

Лекція № 5. Короткі відомості про воду як речовину

Воді присвячували свої роботи письменники, вірші – поети. Дуже поетичний вислів про воду Антуана де Сент-Екзюпері: "Вода! У тебе немає ні смаку, ні кольору, ні запаху, тебе не можна описати, тобою насолоджуються, не відаючи, що ти є. Не можна сказати, що ти необхідна для життя: ти саме життя. Ти наповнюєш нас радістю, яку не можна пояснити нашими почуттями. З тобою повертаються до нас сили, з якими ми вже простилися... Ти саме велике багатство на світі" (1939 р.).

За думкою академіка В.І. Вернадського, "природна вода призначена як би для життя і з життям зв'язана вона одна з усіх хімічних елементів". "Немає природного тіла, що могло б зрівнятися з нею за впливом на хід основних самих грандіозних геологічних процесів".

Вода – найбільш розповсюджена і найбільш необхідна речовина на Землі. Від неї залежить більшість фізичних, хімічних та біологічних процесів, які відбуваються. У воді зародилося життя на Землі, і завдяки їй воно існує і нині.

Специфічні властивості води

Вода – дуже дивна речовина! Майже всі її властивості – аномальні, тобто не такі, як у всіх інших речовин на Землі. Розглянемо деякі з цих властивостей.

Густина. Всі тіла при охолодженні стискаються. Вода теж стискається при зниженні її температури до $+4^{\circ}\text{C}$. За цієї температури вода має максимальну густина (1 г/см^3). При подальшому зниженні температури води густина її знову зменшується. Тобто, залежність між густиною води та її температурою не однозначна, а двозначна. Так, густина води однакова за температури $+3^{\circ}$ і $+5^{\circ}\text{C}$ тощо.

Температура замерзання. Якщо з дистильованої води вилучити розчинені гази, то її можна охолодити без переведення у твердий стан до температури -70°C . При цьому об'єм води поступово збільшується (густина зменшується). За температури (-70°C) вода переходить у твердий стан без зміни об'єму (густини).

У нормальних умовах вода переходить у твердий стан при 0°C із збільшенням об'єму на 11%. У замкненому об'ємі це призводить до надмірного тиску на стінки у 2500 кг/см^2 (із цим пов'язана руйнівна сила замерзаючої води).

Вода у твердому стані легша, ніж у рідкому, і в цьому теж проявляється її аномалія. Всі інші речовини на Землі у твердому стані важчі, ніж у рідкому.

Із зростанням тиску температура переходу з рідкого стану у твердий підвищується у всіх речовин, які є на Землі. У воді ця залежність протилежна: із зростанням тиску на 130 ат. температура її замерзання знижується приблизно на 1°C . За тиску в 500 ат температура замерзання води – -4°C , при 2200 ат – -22°C . Але така залежність простежується тільки до тиску 2200 ат. За подальшого підвищення тиску температура замерзання підвищується і вже за тиску в 3530 ат температура замерзання – -17°C , за 6380 ат – 0°C , за 16500 ат – $+60^{\circ}\text{C}$, за 20670 ат – $+70^{\circ}\text{C}$. Важко собі уявити такий гарячий лід.

З деяких водневих сполук неметалів видно, що вода не вписується в існуючу тут залежність між молекулярною вагою і температурою кипіння та плавлення (табл. 3.1.).

Таблиця 1.

Температура фазових переходів неметалів

Властивості	H ₂ Te	H ₂ Se	H ₂ S	H ₂ O
Молекулярна вага	129	80	34	18
Температура кипіння	-4	-42	-62	100
Температура плавлення	-51	-64	-82	0

Теплові властивості. Теплоємність води сама по собі не є аномальною. Вона просто більша, ніж для інших речовин у 5-10 разів. Аномальність проявляється в залежності питомої теплоємності від температури. У всіх речовин питома теплоємність збільшується із зростанням температури. У води ж вона зменшується з підвищенням температури від 0 до +35⁰С, а далі збільшується, тобто, як і густина, питома теплоємність не однозначна, а двозначна.

Питома теплоємність води за +16⁰С прийнята за еталон вимірювання цієї властивості в інших речовинах (1 кал/г*град). У платини питома вага – 0,03, у заліза – 0,1, у піску – 0,2 кал/г*град. Тому, за однакової кількості сонячної енергії вода у водоймах нагрівається у 5 разів повільніше, ніж пісок на березі, але й віддає тепло вона в стільки ж разів повільніше.

Поверхнєве натяжіння. Завдяки водневому зв'язку, молекули води притягаються одна до одної сильніше, ніж інші рідини. Тому на її поверхні утворюється більше поверхнєве натяжіння, і вода має найбільшу серед інших рідин висоту капілярного підняття.

Вода за масою складається з 11,11 % водню і 88,89 % кисню. Вона є простішою сполукою, яка складається з одного атома кисню і двох атомів водню.

У природі відомо три ізотопи водню (Н¹, Н², Н³) і шість ізотопів кисню (О¹⁴, О¹⁵, О¹⁶, О¹⁷, О¹⁸, О¹⁹), тобто теоретично можна виділити 36 комбінацій ізотопів. Вони є основою для утворення вод з різними фізичними властивостями. Ізотопи Н³, О¹⁴, О¹⁵, О¹⁹ – радіоактивні.

У природній воді переважають молекули води Н¹₂О¹⁶ (легка або протієва вода). Інші різновиди зустрічаються в дуже малих кількостях. Це тому, що інших ізотопів кисню та водню дуже мало. Так, водню Н² всього 200 атомів на 1 млн атомів Н¹, а кисню О¹⁸ всього 1 тис. атомів на 1 млн атомів О¹⁶.

Крім протієвої – найбільш відома важка вода (Н²₂О¹⁶) або дейтерійова. Вона була виділена зі звичайної води шляхом електролізу. Молекулярна маса її – 20, густина максимальна – 1,106 г/см² за температури +11,5⁰С, температура замерзання – -3,82⁰С. Відрізняється вона і за в'язкістю та силою поверхнєвого натяжіння. У неї особливі біологічні властивості. Так, у ній не проростає насіння, смертельна вона і для водних організмів. У природній воді одна частка важкої води припадає в середньому на 5 тис. часток звичайної.

В.М. Мухачев звертає увагу на біологічну активність легкої води, яку він назвав у зв'язку з цим "живою", на відміну від важкої, названої їм "мертвою". При замерзанні важка вода виморожується, тому в льоді і поталій воді зміст дейтерієвої води нижче норми. Цим пояснюються, на думку В.М. Мухачева, міграції птахів і інших тварин навесні в арктичні й антарктичні зони – головні фабрики "живої" води. Земля за час свого існування втрачає протій, як більш легкий елемент, і збагачується дейтерієм. Тому в доісторичні часи тварини та рослини відрізнялися величезними розмірами. Наявність "живої" води – причина довгого життя горців і жителів півночі порівняно з жителями півдня.

Склад та будова молекули води

Що ж являє собою чиста вода з фізичного погляду? Як і всі речовини, вона складається з молекул, а молекули з атомів.

Атом водню являє собою протонне ядро, навколо якого обертається один електрон, утворюючи сферичну орбіталь (1S¹) на першому енергетичному рівні. В атомі кисню навколо ядра обертається 8 електронів: на першому енергетичному рівні – 2 електрони, які утворюють сферичну електронну хмару (1S²); на другому – 6 електронів, з яких 2 утворюють сферичну орбіталь (2S²), а 4 – три електронні орбіталі типу "P" (витягнуті по координатних осях), причому одну орбіталь – P утворюють два (спарені) електрони з різними спінами, а на двох інших орбіталах обертається по одному електрону (1S² 2S² 2P⁴).

Молекула води складається з одного атома кисню та двох атомів водню (рис. 3.1).

Між цими атомами утворюється ковалентний зв'язок, який є результатом перекриття сферичних електронних орбіталей атомів водню і P-орбіталей кисню, які утворені неспареними електронами.

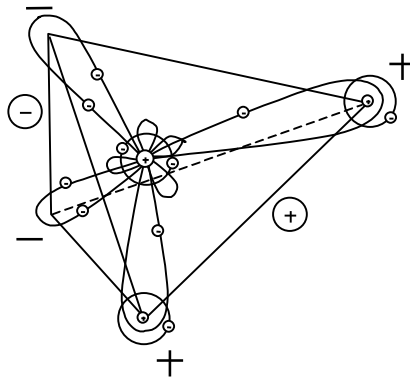


Рис. 1. Будова молекули води

P-електронні хмари кисню взаємно перпендикулярні, тому і молекула води має кутову будову. Але завдяки збільшенню енергії на кінцях P-орбіталей через ковалентний зв'язок кут між ними зростає. При цьому, S-електронна хмара 2-го рівня кисню перетворюється у форму "P". У результаті молекула води має таку будову: у центрі розташоване протонне ядро атому кисню, на 1-му енергетичному рівні обертається два електрони, утворюючи сферичну орбіталь; 4 електрони утворюють дві електронні орбіталі з ковалентними зв'язками навколо ядер кисню і водню; 4 спарені електрони кисню утворюють орбіталі типу "P", витягнуті у протилежному від ядер кисню напрямі і в площині, яка перпендикулярна площині НОН.

Таким чином, модель молекули води має вигляд тетраедра, у центрі якого розташоване ядро кисню. Ядра атомів водню розташовані у двох кутах тетраедра. З ними пов'язані два полюси додатних електричних зарядів.

Центри від'ємних зарядів двох неподілених пар електронів займають два інших кута тетраедра. Результуючий центр додатних зарядів розташований між ядрами водню, результуючий центр від'ємних зарядів – між орбіталями неподілених пар електронів на протилежній частині молекули води.

Молекула води, таким чином, має полярну будову (диполь) з порівняно значною величиною дипольного моменту ($1.8 \cdot 10^{-18}$ од. СГСЕ).

Сучасні спектроскопічні та рентгенографічні дослідження будови молекули води дозволили встановити геометричні її параметри (рис. 3.2). Відстань Н – О дорівнює 0,957 А, кут НОН у молекули, що зв'язана з іншими молекулами (у твердому стані), дорівнює $109^{\circ}30'$, а у вільній молекулі (у рідкому стані) – $104^{\circ}27'$.

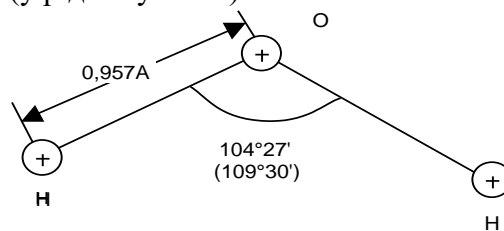


Рис. 2. Геометрія молекули води

Структура води

Завдяки особливостям будови молекули води, вона може утворювати водневі зв'язки з 4-ма іншими молекулами за рахунок двох від'ємно заряджених неподільних пар електронів і двох додатньо заряджених атомів водню.

Довжина водневого зв'язку 1,76 А (ангстрем = $1 \cdot 10^{-9}$ мм).

Оскільки структурна будова води в рідкому стані сучасними методами не може бути встановлена, виникли дві версії будови агрегатів молекул води. Перша – гіпотеза М. Анжено (1967 р.) – молекула води реалізує два водневі зв'язки, внаслідок чого утворюються лінійні або кільцеві ланцюжки, основу яких складають так звані водневі містки (рис. 3.3 а). Друга – гіпотеза Дж. Бернала та Р. Фаулера – молекула води реалізує всі чотири водневі зв'язки. При цьому кожна молекула з'єднується з 4-ма іншими по тетраедру (рис. 3.3 б).

Більшість вчених вважають більш ймовірною другу версію.

Про структуру рідкої води теж існує багато версій. Найбільш відомі дві: 1) вода є неоднорідною речовиною; 2) вода – однорідна речовина.

Прикладом моделі неоднорідної будови води є схема Г. Френка і В. Вінна (1957 р.). За цією схемою рідка вода – це немов би конгломерат із "мінливих кластерів" (роїв), які складаються з льодоподібних асоціатів, що плавають у вільній воді. "Кластери" постійно існують у рідкій воді, але кожен мить вони замінюються – виникають і руйнуються. Час їх існування – $1 \cdot 10^{-10} \dots 1 \cdot 10^{-11}$ с.

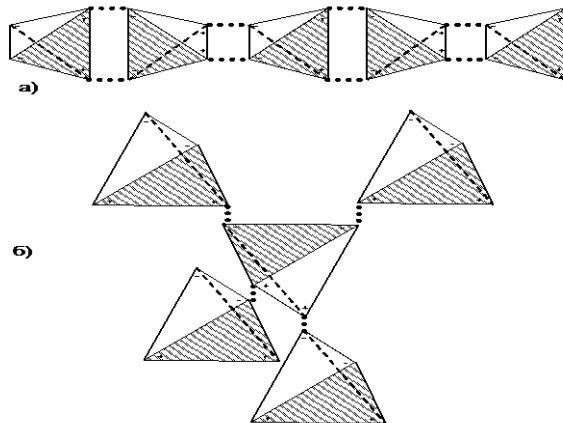


Рис. 3. Схема з'єднання молекул води у вигляді: а) лінійних ланцюжків (за М. Анжено) та б) тетраедру (за Дж. Берналом та Р. Фаулером)

Однорідна модель розроблена О.Я. Самойловим (1957 р.). (вода I – вода II – вода III). За температур, близьких до 0° , молекули води, здійснюючи чотири водневі зв'язки, утворюють льодоподібний каркас $(\text{H}_2\text{O})_n$, у порожнинах якого розташована дуже мала кількість мономолекул $(\text{H}_2\text{O})_1$ (вода I). Всі молекули води входять у більш-менш жорстку ажурну структуру у вигляді ланцюжків, які і утворюють кристали. Ця мінлива структура води залежить від температури. При підвищенні температури від 0 до 4°C частина водневих зв'язків розривається. Звільнені молекули мономерів $(\text{H}_2\text{O})_1$ та димерів $(\text{H}_2\text{O})_2$ попадають у пустоти і не маючи достатньо енергії залишаються там. Вони розташовуються близько один від одного і зумовлюють високу щільність води (макс. за $3,98^{\circ}\text{C}$).

За подальшого зростання температури від 4 до 270°C структура води стає правильно тетраедричною (типу кварцу) (вода II). Збільшення теплової енергії молекул води зводить до того, що вони виходять із порожнин, переміщуються з кута в кут, ще більше порушуються водневі зв'язки, збільшується кількість вільних молекул. Це зводить до збільшення об'єму і зменшенню щільності води. Наявність структурних пустот і водневих зв'язків пояснює високу розчинну здатність води.

За вищих температур (до критичної) структура води стає більш симетричною, кількість мономерних молекул збільшується (за температури більше 270°C всі молекули стають вільними). Тип простих рідин зі щільним упакуванням молекул (вода III). Цим пояснюється зменшення тиску води з підвищенням температури та тиску.

Крім вказаних розробок існують також гіпотези Попла, Девіс – Литовиц, Полінга, Марчи – Ейрино, Форшлінд, Денфорд – Леви, Неметі – Шерага тощо. Кожне з таких представлень про воду є визначеним кроком у пізнанні її структури. Але, як каже видатний геохімік Р. Хорн, структура води залишається невідомою. "Неможливість, – пише він, – визначити структуру води за допомогою ефективних сучасних методів дослідження, які дозволили розібратися у структурі таких складних біомолекул, як ДНК і міоглобін, належним образом попереджає нас про те, що ми маємо справу з незвичайно складною системою.

Більшість вчених збігаються на думці про те, що оскільки рідка вода має льодоподібну структуру, то жива система біомолекул вписується в конфігурацію порожнин цієї структури. Це підтверджується експериментальними даними про заморожування живих тканин тварин і рослин до повного затвердження та оживлення їх після розморожування. Це

свідчить про те, що біосистема не ушкоджується при замерзанні і життєві функції клітин зберігаються. Проф. Л Лозина – Лозинський заморожував гусінь до -269°C . Після розморожування вони оживали і давали потомство.

Є спостереження про добродійний вплив талої води, в якій найбільш зберігається льодяна структура, на оздоровлення і навіть омолодження організму. Сисоєв А.Ф., Андрющенко А.А. проводили дослідження над пацюками, імпотентними від старості. Ці пацюки після 3-4-разового охолодження знову стали давати потомство, оновився їх шерстяний покрив. Це може бути пояснено зміною конфігурації мікромолекул в результаті заморожування розчину, який наближується до форми ґратки льоду. Вважається навіть, що старіння пояснюється зменшенням в організмі льодяної структури біомолекул.