

67. ročník Fyzikálnej olympiády

v školskom roku 2025/2026

kategória B

text úloh domácej prípravy

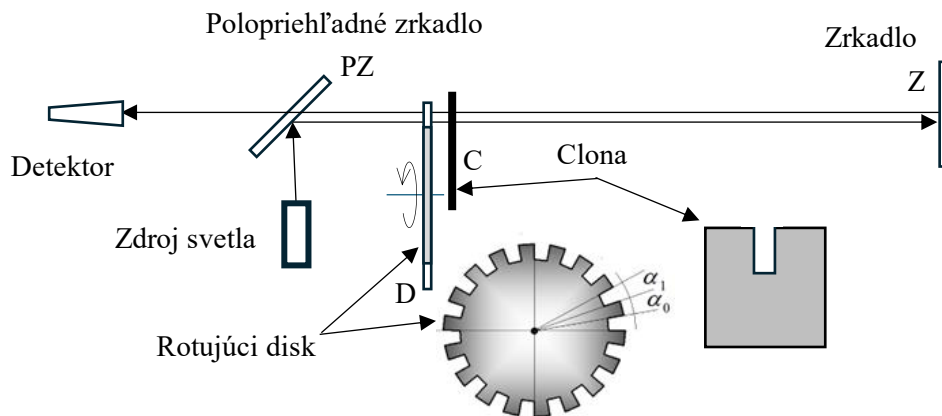
Úlohy domácej prípravy (pôvodne domáce kolo) sú určené na preštudovanie problematiky úloh, na ktoré bude nadväzovať súťažné krajské kolo. Odporúčame detailnejšie si preštudovať tematiky úloh s použitím literatúry alebo s pomocou učiteľov alebo iných osôb.

Odporúčame preštudovať si študijný text: *Úvod do Fyzikálnej olympiády* na stránke NIVAM: <https://nivam.sk/wp-content/uploads/2025/10/Uvod-do-FO.pdf>.

1. úloha - Rýchlosť svetla

Na začiatku 17. storočia panoval názor, že rýchlosť svetla je nekonečne veľká. Prvý odhad rýchlosti svetla vykonal v roku 1676 Ole Christian Romer na základe pozorovania Jupiterovho mesiaca Io a nameral hodnotu okolo 240 tis. km/s. Prvé úspešné meranie sa podarilo až francúzskemu fyzikovi Fizeauovi v roku 1849.

Experiment je schematicky znázornený na nasledujúcom obrázku. Úzky lúč z výkonného zdroja svetla je smerovaný na polopriehľadné zrkadlo PZ, od ktorého sa odráža a prechádza medzi zubami otáčajúceho sa ozubeného disku D a smeruje na vzdialené zrkadlo Z. Zrkadlá musia byť nastavené tak, aby sa lúč odrazený od zrkadla Z šírila nazad pozdĺž rovnakej priamky ako lúč dopadajúci, takže dopadá na ozubený obvod rotujúceho disku. Keďže lúč sa postupne rozširuje, pred rotujúci disk je umiestnená clona C, v ktorej je medzera s šírkou rovnou šírke zubu na kotíči, takže lúč je v určitých okamihoch úplne zaclonený. Odrazené svetlo prechádzajúce cez medzery na obvode disku D sa registruje optickým detektorom. Pri postupnom narastaní otáčok kotíča sa mení intenzita svetla dopadajúceho do detektora. Uvažujme kotúč s pomerom uhlových rozmerov zubu a medzery $\alpha_0 / \alpha_1 = 1$.



- Vysvetlite, prečo sa pri zmene otáčok mení intenzita svetla dopadajúceho do detektora, a ako sa dá táto skutočnosť využiť pre zistenie rýchlosti svetla.
- Vďaka prítomnosti clony C sa intenzita svetla mení (pri pevne daných otáčkach ozubeného kolesa). Znázorníte kvalitatívne grafy závislosti intenzity lúča dopadajúceho na detektor od času pre prípady, v ktorých je stredná hodnota intenzity svetla dopadajúceho na detektor maximálna a minimálna.
- Určte otáčky disku, pre ktoré bude stredná hodnota I_D intenzity sveta dopadajúceho na detektor maximálna I_{Dmax} a minimálna I_{Dmin} , a určte pomer $p = I_{Dmax} / I_{Dmin}$ týchto hodnôt.

- d) Fizeau použil pri svojom experimente vzdialenosť zrkadla $L = 8\,630\text{ m}$ (medzi vrcholmi dvoch kopcov) a kotúč s počtom zubov $N = 720$. Pri postupnom zvyšovaní otáčok kotúča pozoroval minimum intenzity odrazeného svetla prechádzajúceho kotúčom pri otáčkach $n = 12,5\text{ s}^{-1}$. Akú rýchlosť svetla Fizeau určil?

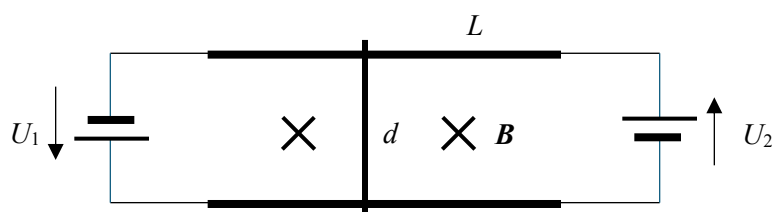
2. úloha - Vákuový balón

V súvislosti s prieskumom iných planét sa okolo roku 2000 objavila idea vákuového balóna na prieskum ich atmosféry. Výhodou by bolo to, že by nepotreboval plyn (hélium), do vesmíru by sa dopravil iba ľahký obal. Jeho „nafúknutie“ by sa realizovalo namiesto plynu pomocou elektrického náboja preneseného do vodivého obalu balóna. Balón by zaujal guľový tvar vďaka odpudivej elektrickej sile. Na vonkajšom povrchu veľmi tenkej vodivej grafénovej vrstvy, ktorá predstavuje nosič elektrického náboja, je tenká vrstva pružného dielektrika (POM – polyoxymethylén) s relatívnou permitivitou $\epsilon_r = 3,8$ a elektrickou pevnosťou $E_p = 40\text{ kV/mm}$, ktorá zabezpečuje mechanickú pevnosť a ochranu vodivej vrstvy pred jej vybíjaním do atmosféry. Uvažujte plošnú hmotnosť obalu balóna $\rho_B = 70\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$. Uvažujme teoretický test balóna na povrchu Zeme.

- Určte polomer R balóna, ktorý by so záťažou s hmotnosťou $m_Z = 20\text{ kg}$ v atmosfére s hustotou $\rho_a = 1,3\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ sa vznášal. *Objem záťaže neuvažujte.*
- Určte napätie U , na ktoré treba nabiť vodivú vrstvu balóna, aby balón nadobudol tvar gule s polomerom R , ak je vo vnútri balóna vákuum a tlak vonkajšieho vzduchu $p_a = 101\text{ kPa}$.
- Zistite, či pri nabití balóna nedôjde k elektrickému prerazu izolačnej vrstvy POM.
- Zopakujte úlohy a), b) a c) pre Mars, kde hustota atmosféry $\rho_M = 0,020\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a tlak atmosféry $p_M = 620\text{ Pa}$. Posúďte reálnosť v úvode uvedenej idey.

3. úloha - Kmity vodiča v magnetickom poli

Na obrázku je znázornená sústava dvojice rovnobežných koľajničiek s dĺžkou L umiestnených vo vzájomnej vzdialenosti d na vodorovnej podložke.



Ku koľajničkám sú pripojené dva zdroje konštantného napätia U_1 a U_2 opačne polarizované.

Cez koľajničky je položený skratovací bežec s hmotnosťou m . Celá sústava sa nachádza v homogénnom magnetickom poli kolmom na rovinu koľajníc s konštantnou indukciou B .

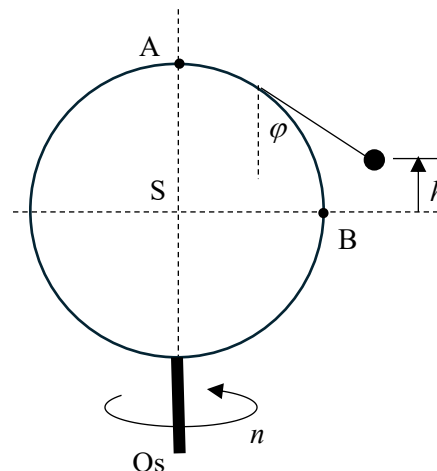
Predpokladajte, že trenie medzi bežcom a koľajničkami je zanedbateľne malé. Dĺžkový odpor koľajníc je ρ_1 a bežca ρ_2 .

- Nájdite rovnovážnu polohu bežca.
- Určte frekvenciu malých kmitov bežca okolo rovnovážnej polohy.

Úlohu riešte všeobecne a potom pre hodnoty $U_1 = 6,0\text{ V}$, $U_2 = 8,0\text{ V}$, $\rho_1 = 9,2\text{ }\Omega\cdot\text{m}^{-1}$, $\rho_2 = 12,4\text{ }\Omega\cdot\text{m}^{-1}$, $L = 60\text{ cm}$, $d = 10\text{ cm}$, $m = 40\text{ g}$, $B = 250\text{ mT}$.

4. úloha - Kyvadlo na guli

Gul'a s polomerom R je pripevnená na zvislej osi, ktorá smeruje do jej osi. V najvyššom bode gule je pripevnené vlákno a na jeho konci malá kovová guľôčka. Na začiatku je guľôčka v bode B na úrovni stredu gule. Potom sa začne guľa otáčať okolo osi a vlákno s guľôčkou sa odpúta od začiatočnej polohy a pohybuje sa po kružnici, pričom priama časť vlákna zvierá so zvislým smerom uhol φ , pozri obrázok. Celé vlákno je po celú dobu vo zvislej rovine, v ktorej leží os otáčania gule a rovina sa otáča s guľou.



- Vyjadrite polomer r kružnice a jej výšku h nad vodorovnou rovinou prechádzajúcou stredom gule ako funkcie uhlu φ .
- Vyjadrite uhlovú rýchlosť ω otáčania gule ako funkciu uhlu φ .

V ďalšom uvažujte hodnoty $R = 20 \text{ cm}$ a $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

- Zostrojte graf φ ako funkcie otáčok gule n a určte uhol φ_1 , ktorý zodpovedá otáčkam $n_1 = 60 \text{ min}^{-1}$.
- Určte polomer r_1 a výšku h_1 trajektórie guľôčky pri otáčkach n_1 .

5. úloha - Funkcia krvi

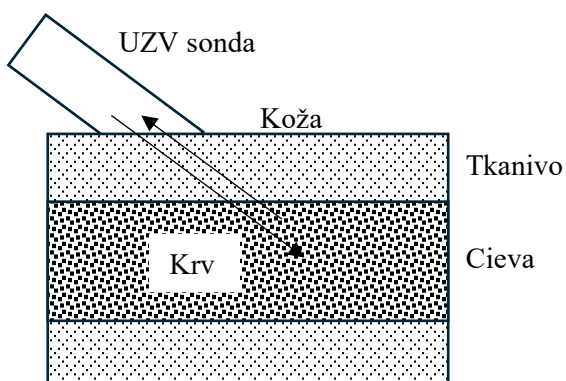
Na vyšetrovanie štruktúry orgánov ľudského organizmu sa používa ultrazvuk (UZV). Najjednoduchšie je meranie rýchlosti prúdenia krvi v cievach.

K povrchu tela nad cievou sa priloží šikmo UZV sonda, ktorej menič generuje do tkaniva ultrazvukové vlnenie. UZV prenikne až do cievy, v ktorej sú červené krvinky (erytrocyty), a tie predstavujú pre UZV rozptylové centrá.

Človek má v priemere $V_k = 5,5 \text{ l}$ krvi, pričom 1 liter krvi obsahuje $N_1 = 5 \times 10^{12}$ červených krviniek, ktoré majú tvar plochých diskov s priemerom $d_e = 7,2 \mu\text{m}$, maximálnou hrúbkou $h_e = 2,1 \mu\text{m}$ a objemom približne $V_e = 80 \text{ fl}$ (femtoliter).

- Určte priemernú vzdialenosť ℓ medzi krvinkami a časť p objemu krvi, ktorú červené krvinky zaujímajú (hematokrit).

Vlnenie sa rozptýli na pohybujúcich sa krvinkách do všetkých smerov, vrátane nazad k sonde. Sonda obsahuje okrem vysielacieho meniča aj menič prijímací, ktorý deteguje UZV rozptýlený na



červených krvinkách. Rozptyl je tým účinnejší, čím viac sa približuje vlnová dĺžka vlnenia rozmerom krviniek.

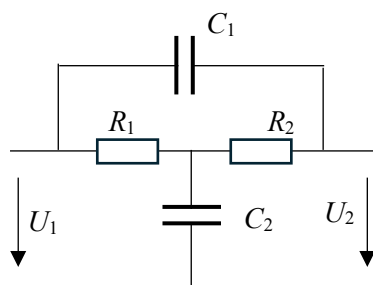
- b) UZV sa v tkanive šíri rýchlosťou $c = 1450$ m/s. Určte frekvenciu f ultrazvuku s vlnovou dĺžkou rovnou priemeru d_e krvinky.

Pomocou UZV sondy vyšetrovali prúdenie krvi v cieve s priemerom $d_e = 5,46$ mm pomocou ultrazvuku s frekvenciou $f_m = 10$ MHz. Keď sonda zvierala s povrchom kože, a tým aj cievy, uhol $\alpha = 30^\circ$, bol prístrojom vyhodnotený rozdiel frekvencie prijatého a vysielaného signálu $\Delta f = f_{\text{prij}} - f_{\text{vys}} = 9,81$ kHz.

- c) Vysvetlite príčinu odlišnosti prijatej a vysielanej frekvencie. Ktorým smerom krv prúdi?
d) Určte objemový prietok Q_V krvi v cieve v litroch za minútu.

6. úloha - Filter

Chlapci sa v škole učili o filtroch elektrického signálu. Na selektívne potlačenie určitého pásma frekvencií sa bežne používajú LC filtre. Chceli si ale dokázať, že by sa selektívny filter dal zostaviť len zo súčiastok RC. Kdesi našli schému premosteného T-článku a rozhodli sa to vyskúšať. Použili zapojenie podľa obrázku.



Na vstup pripojili zdroj striedavého napätia s nastaviteľnou frekvenciou a na výstupe merali napätie multimetrom s vysokým vstupným odporom. Keďže vedeli, ako sa správajú rezistory a kapacitory pri veľmi nízkych a veľmi vysokých frekvenciách usúdili, že musí existovať frekvencia, pri ktorej má amplitúdová charakteristika minimálnu hodnotu.

- a) Pohľadom na schému filtra zistíte, aký bude amplitúdový prenos pri frekvenciách $f \rightarrow 0$ a $f \rightarrow \infty$, a na základe čoho usúdili, že amplitúdová charakteristika má pri určitej frekvencii minimum. Svoje zistenie fyzikálne zdôvodnite.
b) Riešením elektrického obvodu odvodte vzťah pre amplitúdovú a fázovú prenosovú charakteristiku: $A = U_2 / U_1$ a $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$, kde U_1 a φ_1 sú amplitúda a fáza vstupného napätia a U_2 a φ_2 amplitúda a fáza výstupného napätia.
c) Určte frekvenciu f_m , pre ktorú má amplitúdová prenosová charakteristika minimum a aký je v tom prípade fázový prenos $\Delta\varphi_m$ a amplitúdová prenos A_m .
d) Pre hodnoty: $R_1 = 10$ k Ω , $R_2 = 2,0$ k Ω , $C_1 = 250$ nF, $C_2 = 2,0$ μ F zostrojte grafy funkcií amplitúdovej a fázovej charakteristiky filtra od frekvencie, pričom na frekvenčnej osi použite logaritmickú stupnicu. Porovnajte teoretické výsledky z časti c) s grafmi. Uveďte, o aký typ filtra ide.

7. úloha - Určenie polomeru krivosti misky – experimentálna úloha

Úloha:

Určte polomer krivosti dutej guľovej plochy s využitím merania periódy valivého kmitavého pohybu guľôčky okolo najnižšej polohy.

Pomôcky:

Vhodná plocha s guľovým zakrivením (laboratórna miska, kryt osvetľovacieho telesa a pod.), niekoľko kvalitných guľôčok s rôznymi priermi (napr. z ložísk), posuvné meradlo, stopky.

Postup:

Pre meranie využite skutočnosť, že guľôčka s polomerom r , položená na šikmú časť dutej guľovej plochy s polomerom krivosti R , sa po uvoľnení pohybuje valivým pohybom smerom k najnižšej polohe a po jej dosiahnutí pokračuje v kmitavom pohybe okolo tejto polohy. Pohyb sa uskutočňuje v jednej zvislej rovine a pri malých výchylkách z rovnovážnej polohy je pohyb valivý bez prešmykovania.

1. Odvodte teoretický vzťah pre dobu kmitu guľôčky

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{7}{5} \frac{R-r}{g}}. \quad (1)$$

2. Meranú plochu s guľovým zakrivením dobre upevnite, aby sa účinkom pohybu guľôčky nemohla pohybovať.
3. Guľôčku položte na šikmú časť plochy a po jej uvoľnení zmerajte periódu jej kmitov okolo rovnovážnej polohy (merajte čas väčšieho počtu kmitov z dôvodu dosiahnutia čo najväčšej presnosti). Meranie opakujte s guľôčkami rôznych priemerov. S použitím vzťahu (1) určte polomer zakrivenia plochy a výsledky získané pre rôzne guľôčky porovnajte.
4. Odhadnite presnosť merania.
5. Pokúste sa určiť polomer krivosti plochy i iným spôsobom, napr. sférometrom, a výsledky porovnajte.

Pozn.: Meranie možno realizovať i na valcovej ploche pomocou valivého pohybu guľôčky v rovine kolmej na os valca. Na meranie možno použiť namiesto guľôčky valček, ale v takom prípade treba upraviť vzťah (1).

Fyzikálna olympiáda – 67. ročník – úlohy domácej prípravy kat. B

Návrh a spracovanie úloh: Ľubomír Konrád, Aba Teleki (2), Ivo Čáp

Recenzia úloh: Aba Teleki, Ľubomír Mucha

Redakcia: Ivo Čáp

Úlohy preložil: Aba Teleki

Vydalo: Slovenská komisia fyzikálnej olympiády

Národný inštitút vzdelávania a mládeže, Bratislava 2025