{медали}) = \pi R^2, R = d/2.$$

$$\rho = 4m / \pi d^2 h = 4 \cdot 412 / (3,14 \cdot (8,5)^2 \cdot 0,7) = 10,38 \text{ г/см}^3.$$

$$\rho(\text{сплава}) = \omega(\text{Ag}) \cdot \rho(\text{Ag}) + \omega(\text{Cu}) \cdot \rho(\text{Cu}), \omega(\text{Ag}) = 1 - \omega(\text{Cu}).$$

$$10,38 = 10,5 \cdot (1 - \omega(\text{Cu})) + 8,9 \cdot \omega(\text{Cu}), \omega(\text{Cu}) = 0,075 \text{ или } 7,5 \%, \omega(\text{Ag}) = 0,925 \text{ или } 92,5 \%$$

3. Масса не растворившегося в азотной кислоте металла является массой золота, содержащегося в сплаве. $m(\text{Au}) = 0,065$ г. Белый творожистый осадок, образующийся при действии соляной кислоты, - хлорид серебра, а бледно-синий раствор, выделяющий красный налет на опущенный в него гвоздь - раствор солей меди. Итак, металлы - серебро и медь. Уравнения реакций:



Отсюда можем рассчитать массу серебра в сплаве: $m(\text{Ag}) = m(\text{AgCl}) \cdot M_r(\text{Ag}) / M_r(\text{AgCl})$.

$$m(\text{Ag}) = 6,145 \cdot 107,87 / 143,32 = 4,625 \text{ г. Остальное - медь: } m(\text{Cu}) = m(\text{образца}) - (m(\text{Au}) + m(\text{Ag})).$$

$$m(\text{Cu}) = 5,000 - (0,065 + 4,625) = 0,310 \text{ г. } \omega(\text{Au}) = (0,065 / 5,000) = 0,013 \text{ или } 1,3 \%$$

$$\omega(\text{Ag}) = (4,625 / 5,000) = 0,925 \text{ или } 92,5 \%. \omega(\text{Cu}) = (0,310 / 5,000) = 0,062 \text{ или } 6,2 \%$$

4. Девиз - быстрее, выше, сильнее. Россия привезла из Лондона 24 золотые медали.

Система оценивания:

1. Металлы 1 б * 3, уравнения реакций 1 б * 9

$$3 \text{ б} + 9 \text{ б} = 12 \text{ б};$$

2. Плотность сплава 1 б, массовые доли 2 б

$$1 \text{ б} + 2 \text{ б} = 3 \text{ б};$$

3. Металлы 1 б * 2, уравнения реакций 1 б * 3 (медь уже была), массовые доли 2 б

$$2 \text{ б} + 3 \text{ б} + 2 \text{ б} = 7 \text{ б};$$

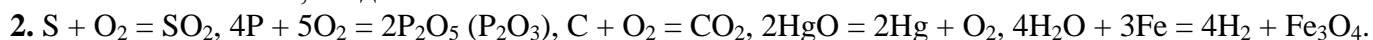
4. Девиз 1,5 б, точное число 1,5 б (22-26 1 б, 19-29 0,5 б другое число 0 б)

$$1,5 \text{ б} + 1,5 \text{ б} = 3 \text{ б};$$

$$\text{Итого } 25 \text{ б.}$$

Задание 2. (Авторы Аладинская В.И., Емельянов В.А.).

1. Оксид ртути(II) (окись ртути), оксид железа(II, III) (закись-окись железа), азот, кислород, водород. Химический элемент - совокупность атомов с одинаковым зарядом ядра. Химическое соединение - вещество, состоящее из химически связанных атомов двух или нескольких элементов. Некоторые простые вещества также могут рассматриваться как химические соединения, если их молекулы состоят из атомов, соединенных ковалентной связью.



3. Могут гореть Na, Mg, не могут N_2 , Ar, I_2 . Уравнения реакций: $2\text{Na} + \text{O}_2 = \text{Na}_2\text{O}_2$, $2\text{Mg} + \text{O}_2 = 2\text{MgO}$.

4. Уравнение реакции: $4\text{X} + 3\text{O}_2 = 2\text{X}_2\text{O}_3$. Составим уравнение для расчета: $5,4/4x = 10,2/(4x+96)$, откуда $21,6x + 518,4 = 40,8x$, $x = 27$. Элемент X - алюминий

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 5. | к | и | с | л | о | р | о | д | | | | | | | | | | | |
| | | | | а | л | ю | м | и | н | и | й | | | | | | | | |
| | | | | в | о | д | о | р | о | д | | | | | | | | | |
| | | | | у | г | л | е | р | о | д | | | | | | | | | |
| | | | н | а | т | р | и | й | | | | | | | | | | | |
| | | | а | з | о | т | | | | | | | | | | | | | |
| р | т | у | т | ь | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | с | е | р | а | | | | | | | | | | | | | |

Ученый - Антуан Лоран Лавуазье.

Система оценивания:

1. Названия по 0,5 б * 5, определения по 2 б * 2

$$2,5 \text{ б.} + 4 \text{ б} = 6,5 \text{ баллов}$$

2. Уравнения реакций 1 б * 5

$$5 \text{ баллов}$$

3. Указание могут/не могут гореть по 0,5 б * 5, уравнения реакций 1 б * 2

$$2,5 \text{ б.} + 2 \text{ б} = 4,5 \text{ балла}$$

4. Элемент X 2,5 б, уравнение реакции 1 б

$$2,5 \text{ б} + 1 \text{ б} = 3,5 \text{ балла}$$

5. Названия по 0,5 б * 8, Антуан Лоран Лавуазье 0,5 б * 3

$$4 \text{ б} + 1,5 \text{ б} = 5,5 \text{ баллов}$$

$$\text{Итого } 25 \text{ баллов}$$

Задание 3. (Авторы Задесенец А.В., Емельянов В.А.).

1. В задаче описаны элементы главной подгруппы VII группы ПС (группы VIIA или 17). Общее название этой подгруппы элементов галогены, что означает «рождающие соли».

2. Хлорос (χλωρός) – зеленый, иодэс (ιώδης) – фиолетовый, похожий на фиалку (по одной, не очень распространенной версии, «подобный ржавчине»), бромос (βρῶμος) – зловонный, фторос (φθόρος) – разрушение. Для фтора в некоторых языках применяются производные от названия fluo-um – текучий.

3. Безусловно, речь идет о поваренной соли: NaCl - хлорид натрия.

4. Самые известные фторидные минералы: CaF₂ – флюорит (плавиковый шпат), Ca₅(PO₄)₃F – фторапатит; хлоридные: NaCl – галит (каменная соль), KCl·NaCl – сильвинит, KCl·MgCl₂ – карналлит. Бром и иод добывают из морской воды.

5. Еще один галоген – астат, не имеющий стабильных изотопов. Все его изотопы неустойчивы (радиоактивны), вследствие чего он не накапливается в природе.

6. В полипропиленовой ампуле должен находиться фтор, поскольку со стеклом он реагирует, разрушая его.

7. а) в 1-й и 3-й ампулах содержимое полностью газообразное – следовательно, там фтор и хлор.

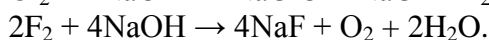
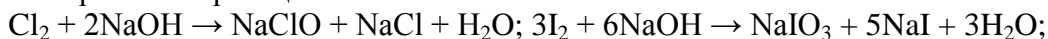
б) элементы из 2-й и 3-й ампул – F и I.

Таким образом, в 3-й ампуле фтор, в 1-й – хлор, во 2-й – иод, в 4-й – бром.

8. Понятно, что плотность больше, чем у воды (1 г/см³), имеют только бром и иод, а никак не газы. У твердого иода, имеющего более тяжелые атомы, плотность должна быть больше, чем у жидкого брома. $m(\text{Br}_2) = V \cdot \rho = 5 \cdot 3,12 = 15,6 \text{ г}$, $m(\text{I}_2) = 5 \cdot 4,93 = 24,65 \text{ г}$. $v(\text{Br}_2) = m/M = 15,6/160 = 0,0975$ моля, $v(\text{I}_2) = 24,65/254 = 0,0970$ моля. Для Cl₂ и F₂: $v = 5 \cdot 10^{-3}/22,4 = 2,23 \cdot 10^{-4}$ моль. $m(\text{Cl}_2) = v \cdot M = 2,23 \cdot 10^{-4} \cdot 71 \approx 0,016 \text{ г}$, $m(\text{F}_2) = 2,23 \cdot 10^{-4} \cdot 38 \approx 0,0085 \text{ г}$.

9. Фтор может образовывать соединения с другими элементами только в степени окисления –1. В соответствии с электронной конфигурацией у иода четыре нечетных положительных степени окисления. То есть, возможны 4 соединения: IF, IF₃, IF₅ и IF₇.

10. Уравнения реакций:

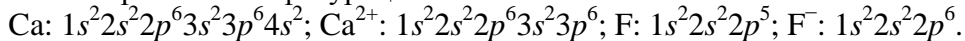


Система оценивания:

| | |
|---|----------------------------|
| 1. Номер подгруппы 0,5 б, ее название 0,5 б, перевод 0,5 б | 3*0,5 б = 1,5 б; |
| 2. Перевод названий элементов 4 * 0,5 б | 2 б; |
| 3. Формула и химическое название соли 0,5 б * 2 | 1 б; |
| 4. Отнесение элемента к правильной паре 4 * 1 б, формулы и названия минералов 0,5 б * 2 * 2, морская вода 0,5 б | 4 б + 2 б + 0,5 б = 6,5 б; |
| 5. Название 0,5 б, нестабильность (радиоактивность) изотопов 0,5 б | 0,5 б + 0,5 б = 1 б; |
| 6. Фтор 1 б, разрушение стекла 1 б | 1 б + 1 б = 2 б; |
| 7. Правильное соотношение вещества и номера 0,5 б * 4 | 2 б; |
| 8. Расчет масс хлора и фтора 1 б * 2, количества брома и иода 1 б * 2 | 2 б + 2 б = 4 б; |
| 9. Формулы соединений 0,5 б * 4 | 2 б; |
| 10. Уравнения реакций 1 б * 3 | 3 б; |
| | Итого 25 б. |

Задание 4. (Авторы Сырлыбаева Д.Г., Коваленко К.А.).

1. Электронные конфигурации:



2. Описанная в условии задачи решётка называется гранцентрированной кубической. В такой решётке ионы кальция располагаются в вершинах куба (всего 8) и в центре каждой грани (всего 6). При этом каждый катион в вершине одновременно принадлежит 8 элементарным ячейкам (т. е. каждой из них на 1/8), а катион в центре грани — двум элементарным ячейкам. Значит, на одну ячейку приходится: $8 \cdot 1/8 + 6 \cdot 1/2 = 4$ катиона кальция. Следовательно, число формульных единиц CaF₂ на элементарную ячейку равно 4. Заметим, что все анионы фтора, приведённые на рисунке (видно, что их 8), находятся внутри куба элементарной ячейки. То есть, на одну ячейку приходится 8 анионов фтора, откуда также можно было сделать вывод о числе формульных единиц, равном 4.

Объём одной элементарной ячейки кубической решётки равен $V = a^3$. В одной элементарной

ячейке 4 CaF₂ имеют массу $m = 4 \cdot M(\text{CaF}_2)/N_A$. Тогда плотность фторида кальция равна:

$$\rho = m/V = \frac{4 \cdot 78,075 \text{ г/моль}}{6,023 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} \cdot (0,546 \cdot 10^{-9} \text{ м})^3} = 3,18 \cdot 10^6 \text{ г/м}^3 = 3,18 \text{ г/см}^3.$$

3. Молярная масса карбоната кальция $M(\text{CaCO}_3) = 100 \text{ г/моль}$, тогда $n(\text{CaCO}_3) = 1 \text{ г}/100 \text{ г/моль} = 0,01 \text{ моль}$. Следовательно, при растворении 1 моль CaCO₃ выделится $1,56/0,01 = 156 \text{ кДж}$ теплоты. Термохимическое уравнение реакции:



Тепловой эффект химической реакции рассчитывается как разность теплот образования продуктов и реагентов с учётом стехиометрических коэффициентов:

$$Q_r = Q_{\text{обр}}(\text{CaF}_2) + Q_{\text{обр}}(\text{CO}_2) + Q_{\text{обр}}(\text{H}_2\text{O}) - Q_{\text{обр}}(\text{CaCO}_3) - 2Q_{\text{обр}}(\text{HF}).$$

Тогда теплота образования $Q_{\text{обр}}(\text{CaF}_2) = Q_r - Q_{\text{обр}}(\text{CO}_2) - Q_{\text{обр}}(\text{H}_2\text{O}) + Q_{\text{обр}}(\text{CaCO}_3) + 2Q_{\text{обр}}(\text{HF}) = 156 - 393 - 286 + 1207 + 2 \cdot 303 = 1290 \text{ кДж/моль}$.

4. Одна из возможных формулировок закона Германа Ивановича Гесса: «Тепловой эффект химической реакции не зависит от её пути, т. е. от числа и характера промежуточных стадий, а зависит только от вида и состояния исходных веществ и продуктов реакции (иначе говоря, определяется только начальным и конечным состоянием системы)».

5-6. Поскольку кристаллическая решетка CaF₂ состоит из ионов, то энергией кристаллической решётки для этого соединения называется значение энергии для процесса образования CaF₂ (кр) из ионов: $\text{Ca}^{2+} + 2\text{F}^- \rightarrow \text{CaF}_2 \text{ (кр)}$ (процесс VII). Именно состояния $\text{Ca}^{2+} + 2\text{F}^-$ не хватает на нашей диаграмме (состояние Ж). Для перехода в это состояние из состояния Е ($\text{Ca}^{2+} + 2e + 2\text{F} \text{ (г)}$) необходимо присоединить по одному электрону к каждому атому фтора: $\text{F} \text{ (г)} + e \rightarrow \text{F}^-$ (процесс VI). Значение энергии для этого процесса называется *сродством к электрону*.

В процессе III происходит отрыв одного электрона от атома Ca. Процесс называется ионизацией, а значение энергии — *первый потенциал ионизации*.

В процессе IV происходит отрыв второго электрона, соответственно, значение энергии называется *второй потенциал ионизации*.

В процессе V происходит разрыв связи F–F и диссоциация молекулы F₂ на атомы. Значение энергии для такого процесса называют *энергией диссоциации* или *энергией связи* в молекуле.

В процессе II Ca (тв) превращается в Ca (г). Энергия этого процесса отсутствует в списке. Такой процесс называется сублимацией или возгонкой. Соответственно значение энергии называется *энергией (теплотой) сублимации*.

7. Энергию кристаллической решётки легко рассчитать с использованием закона Гесса, глядя на энергетическую диаграмму (не забыть, что сродство к электрону фтора нужно удвоить, так как в таблице энергия приведена на моль). Из состояния Ж в состояние Б можно попасть двумя путями: осуществив процесс VII или двигаясь в обратную сторону, – выделившаяся энергия будет одинаковой. Следовательно, получаем: $E_{\text{VII}} = -2 \cdot E_{\text{VI}}(\text{против стрелки}) - E_{\text{V}} - E_{\text{IV}} - E_{\text{III}} - E_{\text{II}} + E_{\text{I}} = -2 \cdot 337 + 159 + 1145 + 589 + 161 + 1290 = 2670 \text{ кДж/моль}$.

Тот же результат получится, если решать задачу графически. Из диаграммы видно, что сумма значений энергий для процессов VI и VII равна сумме значений энергий для процессов I–V, взятых по модулю: $|E_{\text{I}}| + |E_{\text{II}}| + |E_{\text{III}}| + |E_{\text{IV}}| + |E_{\text{V}}| = 2 \cdot |E_{\text{VI}}| + |E_{\text{VII}}|$, тогда $|E_{\text{VII}}| = |E_{\text{I}}| + |E_{\text{II}}| + |E_{\text{III}}| + |E_{\text{IV}}| + |E_{\text{V}}| - 2 \cdot |E_{\text{VI}}| = 1290 + 161 + 589 + 1145 + 159 - 2 \cdot 337 = 2670 \text{ кДж/моль}$.

Система оценивания:

- | | |
|--|------------------------|
| 1. Электронные конфигурации частиц 4 * 0,5 б | 2 б; |
| 2. Расчёт числа формульных единиц 2 б, плотность CaF ₂ 2 б | 2 б + 2 б = 4 б; |
| 3. Термохимическое уравнение 3 б (уравнение химической реакции 1 б, запись агрегатных состояний 0,5 б, расчёт теплового эффекта 1 б, запись его в уравнение 0,5 б) | |
| Расчет теплоты образования CaF ₂ 2 б | 3 б + 2 б = 5 б; |
| 4. Формулировка закона, не искажающая смысл 2 б (по 1 б за 1-ю и 2-ю половину) | 2 б; |
| 5. Состояние Ж 1 б, уравнения процессов VI и VII 1 б * 2, | 1 б + 2 б = 3 б; |
| 6. Соответствие названия значений энергий и процессов III–VII 1 б * 5, не упомянут процесс II 0,5 б, его название 0,5 б | 5 б + 1 б = 6 б; |
| 7. Расчёт энергии кристаллической решётки 3 б (если не учтена «двойка», то 2,5 б) | 3 б; |
| | Итого 25 баллов |