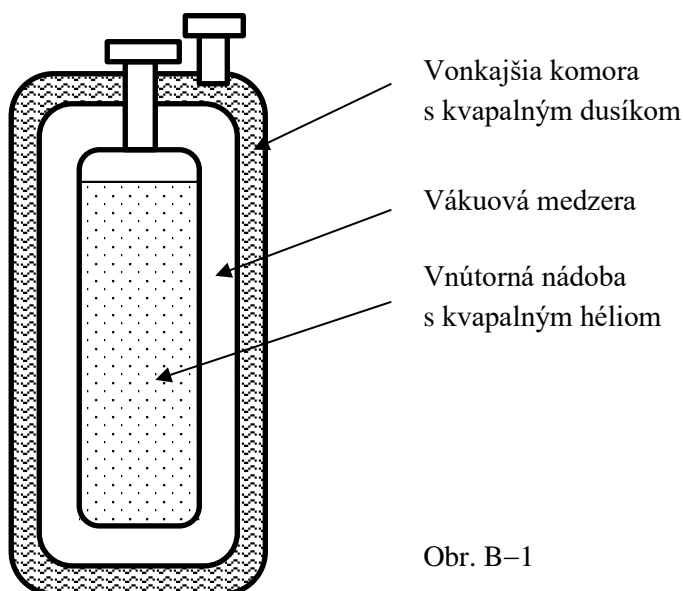


61. ročník Fyzikálnej olympiády
v školskom roku 2019/2020
kategória B – domáce kolo
Texty úloh

1. Dewarova nádoba

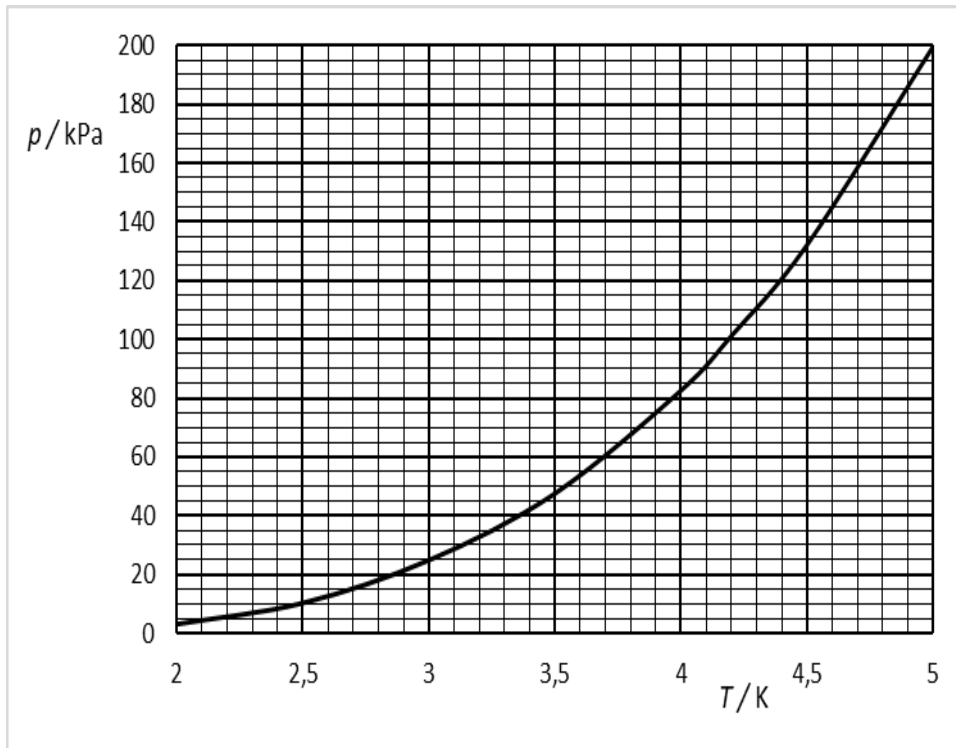
Na skladovanie a prepravu skvapalnených plynov sa v laboratóriách a v rôznych kryogénnych zariadeniach používa tzv. Dewarova nádoba (DN), pomenovaná podľa škótskeho fyzika a chemika Jamesa Dewara, ktorý sa zaoberal skvapalňovaním plynov a ako prvý skvapalnil kyslík a vodík. Nádoba má dvojité steny. Z priestoru medzi stenami je odčerpaný vzduch. Na prepravu skvapalneného hélia s veľmi nízkou teplotou varu $T_1 = 4,2 \text{ K}$ pri normálnom tlaku $p_1 = 101 \text{ kPa}$ sa používa dvojité Dewarova nádoba, pričom v tretej (vonkajšej) komore nádoby je kvapalný dusík s teplotou varu $T_0 = 77 \text{ K}$, obr. B-1.



Prenos tepla medzi dusíkom a héliom cez vákuovú medzeru spôsobuje vyparovanie hélia. Aby sa udržala konštantná teplota hélia, sú jeho nasýtené pary sústavne odsávané z vnútornej nádoby.

- a) Vysvetlite, prečo sa hélium vyparuje aj napriek vákuovej izolácii a chladeniu kvapalným dusíkom. Aký význam má vákuová medzera medzi stenou prvej komory s héliom a vnútornou stenou tretej komory s dusíkom. Akú funkciu plní v nádobe kvapalný dusík v tretej komore? Uvážte, či malá zmena teploty hélia podstatne ovplyvňuje tepelný prenos medzi héliom a dusíkom. Úvahu doložte vhodným výpočtom.
- b) V dôsledku odsávania klesne tlak pary a tým aj teplota hélia. Určte tlak nasýtenej pary hélia pri teplote hélia $T_2 = 4,0 \text{ K}$.
- c) Potom zvýšime objemovú rýchlosť odsávania pary hélia $k = 1,5$ krát. Určte novú ustálenú teplotu T_3 hélia a tlak nasýtených pár p_3 pri tejto teplote.

Závislosť tlaku nasýtenej pary hélia od teploty je v grafe na obr. B-2.



Obr. B-2

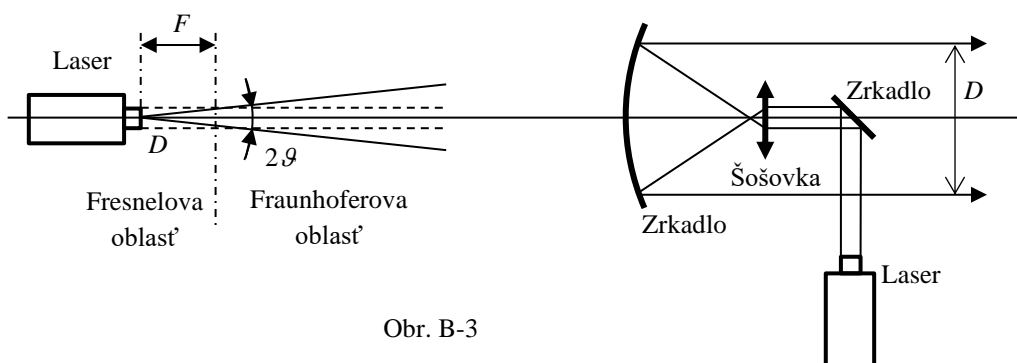
Predpokladajte, že v komore s héliom je nad jeho hladinou vždy nasýtená para hélia, a tá sa správa ako ideálny plyn. V dôsledku izolácie sa hélium vyparuje veľmi pomaly a objem kvapalného hélia v nádobe možno považovať za konštantný.

2. Kepler 452b

Na presné meranie vzdialenosti Zem–Mesiak sa používa laserový lúč. Výhoda je v tom, že laserom možno vytvoriť svetelný zväzok s veľmi malou rozbiehavosťou. Lúče vytvárajú v priestore kužeľ s vrcholovým uhlom ϑ , pre ktorý je odvodený vzťah

$$\vartheta = 1,22 \frac{\lambda}{D}, \quad (1)$$

kde λ je vlnová dĺžka svetla a D apertúra (priemer otvoru, z ktorého zväzok vystupuje).



Obr. B-3

Rozbiehavosť sa prejaví až vo vzdialenej, tzv. Fraunhoferovej oblasti, $r > F$. V blízkej, tzv. Fresnelovej oblasti, $r < F$, sa rozbiehavosť zväzku neprejaví. Vzdialenosť F je dĺžka Fresnelovej oblasti, obr. B–3 vľavo.

- Určte dĺžku F Fresnelovej oblasti laserového ukazovadla s apertúrou $D_1 = 4,0$ mm a vlnovou dĺžkou svetla $\lambda_1 = 532$ nm (zelené svetlo).
- Žiak namieril lúč lasera z jedného konca chodby s dĺžkou $l = 50,0$ m na protiahlú stenu na druhom konci chodby. Aký priemer D_2 mal svetelný kruh na stene na druhom konci chodby. Aký by bol priemer D_3 plochy na Mesiaci, ktorú by žiak osvetlil, ak by laserový lúč namieril na stred Mesiaca? Aby sa rozbiehavosť vyžarovaného zväzku zmenšila, je potrebné zväčšiť apertúru. Robí sa to tak, že z úzkeho laserového zväzku sa pomocou šošovky a parabolického zrkadla vytvorí zväzok s veľkým priemerom, obr. B–3 vpravo.
- Určte priemer D_4 osvetlenej kruhovej plochy na Mesiaci, ak sa uvedeným spôsobom zväčší apertúra na $D_1' = 2,0$ m.

Pomocou vzťahu (1) možno tiež určiť rozlišovaciu schopnosť ďalekohľadov. Rozlišovacia schopnosť je najmenšia uhlová vzdialenosť medzi dvomi vzdialenými bodmi, ktoré ďalekohľad dokáže zobrazit' ako dva oddelené body. Apertúra D je v tomto prípade priemer šošovky objektívu ďalekohľadu alebo priemer primárneho zrkadla zrkadlového ďalekohľadu, obr. B–3 vpravo, v opačnom smere lúčov, len namiesto lasera je detektor (λ je vlnová dĺžka detegovaného svetla).

- Vypočítajte rozlišovaciu schopnosť Hubblovho vesmírneho teleskopu, ktorého primárne zrkadlo má priemer $D_5 = 2,4$ m. Počítajte s modrým svetlom s vlnovou dĺžkou $\lambda = 450$ nm. Výsledok porovnajte s hodnotou, ktorú uvádza NASA $\theta_{\text{NASA}} = 0,05''$. Urobte náčrtok, v ktorom uvediete rozhodujúce veličiny.

Koncom júla 2015 ohlásila NASA objavenie nádejného kandidáta (Kepler 452b) na exoplanétu podobnú Zemi. Jej centrálna hviezda je veľkosťou podobná nášmu Slnku a planéta ju obehne za 385 dní. Predpokladajte, že jej vzdialenosť od centrálnej hviezdy je približne rovnaká ako vzdialenosť Zeme a Slnka $d_{\text{ZS}} = 150$ mil. km.

- Aký veľký by musel byť priemer D_6 primárneho zrkadla teleskopu, ktorý by bol schopný vo viditeľnom pásme pozorovať exoplanétu Kepler 452b ako samostatný bod vedľa jej centrálnej hviezdy, ktorá sa nachádza v súhvezdí Labute vo vzdialenosti $d_L = 1\,400$ ly (1y – dĺžka, svetelný rok). Zistite, či takýto teleskop na Zemi existuje alebo sa jeho budovanie pripravuje.

Poznámka1: Vzdialenosť $d_{\text{ZM}} = 380$ tis. km. Vlnová dĺžka viditeľného svetla je od 360 nm do 760 nm.

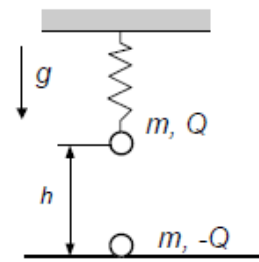
3. Obraz tyčky

Tenkú tyč s dĺžkou $l_1 = 20$ cm umiestnime pred spojnú šošovku s ohniskovou vzdialenosťou $f = 30$ cm rovnobežne s optickou osou do vzdialenosti $a = 50$ mm od optickej osi šošovky. Vzdialenosť šošovky od konca tyče bližšieho k šošovke označíme b .

- Nakreslite obrázok zobrazenia tyče šošovkou. V obrázku znázornite konštrukciu obrazu tyče pre dva prípady:
 - $b > f$
 - $0 < b < f$
- Určte dĺžku l_2 obrazu tyče pre $b = 40$ cm a uhol α , ktorý obraz tyče zvierá s optickou osou.

4. Nabité guľôčky

Veľmi malá guľôčka s hmotnosťou $m = 1,2 \text{ g}$ a nábojom Q je zavesená na pružine s tuhosťou $k = 2,5 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$. Guľôčku držíme tak, že pružina je nedeformovaná. Pod guľôčkou leží na izolovanej podložke vo vzdialenosti $h = 15 \text{ cm}$ druhá rovnaká guľôčka s nábojom $-Q$, obr. B-4.



Obr. B-4

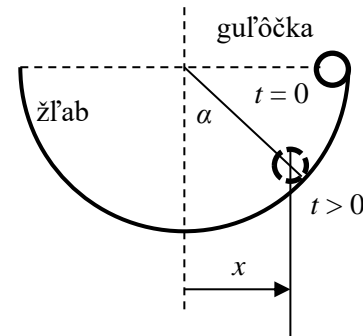
Hornú guľôčku uvoľníme, takže sa začne pohybovať zvislo nadol.

- Pomenujte sily, ktoré budú pôsobiť na druhú guľôčku. Môže nastať situácia, že druhá guľôčka sa zdvihne nad podložku? Za akých podmienok?
- Pri akej najmensej veľkosti Q_{\min} náboja Q spodná guľôčka sa zdvihne nad podložku?

Rozmery guľôčok neuvažujte.

5. Guľôčka vo valci

Na okraj vodorovného žľabu s vnútorným povrchom v tvare polvalca s polomerom $R = 10 \text{ cm}$ vložíme malú homogénnu oceľovú guľôčku s polomerom $r = 5,0 \text{ mm}$, obr. B-5. Po uvoľnení guľôčka sa bude pohybovať v rovine kolmej na žľab.



Obr. B-5

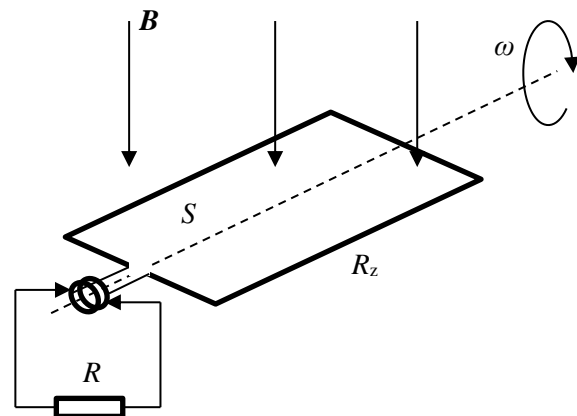
- Opíšte dej, ktorý prebehne po uvoľnení guľôčky a opíšte postupný prechod guľôčky do výsledného ustáleného pohybu guľôčky.
- Určte maximálnu možnú amplitúdu α_{\max} uhlovej výchylky α guľôčky od zvislej polohy pri ustálených kmitoch guľôčky.
- Určte periódu T ustálených kmitov guľôčky v žľabe.

Koeficient šmykového trenia medzi žľabom a guľôčkou $f = 0,10$. Straty pri valivom pohybe guľôčky neuvažujte.

6. Elektromagnetická brzda

Na brzdenie veľkých vozidiel, napr. rušňov, sa používajú elektromagnetické brzdy. K motoru sa namiesto napájania pripoja rezistory, takže motor funguje ako generátor elektrického prúdu a elektrická energia sa mení na teplo v rezistoroch.

Použijeme jednoduchý model obdĺžnikovej cievky s obsahom plochy S , N závitmi a odporom R_z rotujúcej v konštantnom a homogénnom magnetickom poli s indukciou B , obr. B-6. Pomocou kĺzavých kontaktov je k cievke pripojený rezistor s odporom R . Na začiatku, v okamihu pripojenia rezistora, sa cievka otáčala s uhlovou rýchlosťou ω_0 .



Obr. B-6

- Určte amplitúdu I_m prúdu, ktorý prechádza rezistorom s odporom R pri uhlovej rýchlosti ω_0 .
- Určte strednú hodnotu P tepelného výkonu, ktorý sa uvoľňuje v sústave cievka – rezistor. Určte hodnotu P_0 výkonu pri uhlovej rýchlosti ω_0 .
- Určte brzdiaci moment sily M , ktorý pôsobí na rotujúcu cievku pri uhlovej rýchlosti ω , hodnotu M_0 pri uhlovej rýchlosti ω_0 .
- Určte po koľkých otáčkach n sa cievka zastaví v dôsledku elektromagnetického brzdenia, ak je moment zotrvačnosti rotujúcej časti J .

Úlohu riešte všeobecne a potom pre hodnoty $\omega_0 = 1\,000\ \pi\ \text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$, $N = 200$, $S = 400\ \text{cm}^2$, $R_z = 5,0\ \Omega$, $R = 20\ \Omega$, $B = 200\ \text{mT}$, $J = 2,5\ \text{kg}\cdot\text{m}^2$.

7. Meranie intenzity osvetlenia – experimentálna úloha

V súvislosti s ochranou životného prostredia, ku ktorej patrí aj úspora energie, sa propaguje náhrada klasických vlákňových žiaroviek úspornými žiarovkami LED (Light Emitting Diode). Experimentálna úloha sa zameriava na výskum svetelného vyžarovania žiaroviek a porovnávanie vyžarovania žiaroviek rôznych typov. Na meranie použijete mobilnú aplikáciu „luxmeter“, vlákňovú žiarovku s príkonom 60 W a LED žiarovku s príkonom 9 W, ktoré by mali poskytovať približne rovnaký svetelný tok. Žiarovku umiestnite do lampy typu kuchynského lustra zavesenej k stropu miestnosti.

Úlohy:

- Do lustra vložte postupne obidve žiarovky a luxmetrom zmerajte intenzitu osvetlenia v rovnakej vzdialenosti pod žiarovkou. Porovnajme pomery intenzity E osvetlenia a príkonu pre obe žiarovky.
- Pre obe žiarovky zmerajte závislosť intenzity osvetlenia E od vzdialenosti r luxmetra od žiarovky v osi žiarovky. Zostrojte graf závislosti intenzity osvetlenia E od premennej $1/r^2$ a overte, či výsledok zodpovedá závislosti $E = k / r^2$, kde k je konštanta.
- Zmerajte uhlovú vyžarovaciu charakteristiku oboch žiaroviek. Luxmeter nastavujte pod rôznymi uhlami vzhľadom na os žiarovky vždy do rovnakej vzdialenosti kolmo na smer dopadajúceho svetla. Zostrojte graf závislosti intenzity E osvetlenia od uhlu φ odchýlky od osi žiarovky. Určte šírku $\Delta\varphi$ vyžarovacej charakteristiky na úrovni poklesu intenzity osvetlenia o 3 dB.
- Prejdite svoj byt pri bežnom osvetlení a zmapujte intenzitu osvetlenia v rôznych miestach. Posúďte vhodnosť rôznych miest na čítanie, ak odporúčané osvetlenie pre čítanie je 500 lx.

Pozn.: Meranie je vhodné robiť večer pri vypnutom ostatnom osvetlení.

61. ročník Fyzikálnej olympiády – Úlohy domáceho kola kategórie B

Autori návrhov úloh:

Lubomír Konrád (1, 3, 4), Aba Teleki (2), Boris Lacsny (2),
Ivo Čáp (5, 6, 7)

Recenzia a úprava úloh a riešení:

Daniel Klivanec, Lubomír Mucha

Preklad textu úloh do maďarského jazyka:

Aba Teleki

Redakcia:

Ivo Čáp

Vydal:

Slovenská komisia fyzikálnej olympiády

IUVENTA – Slovenský inštitút mládeže, Bratislava 2020