

Занятие №1
«ВВЕДЕНИЕ В АНАЛИТИЧЕСКУЮ ХИМИЮ. СПОСОБЫ ВЫРАЖЕНИЯ
КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРОВ»

*Аналитическая химия приучает химически думать.
Достижение последнего представляется
самым важным при практических занятиях аналитической химией.*
Н. А. Меншуткин

Вопросы к занятию:

1. Введение в аналитическую химию. Классификация методов анализа. Основные принципы качественного анализа.
2. Классификация катионов и анионов.
3. Понятие о химическом эквиваленте и факторе эквивалентности. Определение эквивалента вещества в реакциях обмена и окислительно-восстановительных реакциях.
4. Способы выражения состава раствора: массовая доля, мольная доля, молярная и моляльная концентрации, молярная концентрация эквивалента (нормальная концентрация).
5. Решение задач на концентрации растворов.
6. Тестовые задания для самостоятельного решения.

§1. Введение в аналитическую химию.

Аналитическая химия – наука, развивающая теоретические основы анализа химического состава веществ, разрабатывающая методы идентификации и обнаружения, определения и разделения химических элементов, их соединений, а также методы установления химического строения соединений.

Предмет аналитической химии – решение общих проблем теории химического анализа, совершенствование существующих и разработка новых более быстрых и точных методов.

Задачей аналитической химии является развитие теории химических и физико-химических методов.

Основным методом аналитической химии является химический анализ. В зависимости от решаемых задач химический анализ подразделяется на качественный, количественный, структурный и фазовый.

Задача качественного анализа состоит в обнаружении в веществе атомов, элементов, ионов (элементный анализ), молекул (молекулярный анализ), функциональных групп (функциональный анализ). Кроме того, с помощью качественного анализа проводят идентификацию сложных веществ.

Количественный анализ заключается в определении количества элементов, ионов, молекул, функциональных групп или количества вещества в материалах. Качественный и количественный анализ неразрывно связаны между собой. Обычно качественный анализ предшествует количественному.

Структурный анализ предназначен для определения структуры вещества, а именно, порядка расположения атомов и химических связей в молекулах. Например, с помощью структурного анализа была установлена спиральная структура белка, а также последовательность соединения аминокислот в белке.

Фазовый анализ устанавливает, в какой форме может находиться элемент в веществе. Например, при анализе минерала можно установить не только содержание серы, но и в какой форме данный элемент находится – оксид, сульфит, сульфат и т.д. Кроме того, с помощью фазового анализа можно оценить пространственное расположение включений элементов в образце.

Классификация методов анализа.

В настоящее время аналитическая химия использует различные методы, которые подразделяются на химические, инструментальные и биологические.

Химические методы основаны на превращениях, протекающих с веществом в растворах с образованием осадков, окрашивания соединений или газообразных веществ, т.е. наблюдается определенный эффект (аналитический эффект). Химические реакции, при проведении которых возникают изменения свойств веществ с аналитическим эффектом, называются аналитическими реакциями. Вещества же, вызывающие аналитический эффект, называются химическими реагентами.

В инструментальных методах применяют аналитические приборы и аппараты, регистрирующие физические свойства веществ или изменение этих свойств. Поэтому все инструментальные методы в свою очередь подразделяются на физические и физико-химические.

Физические методы измеряют физические свойства веществ: вращение плоскости поляризации, оптические спектры, показатель преломления и т.д. Химические реакции при этом не проводятся.

Физико-химические методы наблюдают изменение свойств веществ в ходе химической реакции. К таким методам относятся оптические, электрохимические, люминесцентные и др.

Важное значение инструментальные методы анализа имеют при использовании автоматических способов аналитического контроля на химических, фармацевтических и др. предприятиях, а также для применения в экспресс-анализах, которые в течение нескольких секунд могут определить даже структуру вещества. Значительным в последнее время является внедрение автоматизированных операций с использованием ЭВМ для обработки результатов анализа.

Биологические методы применяют при анализе биологически активных веществ, токсических веществ, лекарственных препаратов при действии на живой организм. Например, активность антибиотиков определяют по их способности останавливать рост микроорганизмов.

Фармацевтический анализ использует все виды аналитических методов. Основная цель фармацевтического анализа - определение качества лекарственных препаратов, анализ лекарственного сырья, проведение научных исследований при синтезе новых лекарств.

Исторически аналитическая химия как наука сформировалась лишь после открытия Ломоносовым М.В. закона сохранения массы вещества. Наиболее бурно аналитическая химия развивалась в XIX – XX в. Из зарубежных ученых большой вклад в развитие методов анализа внесли Гей-Люссак, Бунзен, Бойль Р, Аррениус С., Киргофф К., Нернст и др. Из российских ученых следует отметить таких, как Ловиц Т. М., Севергин В. М., Меншуткин Н. А., Цвет М. С., Тананаев Н. А. и др.

Огромное влияние на развитие аналитической химии оказали периодический закон Д.И.Менделеева, теория кислот и оснований Льюиса, теория окислительно-восстановительных реакций Писсаржевского Л. В., протолитическая теория Бренстеда Д., разработка основных принципов физико-химических методов анализа Курнакова Н.С.

Основные принципы качественного анализа.

Качественный анализ необходим для обоснования выбора метода количественного анализа или способа разделения смеси веществ.

Предмет качественного анализа – развитие теоретических основ применяемых методов и разработка новых более совершенных методов определения элементного состава веществ.

Задача качественного анализа состоит в определении «качества» вещества или обнаружения отдельных элементов, ионов, входящих в состав исследуемых соединений.

Качественный анализ можно проводить химическими, физическими и физико-химическими методами.

В зависимости от агрегатного состояния вещества методику проведения качественных реакций можно осуществлять «сухим» и «мокрым» путем.

При выполнении анализа «сухим» методом исследуемые (анализируемые) вещества и реагенты находятся в твердом состоянии. С ними проводятся пирохимические реакции – пробы окрашивания пламени, получение окрашенных стекол «перлов», а также растирание порошков. При растирании порошков может изменяться цвет или выделяться газ.

Большинство аналитических реакций выполняют «мокрым» методом, что значит в растворах. При анализе электролита в растворе реакции происходят между ионами анализируемого вещества и реагента. Реакции в этом случае сопровождаются аналитическими эффектами, такими, как выпадение осадка или растворение осадка, образование характерных кристаллов, образование или изменение окраски раствора, выделение газов.

При исследовании смесей веществ применяют дробный или систематический метод анализа.

Дробный метод проводится с отдельными порциями раствора в присутствии всех компонентов пробы, при этом к данной порции добавляют реагенты, вызывающие аналитический эффект с определяемым ионом.

Систематический метод анализа проводится с помощью групповых реагентов, позволяющих отделять целые группы веществ с последующим определением после разделения исследуемых ионов.

Существенное значение имеет навеска анализируемой пробы. В зависимости от количества исследуемого вещества, объема раствора и техники выполнения операций аналитические методы подразделяют на макро-, микро-, полумикро- и ультрамикро-методы.

При макро- и полумикроанализе реакции проводят в обычных пробирках, микроанализ выполняется микрокристаллоскопически или капельным методом. Ультрамикро-, субмикроанализ применяются при радио или изотопном исследовании.

Основные требования к методам химического анализа – это точность, чувствительность, специфичность, избирательность, экономичность.

Точность анализа характеризуется воспроизводимостью. Часто для проверки точности анализа применяют стандартные образцы.

Специфичные реакции предназначены для обнаружения вещества в присутствии специфических реагентов. Например, специфичной реакцией является реакция крахмала с иодом, при этом раствор окрашивается в синий цвет.

Избирательные или селективные реакции дают сходный внешний эффект с несколькими. Например, ион хлора образует белые осадки с ионами серебра, ртути, свинца.

Чувствительность аналитических реакций определяется предельной возможностью обнаружения иона или вещества. Предельная возможность обнаружения или *предел обнаружения* – это есть наименьшее количество вещества (n), масса (m) или массовая доля вещества, которое определяется с вероятностью, равной единице. Различают предел обнаружения по содержанию вещества (при анализе твердых проб) и предел обнаружения по концентрации вещества в растворе (концентрационный предел обнаружения).

Чаще всего предел обнаружения выражается в мкг ($1 \text{ мкг} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ г}$) и обозначается $m_{\min}$. Концентрационный предел обнаружения представляет собой наименьшую

концентрацию $C_{\min}$ (выражается в г/мл), при которой можно обнаружить определяемый ион с помощью той или другой реакции. Для растворов также применяют понятие – *открываемый минимум*. Это наименьшая масса (в мкг) определяемого компонента (иона), содержащегося в 1 мл раствора, которое может быть обнаружено достаточно достоверно и выражается уравнением:

$$m = C_{\min} \cdot V$$

где m – открываемый минимум, V – объем пробы.

Кроме того, во многих случаях используется для жидких проб и другая характеристика – *предельное разбавление* (w), которое выражается отношением веса обнаруживаемого в растворе вещества(иона) к весу растворителя.

Например, открываемый минимум для иона Cu^{2+} реакцией с раствором аммиака составляет 0,2 мкг, а предельное разбавление равно 1:250000, т.е. меди в растворе должно быть не менее 1 г в 250000 см^3 раствора, чтобы ее обнаружить. Связь между открываемым минимумом и предельным разбавлением определяется соотношением:

$$m = \frac{V \cdot 10}{W} \quad \begin{array}{l} \text{где } V - \text{объем раствора в мл,} \\ \text{который должен быть взят для реакции.} \end{array}$$

§2. Аналитическая классификация катионов и анионов

Аналитическая классификация катионов базируется на химических свойствах их соединений и тесно связана с периодическим законом и периодической системой элементов Д.И.Менделеева.

В основе классификации лежат определенные закономерности, связанные с проявлением кислотно-основных или окислительно-восстановительных свойств элементов и их соединений.

Все катионы и анионы делятся на аналитические группы. В аналитическую группу объединяются катионы или анионы, проявляющие одинаковые свойства по отношению к некоторым специальным реактивам, которые называются групповыми.

Групповыми реагентами могут быть осадители, избирательно осаждающие катионы в виде различных соединений: карбонатов, сульфатов, хлоридов и др.

Групповые реагенты могут также селективно растворять составные части смешанных осадков, при этом некоторые катионы переходят в раствор и таким образом отделяются от других примесей.

В настоящее время разработано несколько типов аналитических классификаций катионов и анионов. Каждая из них рассчитана на использование 3-4 групповых реагентов.

Наибольшее распространение получили: сульфидная, кислотно-основная и аммиачно-фосфатная.

Сульфидная классификация разработана Н. А. Меншуткиным в 1871 г. Этот метод еще называют сероводородным. В данной классификации катионы разделены на пять аналитических групп. Групповыми реактивами в этом методе являются следующие вещества: $(\text{NH}_4)_2\text{S}$, $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ в среде NH_4Cl . Но в связи с токсичностью данного метода в последнее время получили распространение менее токсичные – безсероводородные методы, а именно, кислотно-основной и аммиачно-фосфатный.

В кислотно-основной классификации групповыми реагентами являются растворы кислот и оснований. Катионы в этом случае делят на 6 групп.

Аммиачно-фосфатная классификация основана на различной растворимости фосфатов в воде, сильных и слабых кислотах, щелочах, аммиаке. По этой классификации катионы делят на 5 групп.

Кислотно-основная классификация.

Аналитические свойства веществ и периодическая система элементов Д.И. Менделеева.

По кислотно-основной классификации катионы подразделяются на 6 аналитических групп и основана на различной растворимости гидроксидов, хлоридов, сульфатов элементов. Групповыми реагентами являются растворы кислот и оснований (таблица 1).

Кислотно-основная классификация имеет определенные преимущества по сравнению с другими типами классификаций, а именно, исключается токсический сероводород, используются ряд основных свойств элементов: кислотно-основные, окислительно-восстановительные, амфотерность гидроксидов и др.

Недостатком данной классификации является нечеткость разделения на аналитические группы. Например, ион свинца Pb^{2+} , входящий в состав II группы катионов, при реакции с соляной кислотой осаждается не полностью, так как соль $PbCl_2$ имеет значительную растворимость, поэтому из смеси ион свинца осаждают дополнительно в виде сульфатов, т.е. вместе с катионами III группы.

Кроме того, в некоторых случаях, разделение катионов значительно трудоемко. Например, при разделении сульфатов III аналитической группы (Ca^{2+} , Ba^{2+} , Sr^{2+}) необходимо сначала перевести их в карбонаты, затем при нагревании промыть несколько раз, отфильтровать, потом растворить в уксусной кислоте, и только после этого можно анализировать отдельные катионы.

Кислотно-основная классификация катионов как и другие типы классификаций базируется на химических свойствах их соединений и тесно связано с местоположением элементов в периодической системе Менделеева, их строением и физико-химическими характеристиками.

В настоящее время установлено, что на химико-аналитические свойства элементов и их ионов оказывают влияние ряд следующих факторов: заряд и радиус иона, электронная конфигурация атомов и их ионов, величина окислительно-восстановительного потенциала, кислотно-основные свойства вещества, их способность образовывать комплексы и т. д.

Таблица 1.

АНАЛИТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ КАТИОНОВ

№ группы	Катионы	Групповой реагент	Характеристика группы	Характер получаемых соединений
I	K^+ , Na^+ , NH_4^+	нет	хлориды, сульфаты, гидроксиды, растворимые в воде	раствор K^+ , Na^+ , NH_4^+
II	Ag^+ , Hg_2^{2+} , Pb^{2+}	2 M раствор HCl	хлориды, малорастворимые в воде и в разбавленных кислотах	осадок $AgCl$, Hg_2Cl_2 , $PbCl_2$
III	Ba^{2+} , Ca^{2+} , Sr^{2+}	1 M раствор H_2SO_4	сульфаты, малорастворимые в воде и в разбавленных кислотах	осадок $BaSO_4$, $CaSO_4$, $SrSO_4$ ($PbSO_4$)
IV	Al^{3+} , Cr^{3+} , Sn^{2+} , Zn^{2+} (Sb^{3+})	4 M раствор NaOH	амфотерные гидроксиды, растворимые в избытке NaOH	раствор $[Al(OH)_4]^-$, $[Cr(OH)_4]^-$, $[Zn(OH)_4]^{2-}$, $[Sn(OH)_4]^{2-}$ ($[Sb(OH)_4]^-$)
V	Mg^{2+} ,	25%-ный	гидроксиды, не	осадок

	Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Sb^{3+}	раствор аммиака	растворимые в избытке NaOH и аммиака	$\text{Mg}(\text{OH})_2$, $\text{Mn}(\text{OH})_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{Sb}(\text{OH})_3$
VI	Cu^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+}	25%-ный раствор аммиака	гидроксиды, малорастворимые в избытке NaOH, но растворимые в избытке аммиака	раствор $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$, $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$, $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$

Анионы, по наиболее распространенной классификации, делятся на три группы. Такое деление основано на различиях в растворимости бариевых и серебряных солей. Классификация анионов представлена в таблице 2.

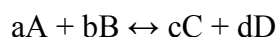
Таблица 2.

АНАЛИТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ АНИОНОВ

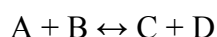
№	Анионы	Групповая характеристика	Групповой реактив	Получаемые соединения
1	SO_4^{2-} , SO_3^{2-} , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$, CO_3^{2-} , PO_4^{3-}	Бариевые соли мало растворимы в воде, но, кроме сульфата бария, растворимы в разбавленных кислотах.	BaCl_2 0.5 н/ раствор в нейтральной или слабощелочной среде.	$\text{BaSO}_4\downarrow$, $\text{BaSO}_3\downarrow$, $\text{BaS}_2\text{O}_3\downarrow$, $\text{BaCO}_3\downarrow$, $\text{BaSiO}_3\downarrow$, $\text{BaHPO}_4\downarrow$ осадки белого цвета
2	Cl^- , Br^- , I^- , S^{2-}	Серебряные соли не растворимы в воде и в разбавленной азотной кислоте.	AgNO_3 0,1% раствор в присутствии HNO_3	$\text{AgCl}\downarrow$ - белый, $\text{AgI}\downarrow$ - бледно-желтый, $\text{AgBr}\downarrow$ - желтый, $\text{Ag}_2\text{S}\downarrow$ - черный
3	NO_3^- , NO_2^-	Соли хорошо растворимы в воде.	—	—

§3. Понятие о химическом эквиваленте и факторе эквивалентности

В химии широко используют понятие эквивалента и фактора эквивалентности. **Эквивалентом** называют реальную или условную частицу вещества X, которая в данной кислотно-основной реакции эквивалентна одному иону водорода или в данной окислительно-восстановительной реакции - одному электрону. Например в реакции:



которую можно переписать в виде:



условная частица B, равноценна одной частице A, является эквивалентом вещества B данной реакции.

Множитель $1/z$ называют фактором эквивалентности вещества B и обозначают $f_{\text{экв}}(B)$.

Фактор эквивалентности $f_{\text{экв}}(X)$ – число, обозначающее какая доля реальной частицы вещества X эквивалентна одному иону водорода в данной кислотно-основной реакции или одному электрону в данной окислительно-восстановительной реакции.

$$f_{\text{экв}}(X) = 1/z$$

Молярная масса эквивалента (размерность г/моль) – равна массе вещества, эквивалентной 1 молю водорода или 1 молю электронов в химической реакции.

Молярная масса эквивалента равна молярной массе вещества умноженной на фактор эквивалентности:

$$M(1/z X) = M(X) \cdot f_{\text{экв}}(X) = M(X) / z$$

Существуют следующие формулы для определения молярных масс эквивалентов сложных веществ:

Кислоты:

$$M\left(\frac{1}{z} \text{кислоты}\right) = \frac{M(\text{кислоты})}{\text{основность кислоты}}$$

$$\text{HCl} : f(\text{HCl}) = 1 \quad M(1/1 \text{ HCl}) = \frac{M(\text{HCl})}{1}$$

$$\text{H}_2\text{SO}_4 : f(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1/2 \quad M(1/2 \text{ H}_2\text{SO}_4) = \frac{M(\text{H}_2\text{SO}_4)}{2}$$

$$\text{H}_3\text{PO}_4 : f(\text{H}_3\text{PO}_4) = 1/3 \quad M(1/3 \text{ H}_3\text{PO}_4) = \frac{M(\text{H}_3\text{PO}_4)}{3}$$

Основания:

$$M\left(\frac{1}{z} \text{основания}\right) = \frac{M(\text{основания})}{\text{кислотность основания}}$$

$$\text{NaOH} : f(\text{NaOH}) = 1 \quad M(\text{NaOH}) = \frac{M(\text{NaOH})}{1}$$

$$\text{Ba(OH)}_2 : f(\text{Ba(OH)}_2) = 1/2 \quad M(1/2 \text{ Ba(OH)}_2) = \frac{M(\text{Ba(OH)}_2)}{2}$$

$$\text{Al(OH)}_3 : f(\text{Al(OH)}_3) = 1/3 \quad M(1/3 \text{ Al(OH)}_3) = \frac{M(\text{Al(OH)}_3)}{3}$$

Соли:

$$M\left(\frac{1}{z} \text{соли}\right) = \frac{M(\text{соли})}{\text{число атомов Me} \cdot \text{степень окисления Me}}$$

$$\text{K}_2\text{SO}_4 : f(\text{K}_2\text{SO}_4) = 1/2 \quad M(1/2 \text{ K}_2\text{SO}_4) = \frac{M(\text{K}_2\text{SO}_4)}{2}$$

$$\text{CaCl}_2 : f(\text{CaCl}_2) = \frac{1}{2} \quad M\left(\frac{1}{2} \text{CaCl}_2\right) = \frac{M(\text{CaCl}_2)}{2}$$

$$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 : f(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3) = \frac{1}{6} \quad M\left(\frac{1}{6} \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3\right) = \frac{M(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3)}{6}$$

Оксиды:

$$M\left(\frac{1}{z} \text{оксида}\right) = \frac{M(\text{оксида})}{\text{число атомов эл-та} \cdot \text{степень окисления эл-та}}$$

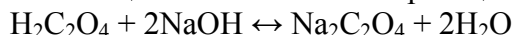
$$\text{Na}_2\text{O} : f(\text{Na}_2\text{O}) = \frac{1}{2} \quad M\left(\frac{1}{2} \text{Na}_2\text{O}\right) = \frac{M(\text{Na}_2\text{O})}{2}$$

$$\text{NiO} : f(\text{NiO}) = \frac{1}{2} \quad M\left(\frac{1}{2} \text{NiO}\right) = \frac{M(\text{NiO})}{2}$$

$$\text{N}_2\text{O}_5 : f(\text{N}_2\text{O}_5) = \frac{1}{10} \quad M\left(\frac{1}{10} \text{N}_2\text{O}_5\right) = \frac{M(\text{N}_2\text{O}_5)}{10}$$

Пример 1:

Укажите фактор эквивалентности щавелевой кислоты в реакции:



Найдите молярную массу эквивалента щавелевой кислоты.

Решение:

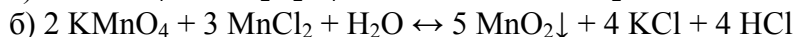
В данной реакции одна молекула $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ равноценна двум ионам водорода, следовательно:

$f_{\text{экв}}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 1/2$, а молярная масса эквивалента кислоты:

$$M\left(\frac{1}{2} \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4\right) = \frac{M(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)}{2} = \frac{90}{2} = 45 \text{ (г/моль)}$$

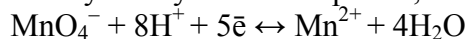
Пример 2:

Укажите факторы эквивалентности и молярные массы эквивалента KMnO_4 в реакциях:



Решение:

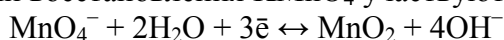
а) В полуреакции восстановления участвуют 5 электронов, следовательно:



$f_{\text{экв}}(\text{KMnO}_4) = 1/5$, а следовательно

$$M\left(\frac{1}{5} \text{KMnO}_4\right) = \frac{M(\text{KMnO}_4)}{5} = \frac{158}{5} = 31,67 \text{ (г/моль)}$$

б) Поскольку в полуреакции восстановления KMnO_4 участвуют 3 электрона:



$f_{\text{экв}}(\text{KMnO}_4) = 1/3$, следовательно

$$M\left(\frac{1}{3} \text{KMnO}_4\right) = \frac{M(\text{KMnO}_4)}{3} = \frac{158}{3} = 52,67 \text{ (г/моль)}$$

§4. Способы выражения концентрации растворов

Концентрация раствора – величина, измеряемая количеством растворенного вещества, содержащегося в определенной массе или объеме растворителя.

Ниже приведены наиболее часто употребляемые в химии способы выражения содержания растворенного вещества в растворе (таблица 3).

Таблица 3.

СПОСОБЫ ВЫРАЖЕНИЯ СОСТАВА РАСТВОРА

Способ выражения растворенного вещества в растворе	Определение	Формулы, используемые для расчетов	Единицы измерения
массовая доля $\omega(x)$	процентное отношение массы растворенного вещества к общей массе раствора	$\omega(X) = \frac{m(X)}{m(p-ра)} \cdot 100\%$	%
молярная доля N	отношение количества растворенного вещества (или растворителя) к сумме количеств всех веществ, находящихся в растворе	$N_1 = \frac{n_1}{n_1 + n_2}$ $N_i = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^m n_i}$	–
молярная концентрация или молярность $C(X)$; C_M	отношение количества растворенного вещества к объему раствора	$C(X) = \frac{n(X)}{V_{p-ра}} = \frac{m(X)}{M(X) \times V_{p-ра}}$ $C(X) = \frac{10 \times \omega(X) \times \rho}{M(X)}$	моль/л
эквивалентная концентрация или нормальность $C(1/zX)$; C_N	отношение числа эквивалентов растворенного вещества к объему раствора	$C(1/zX) = \frac{n(1/zX)}{V_{p-ра}} = \frac{m(X)}{M(1/zX) \cdot V_{p-ра}}$ $C_N(X) = \frac{z \times m(X)}{M(X) \times V_{p-ра}}$ $C_N(X) = \frac{10 \times \omega(X) \times \rho}{M(1/zX)}$ $C_N(X) = z \times C(X)$	моль/л
моляльная концентрация $b(X)$	отношение количества растворенного вещества к массе растворителя	$b(X) = \frac{n(X)}{m_{p-ля}} = \frac{m(X)}{M(X) \times m_{p-ля}}$	моль/кг

Условные обозначения:

$m(X)$ – масса растворенного вещества;

$M(X)$ – молярная масса растворенного вещества;

$V(p-ра)$ – объем раствора;

$m(p-ля)$ – масса растворителя;

n_1 и n_2 – соответственно количество вещества растворителя и растворенного вещества;

$n(1/z)$ – количества эквивалентов растворенного вещества;

$n(X)$ – количество растворенного вещества.

