

Úloha III.E . . . Let it snow!

8 bodů; (chybí statistiky)

Všichni organizátoři Výfuku věří, že Vánoce budou bílé a už se těší na sáňky a koulování. Velmi by je ale zajímalo, jakou hustotu má čerstvě napadaný sníh. Proto tuto hustotu experimentálně změřte.

Pečlivě popište, jak jste při měření postupovali a jak jste hustotu sněhu spočetli. Také nám napište okolní podmínky, zejména teplotu vzduchu v čase, kdy padal sníh, který jste měřili a typ vloček (malé vločky, hezky tvarované vločky, obrovské vločky apod.). Nezapomeňte popsat i nepřesnost měření.

Aj keď sneh dôverne poznáme, nie je na škodu pripomenúť si zopár základných fyzikálnych charakteristík. Sneh je pevné skupenstvo vody, ktoré ale narozdiel od ľadu vzniká priamo z vodnej pary procesom, ktorý sa volá *desublimácia*. Rýchlosť desublimácie, rovnako ako výsledný tvar a veľkosť snehových vločiek závisia na teplote a vlhkosti vodnej pary v snehovom oblaku. Ak je teplota pod bodom mrazu, tvoria sa malé vločky. Pri trochu vyššej teplote, približne 0°C sú vločky pekne formované, najčastejšie majú šesťuholníkovú štruktúru. To preto, lebo aj čistý ľadový kryštál má molekuly H_2O usporiadané do šesťuholníkov. A nakoniec, pri teplotách presahujúcich nulu z neba padajú rýchlo sa topiace zlepené chumáčiky snehu. Často nie sú ani poriadne zmrznuté.

Posledný typ vločiek sme merali experimentálne: využili sme naozaj bohatú snehovú nádielku, ktorá spadla na západnom Slovensku dňa 30.1.2015. Teplota vzduchu sa počas sneženia pohybovala v rozmedzí $1,8^{\circ}\text{C}$ až $2,6^{\circ}\text{C}$ a za niekoľko hodín napadlo úctyhodných 35 cm snehu.

Meraný sneh sme zachytávali do nádoby v tvare kvádra. Jej rozmery a, b, c sme predtým zmerali pravítkom s nepresnosťou 3 mm. Do tejto chyby sme zahrnuli aj nepresnosť spôsobenú zaobleniami na hranách nádoby. Jej objem vypočítame jednoducho

$$V = abc = 11,3 \text{ cm} \cdot 18,5 \text{ cm} \cdot 11,7 \text{ cm} \doteq 2450 \text{ cm}^3.$$

Z minulého dielu Výfuctení už dokážeme vypočítať aj nepresnosť určenia objemu. Stačí si spomenúť na to, že pri násobení sa sčítavajú relatívne chyby

$$\delta_V = \frac{\sigma_V}{V} = \frac{\sigma_a}{a} + \frac{\sigma_b}{b} + \frac{\sigma_c}{c}.$$

Po vyjadrení σ_V dostávame

$$\sigma_V = V \left(\frac{\sigma_a}{a} + \frac{\sigma_b}{b} + \frac{\sigma_c}{c} \right) = 2450 \text{ cm}^3 \cdot \left(\frac{0,3 \text{ cm}}{11,3 \text{ cm}} + \frac{0,3 \text{ cm}}{18,5 \text{ cm}} + \frac{0,3 \text{ cm}}{11,7 \text{ cm}} \right) \doteq 170 \text{ cm}^3.$$

Objem je teda $V = (2450 \pm 170) \text{ cm}^3$, čomu zodpovedá relatívna chyba $\delta_V \doteq 7\%$.

Po zmeraní rozmerov sme nechali nádobu zapadať snehom. Naplnenú nádobu sme následne položili na digitálnu kuchynskú váhu s najmenším dielikom 1 g. Váha nám (po odčítaní prázdnej, osušenej nádoby) ukázala hmotnosť snehu

$$m = (282 \pm 1) \text{ g}.$$

Vidíme, že nepresnosť merania hmotnosti je omnoho menšia ako nepresnosť merania objemu. Môžeme ju preto zanedbať.

Hustotu vypočítame pomocou vzorca

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{282 \text{ g}}{2450 \text{ cm}^3} = 0,115 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3} = 115 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}.$$

Ako sme už spomínali, nepresnosť tohto výsledku bude daná hlavne nepresnosťou merania objemu. Ak preto odhadneme, že $\delta_\rho \approx \delta_V = 7\%$, nepresnosť v určení hustoty je $\sigma_\rho = \delta_\rho \rho = 0,07 \cdot 115 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3} \doteq 8 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Výslednú hustotu snehu preto zapíšeme v peknom tvare

$$\rho = (115 \pm 8) \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}.$$

Podľa wikipédie¹ sa hustota snehu môže pohybovať v širokom rozmedzí, od 30 do 600 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ v závislosti od teploty. Výsledok, ktorý sme získali, je preto rozumný.

Patrik Švančara
pato@vyfuk.mff.cuni.cz

Korespondenční seminář Výfuk je organizován studenty MFF UK. Je zastřešen Oddělením pro vnější vztahy a propagaci MFF UK a podporován Katedrou didaktiky fyziky MFF UK, jejími 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/>.

¹<http://cs.wikipedia.org/wiki/Sn\u00edh>