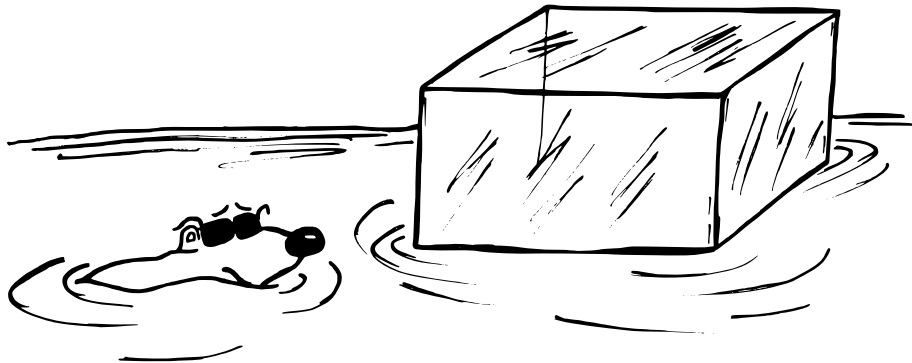


Úloha III.2 ... Globální ochlazování

5 bodů; průměr 3,02; řešilo 61 studentů

V animovaném seriálu *Futurama* vymysleli v roce 3000 skvělý způsob, jak udržet globální oteplování pod kontrolou. Zvyšování teploty oceánů vyřešili tak, že jednou za čas vhodili do oceánu obří kostku ledu z Halleyovy komety.

Vypočítejte délku strany kostky potřebné k tomu, aby se teplota světového oceánu snížila o $\Delta t = 1^\circ\text{C}$. Předpokládejte, že oceán váží přibližně $m_O \doteq 1,4 \cdot 10^{21}$ kg a průměrná teplota vody v něm je $\bar{t} = 21^\circ\text{C}$. Ostatní údaje hledejte například na internetu nebo v tabulkách.



Na začátku si musíme stanovit hodnoty, které pro výpočet budeme potřebovat. Pracovat budeme s tzv. kalorimetrickou rovnicí

$$Q = mc\Delta t,$$

kde m je hmotnost, c je měrná tepelná kapacita a Δt značí rozdíl teplot.

Měrná tepelná kapacita vody¹ je rovna $c_v = 4180 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Navíc budeme potřebovat i měrnou tepelnou kapacitu ledu, která je $c_l = 2090 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Nakonec ještě uijeme měrné skupenské teplo tání. To jest teplo, které musíme dodat ledu s teplotou 0°C , aby se proměnilo na kapalnou vodu o stejné teplotě. Jeho hodnota je rovna $l_t = 334000 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$. Všechny tyto údaje jsme vyčetli z tabulek, ale lze je najít také na internetu. Nejdříve spočítáme teplo, které musíme odebrat k tomu, aby se teplota oceánu snížila o jeden stupeň Celsia. Jednoduše dosadíme známé hodnoty do vztahu výše. Všechno teplo, které musí oceán ztratit, přijme ledová kostka na roztání a vyrovnání své teploty s teplotou ochlazeného oceánu. Tento ohřev se bude sestávat ze třech částí – ohřevu ledu na 0°C , tání ledu a ohřevu vody na 20°C .

Na internetu² se můžeme dočíst, že teplota ledu na povrchu Halleyovy komety se pohybuje v rozmezí 170 K až 220 K (-103°C až -53°C). Pro výpočet budeme brát střední hodnotu -78°C , tedy led se musí ohřát o $\Delta t_1 = 78^\circ\text{C}$. Kapalná voda se ohřívá z teploty tání ledu, tj. o $\Delta t_2 = 20^\circ\text{C}$.

Jak jsme již zmínili, pro teplo Q musí platit

$$Q = Q_{\text{led}} + Q_{\text{tání}} + Q_{\text{voda}}.$$

¹Tato hodnota je prakticky stejná pro slanou i sladkou vodu.

²http://en.wikipedia.org/wiki/Halley%27s_Comet

Za tepla na pravé straně dosadíme

$$Q = mc_1\Delta t_1 + ml_t + mc_v\Delta t_2.$$

Hledanou hmotnost ledové kostky m vytkneme před závorku a následně m vyjádříme

$$Q = m(c_1\Delta t_1 + l_t + c_v\Delta t_2),$$

$$m = \frac{Q}{c_1\Delta t_1 + l_t + c_v\Delta t_2}.$$

Nakonec dosadíme číselné hodnoty.

$$m = \frac{5,85 \cdot 10^{24} \text{ J}}{2090 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1} \cdot 78 \text{ }^\circ\text{C} + 334\,000 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1} + 4180 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1} \cdot 20 \text{ }^\circ\text{C}} \doteq 1 \cdot 10^{19} \text{ kg}.$$

Z hmotnosti dopočítáme objem kostky. Hustota ledu je $920 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{1 \cdot 10^{19} \text{ kg}}{920 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}} \doteq 1,09 \cdot 10^{16} \text{ m}^3.$$

Jelikož pro objem kostky se stranou s platí $V = s^3$, délku strany zjistíme jako třetí odmocninu objemu

$$s = \sqrt[3]{1,09 \cdot 10^{16} \text{ m}^3} \doteq 221\,000 \text{ m} \doteq 221 \text{ km}.$$

Kostka to bude tedy skutečně obrovská. Halleyova kometa má dokonce velikost pouhých 11 km. Takovéto řešení globálního oteplování je tedy velmi nereálné.

Podobně velkou kostku bychom dostali i pro jinou počáteční teplotu ledu než je střední teplota komety. Lze jednoduše ukázat, že čím nižší počáteční teplotu bude kostka mít, tím bude i její hmotnost menší. Ověření ponecháváme vám.

Poznámky k došlým řešením

Chci pochválit všechny, kteří správně uvažovali, že kostka bude mít nenulovou počáteční hmotnost, roztaje a potom se bude ještě ohřívat. Chtěla bych upozornit na špatné uvádění exponentů (či úplnou absenci jejich používání) a nepřevádění na základní jednotky. Přečtěte si text prvního letošního Výfučení.³ Někteří z vás měli opravdu pěkná a přehledná řešení plná popisek a vysvětlivek. Proto bych ostatní poprosila, aby používali více slovního popisu.

Kateřina Stodolová
kata@vyfuk.mff.cuni.cz

Fyzikální korespondenční seminář 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/>.

³<http://vyfuk.fykos.cz/vyfuk/rocnik3/serie1.pdf>