Jules Verne a jeho hrdinovia vo fyzikálnych úlohách

Ľubomír Konrád[1], Gymnázium Veľká okružná, Žilina

Článok sa zaoberá využitím námetov z kníh Julesa Vernea pri tvorbe zaujímavých fyzikálnych problémov a ponúka niekoľko konkrétnych úloh, ktoré boli použité vo Fyzikálnej olympiáde alebo pri práci so žiakmi na vyučovaní alebo počas záujmovej činnosti.

Pri zadávaní a riešení fyzikálnych úloh sa popri rozmanitosti ich obsahu, rozdielnej náročnosti a spôsobe riešenia odporúča dodržiavať niektoré všeobecné metodické zásady. Spomedzi nich by sme chceli upriamiť našu pozornosť na zaujímavosť. Snahou učiteľov ako aj organizátorov rôznych fyzikálnych súťaží by malo byť to, aby predkladali žiakom úlohy dostatočne zaujímavé. To sa dá dosiahnuť napr. tak, že úlohy budú žiakom svojim obsahom a námetom určitým spôsobom blízke. Aby predkladané úlohy dokázali vzbudiť u žiakov patričný záujem či dokonca zvedavosť, môžu napríklad čerpať námety zo sveta známych literárnych hrdinov či filmových postáv. Knihy a filmy nám ponúkajú veľký priestor na vyhľadávanie rôznych námetov na úlohy. Ak zasadíme dej úlohy do takéhoto prostredia, vzbudzuje to obvykle u žiakov zvedavosť a zvyšuje ich záujem o samotné úlohy. Zaujímavé zadanie spravidla podnecuje záujem žiakov nielen o danú konkrétnu úlohu, ale ich motivuje aj k ďalšej činnosti. Ak úloha žiakov dostatočne „chytí“, sú ochotní venovať jej riešeniu značné úsilie i čas. Úlohy motivované literárnymi alebo filmovými dielami môžu byť tematicky rôznorodé, čím sa zvýrazňuje fakt, že fyzika je naozaj všadeprítomná, má obrovský význam pre našu existenciu a znalosť základných fyzikálnych zákonov napomáha pri riešení problémových situácii v praktickom živote.

Jules Verne (1828–1905)

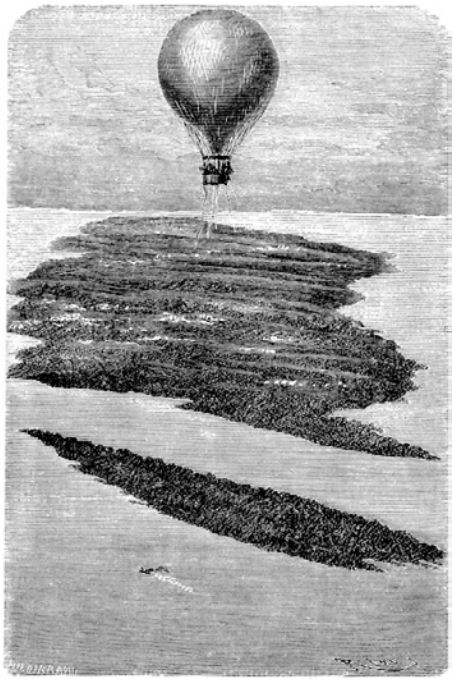
Takmer neobmedzený priestor na námety k fyzikálnym úlohám poskytujú knihy francúzskeho románopisca Julesa Vernea (1828–1905), ktorý vo svojich nesmrteľných dielach predbehol dobu a ktorého hrdinovia používali mnohé technické vynálezy dávno predtým, ako sa stali súčasťou bežného života. Chceli by sme prezentovať niekoľko konkrétnych úloh, ktoré zadávame žiakom na vyučovacej hodine, fyzikálnom krúžku alebo v rámci prípravných sústredení a ktoré boli v minulosti zaradené ako súťažné úlohy do rôznych kategórií Fyzikálnej olympiády v Slovenskej a Českej republike. Úlohy navrhli skúsení autori, ktorí sa už dlhší čas venujú tvorbe úloh a príprave žiakov v rámci Fyzikálnej olympiády. Publikované boli v [1], [2], [3], resp. sa dajú nájsť v archíve FO na `http://fo.uniza.sk/archiv-uloh/`. Niektoré úlohy boli pre potreby FO mierne upravené, prípadne boli uvedené pod zmeneným názvom.

Ešte by sme radi pripomenuli populárne knihy známeho ruského autora Jakova Izidoroviča Pereľmana, ako sú napr. Zaujímavá fyzika, Zaujímavá astronómia či Zaujímavá mechanika. Viaceré z nich vyšli aj v českom, resp. slovenskom preklade. Dnes sú dostupné v knižniciach alebo na internete. V niektorých kapitolách sa autor zaoberal práve rôznymi fyzikálnymi javmi v dielach Julesa Vernea.

Päť týždňov v balóne I

Hrdinovia známej knihy Julesa Vernea Päť týždňov v balóne (*Cinq semaines en ballon,* 1863) strávili pod vedením doktora Fergussona v tomto dopravnom prostriedku dosť veľa času a prežili v ňom mnohé dobrodružstvá s obyvateľmi afrického kontinentu, bojovali s divými zvieratami aj s prírodnými živlami, preskúmali pramene Nílu alebo pristáli na rieke Senegal.

1 *lubomir.konrad@gmail.com*



Balón našej výpravy, ktorý bol naplnený vodíkom, mal objem $V = 700\ \mathrm{m}^3$, pričom hustota vodíka $\rho_\mathrm{H} = 0{,}09\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}$, hustota vzduchu pri povrchu zemskom $\rho_{\mathrm{v}0} = 1{,}3\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}$. Obal balóna, kôš a posádka mali celkovú hmotnosť $m = 447$ kg. Na reguláciu pohybu balóna používali cestovatelia menšie vrecká naplnené pieskom.

a) Určte počet n_1 vreciek s pieskom, ktoré musela posádka do balóna naložiť, aby sa balón vznášal pri povrchu zemskom. Hmotnosť jedného vrecka $m_0 = 10$ kg.

b) Koľko vreciek s pieskom n_2 musela posádka vysypať, ak sa mal balón vznášať vo výške $h = 2{,}0$ km, kde je hustota vzduchu $\rho_{\mathrm{v}1} = 1{,}0\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}$?

Predpokladáme, že objem balóna sa počas jeho pohybu nemení.

Riešenie:

a) V stave rovnováhy je tiažová sila F_G rovná vztlakovej sile F_vz.

$$F_\mathrm{G} = m_\mathrm{celk} \cdot g = \left(m + n_1 \cdot m_0 + \rho_\mathrm{H} \cdot V\right) \cdot g,$$

$$F_\mathrm{vz} = \rho_{\mathrm{v}0} \cdot V \cdot g,$$

(m_celk je celková hmotnosť balóna, $g = 10\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}}$).

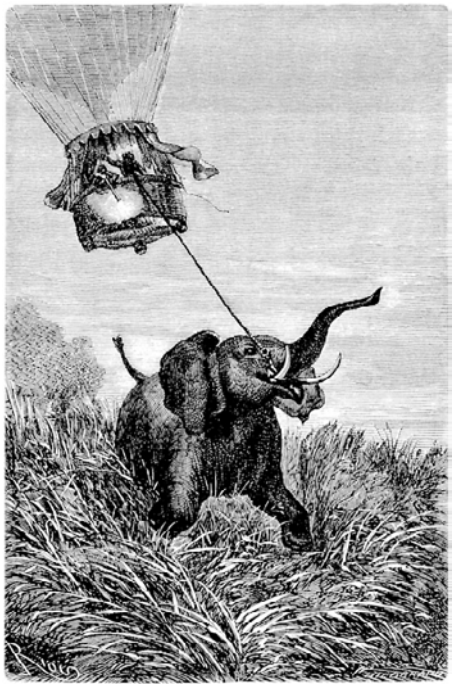
Z rovnosti síl dostaneme

$$n_1 = \frac{\left(\rho_{\mathrm{v}0} - \rho_\mathrm{H}\right) \cdot V - m}{m_0} = 40.$$

b) Rovnováha vo výške h je daná rovnakou podmienkou, zmena je iba v hustote vzduchu a teda vo vztlakovej sile. Ak použijeme predchádzajúci výsledok, je počet vyhodených vrecúšok

$$n_2 = \frac{\left(\rho_{\mathrm{v}0} - \rho_\mathrm{H}\right) \cdot V - m}{m_0} - \frac{\left(\rho_{\mathrm{v}1} - \rho_\mathrm{H}\right) \cdot V - m}{m_0} = \frac{\left(\rho_{\mathrm{v}0} - \rho_{\mathrm{v}1}\right) \cdot V}{m_0} = 21.$$

Päť týždňov v balóne II



Hrdinovia knihy Julesa Vernea Päť týždňov v balóne leteli ponad africký kontinent. Počas jednej zastávky spustili k zemi lano s kotvou, ktorú zachytili o strom. V bezvetrí zaujalo lano približne zvislú polohu.

a) Vymenujte sily, ktoré pôsobia na ukotvený balón.

b) Určte veľkosť vztlakovej sily pôsobiacej na balón.

c) Akou silou je napínané zvisle ukotvené lano?

d) Ku kotviacemu lanu sa dostal slon a lano sa mu zachytilo o kly. Preľaknutý slon sa rozbehol a ťahal lano s balónom sa sebou. Slon utekal rovnomerne. Lano počas vlečenia balóna slonom zvieralo so zvislým smerom uhol $\alpha = 45°$. Akou veľkou silou bolo napínané lano počas uvedeného pohybu?

Použitý balón mal objem $V = 700\ \mathrm{m}^3$ a bol naplnený vodíkom, ktorý má pri danej teplote hustotu $\rho_\mathrm{H} = 0{,}09\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}$. Hustota vzduchu pri zemskom povrchu $\rho_{\mathrm{v}0} = 1{,}3\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}$. Celková hmotnosť obalu balóna, koša a posádky $m = 447$ kg, $g = 10\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}}$.

Riešenie:

a) Na ukotvený balón pôsobí tiažová sila konštrukcie balóna $F_{\mathrm{G}1}$, tiažová sila vodíkovej náplne $F_{\mathrm{G}2}$, vztlaková sila F_vz a ťahová sila T, ktorou je napínané kotviace lano.

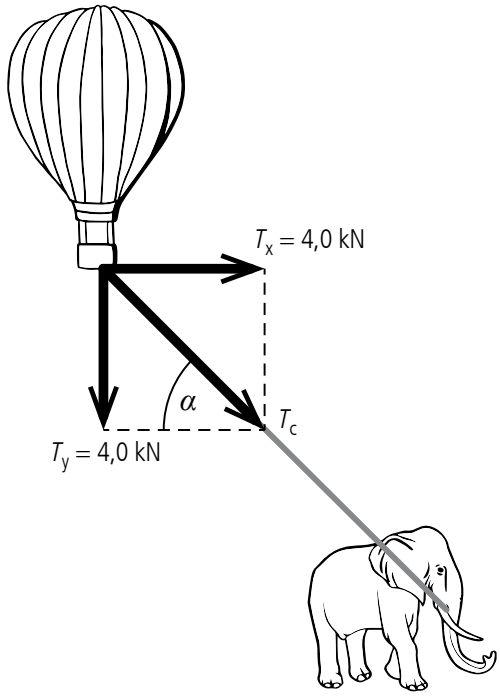
b) Vztlaková sila pôsobiaca na balón má veľkosť
$F_{vz} = V \cdot \rho_{v0} \cdot g = 9\,100\ \mathrm{N} = 9{,}1\ \mathrm{kN}$.

c) Sila, ktorou je napínané lano, je rovná rozdielu vztlakovej sily pôsobiacej smerom nahor a tiažovej sily pôsobiacej smerom nadol. Platí

$$T = F_{vz} - \left(F_{G1} + F_{G2}\right) = V \cdot \rho_{v0} \cdot g - \left(m \cdot g + V \cdot \rho_H \cdot g\right) =$$
$$= 4\,000\ \mathrm{N} = 4{,}0\ \mathrm{kN}.$$

d) V zvislom smere pôsobí na balón rovnako veľká sila ako v predchádzajúcom prípade (T_y = 4,0 kN). Lano zviera s vodorovným, ale aj zvislým smerom uhol 45°, takže sila vo vodorovnom aj zvislom smere bude rovnako veľká. Výsledná sila je preponou v pravouhlom trojuholníku s odvesnami veľkosti $T_x = T_y = T = 4$ kN (obrázok). Potom celková sila ktorou pôsobí lano na balón je

$$T_c = \sqrt{T_x^2 + T_y^2} = T \cdot \sqrt{2} \doteq 5{,}66\ \mathrm{kN}.$$



Robur Dobyvateľ

Medzi prvé lietajúce stroje, ktoré slúžili aj na prepravu cestujúcich, patrili obrovské vzducholode. Ich využitie opísal vo svojich knihách už skvelý francúzsky románopisec Jules Verne. V jednej z jeho kníh Robur Dobyvateľ (*Robur le Conquérant,* 1866) sa môžeme stretnúť práve so vzducholoďou. V češtine román dokonca vyšiel pod názvom Vzducholodí kolem světa.[2]

Plášť vzducholode vytváral komoru s plynom s objemom $V = 3\,500\ \mathrm{m}^3$. Hmotnosť plášťa a prázdnej kabíny vzducholode $m_0 = 1\,500$ kg. Objem materiálu plášťa kabíny je zanedbateľne malý v porovnaní s objemom plynu v komore.

a) Ak sa nachádza v kabíne vzducholode náklad s hmotnosťou $m_1 = 1\,800$ kg, vzducholoď sa vznáša (ani nestúpa ani neklesá) vo vzduchu s hustotou $\rho_0 = 1{,}29\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}$. Akú hustotu ρ_1 má v takom prípade plyn vo vnútri komory vzducholode?

b) Čo by sa dialo s touto vzducholoďou s nákladom s hmotnosťou m_1 pri hustote okolitého vzduchu ρ_0, keby bola naplnená čistým héliom s hustotou $\rho_2 = 0{,}16\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}$?

c) Určte hmotnosť nákladu m_2, ak by sa uvažovaná vzducholoď vznášala vo vzduchu s hustotou ρ_0 a komora vzducholode by bola naplnená héliom s hustotou ρ_2.

Riešenie:

a) Keď je vzducholoď v rovnováhe (neklesá ani nestúpa), sú v rovnováhe celková tiažová sila $\vec{F}_G$ pôsobiaca na vzducholoď a vztlaková sila $\vec{F}_{vz}$. Celková tiažová sila je súčtom tiažovej sily pôsobiacej na vzducholoď s hmotnosťou m_0, na náklad s hmotnosťou m_1, ktorý nesie, a na plyn s hustotou ρ_1, ktorým je naplnená. Platí preto

$$m_0 \cdot g + m_1 \cdot g + V \cdot \rho_1 \cdot g = V \cdot \rho_0 \cdot g,$$

odkiaľ hustota plynu vo vnútri komory vzducholode je

$$\rho_1 = \rho_0 - \frac{m_0 + m_1}{V} = 0{,}35\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}.$$

b) Ak by bola vzducholoď naplnená čistým héliom s hustotou ρ_2, bola by celková tiažová sila pôsobiaca na vzducholoď menšia ako v prvom prípade (a teda menšia ako vztlaková sila), vzducholoď by sa preto pohybovala smerom nahor.

2 *První vzducholoď s parním motorem vzlétla v roce 1852 (poznámka redakce).*

c) Ak vzducholoď ponesie náklad s hmotnosťou m_2 a bude naplnená héliom s hustotou ρ_2, bude mať podmienka rovnováhy (vznášania vzducholode) tvar

$$m_0 \cdot g + m_2 \cdot g + V \cdot \rho_2 \cdot g = V \cdot \rho_0 \cdot g,$$

odkiaľ pre hľadanú hmotnosť dostaneme

$$m_2 = V \cdot (\rho_0 - \rho_2) - m_0 \doteq 2\,500 \text{ kg}.$$

Planéta Gália

V románe Julesa Vernea Hector Servadac (*Hector Servadac. Voyages et aventures á travers le monde solaire,* 1877), ktorá v češtine vyšla pod názvom Na kometě (pod týmto názvom bola v roku 1970 aj sfilmovaná pod skvelým vedením Karla Zemana) opisuje autor vymyslenú planétu našej Slnečnej sústavy s názvom Gália. V knihe sa uvádzajú nasledovné parametre: doba obehu planéty po približne kruhovej trajektórii okolo Slnka $T = 2$ roky a stredná vzdialenosť stredu planéty od stredu Slnka $R = 820$ miliónov km.

a) Dokážte, že planéta s uvedenými parametrami nemôže existovať v Slnečnej sústave.
b) V akom pomere k hmotnosti Slnka by musela byť hmotnosť centrálnej hviezdy, okolo ktorej by sa mohla pohybovať planéta s uvedenými parametrami?
c) Ako by sa museli zmeniť parametre Gálie uvedené v románe, aby sa táto planéta mohla vyskytovať v Slnečnej sústave? Uveďte aspoň dve možnosti.

Úlohu riešte všeobecne a potom pre hodnoty: gravitačná konštanta $\varkappa = 6{,}7 \cdot 10^{-11}\ \text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$, stredná vzdialenosť stredov Zeme a Slnka $R_0 = 1{,}5 \cdot 10^{11}$ m, doba obehu Zeme okolo Slnka $T_0 = 1$ rok. *Vplyv iných telies Slnečnej sústavy neuvažujte.*

Riešenie:

a) Gravitačná sila, ktorá pôsobí na Gáliu, má charakter dostredivej sily, takže môžeme písať

$$\varkappa \cdot \frac{m \cdot M_0^*}{R^2} = m \cdot R \cdot \frac{4\pi^2}{T^2}, \qquad (1)$$

kde m je hmotnosť Gálie.

Pre hypotetickú hmotnosť Slnka tak dostaneme

$$M_0^* = \frac{4\pi^2 \cdot R^3}{\varkappa \cdot T^2} \doteq 8{,}2 \cdot 10^{31}\,\text{kg}.$$

Rovnakým spôsobom určíme hmotnosť Slnka z parametrov pohybu Zeme

$$M_0 = \frac{4\pi^2 \cdot R_0^3}{G \cdot T_0^2} \doteq 2{,}0 \cdot 10^{30}\,\text{kg}.$$

Vidíme, pohyb Gálie nezodpovedá podmienkam pohybu okolo Slnka s jeho hmotnosťou.

b) Hľadaný pomer je

$$\frac{M_0^*}{M_0} = \frac{R^3 \cdot T_0^2}{R_0^3 \cdot T^2} \doteq 41.$$

c) Ak vychádzame zo vzťahu (1) a danej hmotnosti Slnka, sú len dve možnosti, musíme zabezpečiť konštantný pomer

$$\frac{R^3}{T^2} = \frac{\varkappa \cdot M_0}{4\pi^2}.$$

Existuje nekonečne veľa možností pre dvojice hodnôt T a R. Ak by sme vychádzali zo zadaných parametrov, potom:

- ak by mala byť obežná doba $T = 2$ roky, musí byť vzdialenosť Slnko – Gália $R \doteq 2{,}4 \cdot 10^8$ km.
- ak by mala byť vzdialenosť $R = 8{,}2 \cdot 10^8$ km, musela by byť obežná doba $T = 12{,}8$ roka.

Spúšťanie lode na vodu *(autor úlohy Ľubomír Mucha)*

V knihe Nový gróf Monte Christo (*Mathias Sandorf,* 1885) opisuje Jules Verne príhodu, v ktorej silák Matifou zabránil zrážke lode spúšťanej na vodu s okolo prechádzajúcou jachtou. Vyrobená loď bola spúšťaná kĺzavým pohybom po naklonenej dráhe do vody. Po spozorovaní nebezpečenstva zrážky s jachtou uchopil Matifou lano, ktoré bolo pripevnené k lodi, obtočil ho raz okolo valcového kotviaceho kolíka upevneného v zemi a celou svojou silou ťahal za voľný koniec proti smeru pohybu lode. S využitím trenia medzi lanom a kolíkom sa mu podarilo natoľko spomaliť pohyb lode, že jachta stačila preplávať okolo lodenice a uniknúť zrážke.

Uvažujte loď s hmotnosťou $m = 15$ t, koeficient šmykového trenia medzi loďou a dráhou $f_1 = 0{,}05$, sklon dráhy $\alpha = 0{,}15$ rad a celkovú dĺžku dráhy $d = 50$ m. Predpokladajte ďalej, že napínané lano je na oboch stranách rovnobežné s dráhou a kolmé na os kolíka. Koeficient šmykového trenia medzi lanom a kolíkom je $f_2 = 0{,}35$.

a) O aký čas zmení Matifou okamih dosiahnutia konca dráhy, ak začal brzdiť pohyb lode v polovici jej dráhy a bol schopný vyvinúť maximálnu ťahovú silu $F_m = 1\,200$ N?

b) Koľkokrát by musel Matifou obtočiť lano okolo kolíka, aby bol schopný účinkom svojej ťahovej sily zmeniť pohyb lode na spomalený?

c) Pri koľkých obtočeniach lana okolo kolíka by bol Matifou schopný spôsobiť pretrhnutie lana, ak je priemer lana $D = 80$ mm a medza pevnosti lana je $\sigma_p = 40$ MPa?

Pozn.: Veľmi podobná úloha je uvedená v [4].

Riešenie:

Medzi lanom a kolíkom pôsobí trenie. Uvažujme veľmi krátky kružnicový úsek lana $\mathrm{d}s = r \cdot \mathrm{d}\varphi$. V smere ťahu pôsobí na jednom konci ťahová sila $\vec{F}''$ a v opačnom smere $\vec{F}'$. Obidve sily zvierajú uhol $\mathrm{d}\varphi$. Keďže pre veľkosti síl platí $F' \approx F''$ (označíme F), je ich výslednica kolmá na povrch kolíka $\mathrm{d}F_n = F \cdot \mathrm{d}\varphi$ a sila trenia v smere dotyčnice $\mathrm{d}\vec{F}_t$ má veľkosť $\mathrm{d}F_t = f_2 \cdot \mathrm{d}F_n$. Pri rovnomernom pohybe (prešmykovaní) platí $F'' \cdot r = F' \cdot r + r \cdot \mathrm{d}F_t$. Prírastok ťahovej sily $\mathrm{d}F = F'' - F' = \mathrm{d}F_t = f_2 \cdot \mathrm{d}F_n = f_2 \cdot F \cdot \mathrm{d}\varphi$. Keďže $\dfrac{\mathrm{d}F}{F} = f_2 \cdot \mathrm{d}\varphi$ a teda $\ln\left(\dfrac{F_2}{F_1}\right) = f_2 \cdot \varphi$, $F_2 = F_1 \cdot e^{f_2 \cdot \varphi}$.

a) Matifou pôsobí na lano silou $F_1 = F_m$. Zo strany lode je lano napínané silou

$$F_2 = m \cdot g \cdot (\sin\alpha - f_1 \cdot \cos\alpha) - m \cdot a.$$

Pre jedno obtočenie kolíka $\varphi = 2\pi$ rad je zrýchlenie lode

$$a = g \cdot (\sin\alpha - f_1 \cdot \cos\alpha) - \left(\frac{F_m}{m}\right) \cdot e^{2\pi \cdot f_2}.$$

Bez pôsobenia brzdiacej sily lana je zrýchlenie lode

$$a_0 = g \cdot (\sin\alpha - f_1 \cdot \cos\alpha).$$

V prvej polovici dráhy $\frac{d}{2}$ nadobudne loď rýchlosť $v_0 = \sqrt{a_0 \cdot d}$. V druhej polovici dráhy je čas pohybu lode bez brzdenia lanom $t_1 = \sqrt{\frac{d}{a_0}} \cdot (\sqrt{2} - 1)$ a pri brzdení lanom $t_2 = \sqrt{\frac{d}{a}} \cdot (\sqrt{2} - 1)$. Zmena času dosiahnutia dolného konca dráhy $\Delta t = t_2 - t_1 \doteq 2{,}8\ \mathrm{s}$.

b) Z podmienky $a < 0$ dostaneme podmienku pre počet obtočení

$$N_\mathrm{m} > \frac{1}{2\pi \cdot f_2} \ln\left(\frac{m \cdot g \cdot \sin\alpha - m \cdot g \cdot f_1 \cdot \cos\alpha}{F_\mathrm{m}}\right) \doteq 1{,}14, \text{ a teda } N = 2.$$

c) Medzná sila ťahu lana (medza pevnosti) je $F_\mathrm{max} = \sigma_\mathrm{p} \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}$. Podmienka pretrhnutia lana

$$N'_\mathrm{m} > \frac{1}{2\pi \cdot f_2} \ln\left(\frac{\sigma_p \cdot \pi \cdot D^2}{4 \cdot F_\mathrm{m}}\right) \doteq 2{,}33,\ \ N'_\mathrm{m} = 3.$$

Zelený lúč

V roku 1882 uzrel svetlo sveta Verneov román Zelený lúč (*Le rayon vert*), ktorý bol súčasťou väčšieho cyklu Podivuhodné cesty. Hlavnej hrdinke, mladej Helene, vybrali príbuzní ženícha. Ona sa však nechce vydávať, a preto si určí podmienku: svadba môže byť až potom, keď Helena a jej nastávajúci uvidia na vlastné oči záhadný zelený lúč, ktorý podľa povesti predznamenáva vernú lásku. Vydajú sa preto na dobrodružnú cestu za zeleným lúčom.

Určite mnohí z vás už videli tretie pokračovanie úspešného filmového hitu Piráti Karibiku – Na konci sveta. V jednej scéne čakajú hlavní predstavitelia na okamih, keď sa pri západe Slnka objaví na oblohe zelený záblesk. Jedná sa o rovnaký fenomén, za akým sa hnala mladá Helena. V oboch prípadoch ide o skutočný prírodný jav, s ktorým sa môžeme za istých okolností stretnúť v reálnom živote. Podľa svojej farby a času trvania sa tento jav nazýva zelený lúč či zelený záblesk.

Na základe poznatkov z optiky (disperzia svetla, index lomu, atmosférická refrakcia) sa pokúste uvedený jav objasniť. Výsledky svojho bádania sa pokúste spracovať ako krátky populárny text.

Náznak riešenia:

Aby sme si mohli tento zaujímavý jav viac priblížiť, musíme si najskôr vysvetliť niektoré základné pojmy z fyziky. Videnie je fyziologický proces, ktorý v ľudskom oku vyvoláva elektromagnetické žiarenie s vlnovými dĺžkami od 390 nm do 760 nm. Zrakové vnemy, ktoré vyvolávajú svetlá s rôznymi vlnovými dĺžkami, sa líšia a zodpovedá im rôzna farba svetla. Biele svetlo, ktorého zdrojom je napr. naše Slnko, sa pri prechode optickým hranolom rozloží na jednotlivé farebné zložky – vzniká spektrum v postupnosti farieb: červená, oranžová, žltá, zelená, modrá, indigová a fialová. Tento jav sa nazýva disperzia svetla. Fialové svetlo zodpovedá vlnovej dĺžke 390 nm, červené 760 nm. Pri prechode svetla z jedného prostredia do druhého sa mení jeho rýchlosť. Pomer

týchto rýchlostí určuje index lomu. Pri prechode slnečných lúčov atmosférou dochádza v dôsledku mnohonásobného lomu svetla k ich zakriveniu. Hovoríme o atmosférickej refrakcii.

A teraz sa pokúsme vysvetliť vznik zeleného lúča. Index lomu závisí od vlnovej dĺžky, preto nastáva pri lome bieleho svetla disperzia. S klesajúcou vlnovou dĺžkou sa zväčšuje index lomu, takže astronomická refrakcia je trochu výraznejšia pre malé vlnové dĺžky. To znamená, že sa prejaví viac v modrofialovej oblasti spektra ako v oblasti červenej. Slnečný lúč (biele svetlo), ktorý prechádza atmosférou šikmo k povrchu Zeme, sa vďaka atmosférickej refrakcii rozkladá na jednotlivé farebné zložky rovnako ako pri prechode optickým hranolom. Ako „vzdušný" hranol nám v tomto prípade poslúži samotná atmosféra. Refrakcia spôsobená atmosférou je najväčšia pre fialovú a najmenšia pre červenú časť spektra. To znamená, že modrý obraz slnečného kotúča sa nachádza vyššie ako červený obraz. Tento jav je tým výraznejší, čím bližšie k obzoru sa Slnko nachádza. Ak je Slnko už kúsok pod obzorom, vidíme len horný okraj slnečného kotúča, presnejšie jeho zelenú a modrú časť. Vďaka rozptylu sa ale modré svetlo v atmosfére zoslabuje viac ako zelené, preto môže byť zelený obraz slnečného kotúča výraznejší. A to je práve zmieňovaný zelený lúč, ktorý môžeme na okamih uvidieť pri západe (alebo aj pri východe) Slnka. Bohužiaľ, vo väčšine prípadov sa v atmosfére rozptýlia aj zelené lúče. Vtedy žiadny zaujímavý úkaz na oblohe neuvidíme – Slnko zapadá za obzor ako obrovská červená guľa.

Vidieť zelený lúč sa nepodarí každý deň. Možnosť pozorovať tento fascinujúci jav je pomerne obmedzená. Základným predpokladom úspešného pozorovania je čistá atmosféra, t. j. ovzdušie nesmie byť znečistené, ani obsahovať väčšie množstvo vodných pár. Veľký vplyv na trvanie zeleného lúča má aj fakt, že hustota vzduchu nie je všade rovnaká (s narastajúcou nadmorskou výškou hustota vzduchu exponenciálne klesá). Ďalším predpokladom je vhodná farba slnečného kotúča tesne pred jeho zapadnutím za obzor. Ak je sfarbený do červena, zelený lúč sa neobjaví. Ak je naopak výrazne bledé, teda ak Slnko zapadá veľmi jasné, máme veľkú šancu zelený lúč uvidieť. Okrem toho je nevyhnutné, aby bol obzor ohraničený čo najrovnejšou čiarou. Vo výhľade nám nesmie brániť žiadna nerovnosť, kopec, les, stavby a podobne. Preto je zelený lúč najlepšie pozorovateľný nad pokojnou morskou hladinou. To je aj príčinou toho, že uvedený jav poznajú najmä námorníci, ktorí strávili na otvorenom mori veľa času a zažili tam veľa západov a východov Slnka.

Dĺžka trvania zeleného lúča je podmienená napr. miestom pozorovania, závisí teda od zemepisnej šírky miesta, na ktorom tento jav pozorujeme. Podstatne viac pozorovaní s dlhším časom trvania bolo zaevidovaných v oblastiach, ktoré sa nachádzajú južnejšie ako Slovensko. Napriek tomu je možné pozorovať zelený lúč aj v našich končinách. Potvrdzuje to napr. pozorovanie alsaských astronómov, ktorým sa niekedy v polovici 20. storočia pošťastilo pozorovať zelený lúč aj použitím ďalekohľadu. Dĺžka trvania zeleného lúča je okrem toho ovplyvnená aj ročným obdobím. Najkratšia je vtedy, keď sa Slnko nachádza nad rovníkom (teda v čase jarnej a jesennej rovnodennosti), naopak, najdlhšia vtedy, keď sa Slnko nachádza v najväčšej vzdialenosti od rovníka (t. j. v čase letného a zimného slnovratu). V minulom storočí bol zaznamenaný aj jeden rekord, keď bolo možné pozorovať zelený lúč asi 5 minút. Podarilo sa to pozorovateľovi, ktorý sa pohyboval rýchlou chôdzou. Slnko klesalo za vzdialený kopec a idúci pozorovateľ videl zelený lem slnečného kotúča, ako keby sa kĺzal po svahu kopca.

Na záver ešte spomeňme, že Slnko nie je jediným nebeským telesom, v blízkosti ktorého sa tento jav vyskytuje. Sú známe prípady, keď bol zelený lúč pozorovaný pri západe Venuše.

Zmýlil sa Jules Verne? *(autor úlohy Ivo Volf)*

Každého z nás upútali hrdinovia románov Julesa Vernea a ich dobrodružné príbehy. Technické vynálezy, o ktorých Jules Verne písal vo svojich knihách, sa naplnili. Dnes poznáme televíziu, rozhlas aj telefón, človek pristál na Mesiaci, iba tie dva roky prázdnin zatiaľ neboli. Jeden z najdobrodružnejších príbehov rozpráva o kapitánovi Nemovi a jeho ponorke Nautillus (20 000 míľ pod morom – *Vingt mille lieues sous les mers,* 1869–1870). V tomto románe sa Jules Verne dopustil z hľadiska súčasnej fyziky a techniky niekoľkých omylov, ktoré však, podobne ako v ďalších príbehoch, nič neuberajú z jeho predvídavosti a pútavosti opisovaných zážitkov.

Vedeli by ste upozorniť na niektoré javy v spomínanom románe, ktoré z hľadiska súčasnej fyziky a techniky sú nepravdepodobné?

V knihe sa napríklad píše: „Ponorka Nautillus má dĺžku 70 m a je poháňaná lodnou skrutkou s priemerom 6 m, ktorá vykoná 7 200 otáčok za minútu. Po ponorení do hĺbky 16 000 m sa Nautillus dokázal vynoriť na hladinu za 4 minúty.“

Náznak riešenia:

Pri hľadaní nezrovnalostí použite zemepisný atlas, technické encyklopédie a príručky (hľadajte heslá ako batyskaf, J. Piccard a pod.). Vypočítajte rýchlosť, akou sa pohybuje bod na konci lodnej skrutky a porovnajte ju s rýchlosťou zvuku.

Odkazy na knihy Julesa Vernea:

Verne, Jules. *20 000 míľ pod morom*. Bratislava: Perfekt, 2000.
Verne, Jules. *Päť týždňov v balóne*. Bratislava: Mladé letá, 1968.
Verne, Jules. *Robur Dobyvateľ, Robur Pán sveta*. Bratislava: Mladé letá, 1983.
Verne, Jules. *Hector Servadac*. Bratislava: Mladé letá, 1984.
Verne, Jules. *Nový gróf Monte Christo*. Bratislava: Mladé letá, 1973.
Verne, Jules. *Vynález skazy, Zelený lúč*. Bratislava: Mladé letá, 1977.

Odkazy na úlohy:

[1] Konrád, Ľubomír, Čáp, Ivo. *Zaujímavé úlohy z fyziky*. 1. vyd. Žilina : EDIS, 2009. ISBN 978-80-554-0136-2.

[2] Čáp, Ivo, Konrád, Ľubomír. *Fyzika v zaujímavých úlohách*. 1. vyd. Bratislava: Iuventa, 2004. 230 s. ISBN 80-8072-016-9.

[3] Čáp, Ivo, Konrád, Ľubomír. *Fyzika v zaujímavých úlohách II*. 1. vyd. Žilina : EDIS, 2009. 259 s. ISBN 978-80-554-0137-9.

Ďalšia literatúra:

[4] Pereľman, J., I.: *Zajímavá fyzika.* Praha: Mladá fronta, 1962.

Zdroj obrázkov: wikipedia.org