

17. ročník, úloha I. P ... led a kyselina (5 bodů; průměr 0,70; řešilo 37 studentů)

Na jeden kilogram ledu o teplotě 0°C nalijeme 900 g 66% kyseliny sírové, taktéž o teplotě 0°C . V jakém stavu se systém ustálí, pokud víte, že teplo tání ledu je větší než teplo uvolněné při smísení použité kyseliny a jednoho litru vody?

Úloha pochází od doc. Obržálka.

Úlohu můžeme vyřešit na základě pozorování z běžného života, bez složitých termodynamických úvah. Nejprve si musíme uvědomit, že led je *pevná látka* jako každá jiná, ačkoliv na něj podvědomě nahlížíme jako na „zmrzlou vodu“, narozdíl od látek jako například kuchyňská sůl, kterou si asi málokdo z nás představuje jako zmrzlou taveninu NaCl.

Všichni víme, že pokud nasypeme do vody sůl (pevnou látku 780°C pod bodem tání), rozpustí se. Porovnáme-li měrná skupenská tepla tání $519\text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$ (NaCl) a $334\text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$ (H_2O), zjistíme, že jsou srovnatelná. Sůl se tedy rozpouští ve vodě, přestože tento proces „spotřebuje“ velké množství energie. A protože mezi rozpouštěním NaCl v H_2O a H_2O (s) v H_2SO_4 není žádný kvalitativní rozdíl (snad jen s výjimkou toho, že H_2O a H_2SO_4 se mísí v libovolném poměru) a dokonce i všechny „materiálové konstanty“ jsou řádově stejné, můžeme usoudit, že tyto systémy se budou chovat stejně. Z těchto úvah vyplývá, že se *všechn* led rozpustí a systém se ustálí při teplotě nižší než 0°C .

Fundamentální příčinou tohoto chování je to, že libovolný systém s danou energií (což směs vody a kyseliny je, protože ji můžeme považovat za tepelně izolovanou) se ustálí ve stavu s nejvyšší možnou *entropií*. Entropie se rozpouštěním ledu a smícháním s kyselinou rapidně zvýší (zvětší se neuspořádanost, resp. počet možných realizací stavu). Snížením teploty se sice entropie naopak o něco sníží (menší tepelný pohyb molekul znamená menší neuspořádanost), ale v důsledku bude stav, kdy je led rozpuštěn a směs chladnější, entropicky výhodnější.

Pokud vám přijde divné, že při rozpouštění soli ve vodě nepozorujeme žádné podchlazení, je to tím, že rozpustnost kuchyňské soli ve vodě je poměrně malá. Pokud však do vody nasypeme například NH_4NO_3 , $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, či jinou ve vodě dobře rozpustnou sůl, podchlazení pozorovat budeme, a to velmi výrazně (tento pokus si můžete sami vyzkoušet). Dodejme ještě, že popsaneho jevu se využívá například pro chlazení na nízké teploty za laboratorních podmínek (se zadanou směsí lze dosáhnout teplot až několika desítek stupňů pod nulou) či pro úpravu pozemních komunikací (známé solení zasněžených silnic).

Pavel Augustinský
fykos@mff.cuni.cz