

ДЕВЯТЫЙ КЛАСС

Задача 9-1

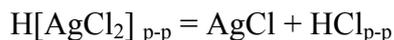
Решение (Жиров А. И.)

1. Реакции растворения золота и серебра:



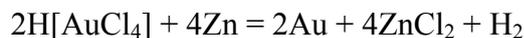
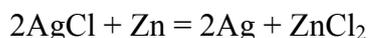
Оптимальное соотношение HCl и HNO_3 соответствует стехиометрическим коэффициентам в уравнениях 1 : 4 для золота и 1 : 6 для серебра.

2. Самый простой способ отделения серебра от золота – разбавить в несколько раз полученный раствор (уменьшить концентрацию хлорид-ионов в несколько раз). При этом будет распадаться менее устойчивый хлоридный комплекс серебра, образующийся при этом хлорид серебра мало растворим в воде и будет выпадать в осадок. Более устойчивый хлоридный комплекс золота остаётся в растворе. Отделить выпавший хлорид серебра и раствор золотохлористоводородной кислоты можно фильтрованием на бумажном фильтре или декантацией раствора с последующей промывкой водой.

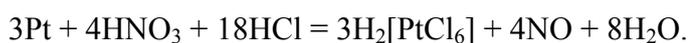


Также можно «мягко», селективно восстановить золото из комплекса.

3. Полученные хлориды серебра и золота нужно восстановить до металлов. Общим восстановителем, доступным во времена Ломоносова, может быть металлический цинк:



4. Реакция растворения губчатой платины:



5. Растворение теллура:



Растворение иода:



6. Оптимальный состав «царской водки» для теллура (2 : 9) аналогичен составу, оптимальному для платины, а состав, оптимальный для иода (1 : 4), аналогичен составу, оптимальному для золота. И в первом, и во втором случае совпадают составы хлоридных комплексов для этих элементов (степень окисления центрального атома и его координационное число).

Система оценивания:

1. 2 уравнения реакций – $1,5 \cdot 2 = 3$ балла

Оптимальное соотношение – $0,5 \cdot 2 = 1$ балл

2. Любое разумное объяснение, подтвержденное уравнением реакции – 2 балла

3. 2 уравнения реакций – $2 \cdot 2 = 4$ балла

4. Уравнение реакции – 2 балла

5. 2 уравнения реакций – $2 \cdot 2 = 4$ балла

6. Название металлов (Pt, Au) – $1 \cdot 2 = 2$ балла

Указание причины сходства – 2 балла

ИТОГО – 20 баллов

Задача 9-2

Решение (Панин Р. В.)

1. По описанию похоже, что **A** – это активный металл, способный взаимодействовать с азотом с образованием нитрида (разлагается водой с выделением резко пахнущего аммиака), а с водой – с выделением водорода. Поэтому целесообразно определить металл исходя из данных об изменении массы при образовании нитрида, учитывая, что металл, вероятнее всего, одно- или двухвалентный.

Вариант 1. **A** – одновалентный металл, тогда $6A + N_2 = 2A_3N$. Отсюда

$M(A_3N) / 3M(A) = 1,1065$, тогда $M(A) = 43,8$ г/моль – разумных вариантов нет.

Вариант 2. **A** – двухвалентный металл, тогда $3A + N_2 = A_3N_2$. Отсюда

$M(A_3N_2) / 3 M(A) = 1,1065$, тогда $M(A) = 87,6$ г/моль – подходит стронций.

Тогда **A** = Sr, **B** = NH₃, **B** = H₂.

Что касается **Г**, то, учитывая, что при взаимодействии с водой **Г** выделяет в два раза больше водорода, чем стронций, можно предположить, что **Г** – гидрид стронция.

Проверка по молярной массе подтверждает это предположение:

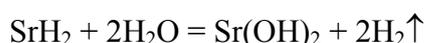
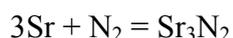
$M(Sr) = 87,6$ г/моль

$M(SrH_2) = 89,6$ г/моль

$\Delta M = 2$ г/моль

$\omega = (2 / 87,6) \cdot 100\% = 2,3 \%$

Тогда уравнения описанных реакций могут быть записаны следующим образом:



2. Объем одного шарика равен $4/3 \cdot 3,14 \cdot (0,8 \text{ дм})^3 = 2,14 \text{ дм}^3 = 2,14 \text{ л}$.

$v(\text{Sr}) = 44 \text{ г} / 87,6 \text{ г/моль} = 0,5 \text{ моль}$. По способу Иа-Иа (см. уравнения реакций) из 3 моль стронция получается 2 моль аммиака, т. е. $v(\text{NH}_3) = 2/3 \cdot 0,5 \text{ моль} = 0,33 \text{ моль}$, что соответствует объему $0,33 \cdot 22,4 \text{ л} = 7,39 \text{ л}$. Таким образом, по способу Иа-Иа можно заполнить $7,39 \text{ л} / 2,14 \text{ л} = 3,4$, то есть 3 шарика. По способу Совы из 1 моль стронция выделяется 1 моль водорода, то есть получаем $v(\text{H}_2) = 0,5 \text{ моль}$ или $0,5 \cdot 22,4 = 11,2 \text{ л}$.

Тогда $11,2 \text{ л} / 2,14 \text{ л} = 5,2$, то есть 5 шариков.

$v(\text{SrH}_2) = 44 \text{ г} / 89,6 \text{ г/моль} = 0,49 \text{ моль}$. Очевидно, что объём водорода по способу Кролика будет в 2 раза больше, то есть $0,98 \text{ моль}$ или $0,98 \cdot 22,4 = 21,95 \text{ л}$.

В этом случае $21,95 \text{ л} / 2,14 \text{ л} = 10,2$, то есть 10 шариков.

3. На воздухе стронций покрыт оксидной пленкой. Поэтому на первом этапе – пока происходит растворение пленки по уравнению $\text{SrO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Sr}(\text{OH})_2$ – выделение водорода практически не протекает. Затем, когда поверхность металла очистится от оксида, реакция, напротив, протекает очень бурно. По мере протекания реакции и накопления малорастворимого гидроксида стронция в растворе, скорость выделения водорода снова падает, так как частицы стронция покрываются малорастворимым гидроксидом стронция, а также карбонатом, если вода не была очищена от CO_2 .

4. Молекула аммиака имеет форму тригональной пирамиды. Правильным ответом считается любое разумное объяснение (например, через понятие гибридизации, Гиллеспи и т. д.)

5. Вследствие высокой химической активности стронций нужно хранить в закрытом сосуде под слоем инертной жидкости (керосин, петролейный эфир, углеводороды и т. п.)

Система оценивания:

1. За установление вещества **А** 3 балла, и по одному за установление веществ **Б**, **В**, **Г** – всего 6 баллов. За 4 уравнения реакций – $1 \cdot 4 = 4$ балла. Всего 10 баллов.

2. По 2 за расчет числа шариков по каждому способу – всего 6 баллов.

3. За особенности реакции стронция с водой – 2 балла.

4. За форму молекулы аммиака – 1 балл.

5. За условия хранения стронция – 1 балл

ИТОГО – 20 баллов

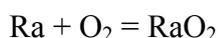
Задача 9-3

Решение (Жиров А. И.)

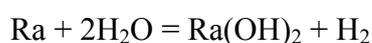
1. Количество хлорида радия, взятого для электролиза, составляет $0,1 : 297 = 3,37 \cdot 10^{-4}$ моль, тогда в 1 л амальгамы будет находиться $3,37 \cdot 10^{-4} / 0,0005 = 0,67$ моль/л (молярная концентрация RaCl_2).

Мольная доля радия в амальгаме составляет $3,37 \cdot 10^{-4} / (3,37 \cdot 10^{-4} + 0,5 \cdot 13,546 / 200,6) = 0,00988$, или 0,988%.

2. Амальгама радия (а точнее, радий в составе амальгамы) будет взаимодействовать с кислородом воздуха с образованием (как и в случае с барием) пероксида:



Или с парами воды (или с жидкой водой) с образованием гидроксида:



3. Температура кипения ртути $T_{\text{кип.}} = 357^\circ\text{C}$. Ртуть испаряется, остается твердый (при этой температуре) радий.

4. Количество гидроксида радия равно количеству хлорида – $3,37 \cdot 10^{-4}$ моль. Молярная концентрация гидроксид ионов составит $3,37 \cdot 10^{-4} \cdot 2 / 0,25 = 2,70 \cdot 10^{-3}$ моль/л. $\text{pOH} = 2,57$, $\text{pH} = 14 - 2,57 = 11,43$.

Система оценивания:

1. молярная концентрация хлорида радия – 3 балла, мольная доля радия – 3 балла. Всего 6 баллов.
2. 2 уравнения по 2 балла = 4 балла.
3. 2 балла.
4. 8 баллов.

ИТОГО – 20 баллов

Задача 9-4

Решение (Дроздов А. А.)

1. Способность вещества X растворяться в кислотах и щелочах, а также его внешний вид (серебристо-белые палочки) наводит на мысль, что это амфотерный металл. Таким образом, можно предположить, что продукт его растворения в кислоте представляет собой соль. Осадок Y – это средний карбонат, не содержащий воды (так как не меняет массу при хранении в эксикаторе над оксидом фосфора). Причем, это карбонат двухвалентного металла. Это следует из того, что вещество, полученное из растворимого в воде сульфата,

нерастворимо в воде. Карбонаты одновалентных металлов либо растворимы в воде (щелочные металлы), либо имеют малорастворимый сульфат (серебро). А вот карбонаты большинства трехвалентных металлов в водной среде не существуют из-за полного гидролиза. Таким образом, формула вещества **Y** может быть записана: MeCO_3 .

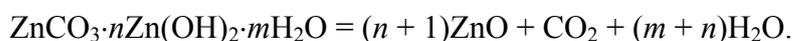
$$\omega(\text{O}) = \frac{48}{60 + M} = 0,384.$$

$M(\text{Me}) = 65$. Это цинк (вещество **X**). Формула вещества **Y** – ZnCO_3 .

Вещество **Z**, по-видимому, представляет собой основной карбонат цинка, содержащий кристаллизационную воду $\text{ZnCO}_3 \cdot n\text{Zn}(\text{OH})_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$.

$$\omega(\text{O}) = \frac{48 + 32n + 16m}{125 + 99n + 18m} = 0,384.$$

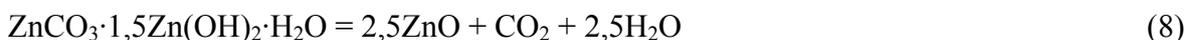
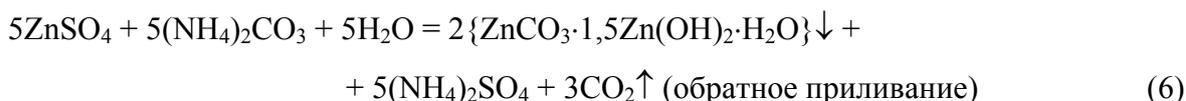
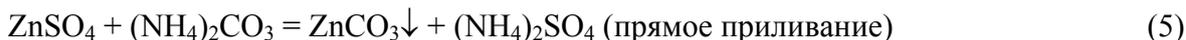
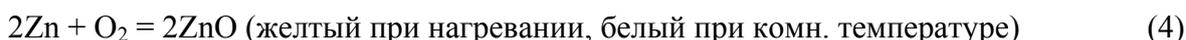
При нагревании вещество разлагается:



$$\Delta m = \frac{44 + 18(n + m)}{125 + 99n + 18m} = 0,305.$$

Решая систему уравнений, получаем $n = 1,5$; $m = 1$. Формула вещества **Z** $\text{ZnCO}_3 \cdot 1,5\text{Zn}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, или $\text{Zn}_5(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_6(\text{H}_2\text{O})_2$.

Уравнения реакций:



2. Продукт прокаливания карбоната – это оксид цинка. Если его смочить раствором нитрата кобальта и нагреть, то образуется твердый раствор двух оксидов – цинка и кобальта, так называемая Ринманова зелень:



Препараты ринмановой зелени представляют собой смешанные кристаллы $\text{ZnO} \cdot \text{CoO}$.

Препараты зеленого цвета с меньшим содержанием кобальта (до $\approx 30\%$ CoO) состоят из твердого раствора CoO в ZnO (решетка типа вюрцита).

3. Особо чистый цинк в кислотах растворяется очень медленно. Взаимодействие цинка с кислотой происходит на особых активных центрах поверхности металла. В качестве них часто выступают атомы и кластеры менее активных металлов. Это позволяет «разделить в пространстве» реакции окисления (переход цинка в раствор в виде ионов – протекает на поверхности цинка) и восстановления (выделение водорода протекает на кластерах менее активных металлов, например, меди). Общеизвестно, что добавление солей меди при проведении реакции цинка с кислотами существенно ускоряет реакцию, это заметно по увеличению скорости выделения водорода.

Система оценивания:

1. Определение X, Y, Z – $3 \cdot 3 = 9$ баллов. за 8 уравнений реакций – $1 \cdot 8 = 8$ баллов. Всего 17 баллов.
2. 2 балла.
3. За качественную оценку суммарной скорости – 0,5 балла. За объяснение – 0,5 балла. Всего 1 балл.

ИТОГО – 20 баллов

Задача 9-5

Решение (Каргов С. И.)

1. Нормальное атмосферное давление равно $101.3 \text{ кПа} = 101300 \text{ Н/м}^2$, т. е. на каждый квадратный метр поверхности Земли атмосфера давит с силой $F = 101300 \text{ Н}$. Эта сила равна

$$F = m \cdot g,$$

где m – масса столба воздуха над каждым квадратным метром поверхности, g – ускорение свободного падения. Отсюда

$$m = \frac{F}{g} = \frac{101300}{9.81} = 10326 \text{ кг},$$

что составляет

$$n = \frac{10326}{0.029} = 3.56 \cdot 10^5 \text{ моль}.$$

Площадь поверхности Земли равна

$$S = 4\pi r^2 = 4 \cdot 3.14 \cdot 6371000^2 = 5.1 \cdot 10^{14} \text{ м}^2.$$

Следовательно, общее число молекул воздуха в атмосфере Земли равно

$$N_0 = n \cdot S \cdot N_A = 1.1 \cdot 10^{44}.$$

2. Число молекул в каждом вдохе при температуре тела (37°C) равно

$$N_1 = \frac{pVN_A}{RT} = \frac{101.3 \cdot 0.5 \cdot 6.02 \cdot 10^{23}}{8.31 \cdot 310} = 1.2 \cdot 10^{22}.$$

3. Число молекул, выдохнутых Ломоносовым в течение всей жизни, равно

$$N_2 = N_1 \cdot 54 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 15 = 5.0 \cdot 10^{30}.$$

4. Число молекул, побывавших в лёгких у Ломоносова, в каждом нашем вдохе:

$$N_3 = N_1 \cdot \frac{N_2}{N_0} = 5.5 \cdot 10^8.$$

5. Допущения, сделанные при расчёте:

- а). Предполагаем, что выдохнутые молекулы равномерно распределяются в атмосфере.
- б). Предполагаем, что выдохнутые молекулы остаются в атмосфере, а не расходятся в различных природных и промышленных процессах.

Система оценивания:

1. 6 баллов
2. 2 балла
3. 4 балла
4. 4 балла
5. 4 балла (по 2 за каждое допущение)

ИТОГО 20 баллов