

## Определение pH растворов слабых и сильных электролитов

**Мотивационная характеристика изучаемой темы:** Одним из удивительных свойств живых организмов является кислотно-основной гомеостаз – постоянство pH биологических жидкостей, тканей и органов. pH различных жидкостей в организме человека изменяется в довольно широких пределах в зависимости от местонахождения.

Так, например, pH сыворотки крови 7,4, тогда как pH желудочного сока – жидкости, выделяемой клетками слизистой стенки желудка, составляет около единицы. Это постоянство обеспечивает нормальную деятельность ферментов, регулирует осмотическое давление и другие показатели.

Так активность ферментов, а в некоторых случаях и специфика протекающих в тканях биохимических реакций связаны с узким интервалом допустимых значений pH.

Например, оптимальная активность пепсина – фермента желудочного сока (pH~1,0), расщепляющего пептидные связи в белках, находится при pH 1,5. Ферменты кишечного сока поджелудочной железы (pH~7,5 – 8,0) – трипсин и химотрипсин, катализирующие гидролиз белков и пептидов, имеют максимальную активность в слабощелочной среде. Фермент слюны – амилаза, под действием которого крахмал и гликоген распадаются до мальтозы, имеют оптимальную активность при pH 6,7, что соответствует pH слюны (pH 6,35 – 6,85).

Смещение значения pH крови в кислую область от нормальной величины pH 7,4 называется ацидозом, а в щелочную – алкалозом.

При некоторых заболеваниях в организме образуются кислоты, которые удаляются очень медленно. Эти кислоты вытесняют  $\text{CO}_2$  из присутствующего в крови водород-карбонат иона  $\text{HCO}_3^-$ .  $\text{CO}_2$  выводится через легкие. При этом концентрация иона  $\text{HCO}_3^-$  в крови уменьшается, но изменения pH практически не происходит, т.к. образующиеся кислоты нейтрализуются, а  $\text{CO}_2$  удаляется.

Пока концентрация  $\text{HCO}_3^-$  в крови достаточна, образование кислот не приводит к существенному изменению pH. Имеет место компенсированный ацидоз (наблюдается, например, при диабете). Но когда концентрация  $\text{HCO}_3^-$  сильно понизится, ацидоз уже компенсирован, и в этом случае сдвиг pH крови станет ниже 7,0, появляются тяжелые симптомы.

Большое значение имеет клиническое исследование на кислотность желудочного сока: активную (обусловлена содержанием соляной кислоты, слабой молочной кислоты, кислых фосфатов, муцина и др. белков), резервную (представляет собой разность общей и активной кислотности).

**Цель:** Выработать навыки в решении задач по расчету величины рН в растворах сильных и слабых электролитов, расчету концентраций водородных и гидроксильных ионов в растворах с определенным значением рН.

**Формируемые компетенции:**

- способность к абстрактному мышлению, анализу, синтезу (ОК-1);
- готовность решать стандартные задачи профессиональной деятельности с использованием информационных, библиографических ресурсов, медико - биологической терминологии, информационно-коммуникационных технологий и учетом основных требований информационной безопасности (ОПК-1);
- готовность к использованию основных физико - химических, математических и иных естественнонаучных понятий и методов при решении профессиональных задач (ОПК-7);
- способность к участию в проведении научных исследований (ПК-21).

**В результате изучения темы студент должен:**

**знать:** понятия - электролиты, неэлектролиты, электролитическая диссоциация, степень диссоциации, сильные электролиты, слабые электролиты, константу диссоциации; закон разбавления Оствальда; протолитическую теорию кислот и оснований; диссоциацию воды; ионное произведение воды; рН - водородный показатель, как меру активной кислотности, общую и активную кислотность.

**уметь:** рассчитать рН растворов сильных электролитов, концентрацию ионов водорода и гидроксид - ионов по величине рН.

**владеть:** навыками действия с десятичными логарифмами.

**Вопросы необходимые для освоения темы:**

1. Какие вещества называются электролитами, неэлектролитами?
2. Электролитическая диссоциация. Степень диссоциации. Сильные электролиты. Слабые электролиты.
3. Диссоциация воды. Ионное произведение воды.
4. рН – водородный показатель. Его значение в различных средах.
5. Действия с десятичными логарифмами.

**Обучающий материал и обучающие задачи**

**I. Расчет концентраций ионов водорода**

**и гидроксид ионов из ионного произведения воды.**

рН – отрицательный десятичный логарифм молярной концентрации ионов водорода:  $\text{pH} = - \lg C (\text{H}^+)$

рОН – отрицательный десятичный логарифм молярной концентрации гидроксид ионов:  $\text{pOH} = - \lg C (\text{OH}^-)$

$\text{pH} + \text{pOH} = 14$  – логарифмическая форма ионного произведения воды  
( $K(\text{H}_2\text{O}) = C (\text{H}^+) \cdot C (\text{OH}^-) = 10^{-14}$  моль<sup>2</sup>/л<sup>2</sup> при 298 К).

Чтобы рассчитывать величину рН, нужно уметь выполнять действия с десятичными логарифмами.

### Действия с десятичными логарифмами.

а) логарифм произведения равен сумме логарифмов сомножителей:

$$\lg a \cdot b = \lg a + \lg b$$

$$\lg 2,5 \cdot 10^{-2} = \lg 2,5 + \lg 10^{-2}$$

б) логарифм частного – разность логарифмов делимого и делителя:

$$\lg \frac{a}{b} = \lg a - \lg b \quad \lg \frac{2}{5} = \lg 2 - \lg 5$$

в) логарифм числа в степени – произведение показателя степени на логарифм ее основания:

$$\lg a^n = n \cdot \lg a$$

$$\lg 10^{-5} = -5 \cdot \lg 10$$

г) логарифм корня – частное от деления логарифма подкоренного выражения на показатель корня:

$$\lg \sqrt[n]{ab} = \frac{\lg ab}{n}$$

$$\lg \sqrt{3,6 \cdot 10^{-4}} = \frac{\lg 3,6 \cdot 10^{-4}}{2} = \frac{\lg 3,6 + \lg 10^{-4}}{2}$$

*Примечание.* Десятичный логарифм единицы равен нулю ( $\lg 1=0$ ). Логарифмы чисел 10, 100, 1000 и т.д. равны 1,2,3 и т.д., т.е. имеют столько положительных единиц, сколько нулей стоит после единицы. Десятичные логарифмы чисел 0,1, 0,01, 0,001 и т.д. равны соответственно -1, -2, -3 и т.д., т.е. имеют столько отрицательных единиц, сколько нулей стоит перед единицей, включая ноль целых. Логарифмы остальных чисел имеют целую часть (характеристику) и дробную часть (мантиссу).

#### Задача № 1.

Чему равна концентрация гидроксид ионов в растворе, в котором концентрация ионов водорода  $3,15 \cdot 10^{-4}$  моль/л?

Решение:  $K(H_2O) = C(H^+) \cdot C(OH^-) = 10^{-14}$  моль<sup>2</sup>/л<sup>2</sup>, следовательно

$$C(OH^-) = \frac{K(H_2O)}{C(H^+)} ;$$

$$C(OH^-) = \frac{1 \cdot 10^{-14} \text{ моль}^2 / \text{л}^2}{3,15 \cdot 10^{-4} \text{ моль} / \text{л}} = 3,17 \cdot 10^{-11} \text{ моль} / \text{л}$$

Ответ:  $C(OH^-) = 3,17 \cdot 10^{-11}$  моль/л

#### Задача № 2.

Вычислить концентрацию ионов водорода в растворе с концентрацией гидроксид ионов  $6,75 \cdot 10^{-12}$  моль/л.

Решение:

$$K(H_2O) = C(H^+) \cdot C(OH) = 10^{-14} \text{ моль}^2 / \text{л}^2 \Rightarrow \\ \Rightarrow C(H^+) = \frac{1 \cdot 10^{-14} \text{ моль} / \text{л}^2}{6,75 \cdot 10^{-12} \text{ моль} / \text{л}} = 1,48 \cdot 10^{-3} \text{ моль} / \text{л}$$

Ответ:  $C(H^+) = 1,48 \cdot 10^{-3}$  моль/л.

## II. Расчет pH, pOH по концентрациям ионов водорода и гидроксид ионов.

### Задача № 3.

Чему равен pH и pOH раствора, в котором концентрация гидроксид ионов равна  $3,15 \cdot 10^{-4}$  моль/л.?

Решение: По величине  $C(OH^-)$  найдем pOH:

$$pOH = -\lg C(OH^-) = -\lg 3,15 \cdot 10^{-4} = 4 - 0,498 = 3,502 \approx 3,5$$

Используя логарифмическую форму ионного произведения воды, найдем величину pH:

$$pH + pOH = 14, pH = 14 - pOH = 14 - 3,5 = 10,5$$

Ответ: pH = 10,5., pOH = 3,5

## III. Расчет концентраций ионов водорода по величине pH.

По величине pH можно найти значение молярной концентрации ионов водорода:

$$pH = -\lg C(H^+), \text{ следовательно } C(H^+) = 10^{-pH}, C(H^+) = \text{antilg}(-pH).$$

### Задача № 4.

pH раствора 8,32. Рассчитать в нем концентрации ионов водорода и гидроксид ионов.

Решение: По величине pH найдем концентрацию ионов водорода:

$$C(H^+) = 10^{-pH}, C(H^+) = \text{antilg}(-pH), C(H^+) = 10^{-8,32} = \text{antilg}(-8,32).$$

Чтобы найти антилогарифм отрицательного числа, его нужно перевести в искусственную форму: от характеристики отнять, а к мантиссе прибавить 1. Характеристику снабдить знаком минус наверху. Антилогарифм находят по положительной мантиссе. В числе, найденном по таблице антилогарифмов, первую цифру отделить запятой и все число умножить на 10 в степени характеристики со знаком минус наверху.

$$C(H^+) = \text{antilg}(-8 - 1) + (-0,32 + 1) = \text{antilg} 9,68 = 4,786 \cdot 10^{-9} \approx 4,79 \cdot 10^{-9} \text{ моль/л.}$$

Из ионного произведения воды рассчитаем  $C(OH^-)$ :

$$C(OH) = \frac{1 \cdot 10^{-14}}{4,79 \cdot 10^{-9}} = 2,1 \cdot 10^{-6} \text{ моль/л.}$$

Ответ:  $C(H^+) = 4,79 \cdot 10^{-9}$  моль/л;  $C(OH^-) = 2,1 \cdot 10^{-6}$  моль/л.

## IV. Расчет pH растворов сильных электролитов

В водных растворах и расплавах сильные электролиты практически полностью диссоциируют на ионы. Следовательно, в растворах сильных

электролитов концентрация их ионов равна концентрации самого электролита с учетом числа ионов, образующихся при диссоциации молекулы электролита.

Если известно молярная концентрация эквивалента вещества в растворе ( $C(f \text{ экв } X)$ ), её нужно пересчитать в молярную концентрацию по формуле пересчета:

$$C(X) = C(f \text{ экв } X) \cdot f \text{ экв } (X) = C(f \text{ экв } X) \cdot 1/z$$

### Задача № 5.

Определить pH: а) 0,02 М раствора NaOH, б) 0,15 М раствора HCl; в) 0,4 н раствора H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Решение:

а) NaOH  $\rightleftharpoons$  Na<sup>+</sup> + OH<sup>-</sup> - сильный электролит;

$$C(\text{OH}^-) = C(\text{NaOH}) = 2 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л.}$$

$$p\text{OH} = -\lg C(\text{OH}^-) = -\lg 2 \cdot 10^{-2} = 2 - \lg 2 = 2 - 0,301 = 1,699;$$

$$p\text{H} = 14 - p\text{OH}; p\text{H} = 14 - 1,699 = 12,301 \approx 12,3.$$

б) HCl  $\rightleftharpoons$  H<sup>+</sup> + Cl<sup>-</sup> - сильный электролит;

$$C(\text{H}^+) = C(\text{HCl}) = 1,5 \cdot 10^{-1} \text{ моль/л.}$$

$$p\text{H} = -\lg C(\text{H}^+) = -\lg 1,5 \cdot 10^{-1} = 1 - \lg 1,5 = 1 - 0,1761 \approx 0,82.$$

в) H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>  $\rightleftharpoons$  2H<sup>+</sup> + SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> - сильный электролит;

$$C(\text{H}^+) = 2 \cdot C(\text{H}_2\text{SO}_4); C(\text{H}_2\text{SO}_4) = C(f \text{ экв } \text{H}_2\text{SO}_4) \cdot 1/z (\text{H}_2\text{SO}_4);$$

$$C(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,4 \text{ моль/л} \cdot 1/2 = 0,2 \text{ моль/л.}$$

$$C(\text{H}^+) = 2 \cdot 0,2 \text{ моль/л} = 0,4 \text{ моль/л} = 4 \cdot 10^{-1} \text{ моль/л.}$$

$$p\text{H} = -\lg 4 \cdot 10^{-1} = 1 - \lg 4 = 1 - 0,6021 \approx 0,4.$$

Ответ: а) pH (NaOH) = 12,3; б) pH (HCl) = 0,82; в) pH (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) = 0,4.

## V. Расчет pH растворов слабых электролитов.

Слабые электролиты – электролиты, которые в водных растворах и расплавах не полностью (частично) диссоциируют на ионы.

Для количественной характеристики полноты диссоциации введены понятия степени диссоциации ( $\alpha$ ) и константы диссоциации ( $K_{\text{дисс.}}$ ) (диссоциация – процесс обратимый, к которому применим закон действующих масс).

Чтобы определить концентрацию ионов в растворе слабого электролита, необходимо учесть степень диссоциации либо константу диссоциации слабого электролита:

$$C(\text{иона}) = C(\text{слабого электролита}) \cdot \alpha;$$

$$C(\text{иона}) = \sqrt{C(\text{сл.эл.}) \cdot K_{\text{дисс.}}}$$

Следовательно, для раствора слабой кислоты:  $p\text{H} = -\lg C \cdot \alpha;$

$$p\text{H} = -\lg \sqrt{C \cdot K_{\text{дисс.}}} = -0,5 \cdot \lg C \cdot K_{\text{дисс.}}$$

Для раствора слабого основания:

$$p\text{OH} = -\lg C \cdot \alpha;$$

$$pH = 14 + \lg C \cdot \alpha;$$

$$pOH = -\lg \sqrt{C \cdot K_{\text{дисс}}};$$

$$pH = 14 + 0,5 \lg C \cdot K_{\text{дисс.}}$$

### Задача № 6.

Определить pH:

а) 0,17 н раствора  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ( $\alpha(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,012$ );

б) 0,001 н раствора  $\text{NH}_4\text{OH}$  ( $K(\text{NH}_4\text{OH}) = 1,8 \cdot 10^{-5}$ ).

Решение:

а)  $\text{CH}_3\text{COOH} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^-$  - слабый электролит;

$$C(\text{H}^+) = C(\text{CH}_3\text{COOH}) \cdot \alpha(\text{CH}_3\text{COOH}),$$

$$C(\text{CH}_3\text{COOH}) = C(f \text{ экв } \text{CH}_3\text{COOH}), \text{ т.к. } f \text{ экв } (\text{CH}_3\text{COOH}) = 1.$$

$$pH(\text{CH}_3\text{COOH}) = -\lg C \cdot \alpha = -\lg 1,7 \cdot 10^{-1} \cdot 1,2 \cdot 10^{-2} = 3 - \lg 2,04 = 3 - 0,301 \approx 2,69.$$

б)  $\text{NH}_4\text{OH} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$  - слабый электролит;

$$C(\text{OH}) = \sqrt{C(\text{NH}_4\text{OH}) \cdot K(\text{NH}_4\text{OH})}$$

$$C(\text{NH}_4\text{OH}) = C(f \text{ экв } \text{NH}_4\text{OH}), \text{ т.к. } f \text{ экв } (\text{NH}_4\text{OH}) = 1;$$

$$pH(\text{NH}_4\text{OH}) = 14 + 0,5 \cdot \lg 10^{-3} \cdot 1,8 \cdot 10^{-5} = 14 + 0,5 \cdot (-8 + 0,2553) \approx 10,13$$

Ответ: а)  $pH(\text{CH}_3\text{COOH}) = 2,69$ ; б)  $pH(\text{NH}_4\text{OH}) = 10,13$

## Практическая работа

### Задача № 1.

Чему равен pH: а) 0,3 н раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ; б) 0,015 н раствора  $\text{KOH}$ ?

Ответ: а)  $pH(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,5$ ; б)  $pH(\text{KOH}) = 12,2$

### Задача № 2.

Вычислите pH раствора уксусной кислоты с концентрацией 0,04 моль/л,  $K(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,75 \cdot 10^{-5}$ .

Ответ:  $pH(\text{CH}_3\text{COOH}) = 3,08$

### Задача № 3.

Степень диссоциации слабой одноосновной кислоты в 0,2 н её растворе 0,03. Вычислить pH этого раствора.

Ответ:  $pH = 2,22$

### Задача № 4.

Вычислить pH и концентрацию ионов водорода в растворе гидроксида аммония с концентрацией 0,02 моль/л.  $K(\text{NH}_4\text{OH}) = 1,85 \cdot 10^{-5}$ .

Ответ:  $pH = 10,78$ ;  $C(\text{H}^+) = 1,66 \cdot 10^{-11}$  моль/л.

### Задача № 5.

Чему равна концентрация ионов водорода в растворах, в которых концентрации гидроксид ионов равны: а)  $10^{-3}$  моль/л, б)  $2,78 \cdot 10^{-8}$  моль/л?

Ответ: а)  $C(H^+) = 10^{-11}$  моль/л. б)  $C(H^+) = 3,6 \cdot 10^{-7}$  моль/л.

### **Задача №6.**

Чему равна концентрация гидроксид ионов в растворах, в которых рН равен: а) 4; б) 6,8?

Ответ: а)  $C(OH^-) = 10^{-10}$  моль/л. б)  $C(OH^-) = 6,31 \cdot 10^{-8}$  моль/л.

### **Список рекомендуемой литературы**

#### **Основная:**

1. Харитонов Ю.Я. Физическая химия: учебник. /Ю.Я. Харитонов - М.: ГЭОТАР - Медиа, 2013. – 608 с.: ил. - ISBN 978-5-9704-2390-5. – Режим доступа: <http://www.studmedlib.ru/ru/book/ISBN9785970423905.html>

2. Ершов Ю.А. Общая химия. Биофизическая химия. Химия биогенных элементов: учебник для вузов. / Ю.А. Ершов, В.А. Попков, А.С. Берлянд и др.; под ред. Ершова Ю.А.-3-е изд., стер.- – М: Высшая школа, 2002 – С. 79 – 106.

#### **Дополнительная:**

1. Беляева А.П. Физическая и коллоидная химия: учебник / А.П. Беляев., В.И. Кучук, под ред. А. П. Беляева. - М.: ГЭОТАР - Медиа, 2014. - 752 с.: ил. – ISBN 978-5-9704-2766-8. - Режим доступа: <http://www.studmedlib.ru/ru/book/ISBN9785970427668.html>

2. А.В. Бабков Практикум по общей химии. Биофизическая химия. Химия биогенных элементов: учебное пособие / Бабков А.В. и др, под редакцией В.А. Попкова. – М.: Высшая школа, 2001. – 237 с.

Электронные библиотечные системы: ЭБС «Консультант студента» – <http://www.studmedlib.ru/cgi-bin/mb4x>