



Princeznin dlouhý nos z pohledu fyziky

Jiří Kohout¹, Department of Engineering Physics, École Polytechnique de Montréal, Quebec, Canada

V tomto příspěvku jsou diskutovány z pohledu fyziky některé pasáže oblíbeného pohádkového filmu Tři veteráni. Pozornost je věnována fyzikálním parametrům princezny dlouhého nosu, stejně jako proudění vody či přenosu nervových vzruchů v tomto nose. V závěru je krátce popsán rovněž přenos tepla u tohoto nosu a jsou diskutovány jeho důsledky. Hlavním cílem příspěvku je ukázat, že fyzika je všude kolem nás, dokonce i ve světě filmů.

Úvod

Před nějakou dobou jsem měl možnost navštívit výbornou přednášku doc. Karla Raunera Fyzika v pohádkách, kde je z pohledu fyziky rozebrána řada scén z pohádek, jako je Mrázík, Tři oříšky pro Popelku či Císařův pekař a Pekařův císař. Scény, u nichž si fyzik přijde na své, se však vyskytují i v dalších dílech. V tomto příspěvku se budu věnovat pohádce Tři veteráni (autor Jan Werich, zfilmováno 1983, režie Oldřich Lipský), konkrétně pak pasáži, kdy se princezně po požití kouzelných jablíček ze stromu frňákovník začne neúměrným způsobem zvětšovat nos, jenž následně překročí hranice příslušného království a způsobí značný rozruch v okolních zemích. Dá se zde najít hned několik zajímavostí, které je možné z pohledu fyziky rozebrat způsobem nepřekračujícím z hlediska náročnosti úroveň střední školy.



Fyzikální parametry princezny nosu

Pro řadu následujících úvah bude velmi důležité zjistit, do jaké délky vlastně dokázal princeznin nos narůst. K tomu je třeba vědět, kde se nalézá království Monte Albo, v němž se většina filmu odehrává. Také musíme



znát alespoň přibližně trasu, po které se nos vydal do světa. Přesné informace bohužel ve filmu chybí, musíme se tak spolehnout především na komentáře proradného ministra (hraje ho Zdeněk Svěrák), který pohyb nosu zaznamenává a řeší diplomatické potíže jím vyvolané. Hlavním záchytným bodem je tak scéna, kde Svěrák při návratu nosu zpět odstraňuje vlaječky z míst, které již opustil (78. minuta filmu). Z této scény je patrné, že poslední viditelné vlaječky jsou umístěny někde na Balkánském poloostrově v oblasti, kde se nachází Černá Hora. Ostatně i podle Wikipedie [1] citující knihu Františka Šístka *Junáci, horalé a lenoši: obraz Černé Hory a Černošců v české společnosti* bylo pro

¹ jiri.kohout@polymtl.ca



Jana Wericha inspirací právě knížectví Černá Hora v 19. století, konkrétně pak kníže Nicola I. působící v historickém městě Cetinje. Díky údajům na mapě a dalším komentářům pak můžeme odhadnout, že se nos pohyboval zhruba po trase Cetinje–Sarajevo–Bělehrad–Budapešť–Videň–Praha. Další pohyb je pak již nejistý, ale víme, že nos ukončil svoji cestu kdesi v Německu.

Každopádně z Cetinje do Prahy je to vzdušnou čarou 924 kilometrů a při uvážení toho, že nos zdaleka nepostupoval nejkratší cestou, můžeme odhadnout, že jen do Prahy urazil nejméně 1200 kilometrů. Pokud přičteme dalších odhadem 300 kilometrů do Německa, můžeme maximální délku nosu otipovat na přibližně $l = 1500$ km. Nyní se pokusme odhadnout, jakou rychlostí probíhalo zvětšování nosu. Opět se můžeme opřít pouze o jednotlivé scény z filmu, kde je tento proces zaznamenán. V průměru však jako realistický

odhad uveďme rychlost $v = 0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. S těmito odhadnutými údaji pak můžeme spočítat, jak dlouho narůstání nosu trvalo. Jednoduchým vztahem pro pohyb rovnoměrný přímočarý získáváme

$$t_n = \frac{l}{v} = 3000000 \text{ s} \doteq 35 \text{ dnů}.$$



směrem na Sarajevo, můžeme odhadnout, že nos překročil hranice někde u obce Plužine v oblasti, kde dnes vede silnice E762. Vzdálenost k hranici by za těchto okolností byla zhruba $l_c = 150$ km. Při uvážení rychlosti zvuku $v_z = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ by signál putoval dobu

$$t_s = \frac{l_c}{v_z} \doteq 7,4 \text{ minuty}.$$

Rozhodně by se tedy nejednalo o nejlepší způsob komunikace. Zajímavé jsou z pohledu fyziky rovněž další parametry nosu související s jeho délkou, především pak jeho značná hmotnost. Pokusme se tuto hmotnost alespoň přibližně odhadnout. K tomu pochopitelně musíme znát objem nosu v okamžiku jeho maximální délky.

Vidíme tedy, že narůstání nosu trvalo odhadem více než měsíc. Chudák princezna si užila své. Informaci o délce nosu budeme potřebovat v další části. V této souvislosti je zajímavá i scéna, kdy nos překračuje státní hranici a celník jej využije ke komunikaci s hlavním městem. Zkusme odhadnout, jak dlouho by trvalo, než by zvukový signál dorazil od celnice až do Cetinje. K tomu je samozřejmě třeba vědět, jaká je vzdálenost obou míst. Přesná pozice celnice pochopitelně ve filmu není uvedena, ale vzhledem ke známým hranicím černohorského knížectví (zabíralo s výjimkou některých pobřežních oblastí téměř stejnou oblast jako dnešní Černá Hora) a skutečnosti, že nos se vydal



Uvažujme pro jednoduchost, že nos je dutý válec o vnitřním průměru $d_1 = 4$ cm a vnějším průměru $d_2 = 5$ cm, jeho maximální délka je poté $l = 1\,500$ km. Objem nosu pak můžeme spočítat jako

$$V = \left(\frac{\pi \cdot d_2^2}{4} - \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \right) \cdot l \doteq 1060 \text{ m}^3.$$

Hustotu nosní tkáně poté můžeme odhadnout na $\rho_t = 900 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Díky tomu lze stanovit maximální hmotnost princeznina nosu $m = \rho_t \cdot V \doteq 954 \text{ t}$. Podle známého Einsteinova vztahu udávajícího ekvivalenci hmotnosti a energie, odpovídá takto vysoké klidové hmotnosti 954 tun energie $E = m \cdot c^2 \doteq 8,6 \cdot 10^{22} \text{ J}$, kde $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ je rychlost světla ve vakuu. Samozřejmě by bylo možné v této souvislosti spekulovat, kde se vzala tak obrovská energie (hmotnost). Ve filmu naroste princezně nos po požití kouzelného jablíčka a následně zmizí po zkonsumování neméně kouzelných hruštiček. Není přitom pravděpodobné, že by princezna během růstu nosu spořádala větší



množství potravy (ostatně dlouhý nos jí nějaké přejídání celkem efektivně znemožňoval) a už vůbec není rozumné předpokládat, že by se během poměrně rychlého zkracování nosu dokázala zbavovat nadbytečných tun nějakým konvenčním způsobem (představa, jak by toto mohlo být realizováno, je přinejmenším na hranici dobrého vkusu...). Můžeme tak věřit, že jablíčka dokázala nastartovat úžasnou přeměnu temné hmoty (popř. temné energie) z vesmíru na konvenční baryonovou hmotu projevující se v tomto případě jako princeznin nos. Hruštičky pak měly účinek přesně opačný. Je proto škoda, že princezna se v souladu s radami ministra nespokojila pouze s částečným zkrácením nosu a vynutila si (i za cenu navrácení kouzelných předmětů původním majitelům) úplný návrat do počátečního stavu. Alespoň malý vzorek zázračného nosu by si jistě zasloužil podrobné vědecké zkoumání.

Nasátí vody z Vltavy

Velmi zajímavou scénou je situace, kdy nos v Praze překonává Vltavu a stane se terčem kamenování ze strany zdejší omladiny. V důsledku toho se do něj dostane voda, kterou následně princezna doslova pokropí pana krále i další okolostojící. Ve filmu uplyne mezi nasátím vody nosem a jejím vyplivnutím ústy (vzdálenými v tu chvíli 1 200 kilometrů) pouze několik sekund. Pokusme se však odhadnout, jak dlouho by takový proces trval ve skutečnosti.

Nejprve si musíme uvědomit, že při dodržení všech zákonů fyziky by se až k princezně voda téměř jistě nedostala. I za nerealistického předpokladu, že by princezna měla v nose vakuum, by totiž maximální výška $h_{\max}$, do níž by voda vystoupila, nemohla překročit hodnotu

$$h_{\max} = \frac{p_a}{\rho \cdot g} \doteq 10 \text{ m},$$

kde $p_a = 101\,325 \text{ Pa}$ je atmosférický tlak, $\rho = 1\,000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ hustota vody a $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ tíhové zrychlení. Jedná se vlastně o vzorec pro známý Torricelliho pokus, jenž zároveň vysvětluje, proč klasické vodní pumpy nefungují pro hloubku větší, než je právě zhruba 10 metrů. Pokud však sledujeme film pozorně, je jasné vidět, že nos během své pouti překonával podstatně větší převýšení, než je 10 metrů. Správná odpověď na otázku,



převýšení můžeme ignorovat tíhovou potenciální energii a zabývat se pouze tlakovou potenciální energií a energií kinetickou. Je jasné, že nejvyšší rychlosti proudění vody v nose bude dosaženo v případě, že tlak v nose p_n bude roven nule. Vzhledem k tomu, že nos se po kamenování ponoří jen nepatrně pod hladinu, můžeme uvažovat nulovou rychlost vody při vstupu do nosu ($v_v = 0$), přičemž tlak je v tomto místě roven atmosférickému tlaku $p_a = 101\,325\text{ Pa}$. Pro maximální možnou rychlost v_n proudění v nose tak dostáváme

$$\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_n^2 + p_n = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_v^2 + p_a \rightarrow \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_n^2 = p_a \rightarrow v_n = \sqrt{\frac{2 \cdot p_a}{\rho}} \doteq 14\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

Vidíme tedy, že rychlost proudění vody v nose nemůže překročit za daných předpokladů hodnotu zhruba 14 metrů za sekundu. Vzhledem ke známé délce nosu v daném okamžiku ($l_n = 1\,200\text{ km}$), můžeme nyní spočítat minimální možnou dobu $t_{\min}$, kterou by trval transport vody nosem k princezně. Získáváme

$$t_{\min} = \frac{l_n}{v_n} \doteq 24\text{ hodin}.$$

Od nasátí vody z Vltavy do jejího vyplivnutí by tak za těchto předpokladů musel uplynout celý jeden den. Samozřejmě by při známé maximální rychlosti proudění vody v nose a odhadnutém vnitřním průměru nosu bylo možné spočítat rovněž objemový tok udávající, kolik litrů vody za sekundu by princezna svým nosem dokázala transportovat.

Šíření vzruchu při připnutí medaile

Další z pro princeznu nepříjemných okamžiků nastane ve chvíli, kdy ji při přátelské návštěvě v Německu připnou přímo na nos medaili. Ve filmu na to princezna reaguje bolestivým výkřikem prakticky okamžitě poté, co je jí medaile připnuta. Zkusme však odhadnout, za jak dlouho by skutečně ucítila bolest v případě, že by se její přerostlý nos z hlediska šíření nervových vzruchů choval stejně jako jiné části těla. K tomu je samozřejmě třeba znát rychlost šíření nervového vzruchu. V učebnicích fyziologie člověka se uvádí, že tato rychlost je v sensitivních vláknech zpravidla v rozmezí 1 až 50 metrů za sekundu v závislosti na konkrétních vlastnostech těchto vláken. Uvažujme, že by v případě princezny platila nejvyšší možná hodnota $v_s = 50\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. V takovém případě by při maximální délce nosu $l = 1\,500\text{ km}$ byla doba přenos vzruchu do mozku t_v zhruba

$$t_v = \frac{l}{v_s} \doteq 8,3\text{ hodiny}.$$

2 Průměr nosu je dostatečně velký na to, abychom mohli zanedbat případný vliv kapilárních jevů.



Bolest by tedy princezna ucítila až po více než 8 hodinách po připnutí medaile, to znamená v době, kdy by konec jejího nosu byl již o mnoho kilometrů dál. Podobným způsobem by bylo možné stanovit i dobu, po které by princezna pocítila polití nosu horkou vodou (to provedla se slovy „Jedeš potvoro!“ hospodyně kdesi na rakouském venkově) respektive jeho zaboření do slánky, k němuž došlo při oficiálním přivítání v Praze.

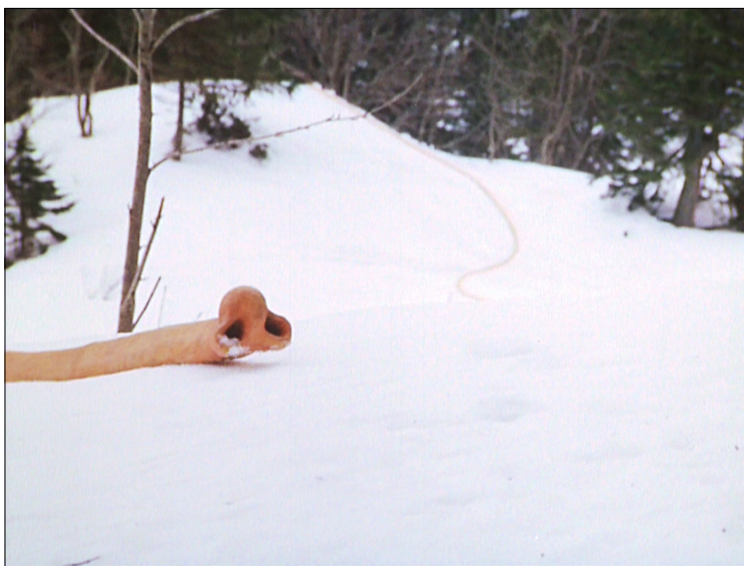
Pohyb nosu v zasněžené oblasti

Nejen z pohledu fyziky je zajímavá rovněž scéna, kdy nos cestuje přes zasněžené pohoří, v důsledku čehož se princezna obratem

nachladí a začne kýchat. Je něco takového realistické? Nachlazení je způsobeno viry vnikajícími do organismu nejčastěji nosem a následně se usazujícími a množícími v oblasti nosohltanu. Těmto virům se nejlépe daří v chladném a vlhkém prostředí (odtud název onemocnění). Je však potřeba si uvědomit, že extrémně dlouhý nos by byl téměř jistou zárukou toho, že se vdechnuté viry nedokážou dostat na místo, kde by mohly být nebezpečné. Cesta kapének obsahujících viry nosem k princezně by trvala nejméně několik hodin a během té doby by se tato kapénka téměř jistě octnula na vnitřní straně nosu, kde by došlo k jejímu uchycení. Pravděpodobnost toho, že by nějaký virus dokázal proniknout nosem o průměru několik centimetrů a délce v řádu stovek kilometrů, je tudíž prakticky nulová.

Podstatně větší nebezpečí, než je nachlazení, by tak spočívalo v pravděpodobném vzniku omrzlin během průchodu nosu zasněženým pohořím. Je třeba si uvědomit, že značným vnějším povrchem nosu by v důsledku kondukce, konvekce i radiace velmi rychle unikalo teplo. Následně by došlo k poškození a pravděpodobně i k následnému odumření tkáně.

Pro představu zkusme odhadnout, jaké tepelné ztráty by vznikaly pouze v důsledku radiace. Pro jednoduchost uvažujme, že délka části nosu ležící ve sněhu je $l_z = 50 \text{ km}$, vnější průměr nosu (uvažujeme kruhový průřez) pak odhadujeme jako $d_n = 5 \text{ cm}$. Povrch zasažené oblasti by tak byl zhruba



$$S = \pi \cdot d_n \cdot l_z \doteq 7854 \text{ m}^2.$$

Pro srovnání konstatujeme, že povrch lidského těla je typicky $1,6\text{--}1,8 \text{ m}^2$ [2]. Pokud bychom uvažovali teplotu nezakrytého povrchu nosu $t_n = 35^\circ \text{C}$ (tj. $T_n = 308,15 \text{ K}$) a stálou teplotu okolního prostředí $t_o = -5^\circ \text{C}$ (tj. $T_o = 268,15 \text{ K}$), vznikla by (za předpokladu, že povrch nosu se chová jako absolutně černé těleso) kaž-



dou sekundu pouze v důsledku vyzařování tepelná ztráta E daná v souladu se Stefanovým-Boltzmanovým zákonem vztahem

$$E = \sigma \cdot S \cdot (T_n^4 - T_o^4) \doteq 1,7 \text{ MW}.$$

Zde $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ je tzv. Stefanova-Boltzmannova konstanta. Ačkoliv výpočet je pouze velmi přibližný (nos ve skutečnosti není absolutně černé těleso, teplota nosu by samozřejmě postupně klesala apod.), je jasné patrné, že tepelné ztráty v důsledku vyzařování jsou více než značné. Dá se jen stěží předpokládat, že by tyto ztráty bylo možné v dostatečné míře kompenzovat. Je tak skoro jisté, že by došlo ke vzniku omrzlin a k následnému úplnému znecitlivění nosu. Pro lepší představu je třeba uvést, že emisivita lidské kůže se podle většiny zdrojů pohybuje v infračervené oblasti v rozmezí 0,97–0,99 [3], odchylka od absolutně černého tělesa je tak téměř zanedbatelná. Připomeňme, že povrch lidského těla je téměř 5 000krát menší, než povrch nosu. Tudíž i množství jím vyzářeného tepla by za daných podmínek bylo téměř 5 000krát menší a pohybovalo by se v řádu stovek joulů za sekundu.

Závěr

Cílem tohoto příspěvku je ukázat, že fyzika je skutečně všude kolem nás a můžeme se s ní setkat i v řadě filmů a pohádek. Určitě by bylo možné jak ve Třech veteránech, tak i v dalších pohádkách a filmech najít další scény, které by si zasloužily fyzikální rozbor (v diskutovaném pohádkovém filmu je to např. zmítání nosu při kýchní způsobeném požitím hruštiček).

Nejde samozřejmě o to nadávat autorům za to, že události v jejich příbězích jsou v rozporu se zákony fyziky (pokud zrovna nejde o díla, u nichž se autoři zaklínají tím, že jsou natočena přesně podle skutečných událostí). Je však užitečné přemýšlet nad tím, co je realistické a co již nikoliv. Činit tak v kontextu populárních pohádek či filmů je pak pro studenty určitě zajímavější a názornější, než pokud bychom si příslušné situace sami vymýšleli.



Seznam literatury

- [1] http://cs.wikipedia.org/wiki/Tři_veteráni [online] [cit. 2014-07-15].
- [2] TRNA, Josef, TRNOVÁ, Eva. *Měříme lidské tělo*. In Sborník příspěvků z konference Veletrh nápadů učitelů fyziky. Praha, 2005. Dostupné z <http://vnuf.cz/sbornik/prispevky/10-03-Trna.html> [online] [cit. 2014-07-15].
- [3] STEKETEE, John. Spectral Emissivity of Skin and Pericardium. In *Physics in Medicine and Biology* 18 (1973), pp. 686-694. ISSN 0031-9155. Dostupné z http://iopscience.iop.org/0031-9155/18/5/307/pdf/0031-9155_18_5_307.pdf [online] [cit. 2014-07-28].

V článku byly použity ilustrační snímky z filmu *Tři veteráni*. Autor knižní předlohy Jan Werich, scénář Zdeněk Svěrák, Oldřich Lipský, režie Oldřich Lipský. Státní fond pro podporu a rozvoj české kinematografie, Praha 1983.