

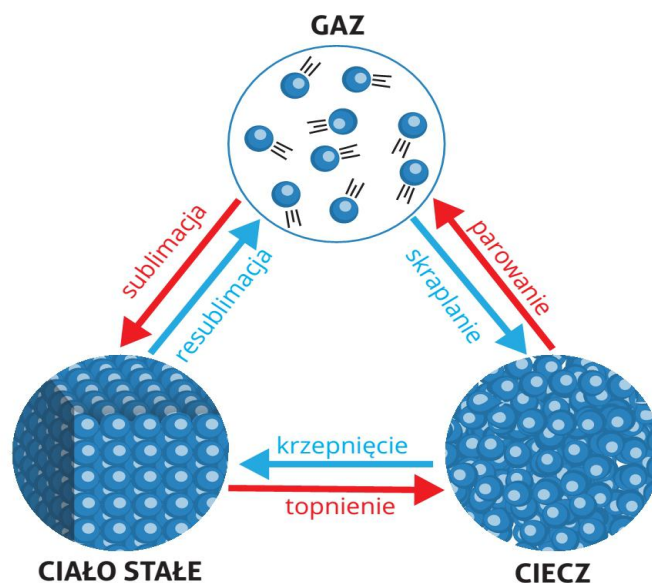


## Woda i jej właściwości

Woda to najbardziej rozpowszechniony związek chemiczny w przyrodzie. Zmiany temperatury i ciśnienia powodują, że może zmieniać swoje stany skupienia. Pomiędzy nimi rozróżnia się następujące fazy przejściowe:

- ze stanu stałego w ciekły – topnienie,
- ze stanu ciekłego w stały – krzepnięcie,
- ze stanu ciekłego w gazowy – parowanie,
- ze stanu gazowego w ciekły – skraplanie,
- ze stanu stałego w gazowy – sublimacja,
- ze stanu gazowego w stały – resublimacja.

### MODELOWE WYJAŚNIENIE ZMIAN STANÓW SKUPIENIA SUBSTANCJI

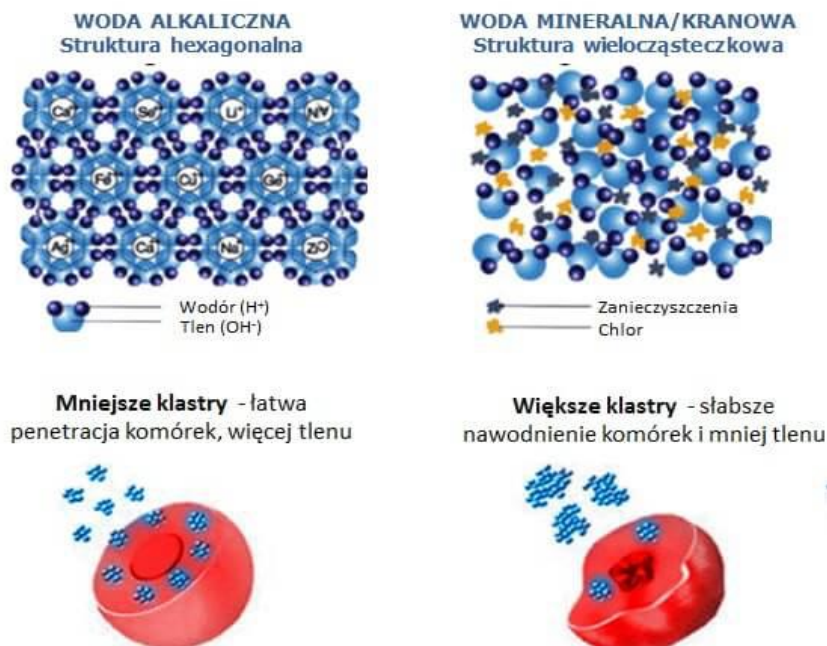


Właściwości wody, jako cieczy, wydają się nie być zawsze zgodne z podstawowymi prawami fizyki. Anomalie te odnoszą się do jej specyficznej struktury molekularnej. Niezwykły związek wodoru i tlenu zapisany tylko wzorem sumarycznym  $H_2O$  nie wyjaśnia unikalnych właściwości fizycznych i chemicznych wody. Zależą one przede wszystkim od budowy cząsteczki, jej kształtu, rozmieszczenia atomów wodoru i tlenu, elektronów, odległości między atomami, kąta między wiązaniami chemicznymi.

### Jaki kształt ma więc cząsteczka wody?

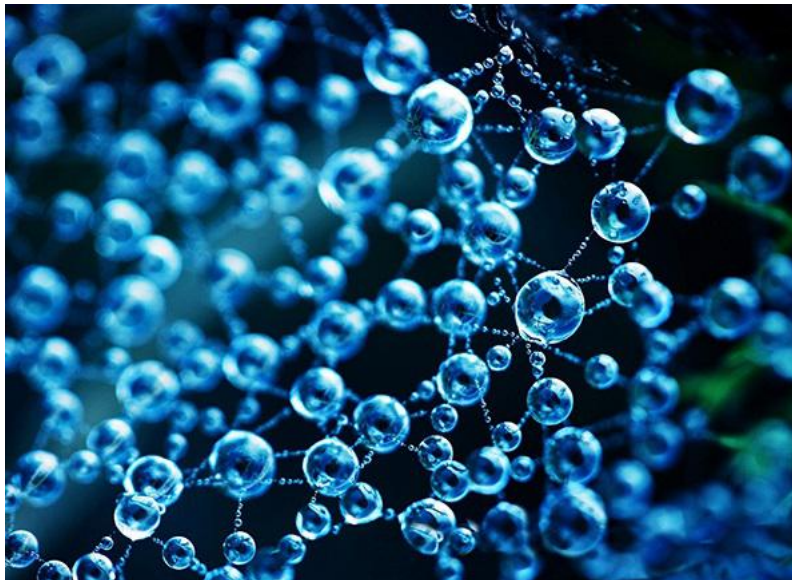
Woda nie jest cząsteczką liniową. Jej kształt jest zbliżony do trójkąta, którego jeden z wierzchołków stanowi atom tlenu, a dwa pozostałe atomy wodoru. Kąt położenia atomów wodoru w stosunku do atomu tlenu wynosi  $\sim 105^\circ$ . W obrazie trójwymiarowym kształt cząsteczki wody jest układem tetraedrycznym, który uwzględnia wolne pary elektronów przy atomie tlenu.

Między atomami wodoru i atomem tlenu w wodzie powstają wiązania spolaryzowane. Jest to skutek wysokiej elektroujemności atomu tlenu, tzn. jego tendencji do przyciągania elektronów. Silniejsze oddziaływanie atomu tlenu niż atomu wodoru na wiążącą parę elektronów powoduje, że cząsteczka wody jest spolaryzowana z wyraźnie zaznaczonymi dwoma biegunami elektrycznymi. Wokół jądra atomu tlenu tworzy się obszar o ładunku miejscowo ujemnym, a wokół jąder atomów wodoru obszar o ładunku miejscowo dodatnim. Budowa cząsteczki wody nadaje jej więc właściwości polarne i zachowuje się jak dipol elektryczny. To powoduje, że cząsteczki wody chętnie łączą się ze sobą poprzez wiązania wodorowe (dodatni biegun jednej cząsteczki jest przyciągany przez ujemny biegun drugiej cząsteczki). Właściwość tę nazywamy asocjacją.



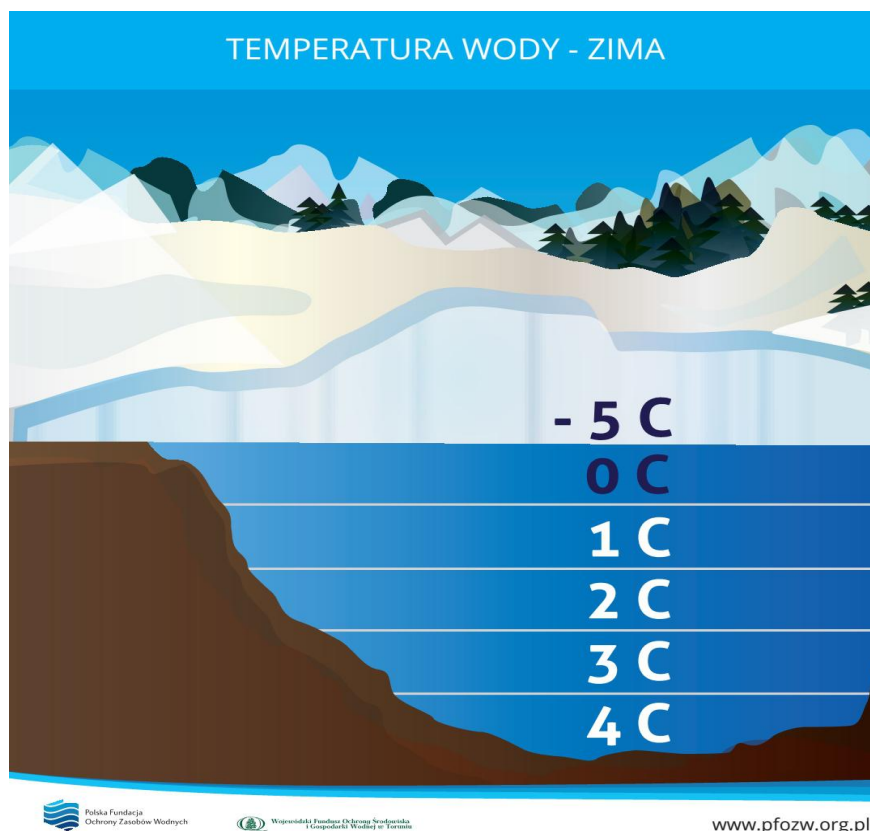
W każdym ze stanów skupienia, w zakresie niewielkich temperatur i pod normalnym ciśnieniem, część cząsteczek wody jest zasocjowana. Nawet w parze wodnej, choć połączenia te są dość słabe.

W temperaturze poniżej  $0^{\circ}\text{C}$  jedna cząsteczka łączy się wiązaniami wodorowymi z czterema innymi cząsteczkami wody. Dzięki temu lód uzyskuje strukturę przestrzenną - taką, jaka występuje w kryształach. Powstaje sieć krystaliczna o luźnej strukturze, przypominającej połączone tunele, puste w środku. Stąd objętość lodu jest duża. W stanie ciekłym liczba cząsteczek oddziaływujących ze sobą jest mniejsza. W temperaturze  $4^{\circ}\text{C}$  woda występuje w głównie w postaci asocjatów dwucząsteczkowych  $(\text{H}_2\text{O})_2$ . Większość unikalnych właściwości fizykochemicznych wody można przypisać właśnie jej charakterowi dipolowemu i zdolności tworzenia wiązań wodorowych.



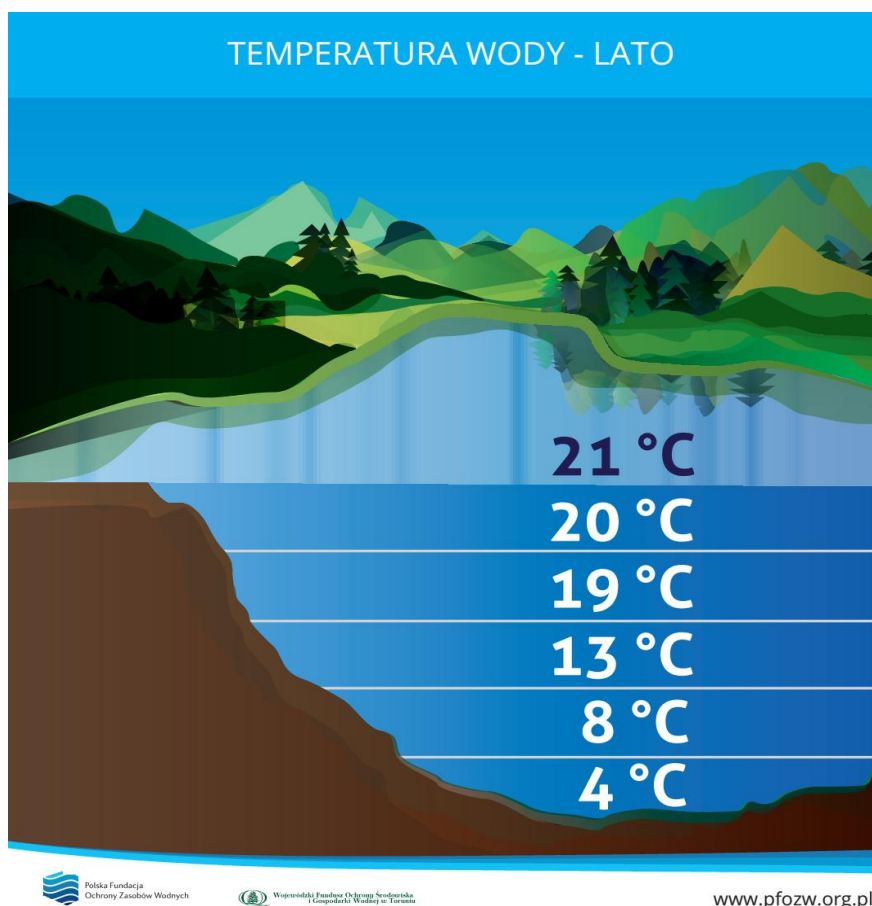
Gęstość wody, jak i innych substancji, zależy od temperatury. Jednak w przypadku wody zależność ta jest specyficzna. Inaczej niż inne ciecze, których gęstość maleje wraz z ogrzewaniem, woda największą gęstość osiąga w temperaturze  $4^{\circ}\text{C}$ . Dalsze oziębianie wody lub jej podgrzewanie powoduje zmniejszanie jej gęstości. Dzięki temu lód jest lekki i pływa po wodzie, podczas gdy normalnie inne ciała stałe zawsze toną w cieczach powstających przy ich topnieniu. Zamarzanie wody w rzekach i jeziorach tylko na powierzchni, umożliwia przetrwanie organizmom żywym w głębi wody.

Anomalią jest też to, że woda inaczej niż inne ciecze, zmienia swoją objętość w zależności od temperatury. Większość cieczy, gdy są podgrzewane, zwiększają swoją objętość. W zakresie temperatur od  $0^{\circ}\text{C}$  do  $4^{\circ}\text{C}$  woda kurczy się, maleje jej objętość, przy rosnącej gęstości, by w temperaturze  $4^{\circ}\text{C}$  osiągnąć minimum objętości. Jest to tzw. efekt anomalnej rozszerzalności cieplnej. Dopiero pod wpływem dalszego ogrzewania woda rozszerza się i w temperaturze około  $8^{\circ}\text{C}$



osiąga objętość mniej więcej taką samą, jak w 0°C. Kurczenie się wody w zakresie od 0°C do 4°C jest następstwem stopniowego rozpadania się wiązań wodorowych między cząsteczkami wody w strukturze lodu. Rozpada się około 15% wiązań wodorowych. Uwolnione ze struktury krystalicznej lodu cząsteczki wykonują coraz gwałtowniejsze ruchy cieplne, dążąc do gęstszego upakowania, osiągniętego właśnie w temperaturze 4°C. Podczas dalszego ogrzewania to upakowanie zaczyna się rozluźniać. Od tego momentu woda zachowuje się już jak normalne ciecze i zwiększa swoją objętość wraz ze wzrostem temperatury. Właśnie to zjawisko tłumaczy rozkład temperatur w zbiorniku wodnym w zimie. Woda o największej gęstości opada na dno i dzięki temu głębokie zbiorniki wody mają temperaturę zbliżoną do +4°C. Zimą na dnie woda ma zawsze temperaturę +4°C, co pozwala rybom przeżyć zimę, natomiast latem na dole zbiornika panuje najniższa temperatura.

Duża zmiana objętości właściwej wody zachodzi zarówno podczas jej topnienia, jak i krzepnięcia. Przechodząc w lód woda zwiększa objętość o około 10%, co jest wynikiem powstawania krystalicznych struktur lodu. Woda zostawiona w zamkniętym naczyniu na mrozie rozerwie je. Wstrzymanie krążenia wody w rurach centralnego ogrzewania może doprowadzić do jej pęknięcia na skutek zamarznięcia wody. Woda jest też głównym czynnikiem powodującym wietrzenie skał, a lód na powierzchni wody pełni rolę izolatora i chroni przed utratą ciepła głębsze warstwy.



Spośród niezwykłych i ważnych z biologicznego punktu widzenia właściwości wody jest jej duże ciepło właściwe (ilość ciepła potrzebna do ogrzania 1kg substancji o jeden stopień), największe ze znanych ciał, wskutek czego traktuje się je jako wzorzec. Dla większości substancji ciepło właściwe wzrasta wraz ze wzrostem temperatury. Woda zachowuje się inaczej. W przedziale temperatur od 0C do 27C spada jej ciepło właściwe osiągając minimum w 27°C. Przy dalszym ogrzewaniu ciepło właściwe rośnie nawet powyżej 100C. Właściwość ta również wynika z istnienia wiązań wodorowych między cząsteczkami wody. Ich zerwanie wymaga dostarczenia dużej ilości energii np. w postaci ciepła. Bardzo wysokie wartości ciepła właściwego, parowania, topnienia i krzepnięcia powodują, że woda ogrzewa się bardzo wolno, ale za to długo utrzymuje ciepło. Pochłanianie i oddawanie ciepła przy przechodzeniu ze stanu ciekłego w stan stały lub ze stanu ciekłego w parę przebiegają powoli. Dzięki temu woda wpływa łagodząco na klimat i zmniejsza wahania temperatury. Ogromne masy wody, takie jak oceany, spełniają zatem ważną rolę regulatorów temperatury na Ziemi. Latem wchłaniają nadmiar energii cieplnej, a zimą oddają ją otoczeniu. Właściwość ta ma też duże znaczenie dla istot żywych. Temperatura organizmów nie zmienia się gwałtownie, pomimo szybkich zmian temperatury otoczenia. Dzięki wysokim wartościom ciepła topnienia lodu, proces ten

zachodzi bardzo wolno. Ma to duże znaczenie, dzięki tej właściwości nie doznajemy klęsk powodziowych na skutek gwałtownego topnienia śniegu i lodu wiosną. Lód topniejąc pochłania bardzo duże ilości energii cieplnej.

Osobliwością, którą nie można pominąć, jest sposób zamiany wody ciekłej w parę. Proces parowania wody zachodzi bowiem w każdej temperaturze. Paruje nie tylko woda, lecz również śnieg i lód i to nawet w temp. poniżej 0°C - jest to proces sublimacji (przejście bezpośrednio ze stanu stałego w gazowy). Parowanie zwiększa się przy wzroście temperatury. Przy 100°C i normalnym ciśnieniu woda zaczyna wrzeć. Pęcherzyki pary powiększają swoją objętość i jako lżejsze wypływają na powierzchnię i zaczynają burzyć wodę. Do momentu, gdy cała woda nie wyparuje, temperatura nie ulegnie zmianie - jest to stałość temperatury wrzenia. Ciepło parowania jest zużywane na zwiększenie objętości przy przejściu w stan pary - pokonanie ciśnienia powietrza. Woda parując zwiększa swoją objętość 1650 razy). Część energii służy do rozbicia powiązanych ze sobą cząsteczek wody w pojedyncze cząsteczki.

Temperatura wrzenia wody zależy od jej ciśnienia. Przy niższym ciśnieniu, np. w wysokich górach, gdzie powietrze jest rozrzedzone, woda wrze w temperaturach niższych niż 100°C. W Himalajach nawet w temperaturze poniżej 70°C. Czy wykorzystujemy tę właściwość wody? Tak, gotując w tzw. ciśnieniowych naczyniach, oszczędzając energię.

Inną właściwością wody wynikającą z tworzenia międzycząsteczkowych wiązań wodorowych jest jej duże napięcie powierzchniowe. Wynika ono stąd, że siły działające na cząsteczkę wewnątrz wody ze strony pozostałych cząsteczek znoszą się wzajemnie, natomiast na cząsteczki leżące na powierzchni działa siła wypadkowa skierowana do środka cieczy (cząsteczki są wciągane do wnętrza cieczy). Siłę tę nazywamy siłą napięcia powierzchniowego. Woda dąży więc do minimalizacji powierzchni swojego kontaktu z powietrzem i przybiera takiego kształtu, dla którego przy określonej objętości powierzchnia jest jak najmniejsza. Z geometrii wiadomo, że taki kształt ma kula. Przez to spadająca kropla, czy bańka mydlana ma kształt kuli. Napięcie powierzchniowe ma duże znaczenie biologiczne. Błona powierzchniowa jest na tyle spójna, by nie rozzerwać się pod ciężarem leżących odpowiednio lekkich przedmiotów. Wykorzystują tę właściwość do poruszania się po powierzchni wody owady i inne organizmy np. nartnik. Kształt powierzchni wody nazywany meniskiem. Zależy od tego, jaką wartość mają siły spójności między cząsteczkami wody w porównaniu z siłami przylegania (siłami działającymi między cząsteczkami wody, a cząsteczkami ścianek naczynia).

Tworzenie się menisków wklęsłych pociąga za sobą zjawisko włoskowatości, polegające na tym, że dzięki napięciu powierzchniowemu wody wznosi się ona w naczyniach o bardzo małych przekrojach. Dzięki temu woda wsiąka w

glebę, mury, skały, a także wznosi się na wysokość kilku wielu metrów w pniach drzew. Napięcie powierzchniowe wody zmniejsza się wraz ze wzrostem temperatury. Praktycznie możemy to wykorzystać w procesach mycia i prania. Dodatek detergentu i podgrzanie wody zmniejsza wartości sił napięcia powierzchniowego, dzięki czemu zabrudzenia łatwiej można usunąć.

Lepkość wody, tzn. opór, jaki stawiają cząsteczki wody podczas przemieszczania się obok siebie, nie jest duża, ale bardziej zależy od temperatury niż napięcie powierzchniowe. Znaczny wzrost lepkości przy obniżeniu temperatury zapobiega migracji cząsteczek wody w tkankach w niskich temperaturach. Podniesienie temperatury o 10 °C zmniejsza lepkość o połowę. Właściwość ta wpływa na poruszanie się organizmów w środowisku wodnym. Mniejsza lub większa lepkość ułatwia lub utrudnia opadanie organizmów unoszących się w toni wodnej. Właściwość ta ma też znaczenie przy rozprowadzaniu substancji wewnątrz organizmów żywych.

Woda jest dobrym rozpuszczalnikiem dzięki wyjątkowo dużej stałej dielektrycznej ( $\epsilon = 80$ ), co oznacza, że dwa punktowe ładunki różnoimienne w wodzie przyciągają się z siłą 80 razy mniejszą niż w próżni. Dzięki tej anormalnie wysokiej wartości stałej dielektrycznej, woda stała się najbardziej wszechstronnym rozpuszczalnikiem na Ziemi. Rozpuszcza doskonale wiele związków chemicznych stałych, ciekłych i gazowych, prawie wszystkie substancje nieorganiczne i wiele organicznych. Z tego względu uznawana jest za rozpuszczalnik uniwersalny. Rozpuszcza nawet, choć w bardzo minimalnym stopniu, złoto i srebro. Przede wszystkim jednak jest doskonałym rozpuszczalnikiem dla substancji hydrofilowych (tzn. „lubiących wodę”), które posiadają ładunek, tak jak jony, są polarne, np. alkohol etylowy, albo mają zdolność tworzenia wiązań wodorowych. Dobrze rozpuszczalne są np. sole w rodzaju chlorku sodu. Dodatni biegun cząsteczki wody przyciągany jest przez anion, a ujemny przez kation, co prowadzi do tzw. hydratacji, tzn. gromadzeniu się wokół odpowiednich jonów, cząsteczek wodnych, tworzących coś w rodzaju płaszcza wodnego. W minimalnym stopniu woda rozpuszcza tzw. substancje hydrofobowe (tzw. „bojące się wody”) np. węglowodory, żywice, tłuszcze, białka. Szkło i metale rozpuszczają się w bardzo minimalnym stopniu, tak, że uważane są one za nierozpuszczalne. Dobra rozpuszczalność wody umożliwia nie tylko pranie i sporządzanie niektórych napojów. W organizmach woda jest czynnikiem transportującym jako składnik krwi, limfy, soku komórkowego roślin. Negatywne konsekwencje dobrej rozpuszczalności polegają na rozpuszczeniu również substancji szkodliwych dla zdrowia - pestycydów, a nawet silnych trucizn, związków rtęci i kadmu, które przedostają się z wodą do gleby, rzek i jezior, stwarzając zagrożenia cywilizacyjne.

W zwykłej temperaturze woda jest cieczą przezroczystą, bez smaku i zapachu. Barwa wody, jej przezroczystość, zależy od składu substancji w niej rozpuszczonych lub zawieszonych, które wpływają na stopień odbicia, rozproszenia i pochłaniania światła przez wodę. Czasami wydawać się może, że barwa wody jest niebieska, co spowodowane jest tym, że rozproszeniu silniej ulegają krótkofalowe części widma światła. Wysoka przezroczystość wód w okolicach równika spowodowana jest małą ilością substancji odżywczych i soli, a przez to małą ilością planktonu. Woda w Morzu Sargassowym, niezwykle przezroczysta, pod względem właściwości optycznych prawie nie różni się od wody destylowanej. Ze względu na bardzo małe przewodnictwo cieplne woda, a także lód, są bardzo dobrymi izolatorami cieplnymi.

Właściwość	H <sub>2</sub> O
Masa cząsteczkowa [u]	18,016
Gęstość [g/cm <sup>3</sup> ] /w t=20° C/	0,9982
Objętość molowa [cm <sup>3</sup> ] /w t=20°C/	18,048
Współczynnik załamania światła /w t=20° C/	1,3330
T topnienia [° C]	0
T wrzenia [° C]	100
Ciepło topnienia [J/mol]	6,022
Ciepło parowania [J/mol]	40,824
Stała dielektryczna	78,39
Napięcie powierzchniowe [J/m <sup>2</sup> ]	71,98 x 10 <sup>-3</sup>
Lepkość [Pa*s]	0,8905 x 10 <sup>-3</sup>

*Opracowano na podstawie:*

*Praca zbiorowa, Pracownia Dydaktyki Fizyki Instytutu Fizyki UMK „Prawie wszystko o wodzie”*

*Paweł Żukowski „Degradacja Hydrosfery”*