

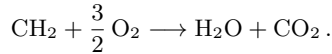
Úloha III.P . . . protikonspirační

5 bodů; průměr 2,74; řešilo 34 studentů

Zamyslete se nad tím, na kterých parametrech a jak může záviset délka kondenzační čáry za letadlem. Tyto parametry se pokuste odhadnout či vyhledat a určete možné délky čar. Na základě vašich úvah vyvráťte internetový mýtus o tzv. chemtrails, práškovacích letadlech, která na obyvatele sypou jedovaté látky.

Michal bojuje proti hlouposti.

V prvom rade si potrebujeme daný jav vysvetliť kvalitatívne. V motoroch lietadla je palivo spaľované v naháňanom vzduchu. Ako palivo sa používa často petrolej. Ide o zmes nasýtených uhľovodíkov (C_kH_{2k+2}) s kostrou tvorenou 12 až 15 uhlíkmi. Pri takom počte uhlíkov v molekule môžeme povedať, že pomer uhlíkov a vodíkov je pre celú látku približne 1 : 2 (zastúpenie uhľovodíkov v petroleji nie je presné). Potom rovnica spaľovania vyzerá takto



Pri reakcii nám vzniká voda (vodná para). Horúci vzduch vychádzajúci z motora sa rozopne a od okolitého prostredia schladí. Pri takej nízkej teplote sa nadbytočná voda vyvráža vo forme zmrznutých kvapiek. Takto nám vznikne takzvaná kondenzačná stopa, ktorú za lietadlami pozorujeme.

Ale čo spôsobí to, že sa vyvrážaná ladová hmľa rozplynie? Lad sa späť rozpustí vo vzduchu. Ale keďže sa nám voda z nasýteného vzduchu už vyvrážala, musia sa zmrznuté kvapôčky presunúť a rozpustiť v okolitom nenásýtenom vzduchu. Na kvapôčky pôsobí gravitačná sila a odporová sila okolia a po krátkom čase sa ich pohyb ustáli. Postupne kvapôčky prechádzajú do nižších vrstiev a rozpušťať sa v suchom vzduchu.

Tak a teraz nastáva moment, kedy by sme chceli odhadnúť kvantitatívne, aká dlhá je naša stopa za lietadlom. Lietadlo sa pohybuje vo výške $h = 9$ km. Tlak vzduchu v tejto výške je $p = 31$ kPa, teplota $t = -44^\circ\text{C}$, hustota vzduchu $\rho = 0,47$ kg·m⁻³ a tlak nasýtených vodných pár pri tejto teplote (maximálna vlhkosť) $p_v = 8,6$ Pa.

Spotreba paliva lietadiel dopravných letov sa pohybuje v závislosti na obsadenosti letu a type lietadla v rozmedzí 10 g·m⁻¹ až 20 g·m⁻¹. Zvolili sme preto ako približnú spotrebu paliva $Q = 15$ g·m⁻¹. Uvažujme, že nás zaujíma, koľko paliva sa použilo na trase dĺžky l . Spotrebované palivo je $m = Ql$. Molárna hmotnosť jednej CH₂ jednotky je $M = 14$ g·mol⁻¹. Látkové množstvo CH₂ jednotiek potom je $n = m/M$. Z rovnice vidíme, že rovnaké látkové množstvo vody v motoroch vzniklo. Na naše zmrznuté guľaté kvapky polomeru $r = 10^{-5}$ m, objemu $V_1 = 4/3\pi r^3$ a hmotnosti $m_1 = \rho_1 V_1$ (kde $\rho_1 = 915$ kg·m⁻³) pôsobí gravitačná sila $G = m_1 g$ (kde $g = 9,8$ m·s⁻²) a odporová sila $F_o = 1/2 C \pi r^2 \rho v^2$ (kde $C = 0,45$ pre guľu). Pohyb kvapiek sa čoskoro ustáli. Z rovnováhy síl určíme rýchlosť klesania

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho_1 g = \frac{1}{2} C \pi r^2 \rho v^2 ,$$

$$v = \sqrt{\frac{8r\rho_1 g}{3C\rho}} .$$

Teraz potrebujeme vymedziť objem vzduchu, kde sa voda rozpustila. Šírku môžeme odhadnúť vzdialenosťou motorov $d = 12$ m. Dĺžka daného úseku je l . Za čas t prešli kvapky výšku $h = vt$. A v danom objeme $V = dlh$ sa nám vytvorená voda látkového množstva n

rozpustila. Použitím stavovej rovnice dostávame vzťah, z ktorého vyjadríme čas potrebný na rozpustenie.

$$p_v V = nRT,$$

$$p_v dl \sqrt{\frac{8r_{\rho_1} g}{3C_{\rho}}} t = \frac{Ql}{M} RT,$$

$$t = \frac{QRT}{Mp_v d} \sqrt{\frac{3C_{\rho}}{8r_{\rho_1} g}}.$$

Lietadlo ide rýchlosťou $u = 250 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, takže odhad dĺžky kondenzačnej čiary $s = ut$ pre naše zistené veličiny dáva

$$s = \frac{QRTu}{Mp_v d} \sqrt{\frac{3C_{\rho}}{8r_{\rho_1} g}} \approx 4 \text{ km}.$$

Dostali sme pomerne rozumnú hodnotu. Platí však, že je tu veľa faktorov, ktoré môžu životnosť kondenzačnej stopy ovplyvniť. Napríklad už len vo výške 11 km je tlak nasýtených vodných pár 1 Pa, čo nám predĺži odhad na 35 km. Uvažovali sme zároveň, že vo vzduchu nie je žiadna vlhkosť, ale v skutočnosti nebude vlhkosť nulová, a preto môžu čiary žiť ešte dlhšie.¹ Ďalej v našom prípade sme uvažovali, že sa pohyb zamrznutých kvapôčiek ihneď ustáli, čo ale nejaký čas trvá. To nám odhad predĺži. Neuvažovali sme bočný vietor, ktorý by nám pomohol častice distribuovať do väčšieho priestoru, kde by sa mohla čiara rozpustiť. To nám odhad skráti. Zamrznuté kvapôčky sa budú pri klesaní rozpúšťať vo vzduchu, takže sa budú zmenšovať a tým pádom spomaľovať. To nám odhad zase predĺži. Keď unikajú z lietadla spaliny, tak sa okrem pohybu od lietadla budú aj rozširovať do strán, takže naša stopa bude širšia ako vzdialenosť motorov. To nám odhad zase skráti. A čo ak je náš odhad polomera kvapiiek nadhodnotený a kvapky sú menšie? To by znamenalo, že sa nám čiara predĺži. Takto by sme mohli nájsť ešte veľa efektov, ktoré nám akurát vravia, že náš odhad môžeme brať ako rádový. Má vôbec zmysel odhadovať, ako sa zmení náš odhad dĺžky čiary zahrnutím týchto efektov? Ani nie, keďže podmienky ako vlhkosť, výška letu, rýchlosť a smer vetra nám náš odhad veľmi ovplyvňujú. Môžeme teda povedať, že dĺžka kondenzačnej čiary je rádovo v kilometroch a vo väčších výškach sa predlžuje, vo väčšej vlhkosti sa predlžuje a pri väčšom bočnom vetre sa skraca.

Jakub Kocák
jakub@fykos.cz

Fyzikální korespondenční seminář je organizován studenty MFF UK. Je zastrešen Oddělením pro vnější vztahy a propagaci 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/>.

¹Pekne vidno na tejto fotografii, že čiary vydržia dlhšie vo vlhkejšej oblasti. http://en.wikipedia.org/wiki/File:Contrails_over_Nova_Scotia.jpg