

23. ročník, úloha VI. P ... tora tora tora (3 body; průměr 1,67; řešilo 6 studentů)

Japonský pilot za druhé světové války dostal ve výšce 5 km nad zemí zížen. Zjistil však, že mu dali jen láhve s limonádou. Co má dělat? *Z imperiálních archivů vynesla Adéla.*

Zamysleme se nad tím, kde je jádro problému. První problém je ve výšce. V pěti tisících metrech nad mořem už je pořádná zima (cca -18°C) a mohli bychom namítnout, že pilot za druhé světové války neměl bůhvíjakou techniku a za chvíli by umrzl, popřípadě by se nevyrovnal s výškovou nemocí (na takovou výšku si horolezci zvykají i několik dní). Teplota napovídá také tomu, že by mu jakékoliv pití zmrzlo. Ale podívejme se na hypotetický případ (v reálu by pilot letadla v této nadmořské výšce už skutečně musel mít nějaký přístroj na podporu dýchání), kdy pilot přežije takovou výšku, řídký vzduch a nepotřebuje kabinu, co umí vyrovnat tlaky, která je dnes přítomna ve všech dopravních letadlech. V tu chvíli přijde na řadu ona limonáda.

Proč by měl pilot hořekovat nad limonádou? Pomiňme případ, že mu nechutná. Problém limonády tkví v přítomnosti bublinek, tedy oxidu uhličitého. Většina již okusila, co se stane, když neopatrně otevřete limonádu. Vyubublá. Důvody pro to mohou být dva:

- S limonádou se zatřepe.
- Limonáda zůstane ve velmi horkém prostředí (auto za horkého letního dne, podle Mythbusters limonáda může v takovém případě dokonce sama vybuchnout).

Proč se tomu tak děje? Když se vyrábí soda, je do ní pod velkým tlakem vpraven oxid uhličitý, v tekutině se ho v tomto případě rozpustí mnohem více, než za normálního atmosférického tlaku. Zatřesení limonádou způsobí, že se bublinky usadí na stěnách lahve a po otevření nadšeně vyletí i s tekutinou (Boylův zákon, tlak se bude vyrovnávat a poroste objem bublinek). Trik pro otevření takové limonády je vskutku jednoduchý, stačí prsty poklepat na stěny, aby se bublinky usadily nahore. Toto chování je pro ně poměrně normální, neboť plyn je lehčí než tekutina a pokludně unikne z lahve a nevytlačí limonádu.

Jak je to s teplým prostředím? Napadlo vás, proč se sekt chladí než se otevře? Zde přijde ke slovu Henryho zákon, který nám poskytne hned dvě informace relevantní pro „limonádový problém“. Zákon říká: *s rostoucím tlakem roste rozpustnost plynů v kapalinách*. Tedy s rostoucí teplotou tato vlastnost klesá. Proto pokud v autě necháme plechovku s limonádou, plyn z ní bude vytlačován, až to plechovka nevydrží a praskne,¹ kromě toho zde přijde ke slovu Charlesův zákon, který říká, že zahřátý plyn se rozpíná.

V našem případě nás ale zajímá spíše případ s tlakem. Jak známo, s nadmořskou výškou řídne vzduch a klesá tlak. Tedy rozpustnost plynu v kapalině klesá. Předpokládejme, že zde na zemi nám rychle vyubublá limonáda při teplotě 20°C . Pak vysoko v oblacích musí při stejné teplotě zákonitě také vyubblat, a to ještě rychleji! K odhadu rychlosti použijeme Poiseuilleho rovnici, která aproximativně rychlost úniku limonády může popsat

$$v = \frac{\Delta p r^4 \pi}{8L\eta},$$

kde r je průměr trubice (hrdla lahve), L její délka a η je viskozita. Vidíme, že rychlost přímo úměrně závisí na rozdílu tlaků, tedy je-li rozdíl tlaků vyšší, je únik limonády z lahve vyšší. Ve míněné pětikilometrové výšce je tlak o cca 50 % menší než na hladině moře,² tedy limonáda unikne dvakrát rychleji.

¹⁾ Podívejte se např. na <http://mythbustersresults.com>.

²⁾ Zdroj http://en.wikipedia.org/wiki/Atmosphere_of_Earth.

Jak docílit toho, aby nám nevybublala? Opět se zamysleme nad Henryho zákonem, pokud klesne teplota limonády, zvýší se rozpustnost plynu v ní a dle Charlesova zákona budou i bublinky oxidu uhličitého menší. Jediná šance, jak se rozumně napít, je tedy limonádu vychladit, ostatně jako již zmíněný sekt.

Jana Poledniková

janap@fykos.mff.cuni.cz

Fyzikální korespondenční seminář je organizován studenty UK MFF. Je zastřešen Oddělením pro vnější vztahy a propagaci UK MFF a podporován Ústavem teoretické fyziky

UK MFF, jeho zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported.

Pro zobrazení kopie této licence, navštivte <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.