

Fyzikálna olympiáda
 54. ročník, 2012/2013
 –kolské kolo
 kategória B
 zadanie úloh

1. Satelit Slnka

Na kruhnicovej orbite okolo Slnka sa pohybuje guový satelit, ktorého polomer je R . Predpokladajte, že energia vyfarovaná zo Slnka, ako aj z povrchu satelitu, podľa Stefanovho a Boltzmannovho zákona je priamoúmerná štvrtéj mocnine teploty T vyfarovanej plochy telesa. Lesklý povrch satelitu odráža $r = 10\%$ žiarenia dopadajúceho zo Slnka na povrch satelitu. Zo satelitu pozorujeme slnečný kotúč pod uhlom $\alpha = 0,500$ uhlového stupňa. Povrch Slnka má teplotu $T_S = 5780$ K.

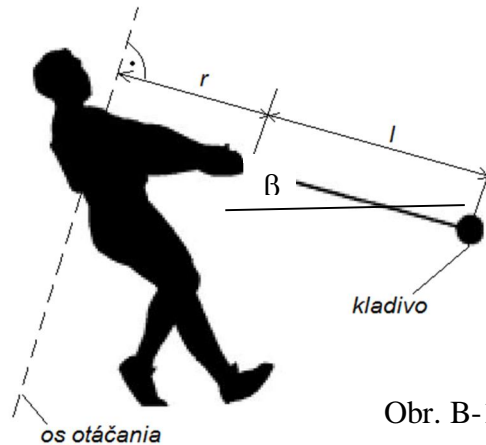
- Určte solárnu konštantu (výkon slnečného žiarenia dopadajúceho na plochu s obsahom 1 m^2 postavenú kolmo na smer dopadajúcich lúčov) na orbite satelitu.
- Určte teplotu T satelitu v stave termodynamickej rovnováhy.
- Z a) a b) riešenia úlohy posúďte vzťah medzi orbitou satelitu a orbitou Zeme.

Predpokladajte, že Slnko predstavuje dokonale čierne teleso a že v stave termodynamickej rovnováhy má celý povrch satelitu rovnakú teplotu. Potrebné konštanty vyhľadajte v MF tabuľkách.

2. Hod kladivom

Jednou z atletických disciplín je hod kladivom. Kladivo je homogénna guľa a s hmotnosťou $m = 7,265$ kg a priemerom $d = 13,0$ cm zavesená na lanku s dĺžkou $l = 1,20$ m. Svetový rekord v hode kladivom drží ruský atlét *Jurij Sedich*, ktorý hodil kladivo do vzdialenosti $s = 86,78$ m. Urobme fyzikálnu analýzu rekordného hodu. ¹⁾Portovec sa s kladivom najskôr roztáča rovnomerne zrýchleným pohybom s uhlovým zrýchlením $\alpha = 3,4 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-2}$, pričom guľa sa pohybuje po kružnici v rovine, ktorá zvierá s vodorovnou rovinou uhol $\beta = 35^\circ$, obr. B-1. Dĺžka rúk portovca $r = 89$ cm.

- V ktorom bode kruhnicovej trajektórie guľe pri poslednej otáčke kladiva musí atlét uvoľniť lanko, aby guľa doletela do maximálnej vzdialenosti. Určte pre tento prípad začiatočnú rýchlosť v_0 vrhu guľe, aby bola vzdialenosť hodu rovná hodnote s svetového rekordu.
- Koľko krát (N) sa kladivo otočilo okolo svojej osi počas rekordného letu vzduchom?



Obr. B-1

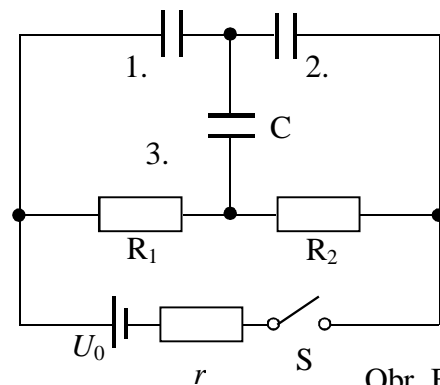
- c) Urte ve kos F_0 zotrva nej sily, ktorou je lanko napínané v okamihu pred uvo nením lanka. Akú hmotnos m' by malo teleso, ktorého tiafl by mala rovnakú ve kos ako sila F_0 ?
- d) Ko ko vlastných otá ok N_1 vykonal –portovec pri rekordnom hode?
- e) Urte stredný mechanický výkon P –portovca vynaložený na roztá anie kladiva pri rekordnom hode. Aká as p tohto výkonu pripadá na roztá anie gule okolo vlastnej osi rotácie?

Poznámka.: Vplyv lanka na pohyb gule po as jej letu a rozdiel vý-ky bodu vrhu a bodu dopadu neuvaflujte. Odpor vzduchu zanedbajte. Tiaflové zrýchlenie $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$.

Pomôcka: Moment zotrva nosti homogénnej gule s hmotnos ou m a priemerom d vzh adom na os prechádzajúcu jej hmotným stredom je $I_0 = (1/10) m d^2$.

3. Kondenzátory

Tri rovnaké kondenzátory 1, 2, 3 s kapacitami $C = 100 \mu\text{F}$ a dva rezistory s odpormi $R_1 = 10 \Omega$, $R_2 = 5,0 \Omega$ možno pomocou spína a S pripoji ku zdroju kon-stantného napätia s napätím $U_0 = 12 \text{ V}$ a vnútorným odporom $r = 2,0 \Omega$, obr. B-2. Na za iatku je spína S vypnutý a kondenzátory majú nulové napätia.



Obr. B-2

Spína S zapneme.

a) Stru ne vysvetlite, aké deje budú prebieha v elektrickom obvode a ako sa budú meni jednotlivé elektrické napätia a prúdy od okamihu zapnutia spína a afl do ustáleného stavu, v ktorom napätia a prúdy v obvode sa takmer nemenia. Nakreslite schému elektrického obvodu a vyzna te v om jednotlivé veli iny, ktoré popisujete.

b) Urte ustálené hodnoty napätí U_1 , U_2 , U_3 na kondenzátoroch.

Spína S vypneme.

c) Stru ne vysvetlite, analogicky ako v prípade a), aké deje budú prebieha v obvode od okamihu vypnutia spína a.

d) Akú elektrickú prácu W vykonajú kondenzátory, ako zdroje napätia, na rezistoroch s odpormi R_1 a R_2 po vypnutí spína a afl do ustáleného stavu?

4. Skrat ma vedení vysokého napätia (Ivo áp)

Vedenia vysokého napätia (22 kV) a ve mi vysokého napätia (110 kV, 220kV, 400 kV) sa pouffivajú na prenos elektrickej energie na vä –ie vzdialenosti. Pre jednoduchos si vedenie predstavme ako dvojvodi ové (v skuto nosti sa pouffivajú trojfázové troj- a –tvorvodi ové vedenia).

- Aký prúd I prechádza vodi mi vedenia, ak pri napätí $U = 110$ kV je príkon koncových zariadení pripojených na vedenie $P = 50$ MW?
- Ur te hmotnos m_0 hliníkového vodi a s d fkou $l = 1,0$ m, ktorý možno pouffi na prenos elektrickej energie v prípade a), ak normalizovaná prúdová hustota pre hliníkový vodi je $J_{\max} = 1,0$ A·mm⁻². Hustota hliníka $\rho = 2,7 \cdot 10^3$ kg/m³.

Medzi vodi mi vedenia pôsobí magnetická sila. Uvaflujte vzdialenos vodi ov vedenia $d = 50$ cm. Vodi e sú zavesené na izola ných závesoch s d fkou $L = 1,0$ m a malou hmotnos ou vzh adom na hmotnos elektrického vedenia. Magnetická kon-tanta vákua $\mu_0 = 4 \pi \times 10^{-7}$ H·m⁻¹.

- Ur te smer a ve kos a sily vzájomného pôsobenia vodi ov v prípade prenosu elektrickej energie pod a bodu a). Ur te tiefl výchylku α závesov od zvislého smeru v dôsledku vzájomného pôsobenia vodi ov.

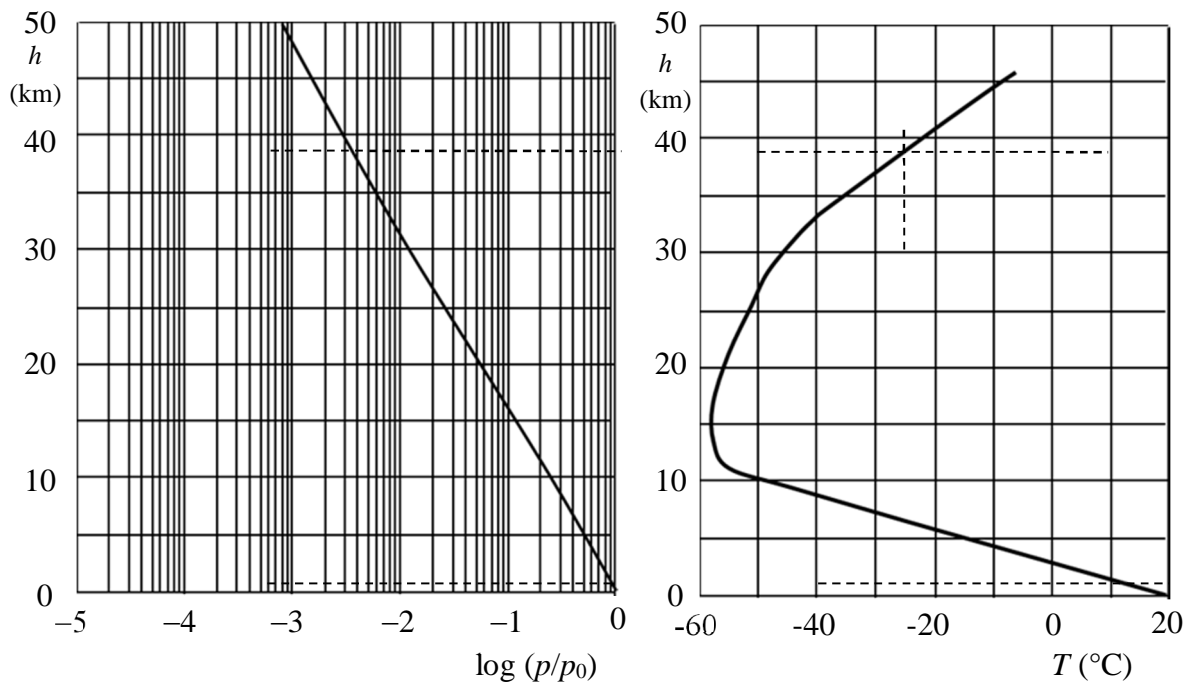
Pri skratoch môflu vo vedení prechádza za krátky as ve mi vysoké prúdy. Hovorí sa, fle tieto skratové prúdy môflu vyvola spojenie vodi ov a tým trvalý skrat. Pri tomto deji sa zavesený vodi správa ako kyvadlo s dobou kmitu T podstatne dlh-ou ako as τ trvania krátkodobého skratu.

- Ur te ve kos skratového prúdu I_{skr} pri dobe trvania skratu $\tau = 10$ ms, aby do-lo k vzájomnému kontaktu vodi ov v dôsledku ich vzájomného pôsobenia. Overte správnos predpokladu $\tau \ll T$.

Pozn.: Skratové prúdy na vysokonapä ových vedeniach dosahujú afl desiatky kA.

5. Rekordný skok Felixa Baumgartnera

D a 14. 10. 2012 uskuto nil Felix Baumgartner svoj rekordný skok zo stratosféry, pri ktorom prekonal nieko ko rekordov. I-lo o najvy-í výstup balónu do stratosféry do vý-ky $h_m = 39\,045$ m, po $t_1 = 40$ s vo ného pádu a vo vý-ke $h_1 \approx 33,5$ km dosiahol rýchlos pádu rovnú rýchlosti zvuku (v danej vý-ke $v_s \approx 310$ m·s⁻¹), dosiahol aj najvä –iu rýchlos $v_m = 1\,342,8$ km/h pádu vo vý-ke $h_2 \approx 30,5$ km a prekonal tak výrazne rýchlos zvuku. Celkove letel vo ným pádom $t_2 = 4$ min 22 s. Vo vý-ke $h_3 = 1\,500$ m nad Zemou otvoril padák a al-ích 5 min sa zná-al k Zemi. Na výstup pouffil balón z tenkej polyetylénovej fólie s hrúbkou $\delta = 0,0200$ mm naplnený héliom. Hmotnos balóna bez náplne bola $m_1 = 1\,682$ kg, hmotnos zavesenej kapsule $m_2 = 1\,360$ kg a hmotnos skokana so skafandrom $m_3 = 117$ kg. Závislos tlaku a teploty od vý-ky znázor uje graf na obr. B-3, $p_0 \approx 101$ kPa. Zaujímavé detaily možno nájs na stránke <http://www.redbullstratos.com>.

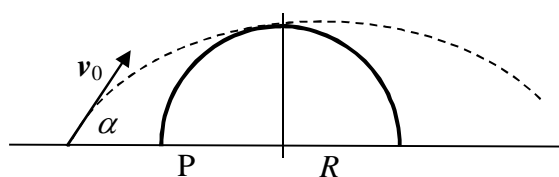


Obr.B-3. Závislos tlaku a teploty atmosféry od vý-ky nad povrhom Zeme

- Na povrhu Zeme sa do balónu na erpá také množstvo hélia aľ sa balón za ne vzná-a . Pri stúpaní sa objem balónu zvä -uje, pri om tlak a teplota hélia sú rovné tlaku a teplote okolitého vzduchu. Balón stúpa aľ kým nedosiahne vo vý-ke h_m svoj maximálny objem V_m daný rozmermi fólie. Ur te hmotnos m_{He} hélia v balóne a objem V_m balóna vo vý-ke h_m . Aký priemer d_m tomuto objemu zodpovedá, ak predpokladáme, že balón nadobudol vo vý-ke h_m približne tvar gule? Aký objem V_0 mal balón pri -tarte na povrhu Zeme?
- Ur te hustotu ρ_m vzduchu vo vý-ke h_m a pomer ρ_m/ρ_0 , kde ρ_0 je hustota vzduchu v mieste -tartu. Predpokladajte, že zloženie vzduchu sa vý-ku nemení a molárna hmotnos vzduchu $M_{vz} = 29,0 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$.
- Ur te čas t_1^* , za ktorý by dosiahol skokan rýchlosť zvuku v_s , a tomu zodpovedajúcu vý-ku h_1^* , keby nepôsobil odpor vzduchu. Uváľte, či má pri tak nízkej hustote vzduchu odpor vzduchu vplyv na pohyb skokana .
- Uvaľte odpor vzduchu pri pohybe telesa daný Newtonovým vz ahom pre odporovú silu $F = (1/2) \rho v^2 S_x c_x$, kde S_x je obsah prie neho prierezu telesa a c_x faktor dynamického odporu. Pre š-ípovú polohu skokana uvaľte $c_x \approx 0,100$. Ur te efektívnu hodnotu S_x pri najvä -ej dosiahnutej rýchlosti pádu a výsledok porovnajte s reálnou hodnotou $S_x^* \approx 0,500 \text{ m}^2$.
- Pri poklese do men-ej vý-ky narastá hustota vzduchu a tým aj odporová sila. Pád sa postupne brzdí a skokan postupne zaujme polohu šnaplochoď, aľ vo vý-ke h_3 skokan otvorí padák. Pre bezpečné otvorenie padáka nesmie by rýchlosť pádu vä -ia ako 277 km/h. Ur te rýchlosť pádu vo vý-ke h_3 , ak je tiažová sila v rovnováhe so silou odporovou. Pri páde šna plochoď je $c_x \approx 1,00$ a $S_x \approx 1,20 \text{ m}^2$.

6. Vrh cez prekážku

Na vodorovnej rovine je prekážka tvaru polgule s polomerom R , obr. B-6. Máme k dispozícii katapult, ktorý vrhá kamenné gule.



Obr. B-6

- Urte maximálnu výšku h_m , ktorú dosiahne gu a vrhnutá rýchlosť v_0 pod uhlom α . Aký je polomer r_m krivosti trajektórie gu v najvyššom bode?
- Urte najmenšiu rýchlosť v_{01} , ktorá je potrebná na to, aby gu a preletela na druhú stranu za polgu a dopadla na vodorovnú plochu. Do akej vzdialenosti d od päty P polgu treba katapult v tomto prípade umiestniť a aký musí byť uhol vrhu α_1 ?

7. Vyetovanie kmitov fyzikálneho kyvadla

Úlohy:

- Odvoďte všeobecný vzťah pre dobu kmitu T fyzikálneho kyvadla.
- Odvozený výraz upravte pre prípad kyvadla tvoreného tenkou tyčou, kmitajúcou okolo ubovo nej osi kolmej na tyč v zvislej rovine.
- Pre kyvadlo určíte dĺžku zostrojte graf teoretickej závislosti doby kmitu T od vzdialenosti d osi otáčania od ňáviska tyče.
- Kyvadlo s dĺžkou podľa c) realizujte pomocou tenkej tyče s otvormi pre os otáčania.
- Odmerajte dobu kmitu kyvadla pre rôzne osi (zvoďte min. 10 osí pozdĺž jednej polovice tyče) a výsledky vyneste do grafu s krivkou teoretickej závislosti. Posúďte súhlas výsledkov merania s teoretickým výpočtom. Z krivky určte minimálnu periódu T_m a jej zodpovedajúcu vzdialenosť d_m osi otáčania od ňáviska.
- Pomocou všeobecného vzťahu pre dobu kmitu dokážte, že pre dvojicu osí s rovnakou periódou a rôznymi vzdialenosťami d_1 a d_2 od ňáviska sú tieto $d_1 + d_2$ závisí iba od doby kmitu T a nezávisí od tvaru telesa kyvadla. Výsledok overte pre niektoré hodnoty získaných z grafu.

Pozn.: Polohu ňáviska tyče určte experimentálnou pomocou rovnováhy vo vodorovnej polohe na podložnej ostrej hrane.

Otvory urobte čo najmenšie, aby nenarušili významne homogenitu tyče.

Vzhľadom na presnosť merania určte periódu z merania času dostatočne veľkého počtu kmitov kyvadla.

Fyzikálna olympiáda, 54. ročník Úlohy –kolského kola kategórie B

Autori úloh: Daniel Klivanec (B1-B3), Dušan Nemeč (B2), Ľubomír Konrád (B3), Ivo Šáp (B4-B7)

Recenzia: Daniel Klivanec, Ivo Šáp

Redakčná úprava: Ivo Šáp

Slovenská komisia fyzikálnej olympiády

Vydal: IUVENTA a Slovenský inštitút mládeže, Bratislava 2012