



Московский государственный
медико-стоматологический университет
им. А.И. Евдокимова

Способы выражения концентрации растворов

Скопинцев Владимир Дмитриевич, профессор
кафедры общей и биоорганической химии



Растворы

Растворы- гомогенные системы переменного состава, состоящие как минимум из двух компонентов – растворенного вещества и растворителя. Возможно присутствие в растворе одновременно нескольких растворенных веществ, реже – нескольких растворителей; кроме того, в состав раствора могут входить продукты взаимодействия компонентов раствора между собой.

Растворы могут быть газообразными (воздух), жидкими (кровь, лимфа) и твердыми (сплавы). Жизнедеятельность живых организмов протекает в основном в виде жидких растворов, большинство лекарственных препаратов также поступает в организм в виде растворов.

Свойства растворов определяются не только тем, какие вещества присутствуют в растворе, но и от их количественного содержания. В зависимости от содержания одно и то же вещество может проявлять разные свойства, например, служить лекарственным препаратом или ядом.

Концентрация

Количественный состав раствора оценивают с помощью **концентрации**, т.е. *содержания растворенного вещества в единице массы или объема раствора или растворителя.*

Основные способы выражения концентрации растворов:

- массовая доля
- молярная концентрация
- молярная концентрация эквивалента
- моляльная концентрация
- титр
- мольная доля

Студенты должны обладать навыками приготовления раствора с заданной концентрацией растворенного вещества.

Способы выражения концентрации

1. Массовая доля вещества ω – отношение массы данного компонента раствора к общей массе всего раствора.

$$\omega(x) = \frac{m(x)}{m(p-p)} \quad \text{или} \quad \omega(x) = \frac{m(x)}{\rho(p-p) \cdot V(p-p)}$$
$$\text{или} \quad \omega(x) = \frac{m(x)}{m(x) + m(p-ль)}$$

Здесь $\rho = m(p-p)/V(p-p)$ – плотность (г/см³ или г/мл)

$$m(p-p) = V \cdot \rho$$

Способы выражения концентрации

2. Молярная концентрация раствора C

(молярность) – это отношение количества растворённого вещества $n(x)$ к объёму раствора:

$$C(x) = \frac{n(x)}{V(p-p)} = \frac{m(x)}{M(x) \cdot V(p-p)}.$$

Молярная концентрация выражается в моль/л и показывает количество растворённого вещества, которое содержится в 1 л раствора.

Допустимо сокращенное обозначение:

$$1 \text{ моль/л} = 1\text{М}$$

Способы выражения концентрации

3. Молярная концентрация эквивалента $C(\frac{x}{z})$

(нормальность) – это отношение количества эквивалентов растворённого вещества $n(\frac{x}{z})$ к объёму раствора:

$$C(\frac{x}{z}) = \frac{n(\frac{x}{z})}{V(p-p)} = \frac{m(x)}{M(\frac{x}{z}) \cdot V(p-p)}$$

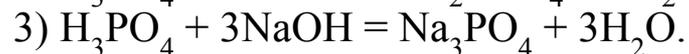
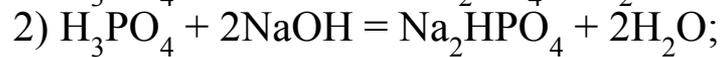
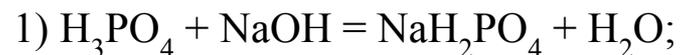
Размерность - моль/л, допустимо 1 моль/л = 1н.

Химический эквивалент – это реальная или условная частица вещества, которая равноценна 1 иону водорода в ионообменных реакциях или 1 электрону в окислительно-восстановительных реакциях.

ХИМИЧЕСКИЙ ЭКВИВАЛЕНТ

Масса одного моль эквивалента называется **молярной массой эквивалента**

$M(x)$. Доля реальной частицы вещества, соответствующая эквиваленту, называется фактором эквивалентности $\frac{1}{z}$.



В соответствии с определением эквивалента, в 1-й реакции замещается один протон, следовательно, $z = 1$; и молярная масса эквивалента равна молярной массе вещества.

$$\frac{1}{z} = 1 \quad M\left(\frac{1}{z}\text{H}_3\text{PO}_4\right) = M(\text{H}_3\text{PO}_4) = 98 \text{ г/моль}$$

Во 2-й реакции происходит замещение двух протонов, следовательно, молярная масса эквивалента составит половину молярной массы H_3PO_4 , т. е. $z = 2$,

$$\frac{1}{z} = \frac{1}{2} \quad M\left(\frac{1}{z}\text{H}_3\text{PO}_4\right) = M\left(\frac{1}{2}\text{H}_3\text{PO}_4\right) = 49 \text{ г/моль}$$

В 3-й реакции происходит замещение трёх протонов и молярная масса эквивалента составит третью часть молярной массы H_3PO_4 , т.е. $z = 3$, а

$$\frac{1}{z} = \frac{1}{3} \quad M\left(\frac{1}{z}\text{H}_3\text{PO}_4\right) = M\left(\frac{1}{3}\text{H}_3\text{PO}_4\right) \approx 32,7 \text{ г/моль}$$

Химический эквивалент

Если не указывается реакция, для которой рассчитывается эквивалент, учитывают максимальное число зарядов, которые могут принять участие в реакции:



В реакции $\text{FeCl}_3 + 3\text{NaOH} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{NaCl}$

$$1/z(\text{FeCl}_3) = 1/3$$

Но в реакции $2\text{FeCl}_3 + 2\text{KI} \rightarrow 2\text{FeCl}_2 + \text{I}_2 + 2\text{KCl}$

$$1/z(\text{FeCl}_3) = 1. \text{ т.к. } \text{Fe}^{3+} + e \rightarrow \text{Fe}^{2+} \text{ (ОВР)}$$

Способы выражения концентрации

4. **Титр $T(x)$** – это отношение массы растворённого вещества в г к объёму раствора в мл:

$$T(x) = \frac{m(x)}{V_{p-p}}.$$

Измеряется в г/мл.

5. **Моляльная концентрация (моляльность) $b(x)$** – это отношение количества растворённого вещества к массе чистого растворителя, выраженной в кг:

$$b(x) = \frac{n(x)}{m(p-ль)} = \frac{m(x)}{M(x) \cdot m(p-ль)}.$$

Измеряется в моль/кг.

6. **Молярная доля $N(x)$** – это отношение количества вещества данного компонента, содержащегося в системе, к общему количеству веществ системы:

$$N(x) = \frac{n(x)}{n(x) + n(y) + \dots}$$

Выражается в долях единицы или в %.

Связь между видами концентраций

Используя вышеприведенные формулы, легко пересчитать с одного вида концентрации на другую. Для этого необходимо из формул найти массу растворенного вещества:

$$m = \omega V \rho = CMV = C(1/z)M_{1/z}V = TV$$

С учетом, что 1 л = 1000 мл

$$m = \omega V \rho = \frac{CMV}{1000} = \frac{C(1/z)M_{1/z}V}{1000} = TV$$

Например, требуется найти связь между молярностью и нормальностью. Выбираем из этого соотношения необходимые формулы:

$$\frac{CMV}{1000} = \frac{C(1/z)M_{1/z}V}{1000}$$

После сокращений получаем:

$$C = C(1/z) / z \quad C(1/z) = C \cdot z$$

Решение задач на приготовление раствора заданного состава

Задача 1. Приготовить 200 мл 5% раствора NaCl ($\rho = 1,03$ г/мл) из кристаллической соли и воды.

Рассчитаем массу поваренной соли, необходимую для приготовления раствора, используя формулу для массовой доли.

$$\omega(x) = \frac{m(x)}{\rho(p-p) \cdot V(p-p)}$$

$$m = \omega \cdot V \cdot \rho = 0,05 \cdot 200 \cdot 1,03 = 10,3 \text{ г}$$

Рассчитаем массу приготавливаемого раствора:

$$m(p-p) = V \cdot \rho = 200 \cdot 1,03 = 206 \text{ г}$$

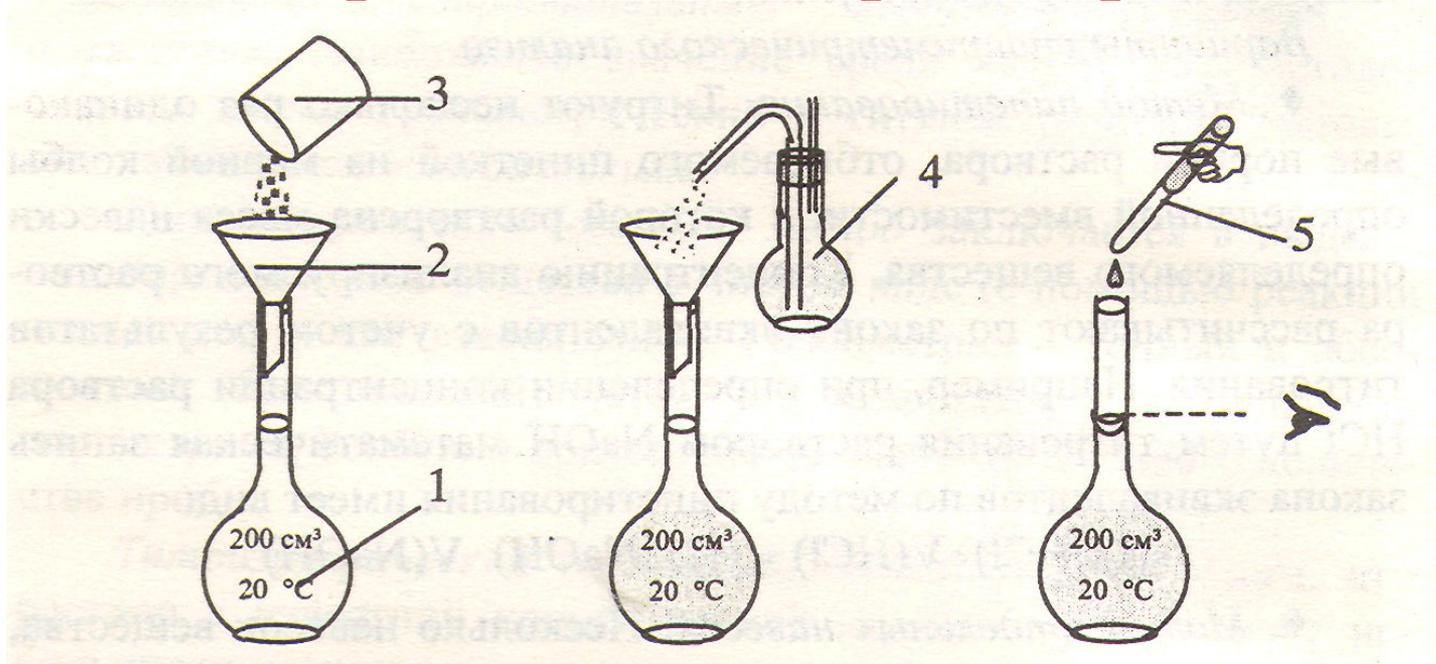
Массу воды определяем по разности:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = m(p-p) - m(\text{NaCl}) = 206 - 10,3 = 195,7 \text{ г}$$

С учетом плотности воды, равной 1 г/мл, получаем $V(\text{H}_2\text{O}) = 195,7$ мл.

Таким образом, для приготовления раствора требуется взвесить 10,3 г соли и отмерить 97,85 мл воды.

Приготовление раствора



Приготовление раствора; 1 – мерная колба, 2 – воронка, 3 – стаканчик с навеской, 4 – емкость с дистиллированной водой, 5 - пипетка

Через воронку засыпаем в мерную колбу взвешенное количество соли, добавляем немного воды, перемешиванием добиваемся полного растворения соли и добавляем недостающий объем воды до тех пор, пока мениск жидкости не коснется своим нижним краем метки на мерной колбе. Тщательно перемешиваем полученный раствор для того, чтобы растворенное вещество было равномерно распределено по всему объему.

Решение задач на приготовление раствора заданного состава

Задача 2. Приготовить 250 мл раствора сульфата меди (II) с молярной концентрацией эквивалента 0,1 моль/л из кристаллогидрата медного купороса $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

1) Найдём массу безводного CuSO_4 в растворе:

$$\begin{aligned} m(\text{CuSO}_4) &= C\left(\frac{1}{z} \text{CuSO}_4\right) \cdot M\left(\frac{1}{z} \text{CuSO}_4\right) \cdot V(\text{р-р}) = \\ &= 0,1 \text{ моль/л} \cdot \frac{160}{2} \text{ г/моль} \cdot 0,25 \text{ л} = 2 \text{ г}. \end{aligned}$$

2) Найдём массу кристаллогидрата, содержащего 2 г CuSO_4 , из закона стехиометрических соотношений:

$$n(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = n(\text{CuSO}_4) = \frac{m(\text{CuSO}_4)}{M(\text{CuSO}_4)} = \frac{2}{160} = 0,0125 \text{ моль}.$$

$$\begin{aligned} 3) m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) &= n(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = \\ &= 0,0125 \text{ моль} \cdot 250 \text{ г/моль} = 3,12 \text{ г}. \end{aligned}$$

Приготовление раствора аналогично предыдущей задаче.

Решение задач на приготовление раствора заданного состава

Задача 3. Приготовить 250 мл 0,1 М раствора H_2SO_4 с из 10% раствора H_2SO_4 плотностью 1,06 г/мл.

В данном случае необходимо рассчитать объём пробы концентрированного раствора.

1) найдем массу H_2SO_4 в заданном растворе:

$$m(H_2SO_4) = C(H_2SO_4) \cdot M(H_2SO_4) \cdot V(p-p) = 0,1 \cdot 98 \cdot 0,25 = 2,45 \text{ г.}$$

2) найдем массу 10% раствора H_2SO_4 , который содержит 2,45 г кислоты:

$$m(p-p) = \frac{m(H_2SO_4)}{\omega} = \frac{2,45}{0,1} = 24,5 \text{ г.}$$

3) Объём 10% раствора H_2SO_4 равен:

$$V(p-p) = \frac{m(p-p H_2SO_4)}{\rho} = \frac{24,5}{1,06} \approx 23 \text{ мл.}$$

Приготовление раствора:

а) отмерить мерным цилиндром 23 мл 10% раствора H_2SO_4 ;

б) перенести его в мерную колбу вместимостью 250 мл;

в) добавить до метки дистиллированную воду, тщательно перемешать.

Решение задач на приготовление раствора заданного состава

Задача 4. Для обработки ран, порезов, слизистой оболочки используют 3% раствор пероксида водорода. Найти максимальный объём 3% раствора H_2O_2 ($\rho \approx 1$ г/мл), который можно приготовить из 200 мл пергидроля (30% раствора H_2O_2 плотностью 1,1 г/мл).

Обозначим параметры исходного раствора индексом 1, а приготавливаемого – индексом 2. Из формулы для массовой доли находим массу растворенного вещества. При разбавлении исходного раствора водой она не меняется, поэтому

$$m(H_2O_2) = \omega_1 \cdot \rho_1 \cdot V_1 = \omega_2 \cdot \rho_2 \cdot V_2.$$

Отсюда

$$V = \frac{\omega_0 \cdot \rho_0 \cdot V_0}{\omega \cdot \rho} = \frac{0,3 \cdot 1,1 \cdot 200}{0,03 \cdot 1} = 2200 \text{ мл} = 2,2 \text{ л.}$$

Можно разбить решение на отдельные действия: сначала из данных по приготавливаемому раствору найти требуемую массу H_2O_2 , а затем подставить ее в формулу для массовой доли исходного раствора.

Приготовление раствора аналогично предыдущей задаче.

Решение задач на приготовление раствора заданного состава

Задача 5. Приготовить 100 мл раствора HCl с $C(\text{HCl}) = 0,1$ моль/л из 5% раствора HCl плотностью 1,02 г/мл.

В данном случае мы имеем дело с различными видами концентрации раствора. Однако здесь также можно воспользоваться равенством массы HCl в пробе концентрированного раствора и в приготовленном растворе:

$$m(\text{HCl}) = \omega_0 \cdot \rho_0 \cdot V_0 = C \cdot M \cdot V.$$

При этом необходимо только учесть различие в размерности объёма при использовании массовой доли и молярной концентрации:

$$V_0 = \frac{C \cdot M \cdot V}{\omega_0 \cdot \rho_0} = \frac{0,1 \text{ моль/л} \cdot 36,5 \text{ г/моль} \cdot 0,1 \text{ л}}{0,05 \cdot 1,02 \text{ г/мл}} \approx 7,2 \text{ мл}.$$

Приготовление раствора аналогично предыдущей задаче, но для измерения объёма исходного раствора надо использовать мерную пипетку.

Решение можно разбить на отдельные действия: из формулы для молярности определить массу HCl, подставить ее в формулу для массовой доли и найти объем исходного раствора, содержащий требуемую массу HCl.

Задачи на пересчет с одного вида концентрации на другой.

Задача 6. Найти молярную концентрацию эквивалента 10% раствора фосфорной кислоты плотностью 1,1 г/мл.

Используем формулы для нормальной концентрации и массовой доли. Зададимся любым объемом раствора, например, 1 л. Тогда из формулы для массовой доли находим требуемую массу фосфорной кислоты:

$$m = \omega \cdot \rho \cdot M = 0,1 \cdot 1,1 \cdot 1000 = 110 \text{ г}$$

Подставляем найденную массу в формулу для нормальной концентрации

$$C\left(\frac{1}{z}x\right) = \frac{n\left(\frac{1}{z}x\right)}{V(p-p)} = \frac{m(x)}{M\left(\frac{1}{z}x\right) \cdot V(p-p)}$$

Получаем:

$$C(1/z) = \frac{110}{98 \cdot 1/3 \cdot 1} = 3,37 \text{ моль/л}$$

Можно решать эту задачу, сопоставляя формулы для массовой доли и нормальной концентрации, приравнивая в них массу растворенного вещества и объем раствора.

Лабораторная работа 1. Приготовление растворов заданной концентрации.

Задания:

1. Найти массу кристаллогидрата $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, необходимую для приготовления 250 мл раствора с $C(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 0,1$ моль/л.
2. Приготовить 4 л раствора с $C(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,5$ моль/л из 15% раствора серной кислоты плотностью 1,1 г/мл.
3. При отравлениях метанолом используют 40% раствор этанола плотностью 0,94 г/мл. Требуется приготовить 100 мл данного раствора из медицинского спирта с $\omega(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 96\%$ и плотностью 0,81 г/мл.

Провести необходимые расчеты и кратко описать методику приготовления заданных растворов.