ЛЕКЦИЯ 3

ВЫЧИСЛЕНИЯ, СВЯЗАННЫЕ С РАСТВОРАМИ ВЕЩЕСТВ

1. Растворы и их классификация
2. Расчеты, связанные с приготовлением растворов

Растворы и их классификация

Растворами называют гомогенные системы, в которых одно вещество распределено в среде другого (других) веществ.

Растворы состоят из растворителя и растворенного вещества (веществ). Эти понятия условны. Если одним из составляющих растворов веществ является жидкость, а другими - газы или твердые вещества, то растворителем обычно считают жидкость. В других случаях растворителем считают тот компонент, которого больше.

Газообразные, жидкие и твердые растворы

В зависимости *от агрегатного состояния* растворителя различают газообразные, жидкие и твердые растворы. Газообразным раствором является, например, воздух и другие смеси газов. Морская вода - наиболее распространенный жидкий раствор различных солей и газов в воде. К твердым растворам принадлежат многие металлические сплавы.

Истинные и коллоидные растворы

По степени дисперсности различают истинные и коллоидные растворы (коллоидные системы). При образовании истинных растворов растворенное вещество находится в растворителе в виде атомов, молекул или ионов. Размер частиц в таких растворах равен 10^{-7}- 10^{-8}см. Коллоидные растворы относятся к гетерогенным системам, в которых частицы одного вещества (дисперсная фаза) равномерно распределены в другом (дисперсионная среда). Размер частиц в дисперсных системах находится в пределах от 10^{-7} см до 10^{-3} и более см. Следует отметить, что здесь и далее везде мы будем рассматривать истинные растворы.

Ненасыщенные, насыщенные и пересыщенные растворы

Процесс растворения связан с диффузией, т. е. с самопроизвольным распределением частиц одного вещества между частицами другого. Так, процесс растворения твердых веществ, имеющих ионное строение, в жидкостях можно представить следующим образом: под влиянием растворителя разрушается кристаллическая решетка твердого вещества, а ионы распределяются равномерно по всему объему растворителя. Раствор останется ненасыщенным до тех пор, пока в него может переходить еще некоторое количество вещества.

Раствор, в котором вещество при данной температуре больше не растворяется, т.е. раствор, находящийся в состоянии равновесия с твердой фазой растворяемого вещества, называется насыщенным. Растворимость данного вещества равна его концентрации в насыщенном растворе. При строго определенных условиях (температура, растворитель) растворимость есть величина постоянная.

Если растворимость вещества увеличивается с ростом температуры, то охлаждая насыщенный при более высокой температуре раствор, можно получить пересыщенный раствор, т.е. такой раствор, концентрация вещества в котором выше концентрации насыщенного раствора (при данных температуре и давлении). Пересыщенные растворы очень неустойчивы. Легкое сотрясение сосуда или введение в раствор кристаллов вещества, находящегося в растворе, вызывает кристаллизацию избытка растворенного вещества, и раствор становится насыщенным.

Разбавленные и концентрированные растворы

Не следует путать ненасыщенный и насыщенный растворы с разбавленным и концентрированным. Понятия разбавленный и концентрированный растворы – относительные и между ними нельзя провести четкой границы. Они определяют соотношение между количествами растворенного вещества и растворителя. В общем случае, разбавленные растворы – это растворы, содержащие небольшие количества растворенного вещества по сравнению с ко-

личеством растворителя, концентрированные – с большим содержанием растворенного вещества.

Например, если при 20°С растворить в 100 г воды 25 г NaCl, то полученный раствор будет концентрированным, но ненасыщенным, поскольку растворимость хлорида натрия при 20°С составляет 36 г в 100 г воды. Максимальная масса AgI, которая растворяется при 20°С в 100 г H_2O равна $1{,}3 \cdot 10^{-7}$ г. Полученный при этих условиях раствор AgI будет насыщенным, но очень разбавленным.

Приблизительные растворы

При приготовлении приблизительных растворов количества веществ, которые должны быть взяты для этого, вычисляют с небольшой точностью. Атомные веса элементов для упрощения расчетов допускается брать округленными иногда до целых единиц. Так, для грубого подсчета атомный вес железа можно принять равным 56 вместо точного - 55,847; для серы - 32 вместо точного 32,064 и т. д.

Вещества для приготовления приблизительных растворов взвешивают на технохимических или технических весах.

Расчеты, связанные с приготовлением растворов

Принципиально расчеты при приготовлении растворов совершенно одинаковы для всех веществ.

Количество приготовляемого раствора выражают или в единицах массы (г, кг), или в единицах объема (мл, л), причем для каждого из этих случаев вычисление количества растворяемого вещества проводят по-разному.

Пример. Пусть требуется приготовить 1,5 кг 15%-ного раствора хлористого натрия; предварительно вычисляем требуемое количество соли. Расчет проводится согласно пропорции:

$$\begin{matrix} 100 - 15 \\ 1500 - x \end{matrix} \qquad x = \frac{15 \cdot 1500}{100} = 225 \ г$$

т. е. если в 100 г раствора содержится 15 г соли (15%), то сколько ее потребуется для приготовления 1500 г раствора?

Расчет показывает, что нужно отвесить 225 г соли, тогда воды нужно взять 1500 - 225 = 1275 г.

Если же задано получить 1,5 л того же раствора, то в этом случае по справочнику узнают его плотность, умножают последнюю на заданный объем и таким образом находят массу требуемого количества раствора. Так, плотность 15%-ного раствора хлористого натрия при 15 0С равна 1,184 г/см^3. Следовательно, 1500 мл составляет

$$1500 \cdot 1{,}184 = 1776 \text{ г}$$

т. е.

$$\begin{matrix} 100 - 15 \\ 1776 - x \end{matrix} \qquad x = \frac{15 \cdot 1776}{100} = 266{,}4 \text{ г}$$

Следовательно, количество вещества для приготовления 1,5 кг и 1,5 л раствора различно.

Расчет, приведенный выше, применим только для приготовления растворов безводных веществ.

Пример. Пусть нужно приготовить 2 кг 10%-ного раствора Na_2SO_4, исходя из $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$.

Молекулярный вес Na_2SO_4 равен 142,041, а $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ 322,195, или округленно 322,20.

Расчет ведут вначале на безводную соль:

$$\begin{matrix} 100 - 10 \\ 2000 - x \end{matrix} \qquad x = \frac{10 \cdot 2000}{100} = 200 \text{ г}$$

Следовательно, нужно взять 200 г безводной соли. Количество десятиводной соли находят из расчета:

$$\begin{matrix} 142{,}04 - 322{,}2 \\ 200 - x \end{matrix} \qquad x = \frac{200 \cdot 322{,}2}{142{,}04} = 453{,}7 \text{ г}$$

Воды в этом, случае нужно взять: 2000 - 453,7 =1546,3 г.

Так как раствор не всегда готовят с пересчетом на безводную соль, то на этикетке, которую обязательно следует наклеивать на сосуд с раствором, нужно указать, из какой соли приготовлен раствор, например 10%-ный раствор Na_2SO_4 или 25%-ный $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$.

Часто случается, что приготовленный ранее раствор нужно разбавить, т. е. уменьшить его концентрацию; растворы разбавляют или по объему, или по массе.

Пример. Нужно разбавить 20%-ный раствор сернокислого аммония так, чтобы получить 2 л 5%-иого раствора. Расчет ведем следующим путем. По справочнику узнаем, что плотность 5%-ного раствора $(NH_4)_2SO_4$ равна 1,0287 г/см^3. Следовательно, 2 л его должны весить 1,0287·2000 = 2057,4 г. В этом количестве должно находиться сернокислого аммония:

$$\begin{matrix} 100 - 5 \\ 2057{,}4 - x \end{matrix} \qquad x = \frac{5 \cdot 2057{,}4}{100} = 102{,}87 \ г$$

Теперь можно подсчитать, сколько нужно взять 20%-ного раствора, чтобы получить 2 л 5%-ного раствора.

$$\begin{matrix} 100 - 20 \\ x - 102{,}87 \end{matrix} \qquad x = \frac{100 \cdot 102{,}87}{20} = 514{,}35 \ г$$

Полученную массу раствора можно пересчитать на объем его. Для этого массу раствора делят на его плотность (плотность 20%-ного раствора равна 1.1149 г/см^3), т. е.

$$\frac{514{,}35}{1{,}1149} = 461{,}3 \ мл$$

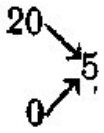
Учитывая, что при отмеривании могут произойти потери, нужно взять 462 мл и довести их до 2 л, т. е. добавить к ним 2000-462 = 1538 мл воды.

Если же разбавление проводить по массе, расчет упрощается. Но вообще разбавление проводят из расчета на объем, так как жидкости, особенно в больших количествах, легче отмерить по объему, чем взвесить.

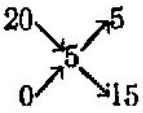
Нужно помнить, что при всякой работе как с растворением, так и с разбавлением никогда не следует выливать сразу всю воду в сосуд. Водой ополаскивают несколько раз ту посуду, в которой проводилось взвешивание или отмеривание нужного вещества, и каждый раз добавляют эту воду в сосуд для раствора.

Когда не требуется особенной точности, при разбавлении растворов или смешивании их для получения растворов другой концентрации можно пользоваться следующим простым и быстрым способом.

Возьмем разобранный уже случай разбавления 20%-ного раствора сернокислого аммония до 5%-ного. Пишем вначале так:

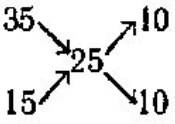


где 20 - концентрация взятого раствора, 0 - вода и 5 - требуемая концентрация. Теперь из 20 вычитаем 5 и полученное значение пишем в правом нижнем углу, вычитая же нуль из 5, пишем цифру в правом верхнем углу. Тогда схема примет такой вид:



Это значит, что нужно взять 5 объемов 20%-ного раствора и 15 объемов воды. Конечно, такой расчет не отличается точностью.

Если смешивать два раствора одного и того же вещества, то схема сохраняется та же, изменяются только числовые значения. Пусть смешением 35%-ного раствора и 15%-ного нужно приготовить 25%-ный раствор. Тогда схема примет такой вид:



т. е. нужно взять по 10 объемов обоих растворов. Эта схема дает приблизительные результаты и ею можно пользоваться только тогда, когда особой точности не требуется. Для всякого химика очень важно воспитать в себе привычку к точности в вычислениях, когда это необходимо, и пользоваться приближенными цифрами в тех случаях, когда это не повлияет на результаты

работы. Когда нужна большая точность при разбавлении растворов, вычисление проводят по формулам.

Разберем несколько важнейших случаев.

Приготовление разбавленного раствора. Пусть с - количество раствора, m% - концентрация раствора, который нужно разбавить до концентрации n%. Получающееся при этом количество разбавленного раствора x вычисляют по формуле:

$$x = \frac{a \cdot m}{n}$$

а объем воды v для разбавления раствора вычисляют по формуле:

$$v = a\left(\frac{m}{n} - 1\right)$$

Смешивание двух растворов одного и того же вещества различной концентрации для получения раствора заданной концентрации. Пусть смешиванием а частей m%-ного раствора с x частями n%-ного раствора нужно получить l%-ный раствор, тогда:

$$x = \frac{n\,(l - m)}{n - l}$$

Точные растворы. При приготовлении точных растворов вычисление количеств нужных веществ проверят уже с достаточной степенью точности. Атомные весы элементов берут по таблице, в которой приведены их точные значения. При сложении (или вычитании) пользуются точным значением слагаемого с наименьшим числом десятичных знаков. Остальные слагаемые округляют, оставляя после запятой одним знаком больше, чем в слагаемом с наименьшим числом знаков. В результате оставляют столько цифр после запятой, сколько их имеется в слагаемом с наименьшим числом десятичных знаков; при этом производят необходимое округление. Все расчеты производят, применяя логарифмы, пятизначные или четырехзначные. Вычисленные количества вещества отвешивают только на аналитических весах.

Взвешивание проводят или на часовом стекле, или в бюксе. Отвешенное вещество высыпают в чисто вымытую мерную колбу через чистую сухую воронку небольшими порциями. Затем из промывалки несколько раз небольшими порциями воды обмывают над воронкой или часовым стеклом, в котором проводилось взвешивание. Воронку также несколько раз обмывают из промывалки дистиллированной водой.

Для пересыпания твердых кристаллов или порошков в мерную колбу очень удобно пользоваться воронкой, изображенной на рис. 349. Такие воронки изготовляют емкостью 3, 6, и 10 $см^3$. Взвешивать навеску можно непосредственно в этих воронках (негигроскопические материалы), предварительно определив их массу. Навеска из воронки очень легко переводится в мерную колбу. Когда навеска пересыпается, воронку, не вынимая из горла колбы, хорошо обмывают дистиллированной водой из промывалки.

Как правило, при приготовлении точных растворов и переведении растворяемого вещества в мерную колбу растворитель (например, вода) должен занимать не более половины емкости колбы. Закрыв пробкой мерную колбу, встряхивают ее до полного растворения твердого вещества. После этого полученный раствор дополняют водой до метки и тщательно перемешивают.

Молярные растворы. Для приготовления 1 л 1 М раствора какого-либо вещества отвешивают на аналитических весах 1 моль его и растворяют, как указано выше.

Пример. Для приготовления 1 л 1 М раствора азотнокислого серебра находят в таблице или подсчитывают молекулярную массу $AgNO_3$, она равна 169,875. Соль отвешивают и растворяют в воде.

Если нужно приготовить более разбавленный раствор (0,1 или 0,01 М), отвешивают соответственно 0,1 или 0,01 моль соли.

Если же нужно приготовить меньше 1 л раствора, то растворяют соответственно меньшее количество соли в соответствующем объеме воды.

Нормальные растворы готовят аналогично, только отвешивая не 1 моль, а 1 грамм-эквивалент твердого вещества.

Если нужно приготовить полунормальный или децинормальный раствор, берут соответственно 0,5 или 0,1 грамм-эквивалента. Когда готовят не 1 л раствора, а меньше, например 100 или 250 мл, то берут1/10 или 1/4 того количества вещества, которое требуется для приготовления I л, и растворяют в соответствующем объеме воды.

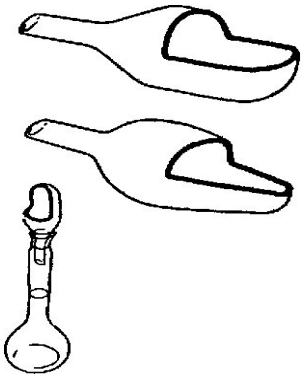


Рис. Воронки для пересыпания навески в колбу.

После приготовления раствора его нужно обязательно проверить титрованием соответствующим раствором другого вещества с известной нормальностью. Приготовленный раствор может не отвечать точно той нормальности, которая задана. В таких случаях иногда вводят поправку.

В производственных лабораториях иногда готовят точные растворы «по определяемому веществу». Применение таких растворов облегчает расчеты при анализах, так как достаточно умножить объем раствора, пошедший на титрование, на титр раствора, чтобы получить содержание искомого вещества (в г) во взятом для анализа количестве какого-либо раствора.

Расчет при приготовлении титрованного раствора по определяемому веществу ведут также по грамм-эквиваленту растворяемого вещества, пользуясь формулой:

$$a = \frac{Э_р TV}{Э_о 1000}$$

где a — количество растворяемого вещества, *г*;
$Э_р$ — грамм-эквивалент растворяемого вещества, *г*;
T — титр раствора по определяемому веществу, *г/мл*;
V — заданный объем раствора, *мл*;
$Э_о$ — грамм-эквивалент определяемого вещества, *г*.

Пример. Пусть нужно приготовить 3 л раствора марганцовокислого калия с титром по железу 0,0050 г/мл. Грамм-эквивалент $KMnO_4$ равен 31,61, а грамм-эквивалент Fe 55,847.

Вычисляем по приведенной выше формуле:

$$a = \frac{31{,}61 \cdot 0{,}0050 \cdot 3000}{55{,}847} = 8{,}4901 \ г$$

Стандартные растворы. Стандартными называют растворы с разными, точно определенными концентрациями, применяемые в колориметрии, например растворы, содержащие в 1 мл 0,1, 0,01, 0,001 мг и т. д. растворенного вещества.

Кроме колориметрического анализа, такие растворы бывают нужны при определении pH, при нефелометрических определениях и пр. Иногда «стандартные растворы» хранят в запаянных ампулах, однако чаще приходится готовить их непосредственно перед применением. Стандартные растворы готовят в объеме не больше 1 л, а чаще - меньше. Только при большом расходе стандартного раствори можно готовить несколько литров его и то при условии, что стандартный раствор не будет храниться длительный срок.

Количество вещества (в г), необходимое для получения таких растворов, вычисляют по формуле:

$$a = \frac{M_1 TV}{M_2(A)}$$

где M_1 — молекулярный вес растворяемого вещества;
T — титр раствора по определяемому веществу, *г/мл*;
V — заданный объем, *мл*;
$M_2(A)$ — молекулярный или атомный вес определяемого вещества.

Пример. Нужно приготовить стандартные растворы $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ для колориметрического определения меди, причем в 1 мл первого раствора должно содержаться 1 мг меди, второго - 0,1 мг, третьего - 0,01 мг, четвертого - 0,001 мг. Вначале готовят достаточное количество первого раствора, например 100 мл.

В данном случае Mr = 249,68; Ar Cu = 63,54; следовательно, для приготовления 100 мл раствора, 1 мл которого содержал бы 1 мг меди (T = 0,001 г/мл), нужно взять

$$a = \frac{249{,}68 \cdot 0{,}001 \cdot 100}{63{,}54} = 0{,}3929 \text{ г } CuSO_4 \cdot 5H_2O$$

Навеску соли переносят в мерную колбу емкостью 100 мл и добавляют воду до метки. Другие растворы готовят соответствующим разбавлением приготовленного.

Эмпирические растворы. Концентрацию этих растворов чаще всего выражают в г/л или г/мл. Для приготовления эмпирических растворов применяют очищенные перекристаллизацией вещества или реактивы квалификации ч. д. а. или х. ч.

Пример. Нужно приготовить 0,5 л раствора $CuSO_4$, содержащего Cu 10 мг/мл. Для приготовления раствора применяют $CuSO_4 \cdot 5H_2O$.

Чтобы подсчитать, сколько следует взять этой соли для приготовления раствора заданного объема, подсчитывают, сколько Cu должно содержаться в нем. Для этого объем умножают на заданную концентрацию, т. е.

500·10 = 5000 мг, или 5,0000 г

После этого, зная молекулярный вес соли, подсчитывают нужное количество ее:

$$\begin{array}{l} 249{,}68 - 63{,}54 \\ x - 5{,}0000 \end{array} \quad \text{или} \quad x = \frac{249{,}68 \cdot 5}{63{,}54} = 19{,}648 \text{ г}$$

На аналитических весах отвешивают в бюксе точно 19,648 г чистой соли, переводят ее в мерную колбу емкостью 0,5 л. Растворение проводят, как указано выше.

Рекомендуемая литература:

1. Олейников, Н. Н. Химия. Алгоритмы решения задач и тесты: учебное пособие для вузов / Н. Н. Олейников, Г. П. Муравьева. - 3-е изд., испр. и доп. - Москва: Издательство Юрайт, 2026. - 249 с. - (Высшее образование). - ISBN 978-5-9916-9664-7. - Текст: электронный - URL: https://urait.ru/bcode/584176.

2. Зубарева, А. П. Вопросы и задания по общей и неорганической химии: учебно-методическое пособие / А. П. Зубарева. - Новосибирск: Новосибирский государственный университет, 2025. - 78 с. - ISBN 978-5-443-7-1815-6. - Текст: электронный. - URL: https://www.iprbookshop.ru/154520.html.