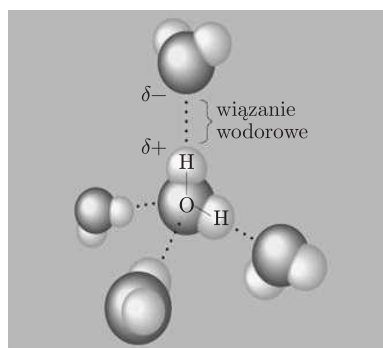


# O wiązaniach wodorowych

Krzysztof REJMER



Schemat wiązań wodorowych między cząsteczkami wody (wg Wikipedii).

| substancja            |                   | ciepło sublimacji |
|-----------------------|-------------------|-------------------|
| woda                  | H <sub>2</sub> O  | 51                |
| metan                 | CH <sub>4</sub>   | 8                 |
| selenowodór           | H <sub>2</sub> Se | 22                |
| czterowodorek germanu | GeH <sub>4</sub>  | 17                |
| tellurowodór          | H <sub>2</sub> Te | 28                |
| czterowodorek cyny    | SNH <sub>4</sub>  | 21                |

Tabela ciepł sublimacji wybranych par izoelektronowych związków chemicznych.

Niektóre pierwiastki, takie jak fluor czy tlen – czyli w języku chemii te najbardziej elektroujemne – mają zdolność tworzenia specyficznego rodzaju wiązania jonowego, nazywanego wiązaniem wodorowym. Wiązania wodorowe są słabsze od wiązań kowalencyjnych i od zwykłych wiązań jonowych, a silniejsze niż oddziaływania van der Waalsa (choć siła tych ostatnich na ogół wzrasta wraz ze wzrostem liczby elektronów w cząsteczce). Klasyczne wiązanie wodorowe tworzy się, gdy atom wodoru jest kowalencyjnie związany z atomem silnie elektroujemnym. W obecności innej takiej samej cząsteczki atom wodoru jest przez nią nieco odciągany od swego atomowego partnera, co osłabia wewnętrzne wiązanie w cząsteczce, ale powoduje utworzenie słabego wiązania elektrostatycznego dwóch cząsteczek.

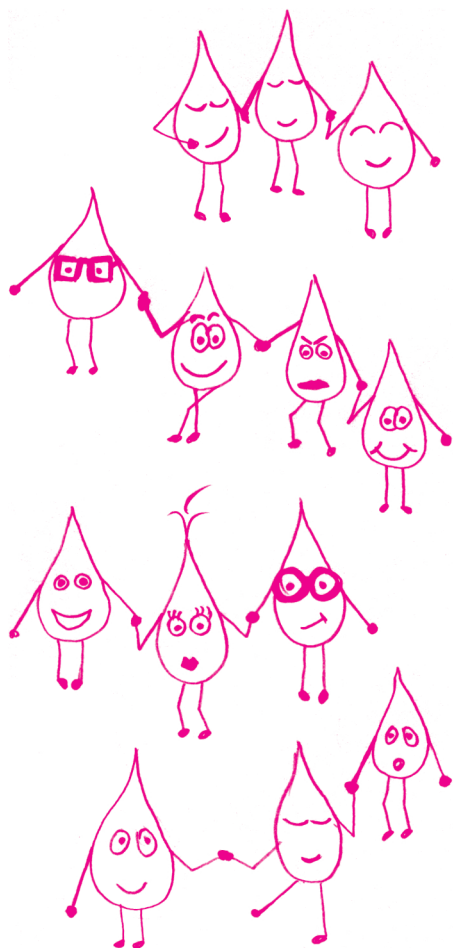
Zbadajmy dokładniej niektóre własności wiązań wodorowych w oparciu o dane liczbowe łatwe do znalezienia w różnego rodzaju tablicach fizycznych. Tabela na marginesie przedstawia wartości ciepł sublimacji trzech par substancji izoelektronowych, tj. każda z cząsteczek danej pary ma tyle samo elektronów (choć liczba ta jest różna dla różnych par). Wiedząc, że we wszystkich przypadkach pomiędzy cząsteczkami występuje oddziaływanie van der Waalsa, a tylko cząsteczki H<sub>2</sub>O tworzą wiązania wodorowe, możemy oszacować wartość ciepła sublimacji hipotetycznej postaci lodu, w której cząsteczki związane są jedynie siłami van der Waalsa, a następnie wyznaczyć energię wiązania wodorowego w lodzie. Stosunek ciepł sublimacji dla drugiej i trzeciej pary ma wartość około 1,3. Możemy więc przyjąć w przybliżeniu, że taki sam byłby on dla pierwszej pary, gdyby dla H<sub>2</sub>O nie istniały wiązania wodorowe. Wtedy ciepło sublimacji wody byłoby równe nie 51 kJ/mol, lecz  $1,3 \cdot 8 \text{ kJ/mol} = 10,4 \text{ kJ/mol}$ . Zważywszy na fakt, że cząsteczka wody ma dwa protony, stwierdzamy, iż energia pojedynczego wiązania wodorowego jest połową różnicy rzeczywistej i obliczonej wyżej wartości ciepła sublimacji, zatem otrzymujemy energię wiązania wodorowego w wodzie równą około 20 kJ/mol.

Co się dzieje z wiązaniami wodorowymi, kiedy lód topnieje? Ciepło topnienia lodu wynosi 6,02 kJ/mol. Ciepło topnienia metanu jest znacznie niższe i wynosi 0,92 kJ/mol. Na podstawie tych liczb możemy oszacować, jaka część wiązań wodorowych w lodzie ulega rozerwaniu w wyniku topnienia. Energię potrzebną do rozerwania wiązań wodorowych w lodzie podczas topnienia możemy wyznaczyć jako różnicę między ciepłami topnienia lodu i metanu; wynosi ona więc około 5,1 kJ/mol. Obliczyliśmy wcześniej, że całkowita energia wiązań wodorowych wynosi około 40 kJ/mol, a zatem rozpadowi ulega jedynie około 1/8 wszystkich wiązań wodorowych.

Okazuje się, że jest to oszacowanie mocno zawyżone. Z doświadczenia wynika, iż zerwaniu ulega znacznie mniejsza liczba wiązań wodorowych, co oznacza, że nasze wyniki należy interpretować jako miarę zmiany energii wiązań wodorowych związaną z ich deformacją. Używając pojęć mechanicznych, moglibyśmy wyobrazić sobie, że wiązania te są rozciągane i skręcane.

Wiązania wodorowe są odpowiedzialne, między innymi, za anomalną rozszerzalność wody. Jak zobaczyliśmy, topnienie lodu niszczy je tylko w niewielkim stopniu, dlatego objętość wody nie różni się znacząco od objętości lodu, z którego powstała. W odpowiednio niskich temperaturach (od 0 °C do 4 °C) występowanie wiązań wodorowych znacząco wpływa na odległości i wzajemne ustawienie cząsteczek wody. Dzięki temu w opisywanym zakresie temperatur gęstość wody rośnie ze wzrostem temperatury.

Warto tu przy okazji wspomnieć o szarlatanerii nazywanej homeopatią. Środki (bo nie są to żadne leki) homeopatyczne to wodne roztwory (czego – to bez większego znaczenia) o tak silnym stopniu rozcieńczenia, że prawdopodobieństwo napotkania cząsteczki substancji rzekomo czynnej jest mniejsze od prawdopodobieństwa trafienia szóstki w lotto. Jak zatem coś takiego mogłoby





leczyć? Niesławnej pamięci immunolog francuski, Jacques Benveniste, twierdził, że udowodnił istnienie zjawiska pamięci wody. Otóż substancja rozpuszczana miałaby pozostawiać po sobie informację zawartą w drganiach cząsteczek lub w ich strukturze. Teoria ta została wielokrotnie sfalsyfikowana doświadczalnie.

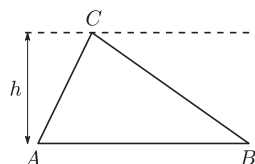
Mimo to istnieją zerujące na ludzkiej naiwności firmy produkujące i sprzedające urządzenia, które rzekomo zmieniają strukturę wody. „Żywa woda” – jak nazywają wynik działania tych maszynek – różni się od tej złej, czyli „martwej”, tym, że ma strukturę heksagonalną. Z tego, co powiedzieliśmy powyżej, wiemy, że taka struktura jest w wodzie obecna zawsze, przynajmniej w niezbyt wysokich temperaturach. Odważny Czytelnik *Delty*, ryzykując sądowy pozew, bez trudu może udowodnić „specjaliście” od wody heksagonalnej jego oszustwo. Gdyby w „złej” wodzie poddanej działaniu urządzenia uzdatniającego powstawała heksagonalna struktura, powinna wzrosnąć objętość wody. A to jest akurat bardzo łatwe do sprawdzenia.



## Zadania

Redaguje Tomasz TKOCZ

**M 1420.** Dany jest odcinek  $AB$  i liczba dodatnia  $h$ . Wśród trójkątów  $ABC$  o podstawie  $AB$  i wysokości opuszczonej z wierzchołka  $C$  długości  $h$  znaleźć taki, dla którego iloczyn długości wszystkich trzech wysokości jest maksymalny (rys. obok).



Rozwiązanie na str. 18

**M 1421.** Udowodnić, że dla dodatnich liczb całkowitych  $k \leq n$  prawdziwa jest nierówność

$$\sum_{j=0}^k \binom{n}{j} < \left(\frac{en}{k}\right)^k,$$

gdzie  $e$  to stała zdefiniowana np. jako  $e = \sup_{m \geq 1} \left(1 + \frac{1}{m}\right)^m$ .

Rozwiązanie na str. 10

**M 1422.** W kolejce stoi  $n$  pasażerów, którzy chcą wejść na pokład samolotu,  $n \geq 2$ . Wszyscy mają swoje bilety z numerem miejsca oprócz pierwszej osoby w kolejce, która go zgubiła. W związku z tym wybiera ona swoje miejsce losowo. Każda następna osoba, jeśli nie może usiąść na miejscu wskazanym przez swój bilet (bo jest ono już zajęte), także wybiera swoje miejsce losowo (każde dostępne miejsce jest jednakowo prawdopodobne). Jakie jest prawdopodobieństwo tego, że ostatni pasażer usiądzie na swoim miejscu, jeśli  $n = 2$ ,  $n = 3$ ,  $n = 100$ ?

Rozwiązanie na str. 11

Przygotował Andrzej MAJHOFER

**F 855.** Oszacować średnią odległość  $l_0$  (tzw. średnią drogę swobodną) przebywaną przez elektron pomiędzy dwoma zderzeniami z atomami neonu znajdującego się w warunkach normalnych (tj. w temperaturze  $T_0 = 273,15$  K i pod ciśnieniem  $p_0 = 1013,25$  hPa). Promień atomu neonu wynosi  $r = 1,5 \cdot 10^{-10}$  m.

Rozwiązanie na str. 19

**F 856.** Odległość elektrod w neonówce (lampce wypełnionej neonem) wynosi  $d = 3$  mm. Jakiego powinno być ciśnienie zawartego w niej gazu, żeby jej zapłon (zaświecenie) następował po przyłożeniu napięcia 100 V. Energia jonizacji neonu wynosi  $E_0 = 21,56$  eV. Przyjmij, że temperatura gazu w lampce wynosi  $T_0 = 273,15$  K. W warunkach normalnych droga swobodna elektronu w neonie wynosi  $l_0 = 0,59$   $\mu\text{m}$ . Wskazówka: skorzystać z wyniku zadania 855.

Rozwiązanie na str. 9

