

Úloha VI.E ... koligativní vlastnosti roztoků

12 bodů; průměr 7,74;

řešilo 23 studentů

Změřte kryoskopickou konstantu, tedy konstantu úměrnosti teploty tání roztoku na jeho molalitu. Tuto konstantu určete pro několik roztoků a ověřte třetí Raoultův zákon, který říká, že hodnota konstanty nezávisí na rozpouštěné látce, ale pouze na rozpouštědle.

Tomáš Č. chtěl vzdělat.

Teorie

Množství rozpuštěné látky v roztoku můžeme vyjádřit několika možnými veličinami. Mezi nejběžnější patří hmotnostní zlomek (hmotnost látky ku hmotnosti roztoku), hmotnostní koncentrace (hmotnost látky ku objemu roztoku), látková koncentrace neboli molarita (molární množství látky ku objemu roztoku) a molalita (molární množství látky ku hmotnosti rozpouštědla). Právě v této veličině jsou formulovány Raoultovy zákony¹, které se zabývají vlastnostmi, které závisí pouze na koncentraci rozpuštěné látky, nikoliv na jejím druhu. Konkrétně první Raoultův zákon se zabývá parciálními tlaky par nad roztoky, druhý Raoultův zákon teplotami varu a třetí Raoultův zákon teplotami tání. Dle něj změna teploty tání roztoku $\Delta T_t = T_t - T_{t0}$ závisí na molalitě roztoku b jako

$$\Delta T_t = -Kb,$$

kde K je kryoskopická konstanta, která se dá vyjádřit jako

$$K = \frac{RM_0T_{t0}^2}{\Delta H_t^{(mol)}},$$

kde R je univerzální plynová konstanta, M_0 je molární hmotnost rozpouštědla, T_{t0} je teplota tání rozpouštědla a $\Delta H_t^{(mol)}$ je molární změna entalpie, neboli molární skupenské teplo tání. Molalitu roztoku vyjádříme jako látkové množství rozpuštěné látky ku hmotnosti rozpouštědla, tedy

$$b = \frac{m_l}{m_v} = \frac{\frac{m_l}{M_l}}{V_v \rho_v} = \frac{m_l}{M_l V_v \rho_v},$$

kde m_l je hmotnost rozpuštěné látky, M_l je její molární hmotnost, V_v je objem vody a $\rho_v \approx 1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ je hustota vody. Pro vodu má kryoskopická konstanta hodnotu $K = 1,855 \text{ K}\cdot\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}$

Postup měření

Pro měření jsme použili čtyři běžně dostupné látky, které jsme rozpouštěli ve vodě, což bylo jediné dostupné rozpouštědlo, které dokážeme v kuchyňském mrazáku dostatečně dobře zmrazit. Použili jsme kuchyňskou sůl (chlorid sodný), cukr krystal (sacharózu), kyselinu citronovou a jedlou sodu (hydrogenuhličitan sodný), což jsou všechno běžně dostupné látky, u kterých umíme určit chemické složení, a navíc jsou rozpustné ve vodě. Protože neumíme měřit látkové množství, musíme měřit hmotnost látky v roztoku, zajímá nás tedy molární hmotnost rozpuštěné látky. Dalším omezením je pro nás maximální množství látky, které můžeme ve vodě rozpustit, než vznikne nasycený roztok. Maximální hmotnostní koncentrace ρ a molární hmotnost látek M jsou uvedeny v tabulce 1. Pro každou látku jsme nejprve namíchali nejsilnější měřený roztok, kdy jsme hmotnost rozpuštěné látky měřili na kuchyňských vahách (v případě cukru a soli),

¹https://cs.wikipedia.org/wiki/Raoult%C5%AFv_z%C3%A1kon

Tabulka 1: Molární hmotnost a hmotnostní koncentrace nasyceného roztoku použitých látek

látka	$\frac{M}{\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}}$	$\frac{\rho}{\text{g}/100\text{ ml}}$
kyselina citronová	192	59,2
jedlá soda	84	9,6
sůl	58	35,8
cukr	342	202

nebo používali předvážené sáčky o dané hmotnosti (v případě kyseliny citronové a jedlé sody) a objem jsme měřili injekční stříkačkou o objemu 5 ml s měrkami po 0,25 ml. Koncentrace těchto roztoků jsou uvedené v tabulce 2. Méně koncentrované roztoky jsme pak chystali mícháním

Tabulka 2: Výpočet molality jednotlivých plných roztoků

látka	$\frac{m_l}{\text{g}}$	$\frac{M_l}{\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}}$	$\frac{V_v}{\text{ml}}$	$\frac{b}{\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}}$
kyselina citronová	40	192	80	2,60
jedlá soda	15	84	170	1,05
sůl	30	58	150	3,45
cukr	100	342	100	2,92

tohoto roztoku s vodou v poměrech 4 : 1, 3 : 2, 2 : 3, 1 : 4 a pro kontrolu měřili i čistou vodu. Tyto roztoky jsme dali do odměrky na přípravu ledu a nechali zamrazit. Teplotu tání jsme pak měřili rtuťovým zavařovacím teploměrem s velikostí dílku 1 °C, tedy s odchylkou 0,5 °C. Do sklenice jsme vložili tři kostky zamrzlého roztoku dané koncentrace, průběžně míchali a sledovali, kdy začne teplota výrazně růst a poslední kousičky ledu se rozpustí. Takovou teplotu jsme pak určili jako teplotu tání.

Výsledky

Naměřené teploty tání pro jednotlivé roztoky o daných molalitách jsou uvedeny v tabulce 3. Závislosti teploty tání na molalitě jsme vynesli do grafu, který je zobrazen na obrázku 1.

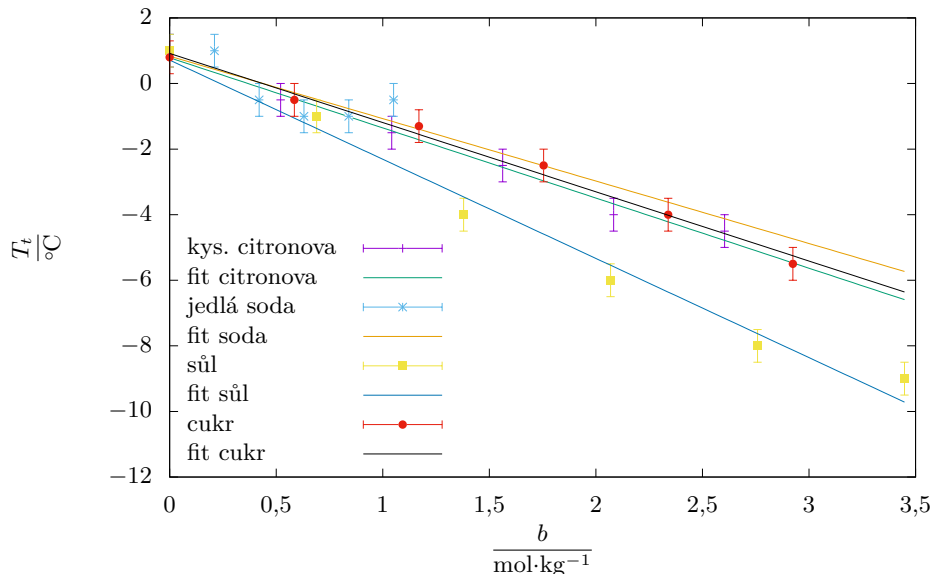
Tabulka 3: Naměřené teploty tání podle podílu namíchaného roztoku ku vodě

látka	kyselina citronová		jedlá soda		sůl		cukr	
	$\frac{b}{\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}}$	$\frac{T_t}{\text{°C}}$	$\frac{b}{\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}}$	$\frac{T_t}{\text{°C}}$	$\frac{b}{\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}}$	$\frac{T_t}{\text{°C}}$	$\frac{b}{\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}}$	$\frac{T_t}{\text{°C}}$
5:0	2,60	-4,5	1,05	-0,5	3,45	-9	2,92	-5,5
4:1	2,08	-4,0	0,84	-1,0	2,76	-8	2,34	-4,0
3:2	1,56	-2,5	0,63	-1,0	2,06	-6	1,75	-2,5
2:3	1,04	-1,5	0,42	-0,5	1,38	-4	1,17	-1,3
1:4	0,52	-0,5	0,21	1,0	0,69	-1	0,58	-0,5
0:5	0,00	1,0	0,00	1,0	0,00	1	0,00	0,8

Jednotlivé závislosti jsme proložili přímkou ve tvaru

$$T_t = -Kb + T_{t0},$$

kde T_{t0} je teplota tání vody, která by měla být 0°C , ale používáme ji jako fitovací parametr jednak kvůli možné nepřesné kalibraci teploměru a jednak kvůli nenulové koncentraci rozpuštěných látek v čisté vodě z vodovodu.



Obrázek 1: Závislost teploty tání na molalitě roztoku

Nafitované parametry jsou uvedeny v tabulce 4.

Tabulka 4: Fitem získané hodnoty kryoskopické konstanty a teploty tání čistého roztoku

látka	K $^\circ\text{C}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{kg}$	T_{t0} $^\circ\text{C}$
kyselina citronová	$2,1\pm 0,1$	$0,8\pm 0,2$
jedlá soda	$1,9\pm 0,7$	$0,8\pm 0,4$
sůl	$3,0\pm 0,2$	$0,7\pm 0,4$
cukr	$2,1\pm 0,1$	$0,9\pm 0,2$

Diskuse

V tabulce nafitovaných hodnot vidíme, že pro kyselinu citronovou, jedlou sodu a cukr dostáváme velmi podobné hodnoty. Pro jedlou sodu však v grafu nevidíme lineární pokles, ale pro příliš vysoké koncentrace teplota tání naopak roste. To může být způsobeno tím, že jak rozpustnost

Jedlé sody s teplotou klesá, tak při chladnutí roztoku se původně rozpuštěná jedlá soda vylučuje na povrchu a skutečná koncentrace tak klesá. Vyloučenou jedlou sodu můžeme pozorovat na povrchu ledových kostek. Naměřená hodnota kryoskopické konstanty pro sůl se od ostatních látek mírně liší, což může být způsobeno nepřesným měřením koncentrace díky nepřesnostem kuchyňské váhy. Další možnou příčinou odchylek je, že jsme jedlou sůl považovali za čistý chlorid sodný, avšak ve skutečnosti se v ní vyskytují i další soli, které ovlivňují průměrnou hodnotu molární hmotnosti.

Samotné měření teploty tání pak obsahuje spoustu nejistot, které mohou být způsobeny špatným vedením tepla ve směsi kapaliny a ledu, kdy teploměr měří teplotu kapaliny, která může být o něco větší než teplota zbytků ledu. Tuto nejistotu lze minimalizovat dobrým promícháváním roztoku, avšak nikdy si nemůžeme být jisti, že je teplota dostatečně vyvážená. Kromě toho definice teploty tání jako teploty, při které se rozpustí poslední kousičky ledu, a jako teploty těsně před tím, než začne teplota kapaliny strměji růst, se přesně neshodují a tyto dvě metody určení dávají mírně odlišné hodnoty (až o 1°C).

Pro zvýšení přesnosti měření bychom mohli měřit teplotu roztoku kontinuálně (například Arduinem) a přitom zajistit neustálé promíchávání.

Závěr

Naměřili jsme kryoskopickou konstantu vody pro roztoky čtyř různých látek. Hodnoty pro tři z nich přibližně odpovídají tabulkové hodnotě kryoskopické konstanty pro vodu, naměřená hodnota pro sůl je však vyšší. Pro kyselinu citrónovou, jedlou sodu a cukr jsme 3. Raoultův zákon potvrdili.

Kateřina Rosická
kacka@fykos.cz

Fyzikální korespondenční seminář je organizován studenty MFF UK. Je zastřešen Oddělením propagace a mediální komunikace MFF UK a podporován Ústavem teoretické fyziky MFF UK, jeho zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků. Realizace projektu byla podpořena Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy.

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported.
Pro zobrazení kopie této licence navštivte <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.