

ЗАДАНИЕ № 34 ЕГЭ ПО ХИМИИ: МЕТОДЫ И ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ

Трофимов Дмитрий Геннадьевич

**к.х.н., доцент кафедры химии СУНЦ НГУ, ведущий эксперт комиссии по
проверке заданий с развёрнутым ответом участников ГИА.**

НОВОСИБИРСК 2026

ЗАДАНИЯ ЛИНИИ 34. КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ.

- ПРАВИЛЬНО ЗАПИСАНЫ УРАВНЕНИЯ РЕАКЦИЙ, СООТВЕТСТВУЮЩИХ УСЛОВИЮ ЗАДАНИЯ**
- ПРАВИЛЬНО ПРОИЗВЕДЕНЫ ВЫЧИСЛЕНИЯ, В КОТОРЫХ ИСПОЛЬЗУЮТСЯ НЕОБХОДИМЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ, ЗАДАННЫЕ В УСЛОВИИ ЗАДАНИЯ**
- ПРОДЕМОНСТРИРОВАНА ЛОГИЧЕСКИ ОБОСНОВАННАЯ ВЗАИМОСВЯЗЬ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН, НА ОСНОВАНИИ КОТОРОЙ ПРИВОДЯТСЯ РАСЧЁТЫ**
- В СООТВЕТСТВИИ С УСЛОВИЕМ ЗАДАНИЯ ОПРЕДЕЛЕНА ИСКАМАЯ ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА**

Максимальный балл 4

ЗАДАНИЯ ЛИНИИ 34. СОВЕТЫ ПО РЕШЕНИЮ / ОФОРМЛЕНИЮ

- **Совет 1. Не оформляйте решение так, как в критериях ФИПИ**

В самом деле, критерии эти предназначены для того, чтобы проверяющим работу экспертам было легче разграничивать элементы ответа, относящиеся к тому или иному из положенных за задачу первичных баллов. Но записи эти ни в коем разе не являются «лекалами» / «прописями» или единственно верными образцами записи решения. Чёткого алгоритма оформления задачи 34, в отличие от других заданий с развёрнутым ответом ЕГЭ, не существует.

ЗАДАНИЯ ЛИНИИ 34. СОВЕТЫ ПО РЕШЕНИЮ / ОФОРМЛЕНИЮ

- **Совет 2. В любой непонятной ситуации запишите «дано».**

Разумеется, с возрастом и ростом числа решённых задач необходимость в записи «дано» может частично отпадать, однако, на ранних этапах подготовки абитуриентов перевод условия задачи на математический язык путём записи «дано», а вместе с ним величины, которую надо **найти**, может иметь критическое значение для осмысления происходящих процессов, последующего построения модели и т.д.

ЗАДАНИЯ ЛИНИИ 34. СОВЕТЫ ПО РЕШЕНИЮ / ОФОРМЛЕНИЮ

- **Совет 3. Всегда указывайте обозначения рассчитываемых величин и приводите численные данные на промежуточных этапах расчёта. Не забывайте о единицах измерения, при необходимости записывайте их и на промежуточных этапах расчётов вместе с формулами.**

Если внимательно и до конца прочитать тексты задач 34, то первая часть совета есть уже строгое требование, однако, на промежуточных этапах ФИПИ пока не заставляет чётко прописывать какое число на какое поделили, какие числа сложили/перемножили и т.д. Это повышает вероятность как математических ошибок, так и ошибок, при допущении которых далее теряется физический смысл: отрицательное количество вещества или иная парциальная мольная величина; массовая доля больше 1, объём раствора больше массы при плотности более 1 г/мл и т.д. При математически ошибочном выполнении данных действий экзаменуемым без указания промежуточных чисел эксперт нередко испытывает затруднения, не сразу осознавая природу ошибки, что нередко приводит к снижению отметки минимум на 2 первичных балла, хотя в некоторых случаях можно снизить и только на 1 первичный балл.

ЗАДАНИЯ ЛИНИИ 34. СОВЕТЫ ПО РЕШЕНИЮ / ОФОРМЛЕНИЮ

- **Совет 4. Решайте задачу подряд по тексту (по порядку данных), а не вперемешку.**

Нередко доводится слышать суждения о том, что задача 34 носит «олимпиадный» характер. Главное различие между стандартной и олимпиадной задачей в **пути её решения**. Для того, чтобы подобраться к решению олимпиадной задачи, нередко следует использовать данные, приводимые в произвольной части условия (в середине, в конце и т.д.), и дальнейшая траектория решения может предполагать переходы между разными частями условия, а может быть и не единственной. Разумеется, таким подходом можно решить подавляющее большинство задач 34, но это вовсе не делает их олимпиадными, поскольку путь их решения заранее предопределён: нужно последовательно двигаться по условию задачи от начала и до окончания. Полезным бывает разбить условие на части и подробнейшим образом обсчитать все процессы, происходящие на каждом этапе, и только потом переходить к следующему.

ЗАДАНИЯ ЛИНИИ 34. СОВЕТЫ ПО РЕШЕНИЮ / ОФОРМЛЕНИЮ

- **Совет 5. Читайте на калькуляторе по 2-3 раза, особенно молярные массы и иные величины, отсутствующие в условии.**

Комментировать особо нечего, разве что желательно с ранних лет приучать школьников к использованию для проведения расчётов в химии именно калькулятора (а не смартфона), и желательно не простого, а инженерного. Стоимость самого простого инженерного калькулятора в настоящее время составляет менее 500 рублей на всевозможных маркетплейсах, а радость при его правильном использовании не описать деньгами. Отличие инженерного калькулятора от обычного легко проверить: при последовательном нажатии на кнопки $2 + 2 \cdot 2$ инженерный калькулятор покажет, как и положено, 6, а обычный калькулятор покажет 8, что делает его непригодным для проведения расчётов в несколько действий (например, подсчёта итоговой величины в задаче 34).

ЗАДАНИЯ ЛИНИИ 34. СОВЕТЫ ПО РЕШЕНИЮ / ОФОРМЛЕНИЮ

- **Совет 6. Всегда проводите расчёты по уравнениям реакций через количество вещества в моль, и никак иначе.**

Среди преимуществ этого подхода лёгкое и безошибочное определение избытка-недостатка, отсутствие затруднений при расчёте числа моль как продуктов, так и оставшихся в избытке непрореагировавших веществ (о присутствии которых в системе никогда не следует забывать), после проведения расчёта количества моль всех веществ записываются в уравнении над соответствующими химическими формулами, что облегчает их поиск на дальнейших этапах расчётов. Недостатков не зафиксировано, тогда как если в уравнении над формулами веществ писать граммы/литры/проценты/что-либо ещё, то вероятность ошибок увеличивается на порядки вследствие непрямого отношения записанной величины к уравнению реакции.

ЗАДАНИЯ ЛИНИИ 34. СОВЕТЫ ПО РЕШЕНИЮ / ОФОРМЛЕНИЮ

- **Совет 7. Не округляйте на промежуточных этапах вычислений.**

Если на промежуточном этапе вычисления появилась бесконечная периодическая / иррациональная десятичная дробь, то возможно, что при дальнейших расчётах она станет конечной, поэтому рекомендуется её не округлять, а записать в виде обыкновенной дроби. На финальном этапе расчёта, разумеется, округления допускаются и необходимы.

ЗАДАНИЯ ЛИНИИ 34. СОВЕТЫ ПО РЕШЕНИЮ / ОФОРМЛЕНИЮ

- **Совет 8. Проверяйте ключевые величины, если есть такая возможность.**

Данный совет предназначен, в первую очередь, для хорошо подготовленных абитуриентов, которым хватает времени на полное решение всего КИМ, запись ответов и решений в бланки, проверок и запаса по времени после выполнения задач 34. Суть рекомендации в том, что часто ошибки совершаются при подсчёте ключевой конечной величины (массы раствора, массы воды и т.д.) и нередко условие позволяет рассчитать эту величину двумя независимыми способами. Если при подсчётах разными путями значение итоговой величины получается одним и тем же, значит, вероятность верного ответа очень высока. Так, например, массу итогового раствора можно рассчитать как по хронологии его образования в ходе описанных в задаче превращений (как и рекомендуется считать по умолчанию), т.е. сложить всё то, что в систему попало, и вычесть всё, что систему покинуло в виде газообразных или труднорастворимых веществ (если их растворимость условием не задана). С другой стороны, массу

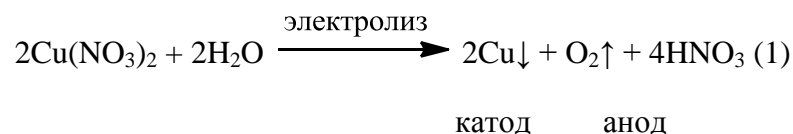
итогового раствора можно рассчитать по его конечному состоянию, то есть определить его итоговый состав и сложить массы всех растворённых веществ с массой воды. Недостатки этого подхода в том, что расчёт массы воды нередко требует усилий, также можно неверно установить состав раствора, не учтя оставшиеся в избытке после реакций и далее ни с чем не взаимодействующие растворённые вещества. Подход этот требует от преподавателя определённой сноровки и чёткого осознания производимых действий, ибо нередко обучающиеся смешивают ортогональные элементы расчётов в разных подходах в один, например, проводят действия с водой при подсчётах первым способом, а он тем и хорош, что позволяет не отслеживать изменения количества растворителя в ходе химических процессов как с его участием, так и без такового.

Пример 1. Неполный электролиз. Для проведения электролиза (на инертных электродах) взяли 376 г 30%-го раствора нитрата меди(II). После того как на аноде выделилось 4,48 л (при н.у.) газа, процесс остановили. К образовавшемуся в процессе электролиза раствору добавили 224 г 25%-го раствора гидроксида натрия. Определите массовую долю щёлочи в полученном растворе. В ответе запишите уравнения реакций, которые указаны в условии задачи, и приведите все необходимые вычисления (указывайте единицы измерения и обозначения искомых физических величин).

РЕШЕНИЕ

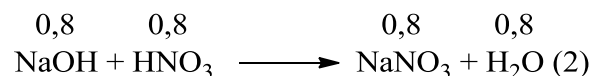
$$v(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2) = \frac{376 \cdot 0,3}{188} = 0,6 \text{ моль}$$

Было, моль	0,6	изб.	0	0	0
Прореагировало/накопилось, моль	-0,4	-0,4	0,4	0,2	0,8
Стало, моль	0,2	изб.	0,4	0,2	0,8

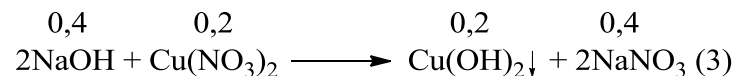


$v(\text{O}_2) = \frac{4,48}{22,4} = 0,2$ моль. По уравнению реакции (1) $\frac{v(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2)}{v(\text{O}_2)} = \frac{2}{1}$, поэтому $v(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2)$ прореаг. в р-ии (1)) = $2 \cdot v(\text{O}_2) = 0,4$ моль. После электролиза

в растворе останется 0,2 моль $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ и 0,8 моль HNO_3 . $v(\text{NaOH}) = \frac{224 \cdot 0,25}{40} = 1,4$ моль. При добавлении щёлочи идут реакции:



После реакции (2) в растворе останется $v(\text{NaOH}$ непр. в р-ии (2)) = $1,4 - 0,8 = 0,6$ моль.



После реакции (2) в растворе останется $v(\text{NaOH}$ непр. в р-ии (3)) = $0,6 - 0,4 = 0,2$ моль. $m(\text{NaOH}$ ост.) = $0,2 \cdot 40 = 8$ г

$m(\text{итогового р-ра}) = m(\text{исх. р-ра } \text{Cu}(\text{NO}_3)_2) - m(\text{Cu}) - m(\text{O}_2) + m(\text{р-ра NaOH}) - m(\text{Cu}(\text{OH})_2) = 376 - 0,4 \cdot 64 - 0,2 \cdot 32 + 224 - 0,2 \cdot 98 = 548,4$ г.

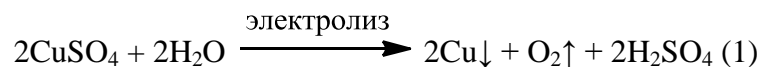
С другой стороны, $m(\text{итогового р-ра}) = m(\text{NaNO}_3) + m(\text{NaOH}) + m(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{NaNO}_3) + m(\text{NaOH}) + m(\text{H}_2\text{O}$ из исходного р-ра) - $m(\text{H}_2\text{O}$ в р-ии (1)) + $m(\text{H}_2\text{O}$ из р-ра NaOH) + $m(\text{H}_2\text{O}$ в р-ии (2)) = $1,2 \cdot 85 + 0,2 \cdot 40 + 376 \cdot (1 - 0,3) - 0,4 \cdot 18 + 224 \cdot (1 - 0,25) + 0,8 \cdot 18 = 548,4$ г. $\omega(\text{NaOH}) = \frac{8}{548,4} \approx 1,46$ %.

Пример 2. Последовательный электролиз. Через 640 г 20%-го раствора сульфата меди(II) пропускали электрический ток до тех пор, пока на аноде не выделилось 13,44 л (при н.у.) газа. К образовавшемуся раствору добавили 65 г цинка. Определите массовую долю сульфата цинка в полученном растворе. В ответе запишите уравнения реакций, которые указаны в условии задачи, и приведите все необходимые вычисления (указывайте единицы измерения и обозначения искомых физических величин).

РЕШЕНИЕ

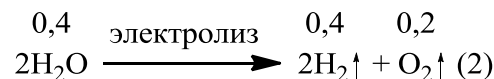
$$v(\text{CuSO}_4) = \frac{640 \cdot 0,2}{160} = 0,8 \text{ моль}$$

Было, моль	0,8	изб.	0	0	0
Прореагировало/накопилось, моль	-0,8	-0,8	0,8	0,4	0,8
Стало, моль	0	изб.	0,8	0,4	0,8

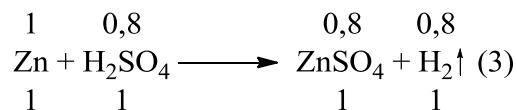


катод анод

$v(\text{O}_2) = \frac{13,44}{22,4} = 0,6$ моль. По уравнению реакции (1) $\frac{v(\text{CuSO}_4)}{v(\text{O}_2)} = \frac{2}{1}$, поэтому максимально при полном электролизе CuSO_4 выделится $v(\text{O}_2 \text{ в р-ии (1)}) = \frac{1}{2} \cdot v(\text{CuSO}_4) = 0,4$ моль. В растворе останется сильный электролит H_2SO_4 , поэтому далее на аноде окисление воды, а на катоде восстановление катионов H^+ , выражаемое суммарным уравнением:



В ходе реакции (2) выделится $v(\text{O}_2 \text{ в р-ии (2)}) = 0,6 - 0,4 = 0,2$ моль. В растворе после электролиза только 0,8 моль H_2SO_4 , $m(\text{р-ра после электролиза}) = m(\text{исх. р-ра CuSO}_4) - m(\text{Cu}) - m(\text{O}_2) - m(\text{H}_2) = 640 - 0,8 \cdot 64 - 0,6 \cdot 32 - 0,4 \cdot 2 = 568,8$ г. $v(\text{Zn}) = \frac{65}{65} = 1$ моль. Для понимания направления реакции между цинком и серной кислотой найдём её массовую долю в растворе после электролиза: $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ в р-ре после электролиза}) = \frac{0,8 \cdot 98}{568,8} \approx 14 \%$, следовательно, кислота разбавленная, реакция идёт с выделением водорода:



$\frac{1}{1} > \frac{0,8}{1}$, $\Rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$ – в недостатке, прореагирует полностью, после р-ии (3) останется $v(\text{Zn непр.}) = 1 - 0,8 = 0,2$ моль. $m(\text{ZnSO}_4) = 0,8 \cdot 161 = 128,8$ г.

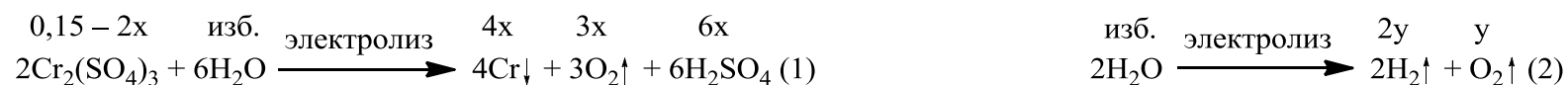
$m(\text{итогового р-ра}) = m(\text{р-ра после эл-за}) + m(\text{Zn}) - m(\text{H}_2) - m(\text{Zn непр.}) = 568,8 + 65 - 0,8 \cdot 2 - 0,2 \cdot 65 = 619,2$ г. С другой стороны, $m(\text{итогового р-ра}) = m(\text{ZnSO}_4) + m(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{ZnSO}_4) + m(\text{H}_2\text{O в исх. р-ре}) - m(\text{H}_2\text{O в р-ии (1)}) - m(\text{H}_2\text{O в р-ии (2)}) = 128,8 + 640 \cdot (1 - 0,2) - 0,8 \cdot 18 - 0,4 \cdot 18 = 619,2$ г

$$\omega(\text{ZnSO}_4) = \frac{128,8}{619,2} \approx 20,8 \%$$

Пример 3. Параллельный электролиз, соотношение частиц. Через 21%-ый раствор сульфата хрома(III) массой 280 г пропускали электрический ток до тех пор, пока его масса не стала равна 267 г. Газообразные продукты, выделившиеся на катоде и аноде, смешали. В полученной смеси содержится $2,528 \cdot 10^{24}$ протонов в ядрах всех атомов. Вычислите массовые доли веществ в растворе, образовавшемся после электролиза. В ответе запишите уравнения реакций, которые указаны в условии задачи, и приведите все необходимые вычисления (указывайте единицы измерения и обозначения искомых физических величин).

РЕШЕНИЕ

$\nu(\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3) = \frac{280 \cdot 0,21}{392} = 0,15$ моль. При электролизе раствора соли, содержащей катион металла «средней активности» (от Al до H не включительно), на катоде процессы восстановления катиона металла и молекул воды происходят **параллельно, но с разными скоростями**, т. е. одно и то же число моль катионов Cr^{3+} и молекул воды подвергается электролизу **за разные промежутки времени**, поэтому разные катодные процессы **нельзя записывать в одно уравнение реакции**. В случае параллельных реакций необходимо записывать **отдельное уравнение для каждого превращения**, переменные также необходимо вводить **для каждого превращения отдельно**. Пусть в р-ии (1) выделится $3x$ моль O_2 , а в р-ии (2) — y моль O_2 , тогда:



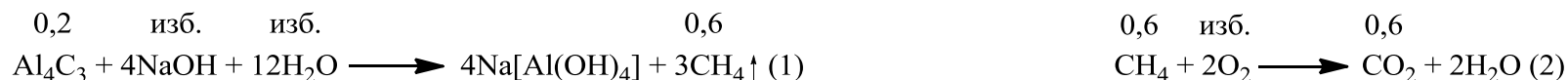
$\Delta m(\text{p-ра}) = m(\text{исх. p-ра}) - m(\text{p-ра после эл-за}) = 280 - 267 = 13 \text{ г} = m(\text{Cr}) + m(\text{O}_2) + m(\text{H}_2) = 4x \cdot 52 + (3x + y) \cdot 32 + 2y \cdot 2 = 304x + 20y$. $\nu(\text{p}^+) = \frac{2,528 \cdot 10^{24}}{6,02 \cdot 10^{23}} \approx 4,2$ моль = $2 \cdot 2y + 32 \cdot (3x + y) = 48x + 20y$. Решая систему уравнений, получаем $x = 0,025$ моль, $y = 0,15$ моль, тогда $\nu(\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \text{ непр.}) = 0,15 - 0,05 = 0,1$ моль, $m(\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \text{ непр.}) = 0,1 \cdot 392 = 39,2$ г. $\nu(\text{H}_2\text{SO}_4) = 6 \cdot 0,025 = 0,15$ моль, $m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,15 \cdot 98 = 14,7$ г. $\omega(\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3) = \frac{39,2}{267} \approx 14,7 \%$, $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{14,7}{267} \approx 5,5 \%$.

Замечание: условие данной задачи не вполне химически корректно. Если считать, что катодное и анодное пространства разделены, то при восстановлении воды в прикатодном пространстве накапливаются гидроксид-анионы, вступающие в реакцию с катионами Cr^{3+} с образованием осадков гидроксида и основных солей, а также комплексных анионов. В случае же неразделённых электродных пространств запись в одном уравнении металлического хрома и серной кислоты невозможна. Кроме того, катион Cr^{3+} при восстановлении в первую очередь превратится в катион Cr^{2+} , который способен реагировать с водой. Все указанные процессы невозможно учесть при расчётах.

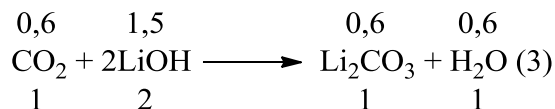
Пример 5. Пересыщенность раствора по отдельным компонентам. Карбид алюминия массой 28,8 г растворили в избытке раствора гидроксида натрия. Выделившийся при этом газ сожгли в избытке кислорода. Газообразный продукт горения поглотили 336 г насыщенного раствора гидроксида лития. Вычислите массовую долю гидроксида лития в образовавшемся растворе. Растворимость гидроксида лития составляет 12 г на 100 г воды, растворимость карбоната лития в условиях реакции составляет 1,3 г на 100 г воды. В ответе запишите уравнения реакций, которые указаны в условии задачи, и приведите все необходимые вычисления (указывайте единицы измерения и обозначения искомых физических величин).

РЕШЕНИЕ

$\nu(\text{Al}_4\text{C}_3) = \frac{28,8}{144} = 0,2$ моль. Идут реакции:



$m(\text{LiOH в } 336 \text{ г его нас. р-ра}) = m(\text{нас. р-ра}) \cdot \omega(\text{LiOH в нас. р-ре}) = 336 \cdot \frac{12}{12 + 100} = 336 \cdot \frac{12}{112} = 36 \text{ г.}$ **Альтернативный вариант расчёта:** пусть в 336 г насыщенного раствора LiOH $m(\text{LiOH}) = a$ г, тогда масса воды в тех же 336 г насыщенного раствора LiOH равна $(336 - a)$ г. Из определения растворимости: $s(\text{LiOH}) = \frac{12}{100} = \frac{a}{336 - a}$; $100a = 4032 - 12a$; $112a = 4032$; $a = 36$ г. $\nu(\text{LiOH}) = \frac{36}{24} = 1,5$ моль. Идёт реакция:



$\frac{0,6}{1} < \frac{1,5}{2}$, $\Rightarrow \text{CO}_2$ – в недостатке, прореагирует полностью, после р-ии (3) останется $\nu(\text{LiOH непр.}) = 1,5 - 1,2 = 0,3$ моль. $m(\text{LiOH}) = 0,3 \cdot 24 = 7,2$ г.

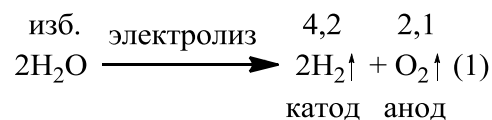
Проверим, весь ли образовавшийся Li_2CO_3 останется в растворе. $m(\text{Li}_2\text{CO}_3) = 0,6 \cdot 74 = 44,4$ г. Найдём массу воды в системе после р-ии (3): $m(\text{H}_2\text{O после р-ии (3)}) = m(\text{H}_2\text{O в нас. р-ре LiOH}) + m(\text{H}_2\text{O в р-ии (3)}) = 336 - 36 + 0,6 \cdot 18 = 310,8$ г. В условиях реакции 100 г воды максимально растворяет 1,3 г Li_2CO_3 , а 310,8 г воды максимально растворяет x г Li_2CO_3 . Составим пропорцию: $\frac{100}{1,3} = \frac{310,8}{x}$, $100x = 404,04$, $x \approx 4,04$ г, а в р-ии (3) образовалось 44,4 г Li_2CO_3 , поэтому $m(\text{нерастворившегося Li}_2\text{CO}_3) = 44,4 - 4,04 = 40,36$ г. $m(\text{итогового р-ра после р-ии (3)}) = m(\text{нас. р-ра LiOH}) + m(\text{CO}_2) - m(\text{нерастворившегося Li}_2\text{CO}_3) = 336 + 0,6 \cdot 44 - 40,36 = 322,04$ г. $\omega(\text{LiOH}) = \frac{7,2}{322,04} \approx 2,24 \%$

Если в тексте задачи задана **растворимость образующихся в реакциях веществ**, то необходимо проверить, **полностью ли растворится образовавшееся в условиях задачи вещество**. По данным таблицы растворимости буква «Р» означает, что данное вещество имеет растворимость более 1 г на 100 г воды, что может означать неполное растворение «растворимых по таблице» веществ!

Пример 6. Вычисление растворимости. Через 522 г 10%-го раствора нитрата бария пропускали электрический ток до тех пор, пока на катоде не выделилось 94,08 л (при н.у.) газа. К образовавшемуся раствору добавили насыщенный при некоторой температуре раствор, полученный добавлением к воде медного купороса ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) массой 100 г. В результате реакции массовая доля сульфата меди(II) в растворе уменьшилась в 4 раза. Вычислите растворимость (в г на 100 г воды) сульфата меди(II) при данной температуре. В ответе запишите уравнения реакций, которые указаны в условии задачи, и приведите все необходимые вычисления (указывайте единицы измерения и обозначения искомых физических величин).

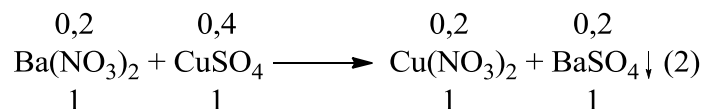
РЕШЕНИЕ

$\nu(\text{Ba}(\text{NO}_3)_2) = \frac{522 \cdot 0,1}{261} = 0,2$ моль. При электролизе раствора $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ на электродах окисляются и восстанавливаются только молекулы воды, поэтому уравнение реакции имеет вид:



$\nu(\text{H}_2) = \frac{94,08}{22,4} = 4,2$ моль. $m(\text{р-ра после эл-за}) = m(\text{исх. р-ра}) - m(\text{H}_2) - m(\text{O}_2) = 522 - 4,2 \cdot 2 - 2,1 \cdot 32 = 446,4$ г. В растворе после эл-за 0,2 моль $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$.

$\nu(\text{CuSO}_4 \text{ в } 100 \text{ г нас. р-ра}) = \nu(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} \text{ для приготовления нас. р-ра}) = \frac{100}{250} = 0,4$ моль. Идёт реакция:



Т. к. по условию массовая доля CuSO_4 уменьшилась в 4 раза, то после р-ии (2) CuSO_4 **остался в растворе**, поэтому **был взят в избытке**. $\nu(\text{CuSO}_4 \text{ после р-ии (2)}) = 0,4 - 0,2 = 0,2$ моль. **При решении задачи следует учитывать:**

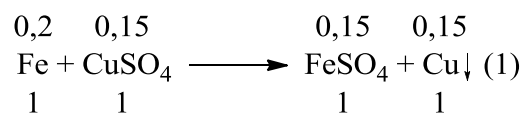
- 1) 100 г кристаллогидрата $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ содержат 0,4 моль CuSO_4 и $0,4 \cdot 5 = 2$ моль H_2O . Кристаллизационная вода при растворении **переходит в раствор** и влияет как на его общую массу, так и на общее содержание воды в данном растворе.
- 2) Массовая доля CuSO_4 уменьшилась в 4 раза **во вновь образовавшемся после р-ии (2) р-ре** по сравнению с таковой **в исходном насыщенном р-ре**.
- 3) При расчёте массовой доли вещества в растворе, полученном растворением кристаллогидрата в воде, нужно помнить, что масса растворённого вещества **не равна** массе кристаллогидрата, взятого для приготовления раствора.

Пусть $m(\text{насыщенного раствора CuSO}_4) = x$ г, тогда $\omega(\text{CuSO}_4 \text{ в нас. р-ре}) = 4 \cdot \omega(\text{CuSO}_4 \text{ в р-ре после р-ии (2)})$, тогда $\frac{m(\text{CuSO}_4 \text{ исх.})}{m(\text{нас. р-ра CuSO}_4)} = 4 \cdot \frac{m(\text{CuSO}_4 \text{ непр. в р-ии (2)})}{m(\text{нас. р-ра CuSO}_4) + m(\text{р-ра после эл-за}) - m(\text{BaSO}_4)}$; $\frac{0,4 \cdot 160}{x} = 4 \cdot \frac{0,2 \cdot 160}{x + 446,4 - 0,2 \cdot 233}$; $\frac{64}{x} = \frac{128}{x + 399,8}$; $128x = 64x + 25587,2$; $64x = 25587,2$; $x = 399,8$ г. Тогда в 399,8 г насыщенного раствора CuSO_4 воды содержится $m(\text{H}_2\text{O} \text{ в } 399,8 \text{ г нас. р-ра CuSO}_4) = m(\text{нас. р-ра CuSO}_4) - m(\text{CuSO}_4) = 399,8 - 0,4 \cdot 160 = 335,8$ г. В 335,8 г воды максимально растворяется $0,4 \cdot 160 = 64$ г **безводного** CuSO_4 , в 100 г воды максимально растворяется y г **безводного** CuSO_4 . Составим пропорцию: $\frac{335,8}{64} = \frac{100}{y}$; $335,8y = 6400$; $y = s(\text{CuSO}_4) = \frac{6400}{335,8} = 19,06$ г на 100 г воды.

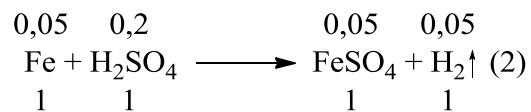
Пример 7. Приготовление раствора из кристаллогидрата. Медный купорос ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) массой 37,5 г растворили в воде и получили раствор с массовой долей соли 20 %. К этому раствору добавили 11,2 г железа и после завершения реакции ещё 98 г 20%-го раствора серной кислоты. Определите массовую долю соли в полученном растворе. В ответе запишите уравнения реакций, которые указаны в условии задачи, и приведите все необходимые вычисления (указывайте единицы измерения и обозначения искомых физических величин).

РЕШЕНИЕ

$M(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 160 + 90 = 250$ г/моль, т. е. на каждые 250 г кристаллогидрата приходится 160 г безводной соли и 90 г кристаллизационной воды, и это соотношение **постоянно для любого количества $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$** . С другой стороны, 1 моль $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ содержит 1 моль CuSO_4 и 5 моль H_2O .
 $\nu(\text{CuSO}_4) = \nu(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = \frac{37,5}{250} = 0,15$ моль. $m(\text{CuSO}_4) = 0,15 \cdot 160 = 24$ г, $m(20\text{-го р-ра из } 37,5 \text{ г } \text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = \frac{24}{0,2} = 120$ г, из которых 37,5 г составляет исходный кристаллогидрат, а для приготовления раствора взято $120 - 37,5 = 82,5$ г воды. **Альтернативный вариант расчёта:** пусть для приготовления 20%-го р-ра из 37,5 г $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ взято a г воды, тогда $\omega(\text{CuSO}_4) = \frac{m(\text{CuSO}_4)}{m(\text{р-ра CuSO}_4)} = \frac{m(\text{CuSO}_4)}{m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) + m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{0,15 \cdot 160}{37,5 + a} = \frac{37,5 \cdot \frac{160}{250}}{37,5 + a} = 0,2$;
 $37,5 + a = 120$, $a = 82,5$ г. $\nu(\text{Fe}) = \frac{11,2}{56} = 0,2$ моль. Идёт реакция:



$\frac{0,2}{1} > \frac{0,15}{1}$, $\Rightarrow \text{CuSO}_4$ – в недостатке, прореагирует полностью, после р-ии (1) останется $\nu(\text{Fe непр.}) = 0,2 - 0,15 = 0,05$ моль. Отметим, что образование $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ в данных условиях **невозможно**. $\nu(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{98 \cdot 0,2}{98} = 0,2$ моль. Разбавленная 20%-ная H_2SO_4 реагирует с оставшимся в избытке железом с образованием FeSO_4 и выделением водорода, реакция между разбавленной H_2SO_4 и медью не происходит.

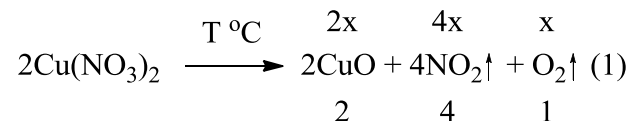


$\frac{0,05}{1} < \frac{0,2}{1}$, $\Rightarrow \text{Fe}$ – в недостатке, прореагирует полностью, после р-ии (2) в растворе находится $\nu(\text{FeSO}_4) = 0,15 + 0,05 = 0,2$ моль, $m(\text{FeSO}_4) = 0,2 \cdot 152 = 30,4$ г. В растворе останется $\nu(\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ непр.}) = 0,2 - 0,05 = 0,15$ моль. $m(\text{итогового р-ра}) = m(20\text{-го р-ра CuSO}_4) + m(\text{Fe}) - m(\text{Cu}) + m(20\text{-го р-ра H}_2\text{SO}_4) - m(\text{H}_2) = 120 + 11,2 - 0,15 \cdot 64 + 98 - 0,05 \cdot 2 = 219,5$ г. С другой стороны, $m(\text{итогового р-ра}) = m(\text{FeSO}_4) + m(\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ непр.}) + m(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{FeSO}_4) + m(\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ непр.}) + m(\text{H}_2\text{O в CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) + m(\text{H}_2\text{O для приготовления 20\%-го р-ра CuSO}_4) + m(\text{H}_2\text{O из р-ра H}_2\text{SO}_4) = 30,4 + 0,15 \cdot 37,5 \cdot \frac{90}{250} + 82,5 + 98 \cdot (1 - 0,2) = 219,5$ г. $\omega(\text{FeSO}_4) = \frac{30,4}{219,5} \approx 13,85 \%$

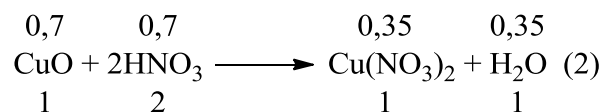
Пример 8. Выпадение кристаллогидрата в осадок. Нитрат меди(II) частично разложился при нагревании, при этом выделилось 39,2 л газов (при н.у.) и образовалось 93,6 г твёрдого остатка. Твёрдый остаток добавили к 122,5 г тёплой 36%-ой азотной кислоты, полученный раствор отфильтровали и охладили до 10 °С. Вычислите массу выкристаллизовавшейся шестиводной соли, если растворимость нитрата меди(II) при 10 °С равна 100 г на 100 г воды. В ответе запишите уравнения реакций, которые указаны в условии задачи, и приведите все необходимые вычисления (указывайте единицы измерения и обозначения искомых физических величин).

РЕШЕНИЕ

Поскольку $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ **частично** разложился при нагревании, то твёрдый остаток от разложения представляет собой **смесь образовавшегося CuO и неразложившегося $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$** . Пусть при разложении образовалось x моль O_2 , тогда NO_2 образовалось $4x$ моль.



$V(\text{газовой смеси}) = V(\text{NO}_2) + V(\text{O}_2) = (4x + x) \cdot 22,4 = 39,2$; $5x = 1,75$; $x = 0,35$ моль, тогда $\nu(\text{CuO}) = 2 \cdot 0,35 = 0,7$ моль, $m(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \text{ непр.}) = 93,6 - 0,7 \cdot 80 = 37,6$ г, $\nu(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \text{ непр.}) = \frac{37,6}{188} = 0,2$ моль. $\nu(\text{HNO}_3) = \frac{122,5 \cdot 0,36}{63} = 0,7$ моль. При растворении твёрдого остатка в 36%-ной азотной кислоте CuO реагирует с HNO_3 , а $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ растворяется.



$\frac{0,7}{1} > \frac{0,7}{2}$, $\Rightarrow \text{HNO}_3$ – в недостатке, прореагирует полностью, после р-ии (2) останется $\nu(\text{CuO непр.}) = 0,7 - 0,35 = 0,35$ моль. Это количество твёрдого CuO задержится на фильтре при фильтровании, $m(\text{р-ра после фильтрования}) = m(\text{твёрдого остатка}) + m(\text{р-ра HNO}_3) - m(\text{CuO непр.}) = 93,6 + 122,5 - 0,35 \cdot 80 = 188,1$ г. Раствор после фильтрования содержит $\nu(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2) = \nu(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \text{ в р-ии (2)}) + \nu(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \text{ непр. в р-ии (1)}) = 0,35 + 0,2 = 0,55$ моль. $m(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \text{ в р-ре после фильтрования}) = 0,55 \cdot 188 = 103,4$ г. $m(\text{H}_2\text{O в р-ре после фильтрования}) = 188,1 - 103,4 = 84,7$ г.

Растворимость твёрдых неорганических соединений в воде, как правило, возрастает при нагревании (и уменьшается при охлаждении). $M(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = 188 + 108 = 296$ г/моль, т. е. на каждые 296 г кристаллогидрата приходится 188 г безводной соли и 108 г кристаллизационной воды, и это соотношение **постоянно для любого количества $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$** . Пусть в осадок выпадет t г $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, тогда в этом осадке будет находиться $\frac{188}{296} \cdot t$ г соли и $\frac{108}{296} \cdot t$ г кристаллизационной воды. **Осадок будет выпадать из раствора до тех пор, пока раствор не станет насыщенным при данной температуре**, т. е. до тех пор, пока в растворе на каждые 100 г соли не будет приходиться 100 г воды (по условию). $s(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2) = \frac{100}{100} =$

$\frac{m(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \text{ до охлаждения}) - m(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \text{ выпавшего в осадок})}{m(\text{H}_2\text{O до охлаждения}) - m(\text{H}_2\text{O выпавшей в осадок})} = \frac{103,4 - \frac{188 \cdot t}{296}}{84,7 - \frac{108 \cdot t}{296}}$; $103,4 - \frac{188 \cdot t}{296} = 84,7 - \frac{108 \cdot t}{296}$; $80t = 5535,2$; $t = 69,19$ г. **Альтернативный вариант расчёта:** пусть

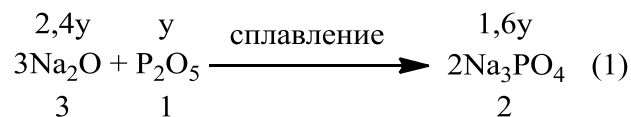
в осадок выпадет k моль $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, выполним расчёт через массовую долю $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ в насыщенном растворе: $\omega(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \text{ в нас. р-ре}) = \frac{100}{100 + 100} = 0,5 =$

$\frac{m(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \text{ до охлаждения}) - m(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \text{ выпавшего в осадок})}{m(\text{р-ра до охлаждения}) - m(\text{выпавшего в осадок кристаллогидрата})} = \frac{103,4 - 188 \cdot k}{188,1 - 296 \cdot k}$; $103,4 - 188k = 94,05 - 148k$; $40k = 9,35$; $k = 0,23375$ моль, тогда $m(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = 296k = 296 \cdot 0,23375 = 69,19$ г

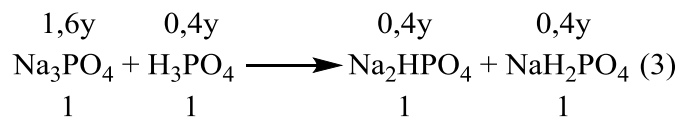
Пример 9. Соотношение атомов, массовая доля химического элемента. Смесь оксида натрия и оксида фосфора(V), в которой на 10 атомов фосфора приходится 37 атомов кислорода, сплавляли, а затем растворили в тёплой воде. В результате образовался раствор массой 581,6 г с массовой долей атомов водорода 10 %. Рассчитайте массу средней соли в полученном растворе. В ответе запишите уравнения реакций, которые указаны в условии задачи, и приведите все необходимые вычисления (указывайте единицы измерения и обозначения искомых физических величин).

РЕШЕНИЕ

Общая рекомендация: переходите от соотношения частиц в штуках к соотношению частиц **в моль**. Поскольку моль есть **конечное число частиц**, то **соотношения частиц** в штуках **эквивалентны соотношению моль**. Пусть в исходной смеси содержится x моль Na_2O и y моль P_2O_5 . Имеем: 1 частица Na_2O содержит 1 атом кислорода, поэтому **1 моль Na_2O содержит 1 моль атомов кислорода**, в исходной смеси x моль Na_2O содержат x моль атомов кислорода. Аналогично 1 штука $\text{P}_2\text{O}_5 \rightarrow 2$ штуки P и 5 штук O, 1 моль $\text{P}_2\text{O}_5 \rightarrow 2$ моль P и 5 моль O, в исходной смеси y моль $\text{P}_2\text{O}_5 \rightarrow 2y$ моль P и $5y$ моль O. $\frac{N(\text{P})}{N(\text{O})} = \frac{v(\text{P}) \cdot N_A}{v(\text{O}) \cdot N_A} = \frac{2y}{x + 5y} = \frac{10}{37}$, откуда $74y = 10x + 50y$, $10x = 24y$, $x = 2,4y$. При сплавлении идёт реакция:



$\frac{2,4y}{3} < \frac{y}{1}$ для любого $y > 0$, следовательно, оксид натрия в недостатке, прореагирует полностью, расчёт числа моль продукта ведём по недостатку. После сплавления останется $v(\text{P}_2\text{O}_5 \text{ непрореаг. в р-ии (1)}) = y - \frac{2,4y \cdot 1}{3} = 0,2y$ моль. При растворении смеси в воде идёт реакция: $\text{P}_2\text{O}_5 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_3\text{PO}_4$ (2), поскольку вода заведомо в избытке, то P_2O_5 прореагирует полностью, $v(\text{H}_3\text{PO}_4) = 2v(\text{P}_2\text{O}_5 \text{ непрореаг. в р-ии (1)}) = 0,4y$ моль. В растворах, одновременно содержащих не являющуюся сильным электролитом многоосновную кислоту и её же гидролизующиеся по аниону соли, возможны процессы переноса катионов водорода с образованием кислых солей:

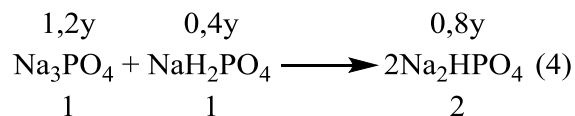


$\frac{1,6y}{1} > \frac{0,4y}{1}$, следовательно, ортофосфорная кислота в недостатке, прореагирует полностью, в растворе после реакции (3) останется $v(\text{Na}_3\text{PO}_4 \text{ непрореаг. в р-ии (3)}) = 1,6y - 0,4y = 1,2y$ моль.

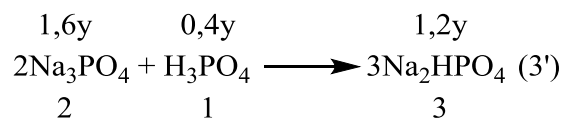
Пример 9. Соотношение атомов, массовая доля химического элемента. Смесь оксида натрия и оксида фосфора(V), в которой на 10 атомов фосфора приходится 37 атомов кислорода, сплавляли, а затем растворили в тёплой воде. В результате образовался раствор массой 581,6 г с массовой долей атомов водорода 10 %. Рассчитайте массу средней соли в полученном растворе. В ответе запишите уравнения реакций, которые указаны в условии задачи, и приведите все необходимые вычисления (указывайте единицы измерения и обозначения искомых физических величин).

РЕШЕНИЕ

Далее пойдёт реакция:



$\frac{1,2y}{1} > \frac{0,4y}{1}$, следовательно, дигидроортофосфат натрия в недостатке, прореагирует полностью, в растворе после реакции (4) останется $\nu(\text{Na}_3\text{PO}_4)$ непрореаг. в р-ии (4)) = $1,2y - 0,4y = 0,8y$ моль. Итого в растворе после всех реакций $\nu(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 0,4y + 0,8y = 1,2y$ моль. Допускалось сразу записать:



Пусть для приготовления раствора взято k моль воды, тогда масса конечного раствора составляет $m(\text{конечного р-ра}) = m(\text{Na}_2\text{O}) + m(\text{P}_2\text{O}_5) + m(\text{H}_2\text{O}) = 2,4y \cdot 62 + y \cdot 142 + k \cdot 18 = 290,8y + 18k$ или $m(\text{конечного р-ра}) = m(\text{Na}_3\text{PO}_4) + m(\text{Na}_2\text{HPO}_4) + m(\text{H}_2\text{O оставшейся после реакции (2)}) = 0,8y \cdot 164 + 1,2y \cdot 142 + k \cdot 18 - 0,2y \cdot 3 \cdot 18 = 290,8y + 18k$.

Массовая доля атомов водорода в растворе составит $\omega(\text{H}) = \frac{m(\text{H})}{m(\text{р-ра})} = \frac{(\nu(\text{Na}_2\text{HPO}_4) + 2\nu(\text{H}_2\text{O в итоговом р-ре})) \cdot A(\text{H})}{m(\text{р-ра})} = \frac{1,2y + 2(k - 0,2y \cdot 3)}{290,8y + 18k} = \frac{2k}{290,8y + 18k}$.

$$\text{Получаем: } \begin{cases} 290,8y + 18k = 581,6 \\ \frac{2k}{290,8y + 18k} = 0,1 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} y = \frac{581,6 - 18k}{290,8} \\ \frac{2k}{581,6} = 0,1 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} y = \frac{581,6 - 18k}{290,8} \\ 2k = 58,16 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} y = \frac{581,6 - 18k}{290,8} \\ k = 29,08 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} y = 0,2 \\ k = 29,08 \end{cases}$$

Таким образом, $m(\text{Na}_3\text{PO}_4) = 0,8 \cdot 0,2 \cdot 164 = \mathbf{26,24 \text{ г}}$.

Можно было рассчитать проще без системы: поскольку в ходе реакций с водой атомы водорода не покидали пределы раствора, то $k = \nu(\text{H}_2\text{O}) = 0,5 \cdot \nu(\text{H})$, $\nu(\text{H}) = \frac{m(\text{H})}{A(\text{H})} = \frac{m(\text{р-ра}) \cdot \omega(\text{H})}{A(\text{H})} = \frac{581,6 \cdot 0,1}{1} = 58,16$ моль, $\nu(\text{H}_2\text{O}) = 0,5 \cdot \nu(\text{H}) = 29,08$ моль, $m(\text{H}_2\text{O}) = 29,08 \cdot 18 = 523,44$ г, $m(\text{Na}_2\text{O} + \text{P}_2\text{O}_5) = m(\text{р-ра}) - m(\text{H}_2\text{O}) = 581,6 - 523,44 = 58,16$ г = $290,8y$; откуда $y = 0,2$ моль и $m(\text{Na}_3\text{PO}_4) = 0,8 \cdot 0,2 \cdot 164 = \mathbf{26,24 \text{ г}}$.

Пример 9. Соотношение атомов, массовая доля химического элемента. Смесь оксида натрия и оксида фосфора(V), в которой на 10 атомов фосфора приходится 37 атомов кислорода, сплавляли, а затем растворили в тёплой воде. В результате образовался раствор массой 581,6 г с массовой

долей атомов водорода 10 %. Рассчитайте массу средней соли в полученном растворе. В ответе запишите уравнения реакций, которые указаны в условии задачи, и приведите все необходимые вычисления (указывайте единицы измерения и обозначения искомых физических величин).

РЕШЕНИЕ

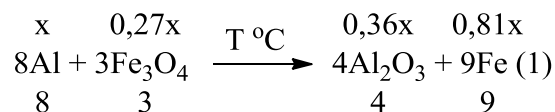
Можно получить численный ответ к задаче **исходя из соотношения атомов натрия и фосфора** и не записывая уравнений реакций (однако, в ЕГЭ их записывать придётся обязательно). Найдя $m(\text{исх. смеси оксидов}) = 58,16 \text{ г} = 290,8y$; откуда $y = 0,2$ моль, тогда из исходного соотношения атомов фосфора и кислорода ($x = 2,4y$) $v(\text{Na}_2\text{O}) = 0,48$ моль, $v(\text{P}_2\text{O}_5) = 0,2$ моль. Можно записать $\frac{v(\text{Na})}{v(\text{P})} = \frac{2 \cdot v(\text{Na}_2\text{O})}{2 \cdot v(\text{P}_2\text{O}_5)} = \frac{0,96}{0,4} = 2,4$. Это соотношение больше двух, но меньше трёх, а поскольку в растворе одновременно могут сосуществовать только две соседние по глубине протонирования формы ортофосфат-аниона (т.е. H_3PO_4 и H_2PO_4^- , или H_2PO_4^- и HPO_4^{2-} , или HPO_4^{2-} и PO_4^{3-} , но не иначе), то в растворе средняя соль Na_3PO_4 и кислая соль Na_2HPO_4 , число моль которых находится алгебраически: пусть в конечном растворе $v(\text{Na}_3\text{PO}_4) = a$ моль, $v(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = b$ моль, тогда получаем систему: $\begin{cases} v(\text{Na}) = 3a + 2b = 0,96 \\ v(\text{P}) = a + b = 0,4 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} a = 0,16 \\ b = 0,24 \end{cases}$ откуда $m(\text{Na}_3\text{PO}_4) = 164a = \mathbf{26,24 \text{ г}}$. Для наглядности приведём таблицу, взаимосвязывающую соотношение атомов натрия и фосфора и состав раствора в задачах подобного типа:

$v(\text{Na}) : v(\text{P})$	Состав раствора
0	H_3PO_4
(0 ; 1)	$\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{NaH}_2\text{PO}_4$
1	NaH_2PO_4
(1 ; 2)	$\text{NaH}_2\text{PO}_4 + \text{Na}_2\text{HPO}_4$
2	Na_2HPO_4
(2 ; 3)	$\text{Na}_2\text{HPO}_4 + \text{Na}_3\text{PO}_4$
3	Na_3PO_4
> 3	$\text{Na}_3\text{PO}_4 + \text{NaOH}$

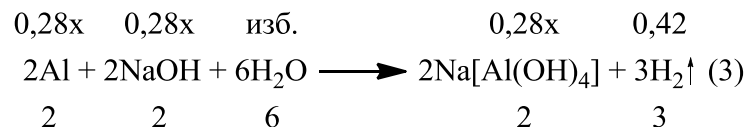
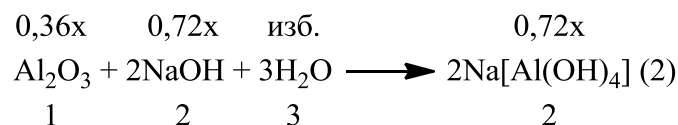
Пример 10. Соотношение масс реагирующих веществ. Алюминий смешали с железной окалиной в массовом соотношении 1 : 2,32 и нагрели. После завершения реакции полученную смесь внесли в 400 г 20%-го горячего раствора гидроксида натрия. При этом выделилось 9,408 л (н.у.) газа и образовалась моновалентная соль. Вычислите массовую долю гидроксида натрия в конечном растворе. В ответе запишите уравнения реакций, которые указаны в условии задачи, и приведите все необходимые вычисления (указывайте единицы измерения и обозначения искомых физических величин).

РЕШЕНИЕ

Общая рекомендация: соотношение масс реагирующих веществ **указывает на избыток-недостаток!** Пусть исходная смесь содержала x моль алюминия, тогда $m(\text{Al}) = 27x$ г. Из соотношения масс $m(\text{Fe}_3\text{O}_4) = 2,32 \cdot 27x = 62,64x$ г, $\nu(\text{Fe}_3\text{O}_4) = \frac{62,64x}{232} = 0,27x$ моль. При нагревании исходной смеси идёт реакция:



$\frac{x}{8} > \frac{0,27x}{3}$ для любого $x > 0$, следовательно, железная окалина в недостатке, прореагирует полностью, расчёт числа моль продуктов ведём по недостатку. После нагревания останется $\nu(\text{Al непрореаг. в р-ии (1)}) = x - \frac{0,27x \cdot 8}{3} = 0,28x$ моль. В растворе $\nu(\text{NaOH}) = \frac{400 \cdot 0,2}{40} = 2$ моль. При внесении смеси после реакции (1) в горячую щёлочь выделяется $\nu(\text{H}_2) = \frac{9,408}{22,4} = 0,42$ моль. Идут реакции:



По уравнению реакции (3) имеем $0,28x \cdot 3 = 0,42 \cdot 2$, откуда $x = 1$ моль. Тогда после реакций (2) и (3) в растворе останется $\nu(\text{NaOH непр. в р-иях (2) и (3)}) = 2 - 0,72 - 0,28 = 1$ моль, $m(\text{NaOH ост.}) = 1 \cdot 40 = 40$ г. Вычислим массу итогового раствора: $m(\text{итог. р-ра}) = m(\text{исх. смеси}) + m(\text{р-ра NaOH}) - m(\text{Fe}) - m(\text{H}_2) = 27 + 62,64 + 400 - 0,81 \cdot 56 - 0,42 \cdot 2 = 443,44$ г. С другой стороны, $m(\text{итог. р-ра}) = m(\text{NaOH}) + m(\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]) + m(\text{H}_2\text{O в р-ре NaOH}) - m(\text{H}_2\text{O в р-ии(2)}) - m(\text{H}_2\text{O в р-ии(3)}) = 40 + (0,72 + 0,28) \cdot 118 + 400 \cdot 0,8 - 18 \cdot (1,08 + 0,84) = 443,44$ г.

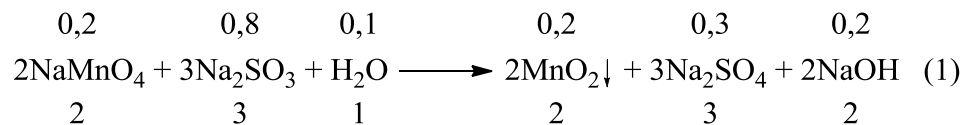
Искомая массовая доля $\omega(\text{NaOH}) = \frac{40}{443,44} \approx \mathbf{9,02\%}$.

Пример 11. Соотношение масс реагирующих растворов. Растворимость. Приготовление насыщенного раствора из кристаллогидрата и ненасыщенного раствора. Растворимость сульфита натрия при некоторой температуре составляет 25 г на 100 г воды. При этой температуре приготовили насыщенный раствор, добавив необходимое количество 10%-го раствора сульфита натрия к 126 г гептагидрата сульфита натрия ($\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$). Полученный насыщенный раствор смешали с 20%-ным раствором перманганата натрия в массовом соотношении 25,2 : 7,1. Затем к образовавшемуся раствору добавили 136,8 г гидроксида бария. Вычислите массовую долю щёлочи в конечном растворе. В ответе запишите уравнения реакций, которые указаны в условии задачи, и приведите все необходимые вычисления (указывайте единицы измерения и обозначения искомых физических величин).

РЕШЕНИЕ

Общая рекомендация 1: начинайте обсчёт насыщенного раствора с кристаллогидрата. $M(\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) = 126 + 126 = 252$ г/моль, т. е. на каждые 252 г кристаллогидрата приходится 126 г безводной соли и 126 г кристаллизационной воды (**совпадение случайно!**), и это соотношение **постоянно для любого количества $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$** . Иначе говоря, данный кристаллогидрат можно представить как «*квазираствор*» с массовой долей соли 50 %. С другой стороны, 1 моль $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ содержит 1 моль Na_2SO_3 и 7 моль H_2O . $v(\text{Na}_2\text{SO}_3 \text{ в } 126 \text{ г } \text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) = \frac{126}{252} = 0,5$ моль. $m(\text{Na}_2\text{SO}_3 \text{ в } 126 \text{ г } \text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) = 0,5 \cdot 126 = 63$ г, $m(\text{H}_2\text{O} \text{ в } 126 \text{ г } \text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) = 126 - 63 = 63$ г = $7 \cdot 18 \cdot 0,5 = 63$ г. Пусть в 10%-ном растворе $v(\text{Na}_2\text{SO}_3) = x$ моль, тогда $m(\text{Na}_2\text{SO}_3 \text{ в } 10\text{-ном растворе}) = 126x$ г, тогда $m(10\text{-го раствора } \text{Na}_2\text{SO}_3) = \frac{126x}{0,1} = 1260x$ г, а $m(\text{H}_2\text{O} \text{ в } 10\text{-ном растворе}) = 1260x - 126x = 1134x$ г. Растворимость $s(\text{Na}_2\text{SO}_3) = \frac{m(\text{Na}_2\text{SO}_3 \text{ в насыщенном растворе})}{m(\text{H}_2\text{O} \text{ в насыщенном растворе})} = \frac{25 \text{ г } \text{Na}_2\text{SO}_3}{100 \text{ г } \text{H}_2\text{O}}$ **есть величина постоянная** (при данных температуре и давлении) **для любого количества насыщенного раствора**. Иногда в литературе максимально возможную массу растворённого вещества на 100 г растворителя называют *коэффициентом растворимости* k). Заметим, что **массовая доля** вещества в его насыщенном растворе **не равна растворимости**. Из определения растворимости: $s(\text{Na}_2\text{SO}_3) = \frac{m(\text{Na}_2\text{SO}_3 \text{ в насыщенном растворе})}{m(\text{H}_2\text{O} \text{ в насыщенном растворе})} = \frac{m(\text{Na}_2\text{SO}_3 \text{ в кристаллогидрате}) + m(\text{Na}_2\text{SO}_3 \text{ в } 10\text{-ном растворе})}{m(\text{H}_2\text{O} \text{ в кристаллогидрате}) + m(\text{H}_2\text{O} \text{ в } 10\text{-ном растворе})} = \frac{63 + 126x}{63 + 1134x} = \frac{25}{100} = 0,25$; $63 + 126x = 15,75 + 283,5x$; $157,5x = 47,25$; $x = 0,3$ моль. Тогда всего в насыщенном растворе $v(\text{Na}_2\text{SO}_3) = 0,5 + 0,3 = 0,8$ моль, $m(\text{Na}_2\text{SO}_3 \text{ в насыщенном растворе}) = 0,8 \cdot 126 = 100,8$ г, $m(\text{H}_2\text{O} \text{ в насыщенном растворе}) = 63 + 1134 \cdot 0,3 = 403,2$ г. **Выполним проверку:** $s(\text{Na}_2\text{SO}_3) = \frac{m(\text{Na}_2\text{SO}_3 \text{ в насыщенном растворе})}{m(\text{H}_2\text{O} \text{ в насыщенном растворе})} = \frac{100,8}{403,2} = 0,25$. **Верно.** $m(\text{насыщенного р-ра } \text{Na}_2\text{SO}_3) = 63 + 126 \cdot 0,3 + 63 + 1134 \cdot 0,3 = 100,8 : \frac{25}{25 + 100} = 504$ г. По условию задачи: $\frac{m(\text{насыщенного р-ра } \text{Na}_2\text{SO}_3)}{m(20\text{-го р-ра } \text{NaMnO}_4)} = \frac{25,2}{7,1}$, откуда $m(20\text{-го р-ра } \text{NaMnO}_4) = 504 \cdot \frac{7,1}{25,2} = 142$ г. $v(\text{NaMnO}_4) = \frac{142 \cdot 0,2}{142} = 0,2$ моль.

Общая рекомендация 2: соотношение масс реагирующих растворов **также указывает на избыток-недостаток!** При смешении растворов Na_2SO_3 и NaMnO_4 идёт реакция:

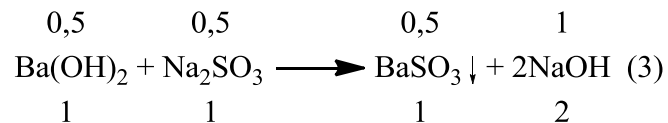
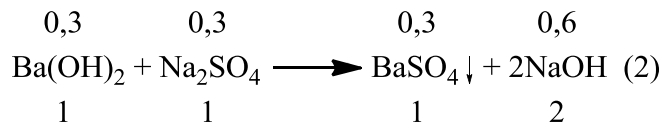


$\frac{0,2}{2} < \frac{0,8}{3}$, следовательно, NaMnO_4 в недостатке, прореагирует полностью, расчёт числа моль продуктов ведём по недостатку. После реакции(1)

останется $v(\text{Na}_2\text{SO}_3 \text{ непрореаг. в р-ии (1)}) = 0,8 - \frac{0,2 \cdot 3}{2} = 0,5$ моль. Далее прибавлено $v(\text{Ba(OH)}_2) = \frac{136,8}{171} = 0,8$ моль. Идут реакции:

Пример 11. Соотношение масс реагирующих растворов. Растворимость. Приготовление насыщенного раствора из кристаллогидрата и ненасыщенного раствора. Растворимость сульфита натрия при некоторой температуре составляет 25 г на 100 г воды. При этой температуре приготовили насыщенный раствор, добавив необходимое количество 10%-го раствора сульфита натрия к 126 г гептагидрата сульфита натрия ($\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$). Полученный насыщенный раствор смешали с 20%-ным раствором перманганата натрия в массовом соотношении 25,2 : 7,1. Затем к образовавшемуся раствору добавили 136,8 г гидроксида бария. Вычислите массовую долю щёлочи в конечном растворе. В ответе запишите уравнения реакций, которые указаны в условии задачи, и приведите все необходимые вычисления (указывайте единицы измерения и обозначения искомых физических величин).

РЕШЕНИЕ. Идут реакции:



В ходе реакций (2) и (3) Ba(OH)_2 прореагирует полностью, в растворе останется только $\nu(\text{NaOH}) = 0,2 + 0,6 + 1 = 1,8$ моль, $m(\text{NaOH}) = 1,8 \cdot 40 = 72$ г. Найдём массу итогового раствора: $m(\text{итог. р-р}) = m(\text{насыщенного р-ра } \text{Na}_2\text{SO}_3) + m(20\text{-го р-ра } \text{NaMnO}_4) - m(\text{MnO}_2) + m(\text{Ba(OH)}_2) - m(\text{BaSO}_4) - m(\text{BaSO}_3) = 504 + 142 - 0,2 \cdot 87 + 136,8 - 0,3 \cdot 233 - 0,5 \cdot 217 = 587$ г. С другой стороны, $m(\text{итог. р-р}) = m(\text{NaOH}) + m(\text{H}_2\text{O в нас. р-ре } \text{Na}_2\text{SO}_3) + m(\text{H}_2\text{O в } 20\text{-ном р-ре } \text{NaMnO}_4) - m(\text{H}_2\text{O в р-ии (1)}) = 72 + 403,2 + 142 \cdot 0,8 - 0,1 \cdot 18 = 587$ г. Искомая массовая доля щёлочи составит $\omega(\text{NaOH}) = \frac{72}{587} \approx 12,27 \%$.

Пример 12. Массовая доля нейтронов в ядрах атомов. Последовательные реакции. Смесь хлората калия и перхлората калия, в которой масса нейтронов в ядрах всех атомов составляет 51 % от общей массы смеси, прокалили до постоянной массы. К твёрдому остатку добавили избыток раствора нитрата серебра(I). При этом образовалось 918,4 г осадка. Вычислите массу исходной смеси солей калия. В ответе запишите уравнения реакций, которые указаны в условии задачи, и приведите все необходимые вычисления (указывайте единицы измерения и обозначения искомых физических величин).

РЕШЕНИЕ

Общая рекомендация 1: на всякий случай в черновике используйте общепринятую символику ${}^A_Z\text{Э}$, где Э – символ химического элемента; Z – зарядовое число, равное числу протонов в ядре атома Э и совпадающее с его порядковым номером в ПСХЭ Д.И. Менделеева; A – массовое число, показывающее массу атома элемента Э. Справедлива формула: $A = Z + N$, где N – число нейтронов в атоме элемента Э. Для общего случая допущений школьного курса (целочисленных значений относительных атомных масс) рекомендация оправдана с дальнейшим переходом от отдельно взятой частицы (формульной единицы) к моль. Пример: 1 молекула ${}^{14}\text{N}^1\text{H}_3$ содержит $(14 - 7) \cdot 1 + (1 - 1) \cdot 3 = 7$ нейтронов в ядрах всех атомов, поэтому 1 моль аммиака содержит 7 моль нейтронов в ядрах всех атомов. Данный пример *специально «неудачно»* подобран, ибо в рамках ЕГЭ $A_r(\text{Cl}) = 35,5$.

Общая рекомендация 2: считайте, что $M(\text{p}^+) = M(\text{n}^0) = 1$ г / моль. Масса электрона в действительности составляет $m(\text{e}^-) \approx \frac{1}{1840}$ а.е.м., поэтому **массой электрона при расчётах пренебрегают**, откуда следует, что **сумма масс протонов и нейтронов в ядрах всех атомов равна атомной массе элемента**, т. е. **$\omega(\text{p}^+ \text{ в ядрах всех атомов}) + \omega(\text{n}^0 \text{ в ядрах всех атомов}) = 100\%$** . Для хлорсодержащих веществ целесообразно переходить от одной частицы к одному моль сразу, избегая «многого противоречия» о том, что в ядре одного атома хлора содержится $35,5 - 17 = 18,5$ нейтрона. В самом деле, природный хлор состоит из двух изотопов ${}^{35}\text{Cl}$ и ${}^{37}\text{Cl}$, мольная (атомная, штучная) доля более лёгкого из которых почти в 3 раза выше, чем более тяжёлого. Таким образом, утверждение вида: «1 моль атомов природного хлора содержит 18,5 моль нейтронов в ядрах всех атомов» противоречия не вызывает. Пусть в исходной смеси $\nu(\text{KClO}_3) = x$ моль, а $\nu(\text{KClO}_4) = y$ моль. Тогда масса исходной смеси составит $m(\text{исх. смеси}) = m(\text{KClO}_3) + m(\text{KClO}_4) = (122,5x + 138,5y)$ г. Запишем выражение для массовой доли нейтронов в ядрах всех атомов для исходной смеси: $\omega(\text{n}^0 \text{ в ядрах всех атомов}) = \frac{m(\text{n}^0)}{m(\text{смеси})} = \frac{M(\text{n}^0) \cdot \nu(\text{n}^0 \text{ в KClO}_3) + M(\text{n}^0) \cdot \nu(\text{n}^0 \text{ в KClO}_4)}{m(\text{смеси})} = \frac{1 \cdot x \cdot (39 - 19 + 35,5 - 17 + 3 \cdot (16 - 8)) + 1 \cdot y \cdot (39 - 19 + 35,5 - 17 + 4 \cdot (16 - 8))}{122,5x + 138,5y} = \frac{62,5x + 70,5y}{122,5x + 138,5y} = 0,51$,

откуда $62,5x + 70,5y = 62,475x + 70,635y$; $0,025x = 0,135y$, $x = 5,4y$. Аналогично можно выполнить расчёт через массовую долю протонов в ядрах всех атомов исходной смеси: $\omega(\text{p}^+ \text{ в ядрах всех атомов}) = 1 - \omega(\text{n}^0 \text{ в ядрах всех атомов}) = 1 - 0,51 = 0,49 = \frac{m(\text{p}^+)}{m(\text{смеси})} = \frac{M(\text{p}^+) \cdot \nu(\text{p}^+ \text{ в KClO}_3) + M(\text{p}^+) \cdot \nu(\text{p}^+ \text{ в KClO}_4)}{m(\text{смеси})} = \frac{1 \cdot x \cdot (19 + 17 + 3 \cdot 8) + 1 \cdot y \cdot (19 + 17 + 4 \cdot 8)}{122,5x + 138,5y} = \frac{60x + 68y}{122,5x + 138,5y} = 0,49$, откуда $60x + 68y = 60,025x + 67,865y$; получаем **такое же уравнение** $0,135y = 0,025x$, $x = 5,4y$.

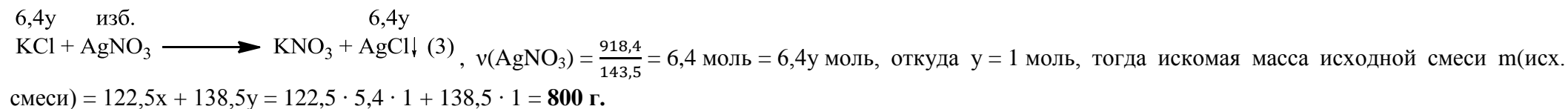
Прокаливание **до постоянной массы** означает протекание всех возможных реакций термического разложения. Нагревание хлората калия без катализатора приводит к его диспропорционированию на перхлорат калия и хлорид калия, дальнейшее нагревание перхлората калия при более высокой температуре приводит к его разложению на хлорид калия и кислород, поэтому, строго говоря, **последовательно** идут следующие реакции ($T_2 > T_1$):

Пример 12. Массовая доля нейтронов в ядрах атомов. Последовательные реакции. Смесь хлората калия и перхлората калия, в которой масса нейтронов в ядрах всех атомов составляет 51 % от общей массы смеси, прокалили до постоянной массы. К твёрдому остатку добавили избыток раствора нитрата серебра(I). При этом образовалось 918,4 г осадка. Вычислите массу исходной смеси солей калия. В ответе запишите уравнения реакций, которые указаны в условии задачи, и приведите все необходимые вычисления (указывайте единицы измерения и обозначения искомых физических величин).

РЕШЕНИЕ



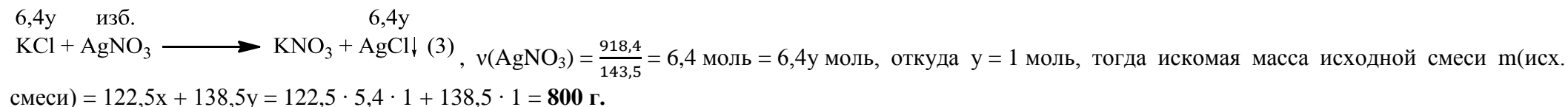
Общее количество перхлората калия после реакции (1) составит $\nu(\text{KClO}_4) = 4,05y$ моль (образовалось в реакции (1)) + y моль (было в исходной смеси) = $5,05y$ моль. Таким образом, после всех реакций разложения в твёрдом остатке $\nu(\text{KCl}) = 1,35y + 5,05y = 6,4y$ моль. При взаимодействии твёрдого остатка с раствором нитрата серебра(I) идёт реакция:



Замечание: если допустить не последовательный ход вышеупомянутых реакций (1) и (2), а параллельно идущие процессы разложения хлората и перхлората на хлорид калия и кислород, то на ход вычислений это не повлияет:



После реакций (1') и (2') $\nu(\text{KCl общ.}) = 5,4y + y = 6,4y$ моль. При взаимодействии твёрдого остатка с раствором нитрата серебра(I) идёт реакция:



Ошибка в решении неизбежно возникнет при записи разложения обеих солей в одно уравнение, ибо **стехиометрические коэффициенты в уравнении показывают соотношение моль веществ в смеси**. Поэтому наиболее вероятная запись $\text{KClO}_3 + \text{KClO}_4 \rightarrow 2\text{KCl} + \frac{7}{2}\text{O}_2\uparrow$ (при нагревании) будет неверной, единственная верная запись одного уравнения (если коэффициенты выражены минимальными целыми числами) имеет вид: $5,4\text{KClO}_3 + \text{KClO}_4 \rightarrow 6,4\text{KCl} + 10,1\text{O}_2$, но в методических целях рекомендуется как альтернативная обучающимся очень высокого уровня.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ