



Кафедра общей и медицинской химии

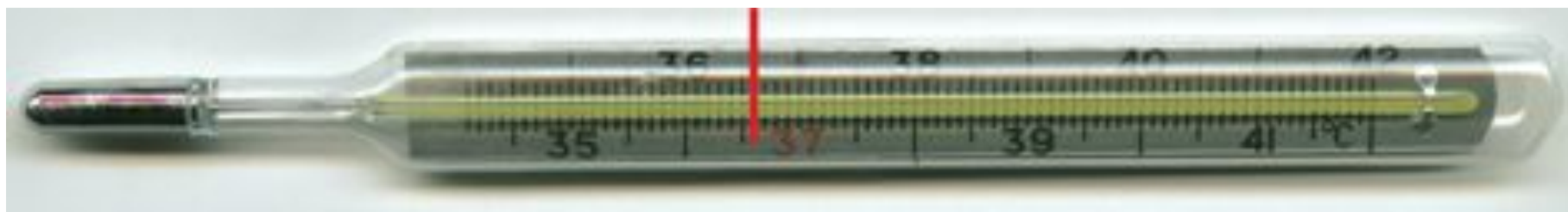
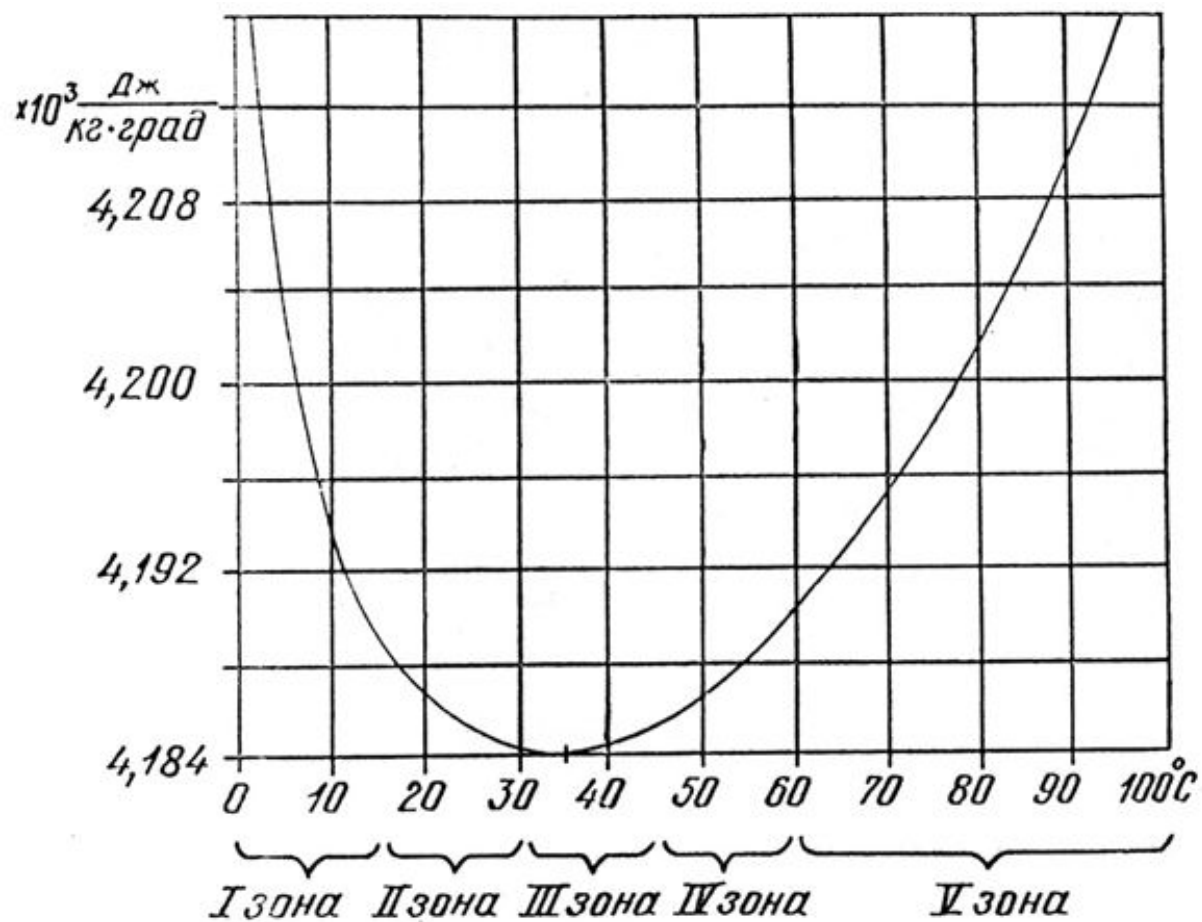
Шкала рН

Основные функции воды в организме



- ✓ **Обеспечение процессов всасывания и механического передвижения питательных веществ**
- ✓ **Поддержание оптимального осмотического давления в крови и тканях**
- ✓ **Обеспечение функционирования белков, нуклеиновых кислот, полисахаридов**
- ✓ **Участие в процессах биосинтеза, ферментативного катализа, гидролиза**
- ✓ **Поддержание температуры тела**

Изменение теплоемкости воды в зависимости от температуры

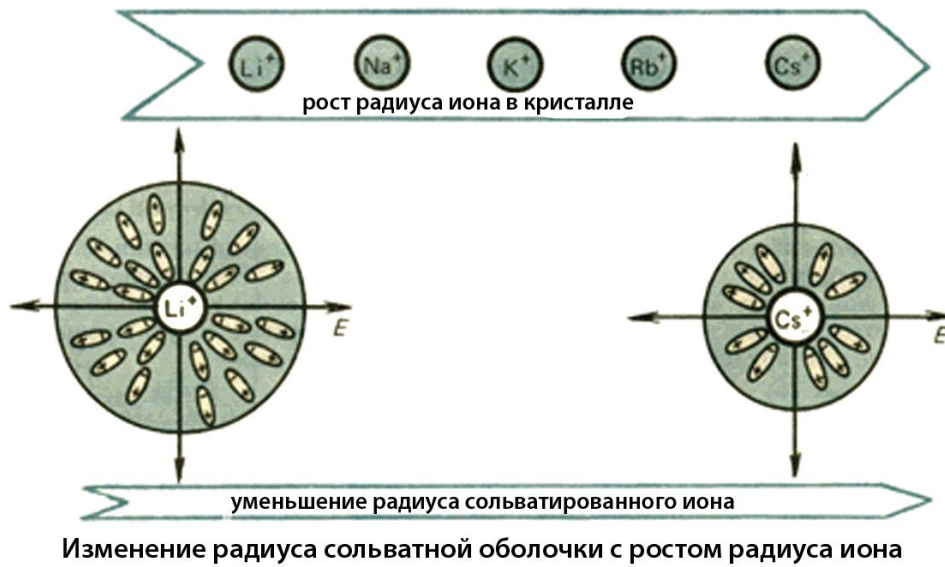


Значение растворов в жизнедеятельности организмов.

- ✓ **Важнейшие биологические жидкости - кровь, лимфа моча, слюна, пот являются растворами солей, белков, углеводов, липидов в воде.**
- ✓ **Усвоение пищи связано с переходом питательных веществ в растворенное состояние.**
- ✓ **Биохимические реакции в живых организмах протекают в растворах.**
- ✓ **Биожидкости участвуют в транспорте:**
 - кислорода, питательных веществ (жиров, аминокислот),
 - лекарственных препаратов к органам и тканям,
 - выведении из организма метаболитов: мочевины, билирубина, углекислого газа
- ✓ **Плазма крови является средой для клеток - лимфоцитов, эритроцитов, тромбоцитов.**

Значение электролитов в организме

Отвечают за осмолярность (концентрацию всех видов ионов) и величину ионной силы биосред



В организме человека осмолярность составляет примерно 290-300 мОсм/л или 0.3 моль/л.

Образуют биоэлектрический потенциал

Потенциал покоя
клеточных мембран
– 70-90 мВ
(внутренняя
поверхность
мембраны заряжена
отрицательно)

В возбужденном
состоянии
повышается до
+ 40-60 мВ

Потенциал действия
изменяется в
пределах $\approx 110-150$ мВ

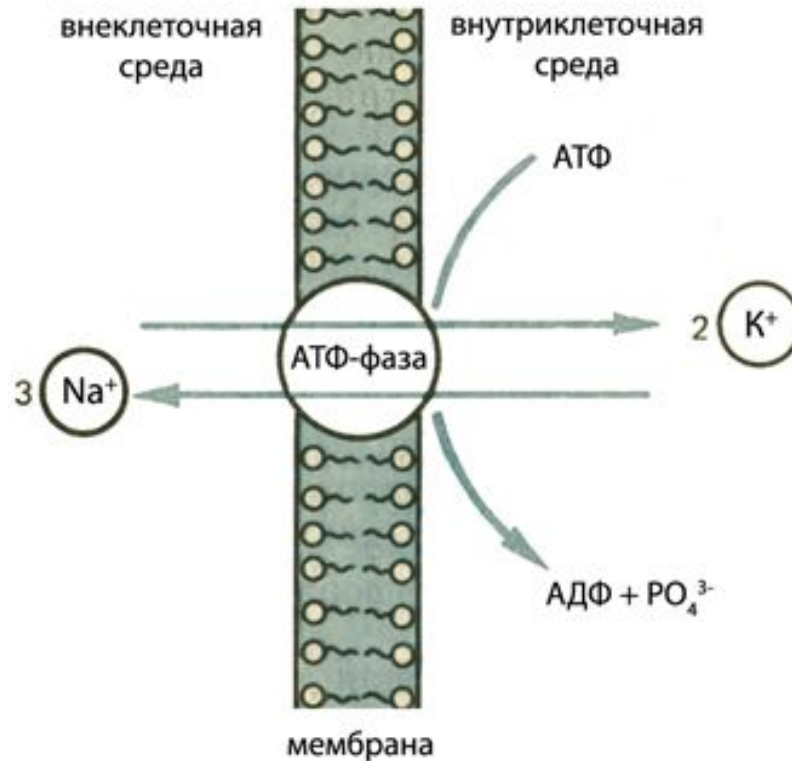
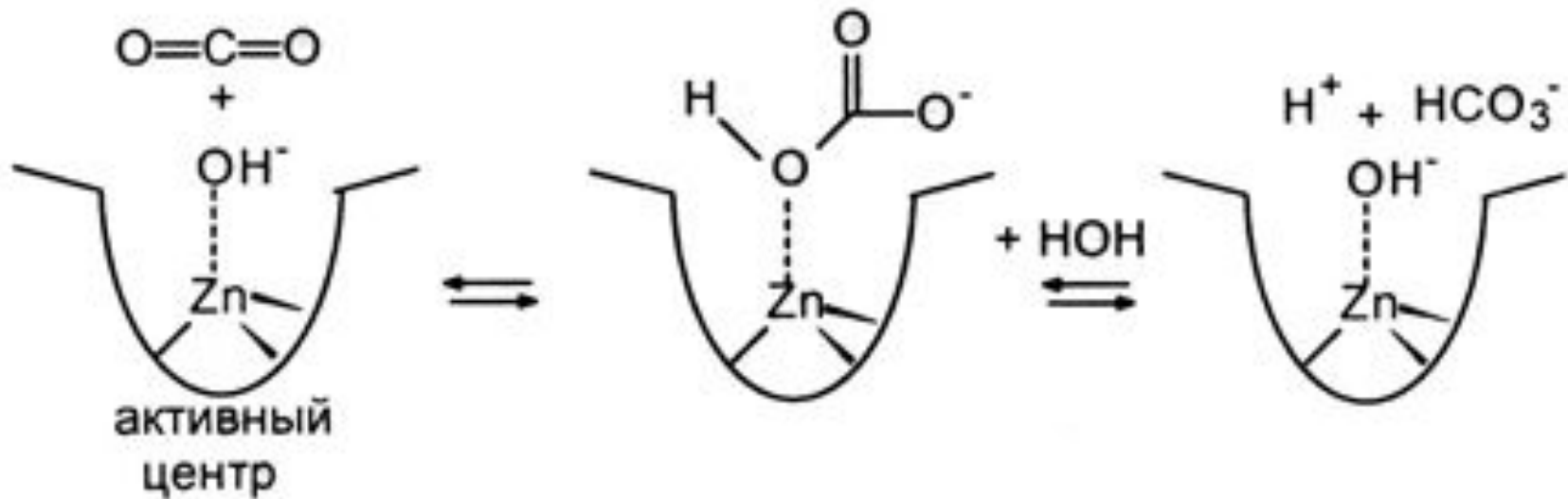


Схема действия Na⁺-, K⁺-АТФ-фазы и
возникновение разности потенциалов
на клеточных мембранах

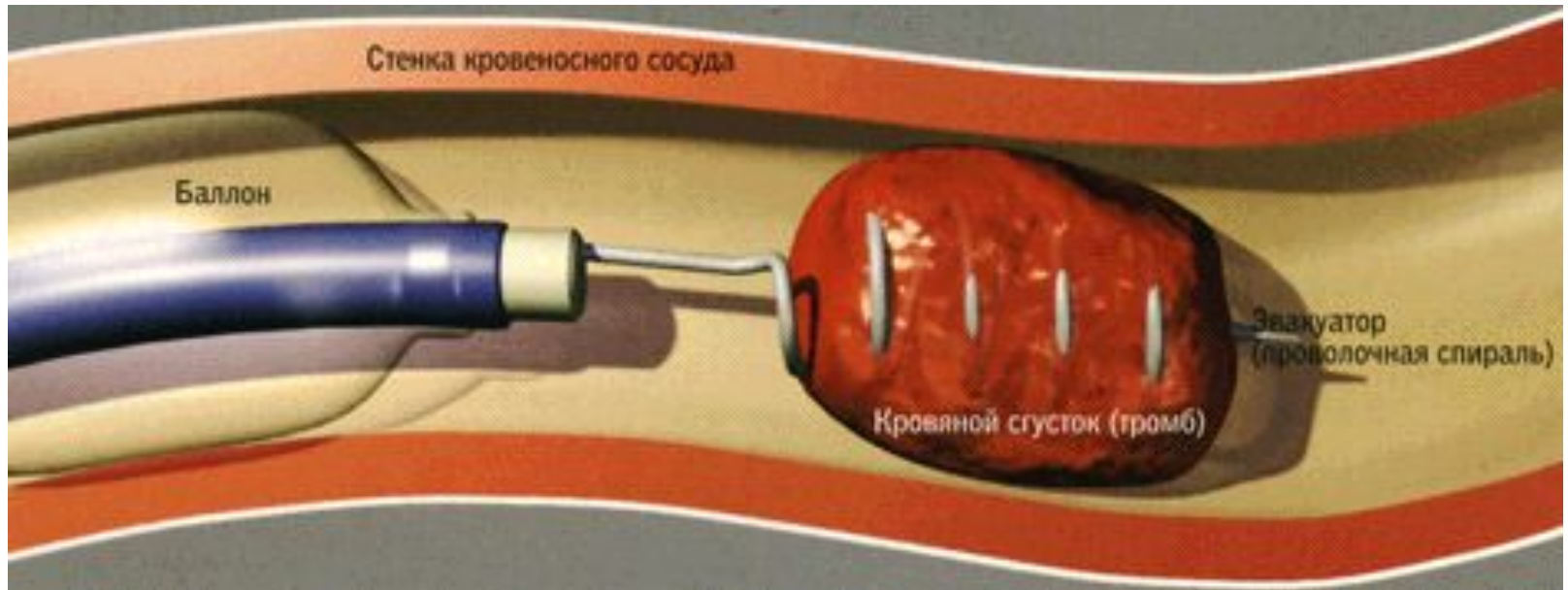
Катализируют процессы обмена веществ

Участие активного центра карбоангидразы
в гидратации углекислого газа

При поступлении крови в легкие
карбоангидраза эритроцитов расщепляет
бикарбонаты образуя свободный CO_2

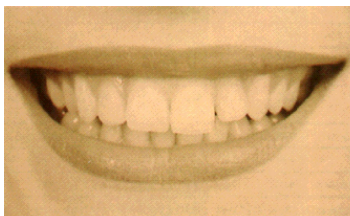
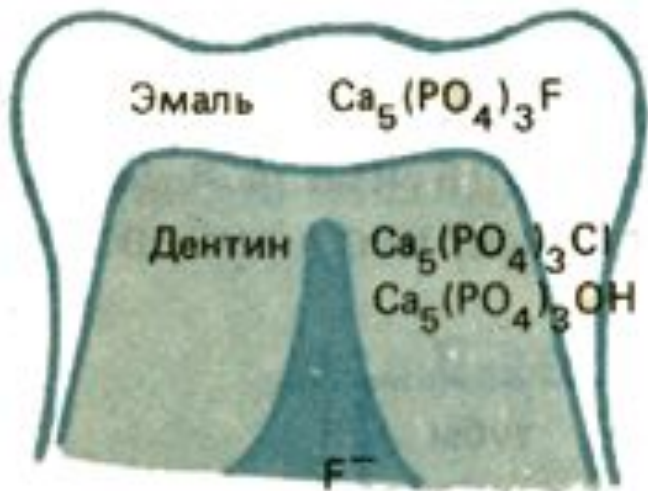


- ✓ **Участвуют в свертывающей системы крови**

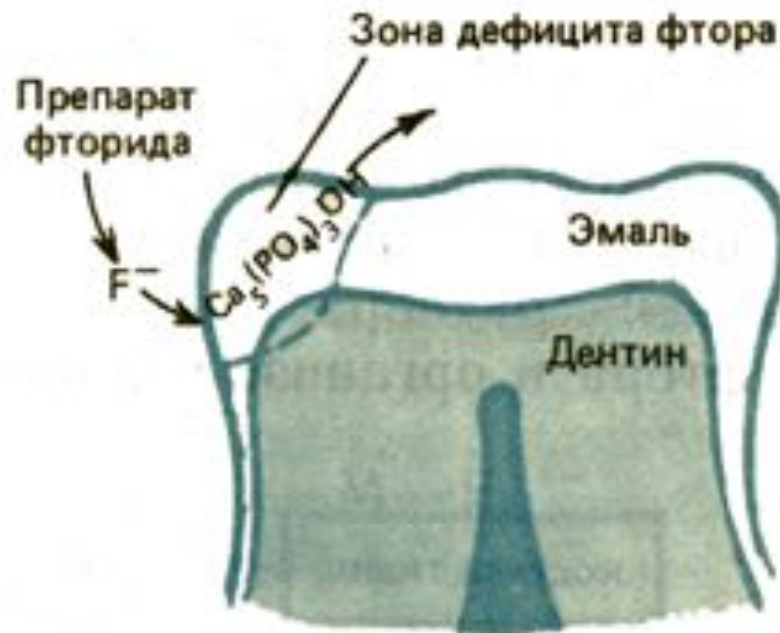


Стабилизируют костные ткани

Образование защитного
эмалевого слоя



Лечение кариеса
фторидами





Какие б чувства не таились
Тогда во мне - теперь их нет:
Они прошли иль изменились...
Мир вам, тревоги прошлых лет!
В ту пору мне казались нужны
Пустыни, волн края жемчужны,
И моря шум, и груды скал,
И гордой девы идеал,
И безыменные страданья...
Другие дни, другие сны;
Смирились вы, моей весны
Высокопарные мечтанья,
**И в поэтический бокал
Воды я много подмешал**



КИСЛОТНО-ОСНОВНОЕ РАВНОВЕСИЕ



*Имеющую огромное значение для химии чистую воду... можно рассматривать как слабую кислоту или слабое основание.
С. Аррениус*

Ионное произведение воды

Вода в малой степени ионизирована по уравнению:



Константа диссоциации $K_{\text{дисс}}$, в соответствии с законом действующих масс, выразится уравнением:

$$K_{\text{д}} = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-]}{[\text{H}_2\text{O}]}$$

$$\text{При } 25\text{ }^{\circ}\text{C} \quad K_d = 1.8 \cdot 10^{-16}$$

Концентрацию молекул воды как в чистой воде, так и в разбавленных водных растворах можно считать величиной постоянной и равной:

$$[\text{H}_2\text{O}] = 1000/18 = 55.56 \text{ моль/л}$$

$$[\text{H}^+][\text{OH}^-] = K_d \cdot [\text{H}_2\text{O}] = 1.8 \cdot 10^{-16} \cdot 55.56 = 10^{-14}.$$

$$K_d \cdot [\text{H}_2\text{O}] = K_w$$

Ионное произведение воды:

$$K_w = [\text{H}^+][\text{OH}^-] = 10^{-14} \quad (25\text{ }^{\circ}\text{C})$$

В чистой воде при температуре 25 °C:

$$[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = \sqrt{K_w} = 10^{-7} \quad \text{Моль-экв/л.}$$

В соответствии с принципом Ле Шателье при добавлении кислот или оснований равновесие



смещается:

В кислой среде: $[\text{H}^+] > 10^{-7}$, $[\text{OH}^-] < 10^{-7}$,

В щелочной среде зависимость обратная

**Диссоциация воды - эндотермический процесс, следовательно,
K_w растет с повышением температуры:**

**Для наглядности удобно использовать величину
– lgK_{H2O} = pK_{H2O}.**

K_w при различных температурах

t, °C	K_{H2O}	pK_{H2O}
0	1.2·10⁻¹⁵	14.93
20	6.9·10⁻¹⁵	14.96
25	1.0·10⁻¹⁴	14.00
37	2.5·10⁻¹⁴	13.60
50	5.5·10⁻¹⁴	13.27
100	5.1·10⁻¹³	13.29



Для удобства в расчетах пользуются величинами водородного и гидроксильного показателей - рН и рОН,

рН - power Hydrogene!!!

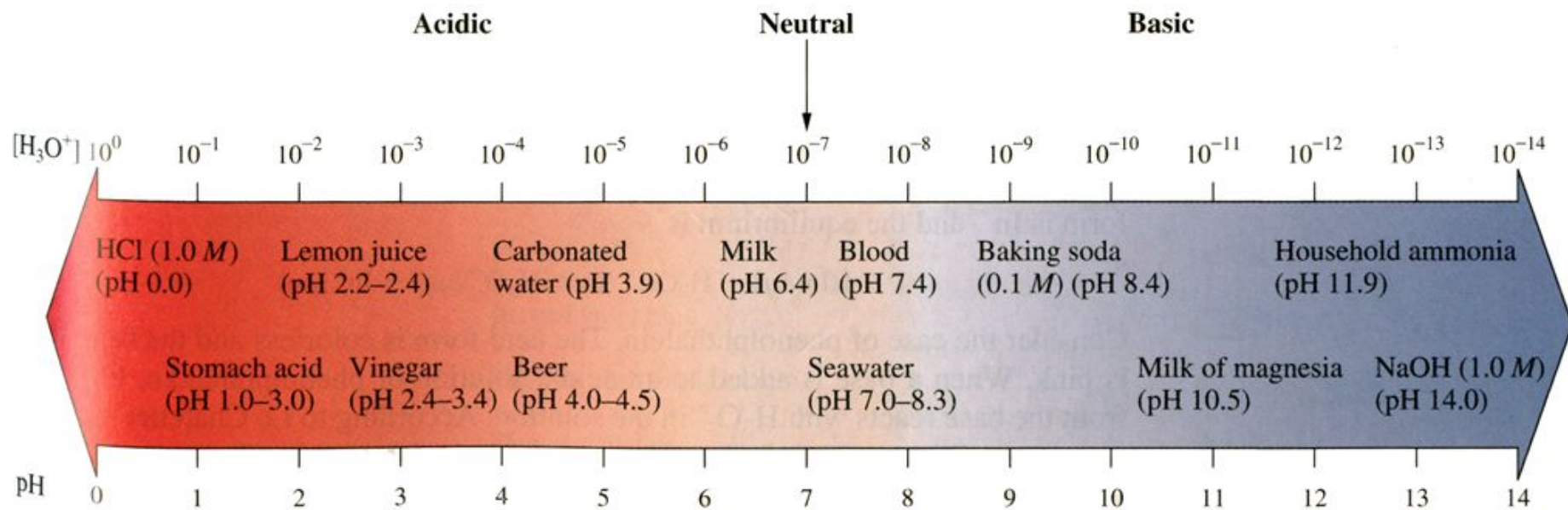
р – отрицательный логарифм (-lg)

Шкала рН

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+]$$

$$\text{pOH} = -\lg[\text{OH}^-]$$

$$\text{pH} + \text{pOH} = 14$$



$$\text{pH} < 7, \text{pOH} > 7$$

$$\text{pH} = 7$$

$$\text{pH} > 7, \text{pOH} < 7$$

ВОДОРОДНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ pH

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+]$$

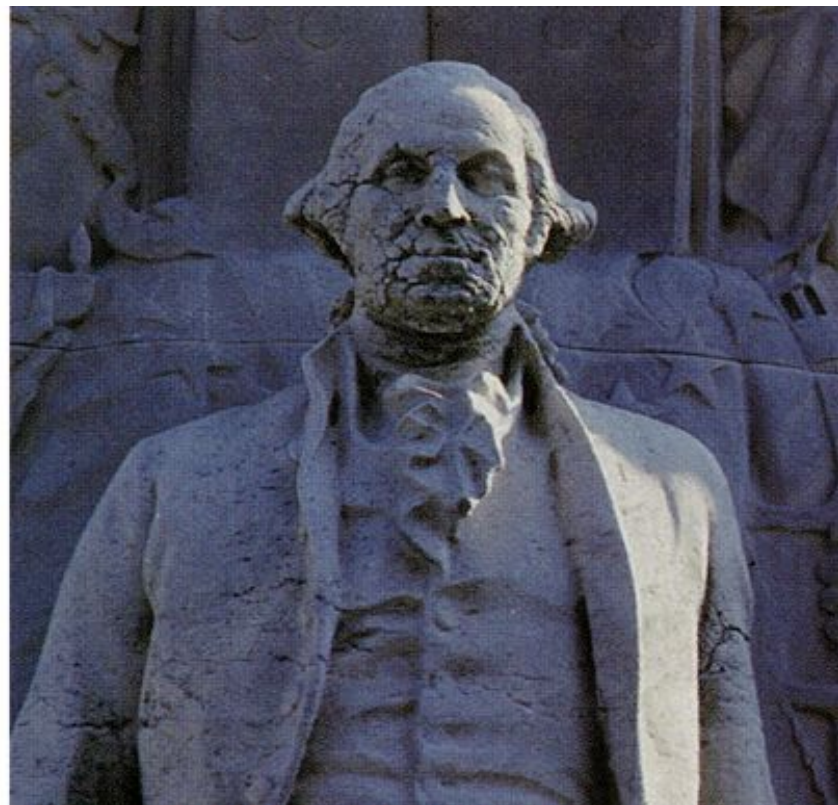
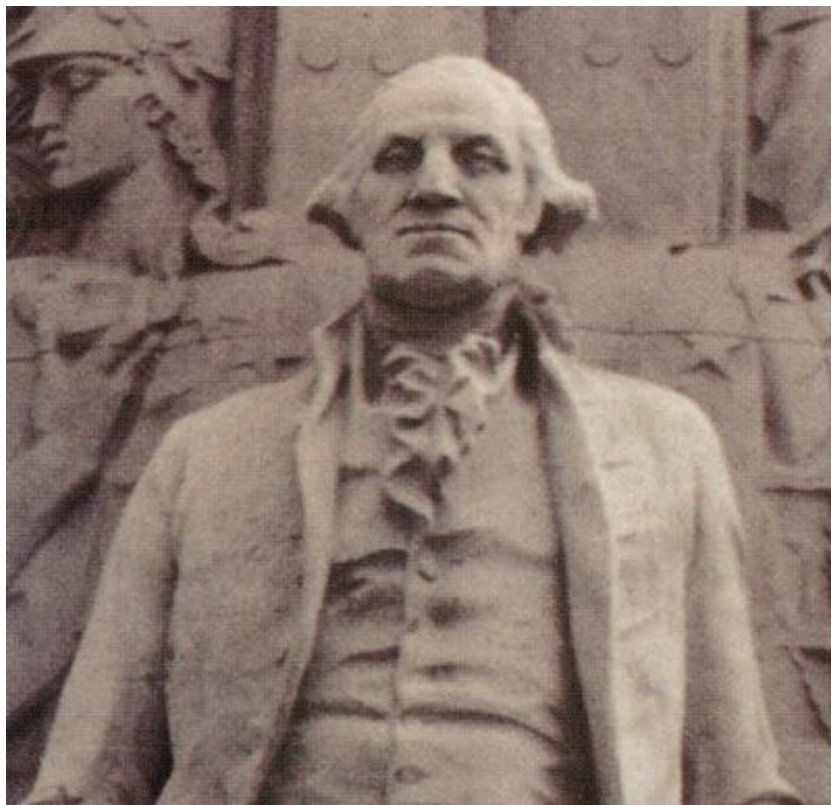


Система	pH
Дождевая вода	5,5 ÷ 6,0
Морская вода	8,0 ± 0,5
Торфяная вода	4,5 ± 1,0
Сок огуречный	6,9 ± 0,2
Сок яблочный	3,5 ± 1,0
Сок лимонный	2,5 ± 0,5
Кровь человека	7,35 ± 0,08
Молоко	6,6 ÷ 6,9

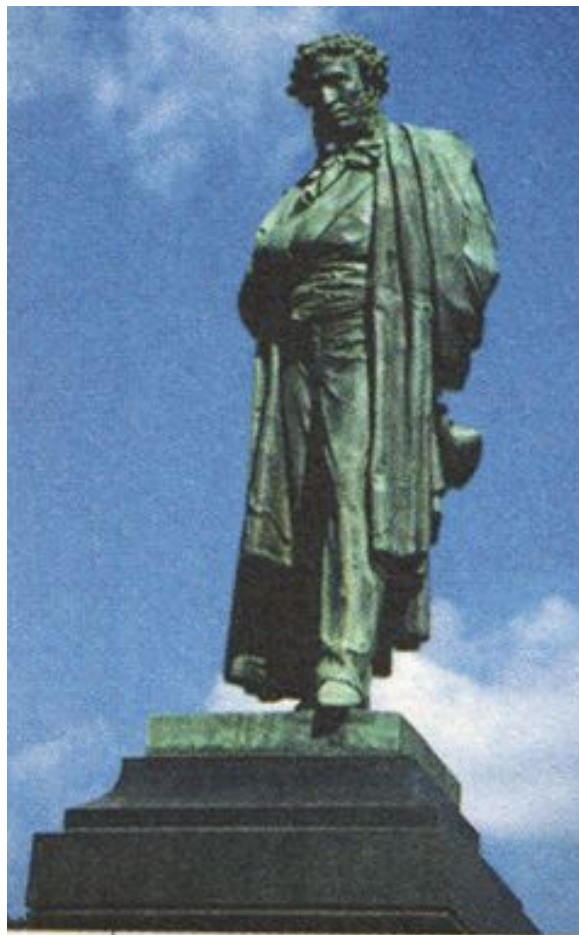
Для чистой воды $pH=7$
Дождевая вода за счет растворенного CO_2 имеет $pH \sim 5.5 - 6.0$



Мрамор CaCO_3 под действием слабокислой дождевой среды переходит в растворимый гидрокарбонат $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$



Памятник Джорджу Вашингтону в Нью-Йорке
в момент открытия и через 60 лет



Бронзовый памятник во влажном воздухе медленно покрывается налетом основного карбоната меди $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$



Александр Федорович Тур (1894–1974)

- ✓ **1930-1934 - заведующий кафедрой физиологии, гигиены и диететики ребенка**
- ✓ **1934-1939 - заведующий кафедрой пропедевтики детских болезней**
- ✓ **1939-1974 - заведующий кафедрой госпитальной педиатрии**

А.Ф.Тур разрабатывал следующие научные проблемы:

- ✓ физиологические особенности и воспитание здоровых детей
 - ✓ гематология и диететика здорового и больного ребенка
 - ✓ физиология и патология здорового и больного ребенка
 - ✓ выхаживание новорожденных и недоношенных детей
 - ✓ дистрофия у детей в годы блокады
 - ✓ рахит и его профилактика, детская эндокринология
- Лауреат Ленинской премии (1970 г.)** 20

Значения pH физиологических жидкостей

Среда	Вероятное значение pH	Возможные колебания
Желудочный сок	1.65	0.9-2.0
Желчь печеночная	7.35	6.2-8.5
Желчь пузырная	6.8	5.6-8.0
Кровь (плазма)	7.36	7.25-7.44
Моча	5.8	5.0-6.5
Пот	7.4	4.2-7.8
Слезная жидкость	7.7	7.6-7.8
Слюна	6.75	5.6-7.9
Спинномозговая жидкость	7.6	7.35-7.80
Сок верхнего отдела толстого кишечника	6.1	-
Сок поджелудочной железы	8.8	8.6-9.0
Сок тонкого кишечника	6.51	5.07-7.07



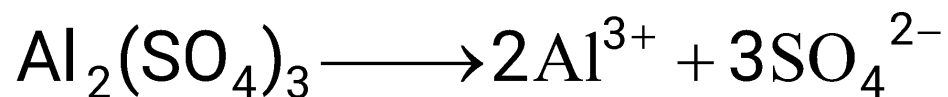
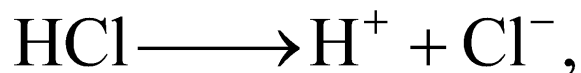
Наличие белкового буфера в составе слез поддерживает pH в пределах физиологической нормы !



Расчет pH в растворах сильных и слабых электролитах

Электролиты – вещества, растворы и расплавы которых проводят электрический ток вследствие диссоциации на ионы.

Сильные электролиты диссоциируют полностью, необратимо, в одну ступень.



$$a = f \cdot c, 0 < f \leq 1$$

$$\lim_{c \rightarrow 0} f = 1$$

$$(c \rightarrow 0)$$

$$a = c$$

a – активность
иона

f – коэффициент активности,
учитывающий межйонное
взаимодействие



При очень больших концентрациях некоторых электролитов f вновь начинает расти, что объясняется недостатком молекул воды для гидратации всех ионов. Ионы, частично или полностью лишенные гидратной оболочки, особенно легко подвижны

Изменение коэффициентов активности (f) KCl, NaCl и LiCl в зависимости от молярного содержания раствора при 25 °C

Концентрация, моль/кг	Изменение f для		
	KCl	NaCl	LiCl
0,001	0,965	0,966	0,965
0,01	0,899	0,903	0,901
0,1	0,754	0,778	0,779
0,2	0,712	0,732	0,756
0,5	0,597	0,656	0,757
1,0	0,569	0,670	0,919
2,0	0,571	0,714	1,174
4,0	0,581	0,779	1,554
5,0	0,599	1,019	

К сильным электролитам относятся:

**1. Кислоты - HCl , HBr , HI , H_2SO_4 , $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7$, HNO_3 , HClO_4 ,
 HClO_3 , HMnO_4 , H_2CrO_4 , $\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$**

**2. Щелочи: I группа - LiOH , NaOH , KOH , RbOH , CsOH
II группа - Ca(OH)_2 Sr(OH)_2 Ba(OH)_2**

3. Все растворимые соли (см. таблицу растворимости)

РАСТВОРИМОСТЬ КИСЛОТ, ОСНОВАНИЙ И СОЛЕЙ В ВОДЕ

ИОНЫ	H ⁺	Li ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Na ⁺	Ag ⁺	Ba ²⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Zn ²⁺	Mn ²⁺	Cu ²⁺	Cu ⁺	Hg ⁺	Hg ²⁺	Pb ²⁺	Fe ²⁺	Fe ³⁺	Al ³⁺	Cr ³⁺	Bi ³⁺	Sn ²⁺	Sr ²⁺	
OH ⁻		Р	Р	Р	Р	—	Р	М	Н	Н	Н	Н	Н	—	—	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	М
NO ₃ ⁻	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	—	Р
F ⁻	Р	Р	Р	Р	Р	Р	М	Н	Н	М	М	Н	—	Н	М	Н	М	Р	Р	Р	Р	Н	Р	М
Cl ⁻	Р	Р	Р	Р	Р	Н	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Н	Р	М	Р	Р	Р	Р	Р	—	Р	Р
Br ⁻	Р	Р	Р	Р	Р	Н	Р	Р	Р	Р	Р	Р	—	Н	М	М	Р	Р	Р	Р	Р	—	Р	Р
I ⁻	Р	Р	Р	Р	Р	Н	Р	Р	Р	Р	Р	—	—	Н	—	Н	Р	Р	Р	Р	—	—	М	Р
S ²⁻	Р	Р	Р	Р	Р	Н	—	—	—	Н	Н	Н	—	Н	Н	Н	Н	Н	Н	—	—	Н	Н	Р
SO ₃ ²⁻	Р	Р	Р	Р	Р	М	М	М	М	М	Н	—	Н	Н	—	Н	М	—	—	—	—	Н	Н	Н
SO ₄ ²⁻	Р	Р	Р	Р	Р	М	Н	М	Р	Р	Р	Р	Р	М	—	М	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Н
CO ₃ ²⁻	Р	Р	Р	Р	Р	М	М	Н	М	—	Н	—	—	Н	Н	Н	Н	—	—	—	—	Н	—	Н
SiO ₃ ²⁻	Н	Р	Р	Р	Р	Н	Н	М	—	Н	Н	—	—	—	—	Н	Н	—	—	—	—	Н	—	Н
PO ₄ ³⁻	Р	Н	Р	Р	Р	Н	Н	Н	М	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	М	Н	Н	Н	Н	Н
CrO ₄ ²⁻	Р	Р	Р	Р	Р	Н	Н	М	Р	Н	Н	Н	—	—	—	Н	—	—	—	—	—	Н	—	М
CH ₃ COO ⁻	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р

Р

РАСТВОРИМЫЕ

М

МАЛОРАСТВОРИМЫЕ

Н

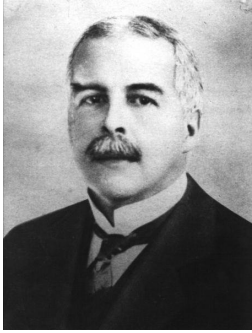
НЕРАСТВОРИМЫЕ

—

РАЗЛАГАЮТСЯ ВОДОЙ ИЛИ НЕ СУЩЕСТВУЮТ

Ионная сила растворов

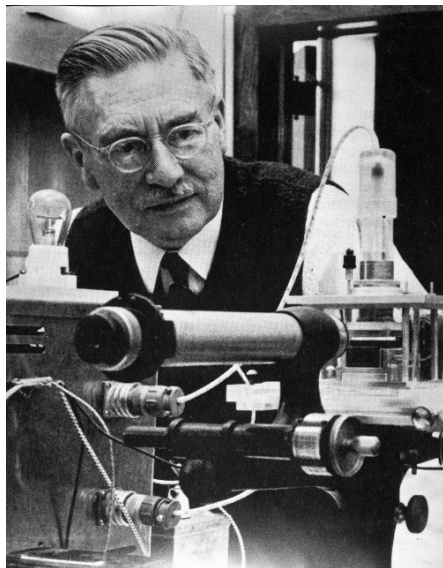
Ионная сила растворов - величина, измеряемая полусуммой произведений концентраций всех находящихся в растворе ионов на квадрат их заряда (понятие введено Г. Льюисом)



$$I = \frac{1}{2} (C_1 z_1^2 + C_2 z_2^2 + \dots + C_n z_n^2)$$

Ионная сила характеризует общее число ионных зарядов в единице объема, независимо от их знаков.
Размерность - обратна размерности объема.

Ионная сила – удобная характеристика раствора, учитывающая взаимодействие ионов, что важно для изучения биологических систем и физиологических растворов, ионная сила которых, в том числе и 0.9% (0.15м) NaCl равна, как правило, 0.15 .



Уравнение Дебая-Хюккеля

$$\lg f = -0.5Z_i^2 \sqrt{I}$$



Дебай Петер
(24.III.1884–2.XI.1966)

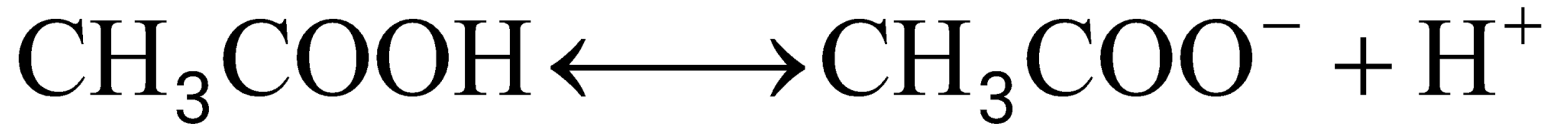
Йозеф Хюккель
(9.09.1896— 16.02.1980)

**Коэффициенты активности ионов f
при различных ионных силах раствора**

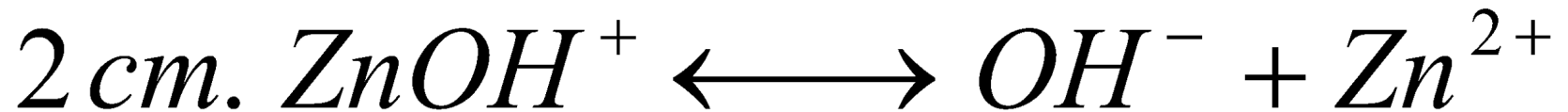
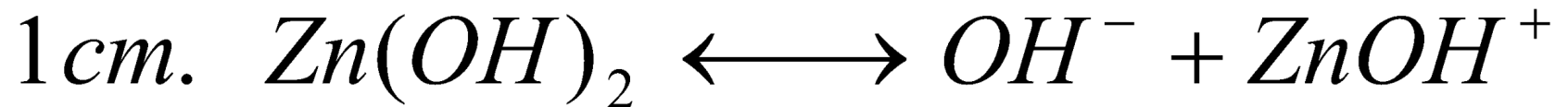
Ионная сила створа	Заряд иона z			Ионная сила раствора f	Заряд иона z		
	± 1	± 2	± 3		± 1	± 2	± 3
0,05	0,84	0,50	0,21	0,3	0,81	0,42	0,14
0,1	0,81	0,44	0,16	0,4	0,82	0,45	0,17
0,2	0,80	0,41	0,14	0,5	0,84	0,50	0,21

Слабые электролиты диссоциируют

а) обратимо



б) ступенчато



Степень диссоциации (ионизации) - отношение числа молекул, распавшихся на ионы, к общему числу молекул в растворе.

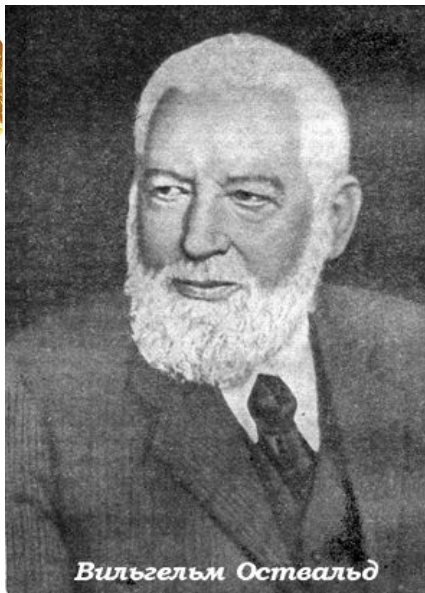
$$\alpha = \frac{n_{\text{диссоц.}}}{n_{\text{общ.}}}, \quad 0 < \alpha \leq 1$$

α ЗАВИСИТ ОТ:

- ✓ Природы вещества и растворителя;
- ✓ Концентрации;
- ✓ Температуры;
- ✓ Присутствия одноименного иона.

Закон разведения Оствальда

$$\alpha = \frac{C_{\text{диссоц.}}}{C_{\text{общ.}}}, \quad 0 < \alpha \leq 1$$



Вильгельм Оствальд

(02.09.1853 – 4.06.1932)

В 1887 г. – Лейпцигском университете создал первую в истории науки кафедру физической химии, где работали более 60 химиков многих стран: нобелевские лауреаты С. Аррениус, В. Нернст, У. Рамзай, Ф. Габер и русские ученые И. А. Каблуков, П. И. Вальден, Н. Д. Зелинский и другие. Ученики Оствальда говорили: **"Стоит только поговорить с Оствальдом полчаса, и ты будешь иметь работу на полгода"**

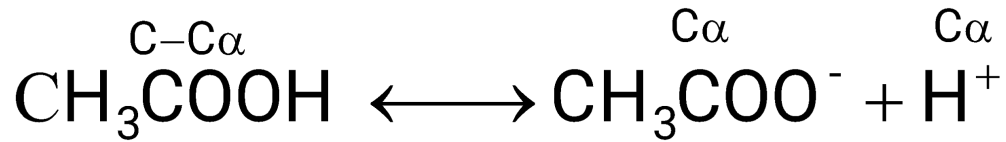
$$K_{\text{д}} = \frac{C\alpha^2}{1-\alpha}$$



Нобелевская премия (1909г)

« в знак признания работ по катализу, а также за исследования основных принципов управления химическим равновесием и скоростями реакций»

Вывод закона разведения Оствальда



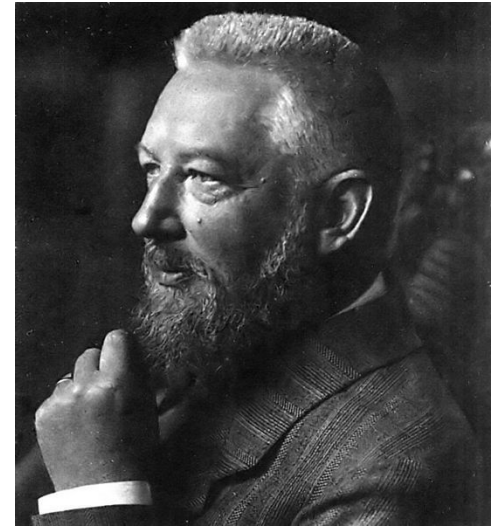
$$K_d = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = \frac{C\alpha C\alpha}{C - C\alpha} = \frac{C\alpha^2}{1 - \alpha}, \quad \alpha \ll 1$$

При $\alpha \ll 1$ $K_d = C \cdot \alpha^2$

$$\alpha = \sqrt{K_d / C}$$

$$[\text{H}^+] = C \cdot \alpha = C \sqrt{K_d / C} = \sqrt{C^2 K_d / C} = \sqrt{K_d \cdot C}$$

$$[\text{H}^+] = \sqrt{K_d \cdot C}$$



$$\alpha = \frac{C_{\text{диссоц.}}}{C_{\text{общ.}}}, \quad 0 < \alpha \leq 1$$

1. На каждые 20 нераспавшихся молекул кислоты НХ приходится 5 ионов Н⁺ и 5 ионов Х⁻. Укажите степень диссоциации кислоты:

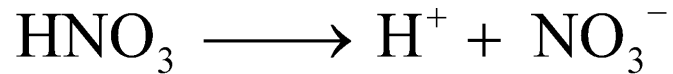
- 1) 0,05**
- 2) 0,10**
- 3) 0,15**
- 4) 0,20**

2. Степень диссоциации кислоты НХ равна 0,25. Какое суммарное число ионов Н⁺ и Х⁻ приходится в ее растворе на каждые 100 нераспавшихся молекул (ответ округлите до целого числа)?

- 1) 16**
- 2) 33**
- 3) 67**
- 4) 85**

Расчет pH в растворах сильных электролитах

Рассчитать pH, pOH, [OH⁻] для 0,001 м HNO₃



$$\text{pH} = -\lg 10^{-3} = 3$$

$$\text{pOH} = 14 - 3 = 11$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{-\text{pOH}} = 10^{-11}$$

$$[\text{H}^+] = \frac{K_{\text{H}_2\text{O}}}{[\text{OH}^-]}$$

$$[\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}};$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{-\text{pOH}}$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{14-\text{pH}}$$

$$[\text{OH}^-] = \frac{K_{\text{H}_2\text{O}}}{[\text{H}^+]}$$

$$\text{pH} = 14 - \text{pOH}$$

$$\text{pOH} = 14 - \text{pH}$$

Задача 1. рН яблочного сока равен 4,57.

Найти $[H^+]$ и $[OH^-]$ (моль/л).

$$[H^+] = 10^{-pH} = 10^{-4.57} = 10^{-5} \cdot 10^{+0.43} \\ = 2.69 \cdot 10^{-5} \text{ МОЛЬ - ЭКВ/Л}$$

$$[OH^-] = 10^{-pOH}$$

$$[OH^-] = \frac{K_{H_2O}}{[H^+]} = \frac{10^{-14}}{2.69 \cdot 10^{-5}} = 3.72 \cdot 10^{-10} \text{ МОЛЬ - ЭКВ/Л}$$



$$pOH = 14 - pH$$

Для очень разбавленных растворов сильных кислот ($c_{\text{HA}} < 10^{-6}$ моль/л) концентрации H^+ , образующихся в процессах ионизации кислоты и воды, становятся соизмеримыми, и для нахождения точной концентрации ионов H^+ необходимо учитывать оба процесса и расчеты ведутся по формуле:

$$[\text{H}^+] = \frac{[\text{A}^-] + \sqrt{[\text{A}^-]^2 + 4K_w}}{2}$$

Для растворов сильных электролитов с высокой концентрацией при расчетах рН и рОН следует использовать значения активности ионов H^+ и OH^- :

$$\text{pH} = -\lg a_{\text{H}^+} = -\lg f_{\text{H}^+} c_{\text{H}^+}$$

и

$$\text{pOH} = -\lg a_{\text{OH}^-} = -\lg f_{\text{OH}^-} c_{\text{OH}^-}$$

Расчет $[H^+]$ и pH для растворов слабых электролитов



Кислоты

$$[H^+] = \sqrt{K_{д(к)} \cdot C_{(к)}}$$

$$pH = \frac{1}{2} pK_{д(к)} - \frac{1}{2} \lg C_{(к)}$$

Смесь кислот

$$[H^+] = \sqrt{C_1 K_{д1(к)} + C_2 K_{д2(к)}}$$

Основания

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{K_{\text{д(осн.)}} \cdot C_{\text{(осн.)}}}$$

$$\text{pOH} = \frac{1}{2} \text{p}K_{\text{д(осн.)}} - \frac{1}{2} \lg C_{\text{(осн.)}}$$

$$\text{pH} = 14 - \frac{1}{2} \text{p}K_{\text{д(осн.)}} + \frac{1}{2} \lg C_{\text{(осн.)}}$$

Для смеси оснований

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{C_1 K_{\text{д1(осн.)}} + C_2 K_{\text{д2(осн.)}}}$$

Задача 2. Найти рН, [Н⁺] и [ОН⁻] 0,3 м раствора муравьиной кислоты (K_д=1.8·10⁻⁴)

$$[H^+] = \sqrt{K_{\partial(k)} \cdot C_{(k)}} = \sqrt{1.8 \cdot 10^{-4} \cdot 0.3} = 7.3 \cdot 10^{-3} \text{ моль - экв/л}$$

$$\text{pH} = -\lg[H^+] = -\lg 7.3 \cdot 10^{-3} = -\lg 7.3 - \lg 10^{-3} =$$

$$= 3 - \lg 7.3 = 3 - 0.86 = 2.14$$



Общая, активная и потенциальная кислотность

Активная кислотность – концентрация свободных катионов H^+ , имеющих в растворе при данных условиях.

Мерой активной кислотности является значение pH раствора:

$$pH = -\lg[H^+]$$

Потенциальная кислотность – концентрация катионов H^+ , связанных в молекулы или ионы слабых кислот, имеющих в растворе.

Сильные кислоты: $HCl \longrightarrow H^+ + Cl^-$

$$[H^+]_{\text{акт}} = [H^+]_{\text{общ}}, \quad [H^+]_{\text{пот}} = 0.$$

Слабые кислоты: $CH_3COOH \longleftrightarrow CH_3COO^- + H^+$

$$[H^+]_{\text{общ}} = [H^+]_{\text{пот}} + [H^+]_{\text{акт}} \quad [H^+]_{\text{пот}} \gg [H^+]_{\text{акт}}$$

Кислотно- основной инстинкт.

Хотите о любви повествование?
Извольте: расскажу начистоту
Историю о том, как основание
Однажды повстречало кислоту.

Бесцветная, в пробирочке с бюреткою,
Но так чиста, беспримесна, светла,
Смотрела кислота не щелочь едкую
Сквозь слой лабораторного стекла.

И прошептала щелочь, словно пьяная:
С крепышки не сводя влюбленный взор:
«Ах, милая! Какая Вы соляная!
О, этот водород! О, этот хлор!

Клянусь, что никого не видел краше я!
Я, едкий натр, всю жизнь о Вас мечтал!
О-АШ мой так пленился Вашей АШею,
Что раскален мой щелочной металл!

Мне так соединиться с Вами хочется!
Сольемся же, любимая в одно!
О, как нам в общей колбе заклокочется,
А может быть, в пробирке- все равно!»

И...дрогнула соляночка прекрасная,
Прониклась той же радостной мечтой...
И вот десница лаборанта властная
Соединила щелочь с кислотой!

Она была активная и сильная,
Был крепок он, являя свой задор,
К АШ- плюсу льнула группа гидроксильная,
И к натрию притягивался хлор...

И слышалось шипение, бурление,
Вскипала страсть, искрились пузыри...
И это длилось целое мгновение.
От силы- два. Не более, чем три...

И что осталось от былой активности?
Одна солоноватая вода,
Да мокрый лакмус, бледный до противности.
(Чего краснеть? – Нейтральная среда...)





Спасибо за внимание!