

Úloha IV.2 ... Machovo číslo

3 body; průměr 2,78; řešilo 83 studentů

Letadla jsou ve vysokých hladinách letu řízena pomocí Machova čísla. Tato veličina vyjadřuje rychlost v násobku rychlosti zvuku v daném prostředí. Rychlost zvuku ve vzduchu se ovšem s výškou mění. Jaký je rozdíl mezi rychlostí letu letadla letícího při Machově čísle 0,85 ve dvou různých letových hladinách FL 250 (7 600 m) a FL 430 (13 100 m)? V jaké hladině je rychlost vyšší a o kolik kilometrů za hodinu? Závislost rychlosti zvuku ve vzduchu na teplotě můžeme s dostatečnou přesností popsat vztahem $c = (331,57 + 0,607 \{t\}) \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, kde t je teplota ve stupních Celsia. Uvažujte standardní atmosféru, ve které klesá teplota s výškou od 0 do 11 km od 15°C o $0,65^\circ\text{C}$ na každých 100 m až k teplotě $-56,5^\circ\text{C}$, která je pak konstantní až do 20 km nad střední hladinou moře. Karel se učil ATC.

Úloha je založená na relativně jednoduchém dosazování. Složitější může být neztratit se v postupu. Nejprve určíme teplotu v jednotlivých letových hladinách. Pro letovou hladinu FL 430 je přímo napsaná v zadání, tedy $t_{\text{FL}430} = -56,5^\circ\text{C}$. Pro letovou hladinu FL 250 nám vychází $t_{\text{FL}250} = -34,4^\circ\text{C}$. Zvolený pokles teploty s výškou odpovídá, jak je zmíněno v zadání, tzv. standardní atmosféře. Jde o idealizovaný profil pro přibližné rychlé výpočty a využívá se hojně v letectví. Standardní atmosféra zhruba odpovídá tomu, jaké jsou střední hodnoty veličin v reálné atmosféře.

Z teplot můžeme dosazením do vzorce dostat rychlosti zvuku pro jednotlivé letové hladiny, které jsou $c_{\text{FL}250} = 311 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a $c_{\text{FL}430} = 297 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Vynásobením Machovým číslem dostáváme rychlosti letadla $v_{\text{FL}250} = 264 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a $v_{\text{FL}430} = 253 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Vidíme tedy, že rychlejší je letadlo, které letí níže. Rozdíl jejich rychlostí je $\Delta v \doteq 11 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \doteq 41 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Tedy letadlo je zhruba o 4,2 % pomalejší, když za konstantního Machova čísla vystoupá na cestovní letovou hladinu 430.

Zvolená cestovní hladina odpovídá dostupu (nejvyšší možné cestovní hladině) některých běžných dopravních letadel. Konkrétní hodnoty dostupu a rychlosti jsou pro Airbus A380, ale prakticky stejné jsou i u Boeingu 777. Přesná hodnota optimální cestovní rychlosti je pak dána například i aktuálním naložením letadla. Obecně se také dá říci, že většina letadel létá do Machova čísla 0,9, protože přibližování se rychlosti zvuku a její mírné překročení vede k vysokému nárůstu odporové síly. Nižší cestovní hladina FL 250 pak odpovídá nejnižší cestovní hladině, od které jsou letadla řízená prostřednictvím Machova čísla. Pod touto hladinou se využívá řízení prostřednictvím indikované vzdušné rychlosti.¹

Karel Kolář
karel@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.

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/>.

¹Ano, není to ani ta rychlost, kterou se pohybuje letadlo vůči vzduchu, ani ta, kterou se pohybuje vůči zemi. Ale o tom možná někdy jindy.