

24. ročník, úloha IV.4 ... sama doma !!! chybí statistiky !!!

Terka J. mívá většinou skvělé nápady. Třeba minulý pondělí si od svého oblíbeného dermatologa přinesla 5 litrů kapalného dusíku a ihned ho vylila na zem ve své ubikaci. Ve středu pro změnu odcizila na čerpací pumpě 5 litrů benzínu, který záhy vylila do umyvadla a zapálila. Mohlo se Terce některý den udělat nedobře v důsledku jejich kratochvílí? Aneb jak se v obou případech změní teplota, tlak a koncentrace kyslíku v ubikaci, pokud tato je dokonale neprodyšná, tepelně izolovaná a rozměrů $3 \times 3 \times 4 \text{ m}^3$? *Mára vykecal příhodu Terky J.*

Tato úloha byla z velké části cvičením na jednoduché vztahy termodynamiky a obecné chemie. Nebudeme Vás proto zatěžovat podrobnostmi a spíše se vynasnažíme upozornit na některá zajímavá místa.

Kapalný dusík

Všechny potřebné tabulkové hodnoty najdeme např. na webu¹. Všimněme si krátce několika věcí. Kapalný dusík má bod varu $T_N = -195,8 \text{ }^\circ\text{C}$, je o pětinu lehčí než voda a jeho výparné teplo Q_N je oproti vodě asi desetkrát menší. Na zmíněném webu lze ověřit, že tepelná kapacita vzduchu se ve vyšetřovaném teplotním intervalu mění maximálně v řádu jednotek procent a budeme ji tedy považovat za konstantní. Ale pozor, tepelná kapacita látek může obecně velmi silně záviset na teplotě, zvláště pak v pevných látkách! Vzduch je ze 78% dusík a proto u dusíku předpokládáme analogické termodynamické vlastnosti – a skutečně, měrná tepelná kapacita plyného dusíku je v podstatě totožná se vzduchem. Na tomto místě musíme dávat pozor, protože budeme dále používat měrnou tepelnou kapacitu za stálého objemu C_V , protože místnost se nerozpíná a plyn nekoná práci. V tabulkách se však častěji uvádí tepelné kapacity za stálého tlaku C_p . K přibližnému přepočtu můžeme užít vztah odvozený pro ideální plyn, a sice $C_p = C_V + R$, kde R je univerzální plynová konstanta. Uvažujeme, že teplota kapalného dusíku je těsně nad bodem varu.

Výslednou teplotu T v místnosti vypočteme z úvahy, že výparné teplo přidaného dusíku plus teplo uložené do ohřátí přidaného dusíku se rovná teplu, které odevzdal původní vzduch v místnosti. Píšeme tedy

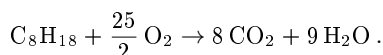
$$m_N(Q + C_V(T - T_N)) = m_{\text{air}}C_V(T_0 - T),$$

kde T_0 je původní teplota v místnosti a m_N , m_{air} po řadě hmotnosti (případně látková množství) přidaného dusíku a vzduchu, které snadno spočteme ze zadaných a tabulkových hodnot.

Vyjde $T \approx -20 \text{ }^\circ\text{C}$, což není tak strašné, jak jistě uznáte. Látkové množství původního vzduchu dostaneme nejlépe ze známého poznatku, že za normálního tlaku má jeden mol plynu objem 22,4 litrů. Zjistíme tak, že vypařením dusíku vzroste látkové množství plynu v místnosti faktorem 1,09. Absolutní teplota ovšem klesla faktorem 0,86, což vede k celkovému poklesu tlaku faktorem 0,94. Parciální tlak kyslíku klesne totožně s teplotou, tedy na 86%, a jeho relativní koncentrace klesne na 92%. To ale odpovídá maximálně vystoupání na Praděd a není tedy životu nebezpečné. Pro tentokrát tedy Terka ještě přežila bez úhony.

Benzín

Předpokládejme pro jednoduchost, že benzín je čistý oktan. Rovnice hoření je pak



¹) Např. <http://www.engineeringtoolbox.com/>.

Odtud vidíme, že hořením celkové látkové množství plynu v místnosti vzroste pouze o 8%, protože se pouze 12,5 molekul kyslíku vymění za 17 molekul spalných produktů. Látkové množství kyslíku v místnosti je o něco menší než množství potřebné pro vyhoření celého objemu benzínu. Navíc při dostatečně nízké koncentraci kyslíku hoření ustane. Benzín tedy ani nedohoří. Již nyní ale můžeme říct, že si Terka pěkně zavařila. Porovnáním měrné tepelné kapacity vzduchu ($C_V \approx 0,72 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) s výhřevností benzínu ($H \approx 44 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) rovněž seznáme, že si i pěkně zatopí. Vzrůst teploty ΔT je dán

$$\Delta T(n_{\text{N}_2}C_{\text{N}_2} + n_{\text{CO}_2}C_{\text{CO}_2} + n_{\text{H}_2\text{O}}C_{\text{H}_2\text{O}}) = m_b H,$$

kde m_b a H jsou po řadě hmotnost a měrná výhřevnost benzínu a n , C příslušná látková množství a měrné tepelné kapacity. V teplotní škále tisícovek stupňů se již tepelná kapacita plynu může změnit až několikanásobně. Přesto na základě těchto jednoduchých a přibližných úvah dojdeme k závěru, že teplota může přesáhnout 3000 °C! To je teplota srovnatelná s teplotou svářecího plamene. Rovněž si lze všimnout, že dodané teplo připadající na jeden mol plynu se již blíží disociační energii některých chemických vazeb. Možná jsme opomněli některou důležitou skutečnost, která značně ovlivní výslednou teplotu. Jisté však je, že v místnosti nastanou značně extrémní podmínky neslučitelné se životem. Navíc při reálném spalování bude vznikat řada toxických produktů. Terka to tentokrát dobře neodhadla a musela vzít nohy na ramena.

Marek Scholz
mara@fykos.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/>.