

Задания с решениями заключительного этапа Олимпиады «Ломоносов» по инженерным наукам 7-9 классы

Задача 1 (30 баллов). На рычажные неравноплечные весы (рис. А) подвешены два невесомых сосуда при н.у. В первый сосуд налито 50 г раствора соляной кислоты, а во второй – 20 г того же раствора. Затем в первый и во второй сосуды были добавлены карбонат кальция и сульфат меди (II) соответственно, так, что весы пришли в равновесие (рис. Б), после чего началась химическая реакция.

1. Напишите уравнения реакций, протекающих в первом и во втором сосудах.
2. Что произойдёт с весами через некоторое время?
3. Сколько граммов карбоната кальция и сульфата меди (II) добавили в первый и во второй сосуды соответственно, если при протекании реакции выделилось 1,12 л газа?

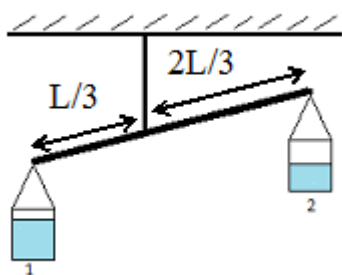


Рис. А.
Неуравновешенные весы

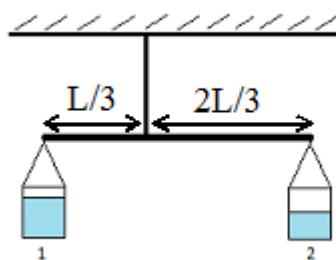
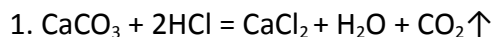


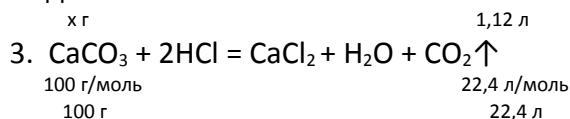
Рис. Б.
Уравновешенные весы

Решение:



$\text{CuSO}_4 + \text{HCl}$ – реакция невозможна, т.к. условием для протекания реакции обмена является образование газа, слабого электролита или осадка.

2. Весы отклонятся в сторону второго сосуда, т.к. в первом сосуде протекает реакция с выделением газа.



$$m(\text{CaCO}_3) = x = 100 \text{ г} \cdot 1,12 \text{ л} / 22,4 \text{ л} = 5 \text{ г}$$

$$F_1 L/3 = 2F_2 L/3$$

F_1 и F_2 – силы тяжести, действующие на первый и второй сосуды соответственно

$$F_1 = 2F_2$$

$$(m(\text{CaCO}_3) + m_1(\text{HCl}))g = 2(m(\text{CuSO}_4) + m_2(\text{HCl}))g$$

$$m(\text{CuSO}_4) = (m(\text{CaCO}_3) + m_1(\text{HCl}) - 2m_2(\text{HCl}))/2$$

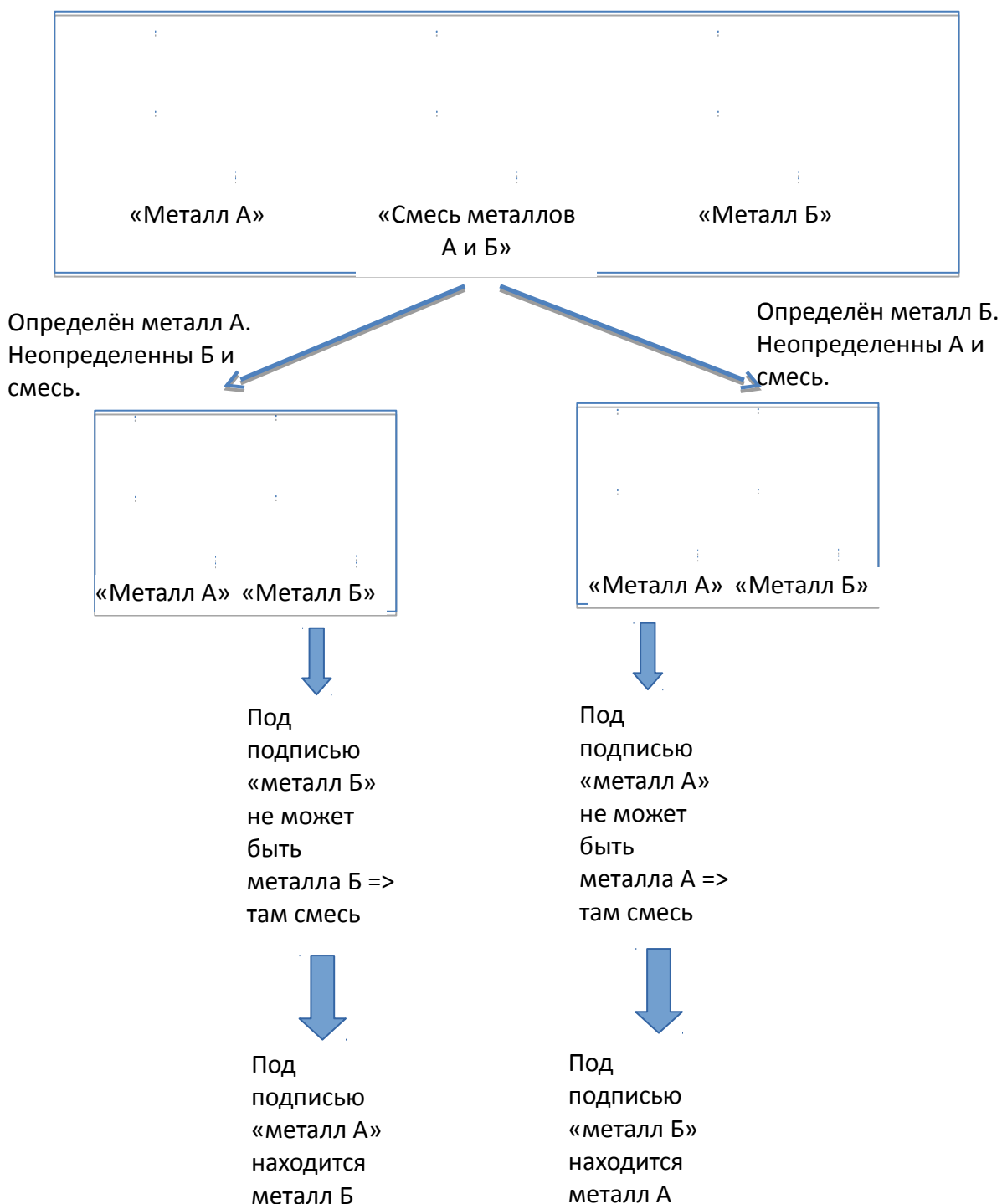
$$m(\text{CuSO}_4) = (5 \text{ г} + 50 \text{ г} - 40 \text{ г})/2 = 7,5 \text{ г}$$

Задача 2 (20 баллов). Метод рентгеновской дифракции позволяет безошибочно определить фазовый состав смеси. Представьте, что у вас есть три одинаковых на вид пробы с веществами: в первой пробе находится металл А, во второй – металл Б, а в третьей пробе – смесь этих металлов. К сожалению, юный экспериментатор перепутал подписи к этим образцам так, что ни на одной пробе не оказалось правильной подписи. Ввиду большой стоимости, вы можете произвести анализ только одной пробы. Как нужно действовать, чтобы

определить, в какой из этих проб находится смесь металлов А и Б?

Решение:

Один из вариантов решения: проведём анализ того образца, на котором написано «смесь металлов А и Б». Тогда, поскольку все подписи перепутаны, там будет находиться или проба с металлом А, или проба с металлом Б. Пусть анализом был определён металл А. На оставшихся образцах будет написано «металл А» и «металл Б». Поскольку мы точно определили местонахождение металла А и под подписью «металл Б» не может находиться металл Б, под подписью «металл Б» может быть только смесь металлов, откуда следует, что под подписью «металл А» будет находиться металл Б. Если был определён металл Б, то, по аналогии, получаем под подписью «металл А» смесь металлов, а под подписью «металл Б» металл А.



Задача 3 (20 баллов). Во многих учебниках описывается опыт по выращиванию кристаллов соли. За счет каких явлений, по Вашему мнению, растёт кристалл? Почему кристаллы не растворяются в растворе, из которого они выросли? Что нужно сделать, чтобы выросшие кристаллы растворились?

Назовите вещества, которые позволят вам вырастить кристаллы соли определенного цвета, и сформулируйте критерии, по которым можно решать, подойдет ли то или иное вещество для подобного опыта.

Решение: Все вещества состоят из мельчайших частиц. Многие из веществ растворимы в воде, что доказывается многочисленными опытами. Поваренная соль, будучи веществом, также состоит из мельчайших частиц. Соль растворяется в воде, т.е. распадается на эти мельчайшие частицы после попадания в воду.

Важное явление, за счет которого растёт кристалл, это явление диффузии. Это явление позволяет всё новой и новой растворённой в воде соли поступать к кристаллику вместо той, которая ушла из раствора, присоединившись к растущему кристаллу.

Теперь обозначим условие «выпадения» соли из воды, которое объясняет, почему растущий кристаллик не растворяется в том растворе, из которого он растёт. В воде можно растворить не больше чем определённое количество соли. Таким образом можно получить так называемый «насыщенный» раствор. В результате постепенного испарения воды, её количество уменьшается, а соли остаётся столько же. Тогда в ней оказывается «слишком много» растворённой соли, что и приводит к её «выпадению» на уже имеющихся поверхностях (заранее внесённый кристалл, стенки сосуда, соринка и т.п.)

Вторым способом выращивания кристалла из раствора является понижение температуры, поскольку растворимость вещества при различных температурах отличается. Так, растворив максимально возможное количество соли в горячей воде, можно при остывании получить возможность для роста кристаллов.

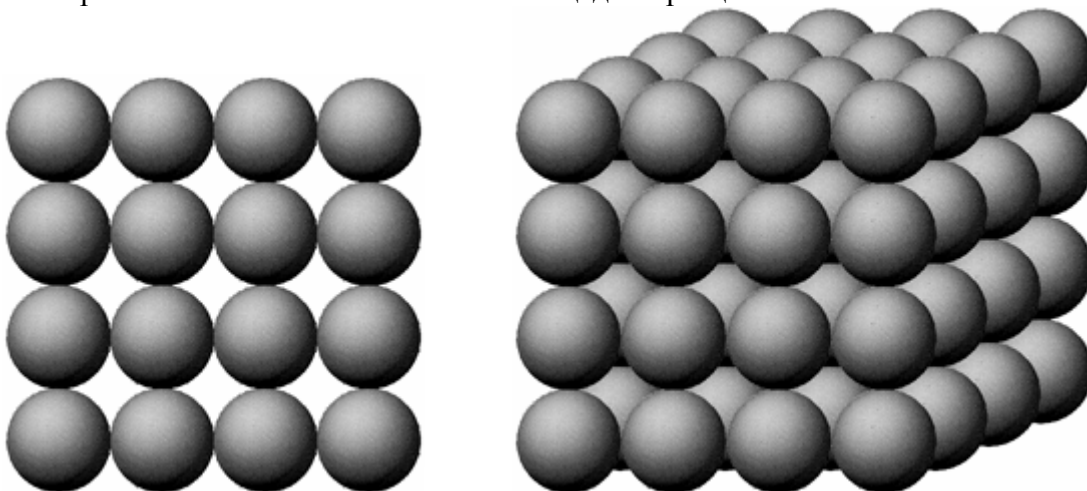
Для того, чтобы растущий кристаллик мог снова раствориться, необходимо либо нагреть раствор - тогда большее количество соли сможет содержаться в нём, либо долить ещё воды, так как в большем количестве воды может раствориться большее количество соли.

Существует несколько различных способов получения цветных кристаллов. Поскольку в задаче не оговорены специальные условия, самым простым способом «окраски» является банальное добавление в раствор соли известных красителей (например, раствора бриллиантового зелёного) или же обыкновенных красок. Несколько более «химическими» являются способы как добавления к раствору соли «окрашенных ионов», так и получение кристаллов из окрашенных в тот или иной цвет солей. В качестве окрашивающих ионов можно использовать любые ионы, дающие цвета (см. табл. 1). Солями, известными школьнику и из которых нетрудно вырастить цветные кристаллы, являются $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (медный купорос), $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$ (малахит), KMnO_4 (перманганат калия (марганцовка)). К ответу принимаются также и другие кристаллические вещества, имеющие окраску.

Таблица 1

Ион	Cu^{2+}	Co^{2+}	Ni^{2+}	Fe^{3+}
Цвет	синий	розовый	зелёный	жёлтый

Задача 4 (30 баллов). Нужно разработать новый материал для применений, в которых важную роль играют физико-химические процессы, происходящие на поверхности тела. В обычных условиях твёрдые тела состоят из очень плотно расположенных атомов; если грубо представлять себе атом в виде шарика, то можно считать, что расстояние между центрами соседних шаров равно их диаметру, т.е. шары соприкасаются друг с другом (см. рисунок). Поскольку нас интересуют процессы на поверхности материала, интересно сравнить число поверхностных и внутренних атомов. Рассмотрите два образца, изготовленных из нового материала в форме куба: один состоит из 1000 атомов (по 10 атомов вдоль каждого ребра куба), а другой – из 10^9 атомов. Оцените долю поверхностных атомов (т.е. отношение числа поверхностных атомов к полному числу атомов в образце) в этих кубиках и сравните их. Какой вывод можно сделать о зависимости доли поверхностных атомов от объема образца? Рассмотрите также гипотетический двумерный материал, т.е. вещество, состоящее из одного плоского слоя атомов (в этом случае «поверхностными» надо считать атомы, расположенные по периметру образца, т.е. лежащие на его границе). Как в этом случае доля «поверхностных» атомов зависит от площади образца?



Решение. Если вдоль ребра куба укладывается N атомов, то всего в кубе N^3 атомов, а на его поверхности $6N^2$ атомов (у куба есть 6 граней, на каждой из которых находится N^2 атомов; при таком простом подсчете атомы, лежащие на ребрах куба учитываются дважды, а атомы, расположенные в вершинах куба - даже трижды, но при больших N это не вносит заметной ошибки; точное число поверхностных атомов есть $N^3 - (N-2)^3 = 6N^2 - 12N + 8$). Поэтому доля поверхностных атомов есть $f = 6/N = 6/M^{1/3}$, где $M=N^3$ - полное число атомов в кубике. Тогда для f получаем 0.6 для первого кубика (точный ответ - 0.488) и 0.006 для второго. Поскольку объем образца V пропорционален числу атомов в нем, доля поверхностных атомов оказывается обратно пропорциональной кубическому корню из объема: $f \sim 1/V^{1/3}$. В двумерном случае число «поверхностных» атомов в квадрате при больших N приблизительно равно $4N$, так что их доля равна $f = 4/N = 4/M^{1/2} \sim 1/S^{1/2}$, где S - площадь образца.