

ВОДА В ЖИВИХ СИСТЕМАХ

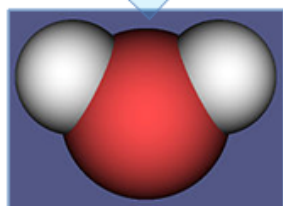
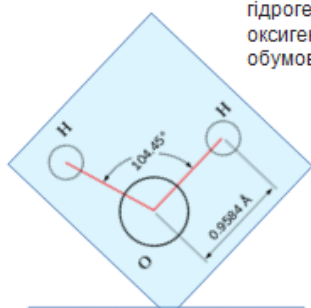
- Загальна характеристика води
- Загальна характеристика водно-сольового балансу людини
- Розподіл і стан води
- Дифузія і осмос. Осмотичний тиск
- Водно-дисперсні системи
- Активна реакція розчинів. Водневий показник.
- Буферні системи. Ацидоз, алкалоз.

ЛІТЕРАТУРА

1. Биохимия. Учебник для институтов физической культуры. Под общ. ред. Н.Н.Яковлева. ФиС, 1969.
2. Физиология спорта и двигательной активности. Уилмор Дж.Х., Коотилл Д.Л.-Киев; Олимпийская литература, 1997.
3. Биохимия мышечной деятельности. Учебник для институтов физической культуры. Под общ. ред. Н.И. Волкова. Киев – Олимпийская литература, 2000.
4. Біологічна хімія: підручник. Ю.І. Губський. Тернопіль. Укрмедкнига 2000.
5. Біохімія людини. Гонський Я.І., Максимчук Т. П.. Тернопіль. Укрмедкнига 2002.
6. Основи біохімії м'язової діяльності. Осипенко Г.А. Олимпийская литература, 2007.
7. Практикум з біохімії. Трач В.М., Сибіль М.Г., Гложик І.З., Башкін І.М.. Навчальний посібник. Львів, ЛДУФК, 2014.

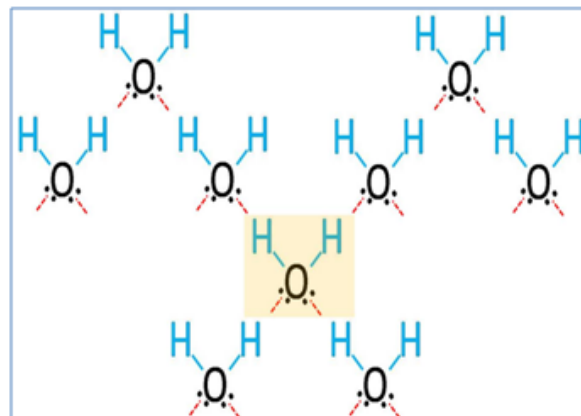
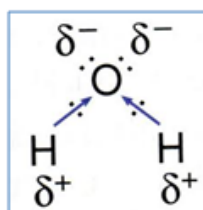
СТРУКТУРА ВОДИ

Молекула води H_2O складається з одного атома кисню і двох атомів гідрогену. Атоми гідрогену розташовані в молекулі так, що утворюють кут $104,45^\circ$ із вершиною в центрі атома кисню. Таке розташування надає молекулі води дипольний момент у 1,844 Дебая, та обумовлює ряд унікальних властивостей.



<https://uk.wikipedia.org/wiki/Вода>

<http://www.google.com>



У рідкому стані більшість молекул води утворюють водневі зв'язки. Сила водневих зв'язків досить невелика (енергія розриву 23 кДж/моль), проте вони дуже суттєво впливають на властивості води.

ПИТОМА ТЕПЛОТА ПЛАВЛЕННЯ ДЕЯКИХ РЕЧОВИН

<u>Речовина</u>	<u>Питома теплота плавлення, кДж/кг</u>
<u>Алюміній</u>	390
<u>Залізо</u>	277
<u>Золото</u>	66,2
<u>Лід</u>	335
<u>Мідь</u>	213
<u>Нафталін</u>	151
<u>Олово</u>	60,7
<u>Платина</u>	101
<u>Ртуть</u>	12
<u>Свинець</u>	25
<u>Срібло</u>	105
<u>Цинк</u>	102

ПИТОМА ТЕПЛОТА ПАРОУТВОРЕННЯ ДЕЯКИХ РЕЧОВИН, ДЖ/КГ

(при температурі кипіння й нормальному атмосферному тиску)

Вода	$2,3 \times 10^6$	Ефір	$0,4 \times 10^6$
Аміак	$1,4 \times 10^6$	Ртуть	$0,3 \times 10^6$
Спирт	$0,9 \times 10^6$	Повітря	$0,2 \times 10^6$

<http://subject.com.ua/physics/junior/207.html>

Вода характеризується великою питомою теплоємністю, що дорівнює за означенням калорії – 1 кал/г-град. Завдяки цьому температура океанів і морів змінюється досить повільно, і цим регулюється температура на поверхні земної кори.

Вода — одна із найголовніших речовин, потрібних для життя. Приблизно 71% поверхні землі покрито водою. Проте, прісні води, придатні для пиття, становлять лише 2,5% від загальної кількості води на Землі. Нестача води може стати однією з найгостріших проблем людства в найближчі десятиліття. Вода здійснює у природі постійний кругообіг, випаровуючись з поверхні суходолу та повертаючись на неї у вигляді атмосферних опадів.

У рідкому стані вода практично не стискається, при замерзанні розширюється на 1/11 від свого об'єму. Тому лід легший від води (на 8%) і не тоне у ній. Завдяки цьому, а також високій питомій теплоті кристалізації шар льоду захищає глибокі водойми від промерзання до дна, і цим забезпечує збереження у них життя.

Вода є хорошим розчинником для самих різноманітних речовин. Вона є абсолютно необхідним компонентом всього живого.

Вода є життєво необхідною речовиною, яка забезпечує динамічну поведінку макромолекул, є середовищем для хімічних реакцій, переносником поживних речовин та продуктів метаболізму і, нарешті, як один із основних засобів терморегуляції.

Вода - найпоширеніша сполука в живих організмах. Вона становить близько 75% біомаси Землі.

В організмі людини вміст води залежить від віку. Так, у чотиримісячних ембріонів міститься 94% води, у новонароджених — 70-75%, у дорослої людини — близько 65%, а у старечому віці її вміст знижується до 45%.

У різних органах і тканинах дорослої людини вміст води нерівномірний і становить 70-85%.

Виятком є кісткова і жирова тканини, які містять менше 30 % води, та біологічні рідини (плазма крові, лімфа, ліквор, травні соки, сеча, слюзи тощо) - більше 90 %. Отже, вода є основним середовищем для перебігу життєво важливих фізико-хімічних і біохімічних процесів.

Достатнє надходження води в організм є однією з основних умов здорового способу життя. Нестача вживання рідини проявляється зниженням працездатності, підвищеною стомлюваністю.

Вміст води у чоловіків у середньому на 10% вищий ніж у жінок.

Потреба організму у воді залежить від віку, функціонального стану нирок, складу їжі, температури та вологості навколишнього середовища, інтенсивності обмінних процесів та м'язової діяльності. У дорослої людини вона становить у середньому 2,5-3 л на добу (21-43мл/кг). У дитячому віці у зв'язку із інтенсивними обмінними процесами потреба у воді становить приблизно 100-150 мл/кг маси тіла.

Розподіл води та електролітів в організмі

Близько **2/3 води** в організмі людини знаходиться **всередині клітин**, а 1/3 — позаклітинна вода, яка, в свою чергу, поділяється на міжклітинну (інтерстиціальну) рідину (25 % всієї воду) та води плазми крові і спеціалізованих позаклітинних рідин. Вода достатньо вільно проходить через клітинні мембрани і розподіл її між клітинами та міжклітинним простором визначається осмотичними та гідростатичними силами.

За електролітним складом, внутрішньо- і позаклітинні рідини організму значно відрізняються. Головним катіоном плазми крові і міжклітинної рідини є Na^+ , а внутрішньоклітинна концентрація його приблизно у 15 раз менша. Концентрація K^+ всередині клітини в 30-40 разів більша, ніж у позаклітинній рідині. Рівень Mg^{2+} приблизно у 15 раз вищий у внутрішньоклітинній рідині. Концентрація іонів Ca^{2+} в цитоплазмі клітин у стані спокою дорівнює тільки 10^{-7} моль/л, тобто на декілька порядків менша, ніж у позаклітинній рідині. Для того, щоб підтримувати ці градієнти концентрації іонів, затрачається велика кількість енергії. У плазматичній мембрані більшості клітин знаходяться транспортні АТФази, які за рахунок енергії гідролізу АТФ переносять катіони проти градієнта концентрації. Серед аніонів у позаклітинній рідині переважають хлориди і гідрокарбонати, а всередині клітини — фосфати і білки. Електронейтральність середовищ забезпечується рівністю сумарних кількостей катіонів і аніонів.

Розподіл води та електролітів в організмі

Близько **2/3 води** в організмі людини знаходиться **всередині клітин**, а 1/3 — позаклітинна вода, яка, в свою чергу, поділяється на міжклітинну (інтерстиціальну) рідину (25 % всієї воду) та води плазми крові і спеціалізованих позаклітинних рідин. Вода достатньо вільно проходить через клітинні мембрани і розподіл її між клітинами та міжклітинним простором визначається осмотичними та гідростатичними силами.

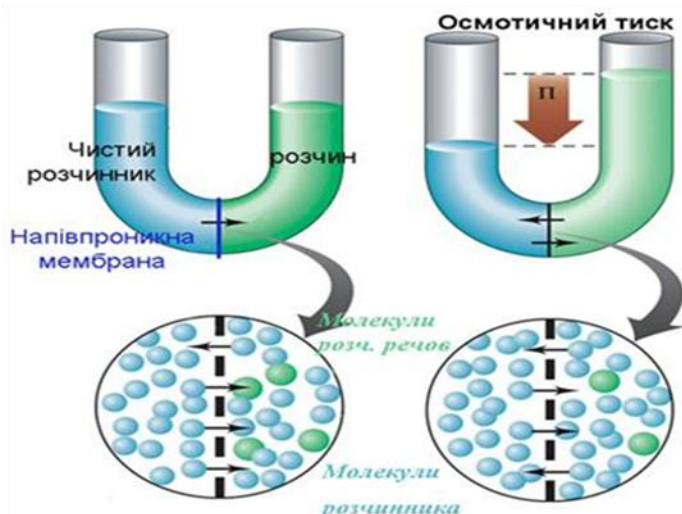
За електролітним складом, внутрішньо- і позаклітинні рідини організму значно відрізняються. Головним катіоном плазми крові і міжклітинної рідини є Na^+ , а внутрішньоклітинна концентрація його приблизно у 15 раз менша. Концентрація K^+ всередині клітини в 30-40 разів більша, ніж у позаклітинній рідині. Рівень Mg^{2+} приблизно у 15 раз вищий у внутрішньоклітинній рідині. Концентрація іонів Ca^{2+} в цитоплазмі клітин у стані спокою дорівнює тільки 10^{-7} моль/л, тобто на декілька порядків менша, ніж у позаклітинній рідині. Для того, щоб підтримувати ці градієнти концентрації іонів, затрачається велика кількість енергії. У плазматичній мембрані більшості клітин знаходяться транспортні АТФази, які за рахунок енергії гідролізу АТФ переносять катіони проти градієнта концентрації. Серед аніонів у позаклітинній рідині переважають хлориди і гідрокарбонати, а всередині клітини — фосфати і білки. Електронейтральність середовищ забезпечується рівністю сумарних кількостей катіонів і аніонів.

Розподіл води та електролітів в організмі

Близько **2/3 води** в організмі людини знаходиться **всередині клітин**, а 1/3 — позаклітинна вода, яка, в свою чергу, поділяється на міжклітинну (інтерстиціальну) рідину (25 % всієї воду) та води плазми крові і спеціалізованих позаклітинних рідин. Вода достатньо вільно проходить через клітинні мембрани і розподіл її між клітинами та міжклітинним простором визначається осмотичними та гідростатичними силами.

За електролітним складом, внутрішньо- і позаклітинні рідини організму значно відрізняються. Головним катіоном плазми крові і міжклітинної рідини є Na^+ , а внутрішньоклітинна концентрація його приблизно у 15 раз менша. Концентрація K^+ всередині клітини в 30-40 разів більша, ніж у позаклітинній рідині. Рівень Mg^{2+} приблизно у 15 раз вищий у внутрішньоклітинній рідині. Концентрація іонів Ca^{2+} в цитоплазмі клітин у стані спокою дорівнює тільки 10^{-7} моль/л, тобто на декілька порядків менша, ніж у позаклітинній рідині. Для того, щоб підтримувати ці градієнти концентрації іонів, затрачається велика кількість енергії. У плазматичній мембрані більшості клітин знаходяться транспортні АТФази, які за рахунок енергії гідролізу АТФ переносять катіони проти градієнта концентрації. Серед аніонів у позаклітинній рідині переважають хлориди і гідрокарбонати, а всередині клітини — фосфати і білки. Електронейтральність середовищ забезпечується рівністю сумарних кількостей катіонів і аніонів.

- Дифузія і осмос. Осмотичний тиск



Розчини з однаковим осмотичним тиском називають **ізотонічними**. Якщо осмотичний тиск одного розчину більший, ніж іншого, то перший розчин є **гіпертонічним**, а коли навпаки – то **гіпотонічним**.

Як показав Вант-Гофф, *осмотичний тиск розчину чисельно дорівнює тиску, який чинила би розчинена речовина, якби вона при тій же самій температурі знаходилася в газоподібному стані і займала об'єм, що дорівнює об'єму розчину*. Це є закон осмотичного тиску.

Вант-Гофф звернув увагу на те, що осмотичний тиск розбавлених розчинів підкоряється законам ідеальних газів. Звідки він зробив висновок, що осмотичний тиск можна розрахувати за рівнянням Менделєєва-Клапейрона:

$$P_{\text{осм}} = \frac{\nu}{V} RT$$

де V - об'єм розчину.

Вода як електроліт кислоти, буферні системи живих організмів.

З хімічної точки зору вода - це слабкий електроліт, що зворотно розпадається на іони водню (H^+) і іони гідроксиду (OH^-). При цьому між недисоційованими молекулами води та іонами встановлюється рівновага:



Зворотна іонізація (дисоціація) води має дуже важливе значення у функціонуванні живої клітини. (Насправді вільних іонів водню у воді не існує. Як і більшість інших іонів, вони гідратовані, тобто оточені гідратною оболонкою. Гідратну форму іона H^+ називають іоном гідронію або гідроксонію і позначають H_3O^+ Для спрощення часто іони гідроксонію не вживають у реакціях).

Іонізація води відбувається дуже слабо. У будь-який момент при 25°C із 10 мільйонів молекул чистої води в дисоційованому стані знаходиться тільки одна. Проте, незважаючи на дуже слабку дисоціацію, іони H^+ і OH^- , що при цьому утворюються, відіграють винятково важливу роль у біологічних процесах. Тому необхідно знати кількісну сторону дисоціації води. З рівноваги зворотної реакції $\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$ можна записати константу дисоціації води:

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

Концентрація недисоційованих молекул у воді дуже висока порівняно з дисоційованими (вона дорівнює числу грамів води в 1 літрі поділеному на молярну масу, тобто $1000 : 18 = 55,5 \text{ M}$) і є сталою величиною відносно дуже низьких концентрацій іонів H^+ і OH^- . Чисельне значення $K_d \text{ H}_2\text{O}$ при 25°C дорівнює $1,8 \cdot 10^{-16}$. Підставивши відповідні значення, одержимо:

$$\begin{aligned} 1,8 \cdot 10^{-16} &= \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-]}{55,5} \\ (55,5) \cdot (1,8 \cdot 10^{-16}) &= [\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-], \\ 99,9 \cdot 10^{-16} &= [\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-], \\ 1,0 \cdot 10^{-14} &= [\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-]. \end{aligned}$$

Величину $1 \cdot 10^{-14}$ називають *іонним добутком води*. Вона означає, що добуток $[\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-]$ у чистій воді при 25°C завжди дорівнює строго визначеній величині, а саме $1 \cdot 10^{-14}$. Оскільки $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-]$, що має місце в чистій воді, то такий розчин називають *нейтральним*. Виходячи з чисельного значення іонного добутку води, можна розрахувати концентрацію іонів H^+ і OH^- у воді.

Оскільки іонний добуток води є сталою величиною, то зрозуміло, що коли концентрація іонів H^+ вища за 10^{-7} г-іон/л , то концентрація іонів OH^- має бути менше 10^{-7} г-іон/л , і навпаки. Таким чином, коли концентрація іонів H^+ дуже висока, як у розчинах кислот, концентрація іонів OH^- буде дуже низькою, оскільки їх добуток завжди має залишатися рівним $1 \cdot 10^{-14}$. І, навпаки, якщо концентрація іонів OH^- дуже висока, наприклад, у розчині лугу, то концентрація іонів H^+ буде дуже низькою. Отже, знаючи концентрацію іонів OH^- , із чисельного значення іонного добутку води можна обчислити концентрацію іонів H^+ і навпаки.

Кількісні значення іонів H^+ дуже малі і проводити з ними розрахунки не зручно. Тому користуються логарифмічним виразом їх концентрацій, що позначають символом рН: $pH = - \lg [H^+]$ (це обернений десятковий логарифм концентрації іонів H^+). У нейтральному розчині, де концентрація іонів H^+ становить $1,0 \cdot 10^{-7}$, розмір рН при $25^\circ C$ дорівнює 7,0.

Розчини, що мають рН більше 7,0, є лужними, оскільки концентрація іонів OH^- у таких розчинах більше за концентрацію іонів H^+ . І, навпаки, розчини, що мають рН менше 7,0, — це кислі розчини.

Величину рН водних розчинів можна приблизно визначити за допомогою різних індикаторів, таких, як лакмус, метилоранж, фенолфталеїн. Точне значення рН визначають за допомогою приладу - рН-метра.

Від величини рН залежать структура й активність біологічних макромолекул, зокрема, активність ферментів. Так, активність пепсину шлункового соку максимальна при рН 1,5-2, каталази крові - при 7,0. Тканинні катепсини в нейтральному середовищі здійснюють синтез білків, у кислому - їх розщеплення. Зміна рН середовища призводить до зниження активності ферментів, порушення обміну речовин, зміни структури та осадження білків.

Значення рН використовують при діагностиці захворювань. Наприклад, у людей, що страждають важкою формою діабету, значення рН крові часто нижче порівняно з нормою. Такий стан називають *ацидозом*. При деяких інших захворюваннях величина рН може бути вище за норму. Такий стан називають *алкалозом*.

З властивостями води тісно пов'язані властивості кислот і основ. Розрізняють сильні і слабкі кислоти та сильні і слабкі основи. Сильні кислоти - це хлороводнева, сульфатна, нітратна. Сильні основи - натрій гідроксид, калій гідроксид. У водних розчинах вони повністю іонізовані, тому і належать до сильних.

Суміші слабких кислот і спряжених з ними основ являють собою системи, що називають *буферними*. Вони мають дуже важливу властивість. При додаванні до такої суміші невеликих кількостей кислоти (H^+) або основи (OH^-) або при розведенні вони здатні підтримувати постійне значення рН. Прикладом буферної системи може служити суміш оцтової кислоти та ацетат-іона (солі оцтової кислоти).

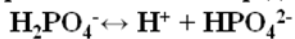
При додаванні до такої системи іонів H^+ (кислоти) один із її компонентів, а саме спряжена основа - аніон CH_3COO^- , зв'язується з протонами і перетворюється в оцтову кислоту, зменшуючи тим самим концентрацію іонів H^+ . Якщо додати до такого розчину іони OH^- (луг), то частина вільної кислоти, звільняючи деяку кількість іонів H^+ нейтралізують OH^- іони з утворенням нейтральних молекул води. Важливо відзначити, що насправді значення рН буферних систем хоча і слабо, але все ж змінюється при додаванні невеликої кількості іонів H^+ або OH^- .

Проте ці зміни дуже незначні порівняно з тими змінами рН, які б мали місце при додаванні такої ж кількості кислоти (іонів H^+) або лугу (іонів OH^-) до чистої води або розчину, наприклад, $NaCl$, оскільки ні вода, ні розчини таких солей не мають буферних властивостей. За наведеною вище схемою працюють і інші буферні системи. Варто пам'ятати, що будь-яка буферна система успішно функціонує тільки за наявності в розчині слабкої кислоти (донора протонів) і спряженої з нею основи (акцептора протонів). Якщо до буферного розчину додати велику кількість сильної кислоти (або сильної основи), то весь наявний у ньому акцептор протонів (або їх донор) перетвориться в слабку кислоту (або сіль), і буферна система перестане існувати. Є таке поняття, як буферна ємність. Вона, природно, буде тим більшою, чим вищими будуть концентрації слабкої кислоти і спряженої з нею основи. Буферні розчини з високими концентраціями спряжених пар можуть утримувати постійне значення рН при додаванні значних кількостей кислоти або лугу.

ЗНАЧЕННЯ pK_a ТА БУФЕРНИЙ ДІАПАЗОН ВАЖЛИВИХ БІОЛОГІЧНИХ СПОЛУК

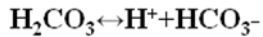
effective pH range	pK_a 25°C	buffer
1.7-2.9	2.15	phosphate (pK1)
2.2-3.6	2.35	glycine (pK1)
2.2-6.5	3.13	citrate (pK1)
3.0-6.2	4.76	citrate (pK2)
3.6-5.6	4.76	acetate
3.8-5.6	4.87	propionate
5.5-6.5	5.64	succinate (pK2)
5.5-7.2	6.40	citrate (pK3)
5.5-7.4	1.70, 6.04, 9.09	histidine
5.8-8.0	7.20	phosphate (pK2)
6.0-8.0	6.35	carbonate (pK1)
7.5-9.0	8.06	Trizma (tris)
8.8-10.6	9.78	glycine (pK2)
8.8-9.9	9.25	ammonium hydroxide
	12.33	phosphate (pK3)

У людини і ссавців дві важливі буферні системи. Фосфатна підтримує рН внутрішньоклітинної рідини. Вона являє собою спряжену кислотно-основну пару:



Ця система максимально ефективно функціонує біля рК 6,86, тому що значення рК іонів H_2PO_4^- дорівнює 6,86. Фосфатна буферна пара H_2PO_4^- - HPO_4^{2-} добре утримує рН в інтервалі між 6,1 і 7,7 і може забезпечувати буферну ємність внутрішньоклітинної рідини, значення якої лежить у межах 6,9-7,4.

Головною буферною системою плазми крові є бікарбонатна система. Вона являє собою спряжену кислотно-основну пару, яка складається з молекул карбонатної кислоти (H_2CO_3), що виконує роль донора протона, і бікарбонат-іона (HCO_3^-), що виконує роль акцептора протона:



Це унікальна буферна система організму. Вона функціонує як ефективний фізіологічний буфер близько рН 7,4, тому що донор протона H_2CO_3 у плазмі крові знаходиться в динамічній рівновазі з великим резервним обсягом газоподібної CO_2 у повітряному просторі легенів. Тому за будь-яких умов, коли в кров з якихось причин потрапляє надлишок іонів OH^- і рН підвищується, частина карбонатної кислоти (H_2CO_3), перетворившись в HCO_3^- в результаті взаємодії з іонами OH^- , дуже швидко відновлюється за рахунок великого запасу газоподібної CO_2 в легенях. Остання, розчиняючись у крові, утворює розчинну CO_2 , що вступає в реакцію з водою, утворюючи H_2CO_3 .

Якщо чомусь величина рН крові зменшується, деяка кількість HCO_3^- буферної системи зв'язується з надлишком іонів H^+ . При цьому утворюється надлишок H_2CO_3 . Ця H_2CO_3 розпадається, виділяючи розчинену CO_2 , яка в свою чергу переходить у газову фазу в легенях і видихається організмом. Таким чином, висока інтенсивність процесу дихання, тобто висока швидкість вдихання повітря і видихання CO_2 обумовлює підтримання постійного значення рН у крові.