

66. ročník Fyzikálnej olympiády
v školskom roku 2024/2025
domáce kolo kategória D
text úloh

1. Rozbeh vlaku

Cestujúci čakal na vlak v čakárni, ktorá mala okno smerom na nástupište. Na prvom nástupišti stál nákladný vlak pripravený na odchod. Čas čakania si skrátil pozorovaním vlaku. Všimol si, že lokomotíva má označenie 386 040 - 0 a vozne s označením Eas 5947 boli plne naložené, obr. D–1.



Obr. D–1

Keďže mal v ruke mobil, našiel si na internete parametre lokomotívy (dĺžka $\ell_L = 18,9$ m, hmotnosť $m_L = 85$ t, polomer kolies $R_L = 625$ mm, maximálna ťahová sila $F_{Lmax} = 300$ kN, maximálny trvalý výkon $P_{Lmax} = 5,6$ MW) a vozňa (max. hmotnosť naloženého vozňa $m_V = 80$ t, dĺžka vozňa medzi nárazníkmi $\ell_V = 14$ m, polomer kolesa $R_V = 480$ mm). Pred oknom stál práve predok lokomotívy. Otvoril si v mobile aplikáciu stopky a čakal, až sa vlak pohne. Keď sa vlak pohol, stopky spustil. Ako prvý si stopol medzičas $t_1 = 18,58$ s, keď okolo okna prechádzal spoj lokomotívy a prvého vagóna. Druhý medzičas $t_2 = 89,55$ s si stopol, keď okolo okna prechádzal koniec vlaku.

- Určte zrýchlenie a vlaku počas rozbiehania.
- Aký počet n vagónov cestujúci zistil z nameraných časových údajov?
- Akou rýchlosťou v_n prechádzal okolo okna koniec posledného vagóna?

Potom sa vrátil k zisteným parametrom a ďalej počítal s plne naloženými vagónmi.

- Akú maximálnu ťahovú silu F_{Lm} lokomotívy by bolo možné dosiahnuť, ak predpokladáme, že faktor statického trenia medzi oceľovým kolesom a oceľovou koľajnicou je $f = 0,40$.
- Aká je sila F_o valivého odporu vlaku, ak rameno valivého odporu na styku oceľové koleso– oceľová koľajnica je $\xi = 0,4$ mm, a aký výkon P_L motorov lokomotívy je potrebný na rovnomerný pohyb vlaku rýchlosťou $v_0 = 90$ km/h na vodorovnej trati?
- Bol by vlak schopný prekonať úsek trate so stúpaním 10 m/1 km a aká by bola jeho rýchlosť pri využití maximálneho výkonu lokomotívy?

Úlohu riešte všeobecne a potom pre dané hodnoty $g = 9,8$ m·s⁻².

Predpokladajte, že po celú dobu sa vlak v stanici rozbiehal rovnomerne zrýchleným pohybom.

2. Cesta vlakom

Režim vlaku sleduje počítač, ktorý pomocou senzorov zobrazuje okamžitú rýchlosť (tachometer) a v pamäti zaznamenáva časovú závislosť rýchlosti vlaku (tachograf). Pomocou tohto záznamu je možné kontrolovať, či rušňovodič dodržiaval predpísané rýchlosti na trati.

Keď išli žiaci na exkurziu, rozhodli sa, že si spravia vlastný záznam rýchlosti vlaku. Do vlaku si zobrali stojanček s uhlomerom, obr. D–2, s guľôčkou zavesenou na niti upevnenej horným koncom v strede uhlomeru.

Stojanček postavili vo vlaku na vodorovný stolík tak, že zvislá rovina uhlomera bola rovnobežná so smerom jazdy vlaku. Počas jazdy sa niť s guľôčkou vychýľovala zo zvislého smeru o uhol, ktorý merali na uhlomere. Súčasne na mobile merali čas.

Keď sa vlak pohol zo stanice, nastavili na stopkách čas $t_0 = 0$ s. Počas rozbiehania vlaku sa niť vychýlila zo zvislej polohy o uhol $\alpha_1 = 4,5^\circ$, a táto výchylka zostávala nezmenená po dobu $t_1 = 25$ s. Potom sa niť vrátila do zvislej polohy a zostala v nej po dobu $t_2 = 5$ min 20 s. Potom začal vlak spomaľovať, niť sa vychýlila zo zvislej polohy o uhol $\alpha_2 = 2,5^\circ$ a zostala tak až do zastavenia. Trať medzi stanicami bola priama.

- Nakreslite obrázok s niťou vychýlenou zo zvislej polohy a vyznačte v ňom sily pôsobiace jednak na niť a jednak na guľôčku vo vzťažnej sústave spojenjej so stolíkom. Jednotlivé sily opíšte a uveďte, o aký pohyb v jednotlivých úsekoch trate ide.
- Určte maximálnu rýchlosť v_m , ktorú vlak počas jazdy dosiahol.
- Určte dobu t_3 , po ktorú sa vlak pohyboval spomaleným pohybom.
- Zostrojte graf rýchlosti pohybu vlaku ako funkciu času.
- Určte celkovú dráhu, ktorú vlak prešiel z východiskovej stanice až do stanice, v ktorej zastavil.

Tiažové zrýchlenie $g = 9,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. Hmotnosť nite neuvažujte.

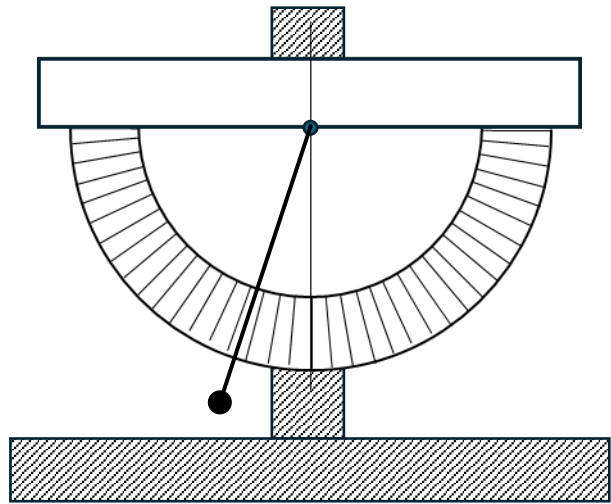
3. Pohyb puku

Pri tréningu žiackeho hokejového družstva tréner nafilmoval strelu jedného žiaka na bránu. Žiak si pozrel záznam a zistil, že vystrelil na bránu zo vzdialenosti $D = 15$ m, po uplynutí času $\tau = 0,70$ s bol puk vo vzdialenosti $d_1 = 9,0$ m od bránky a po uplynutí dvojnásobného času 2τ vo vzdialenosti $d_2 = 3,4$ m od bránky.

Na základe týchto údajov si chcel vypočítať niektoré charakteristiky pohybu puku. Pomôžte mu vypočítať nasledujúce údaje:

- Faktor trenia f medzi pukom a ľadom (predpokladajte, že pozdĺž celej dráhy puku je rovnaký),
- rýchlosť v_0 , ktorou puk vystrelil,
- rýchlosť v_b , ktorou puk prechádzal bránkovú čiaru.
- Zistite ďalej, za aký čas t_z by puk zastavil, keby mal možnosť pohybovať sa po ľade do ľubovoľnej vzdialenosti a vzdialenosť d_z od bránkovej čiary, v ktorej by zastavil.

Tiažové zrýchlenie $g = 9,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. Puk sa pohybuje kolmo na bránkovú čiaru.



Obr. D–2

4. Sústava telies

Na dvoch kladkách K1 a K2 sú pomocou pevných a nerozťažných vlákien v1 a v2 zavesené tri telesá T1, T2 a T3 s hmotnosťami m_1 , m_2 a $m_3 > m_2$, obr. D-3.

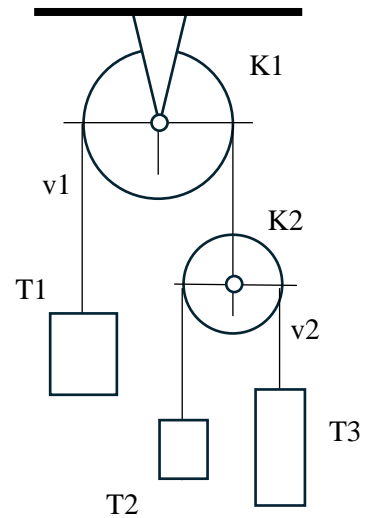
Telesá nastavíme do označených polôh a po uvoľnení ich necháme voľne pohybovať. Trecie sily v osiach kladiek sú zanedbateľne malé a neuvažujte ich.

- a) Prekreslite obrázok a vyznačte v ňom všetky sily, ktoré pôsobia na kladky a telesá počas voľného pohybu.

V ďalšej časti považujte hmotnosti kladiek a vlákien za zanedbateľne malé v porovnaní s hmotnosťami telies a ich vplyv na pohyb telies neuvažujte.

- b) Určte zrýchlenie pohybu jednotlivých telies.
c) Na vlákno v2 zavesíme telesá s hmotnosťami $m_2 = 50$ g a $m_3 = 30$ g. Akú hmotnosť m_1 musí mať teleso T1, aby po uvoľnení sústavy zostalo v pokoji? Určte v tomto prípade zrýchlenie telies T2 a T3.
d) Na vlákno v1 zavesíme teleso T1 s hmotnosťou $m_1 = 80$ g a na vlákno v2 teleso T2 s hmotnosťou $m_2 = 50$ g a teleso T3. Akú hmotnosť m_3 musí mať teleso T3, aby po uvoľnení sústavy zostalo v pokoji? Určte v tomto prípade zrýchlenia telies T1 a T2.

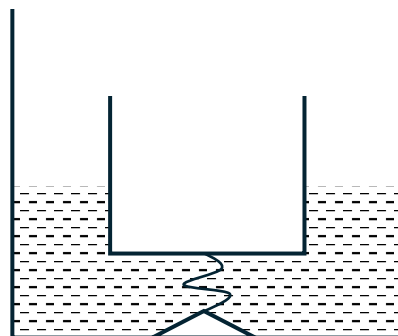
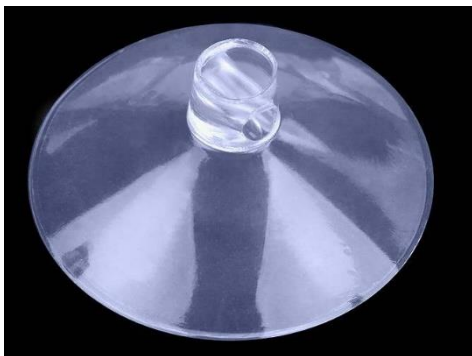
Uvažujte tiažové zrýchlenie $g = 10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.



Obr. D-3

5. Prísavka LK

Určite poznáte gumové alebo plastové prísavky, ktoré slúžia k prichytení predmetov k hladkým povrchom, obr. D-4.



Obr. D-4

Prísavku pritlačíme k čistej hladkej ploche tak, aby sa spod nej vytlačil všetok vzduch, pričom prísavka pokrýva plochu S_1 hladkej plochy. Prísavky sa vyrábajú z materiálov, ktoré dokonale priľahnú k hladkej ploche.

- a) Vysvetlite princíp fungovania prísavky na vzduchu a určte silu, ktorá je potrebná na odtrhnutie prísavky.

Chlapci sa rozhodli vyskúšať prísavku vo vode. Ku dnu veľkej nádoby pripevnili malú prísavku s obsahom dotykovej plochy S_1 a k nej pomocou tenkej nite s dĺžkou ℓ pripevnili prázdnu menšiu valcovú nádobu s obsahom dna S_2 a hmotnosťou m , obr. D–4 vpravo. Potom začali do veľkej nádoby nalievať vodu. Keď voda vo veľkej nádobe dosiahne výšku, pri ktorej je menšia nádoba ponorená vo vode do hĺbky h_1 , pri ďalšom nalievaní vody do veľkej nádoby začne menšia nádoba vo vode stúpať, až kým sa niť nevyrovná.

- b) Určte hĺbku h_1 .

Potom pokračujú v nalievaní vody do veľkej nádoby.

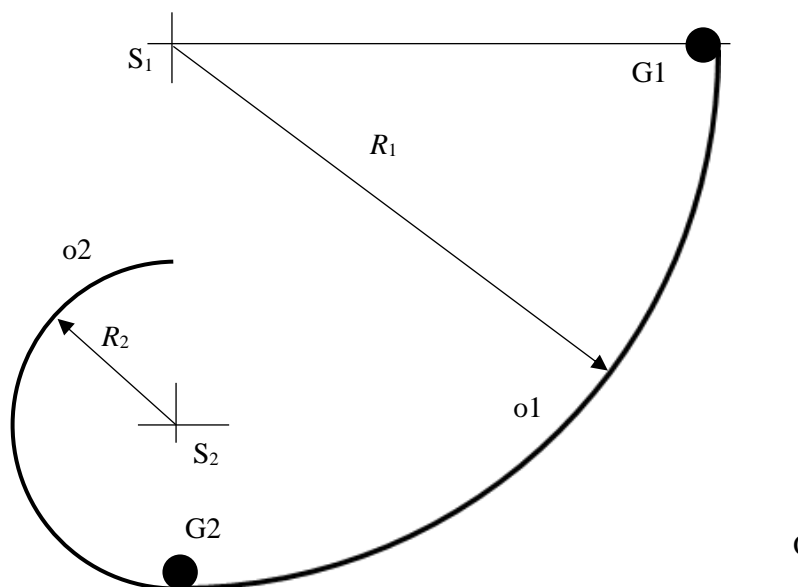
- c) Určte výšku H_m hladiny vody vo veľkej nádobe, keď sa prísavka oddelí od jej dna.

Úlohu riešte všeobecne a potom pre hodnoty: $S_1 = 10 \text{ cm}^2$, $S_2 = 600 \text{ cm}^2$, $p_a = 100 \text{ kPa}$, $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, $\ell = 50 \text{ mm}$, $m = 900 \text{ g}$.

Predpokladajte, že nádoby sú dostatočne vysoké a dno menšej nádoby je pri nalievaní vody vodorovné. Výšku prísavky neuvažujte.

6. Zrážka v žľabe

Na experiment s pohybom guľôčky použili žľab zostavený z dvoch častí. Na oblúk o1 s polomerom R_1 nadväzuje v najnižšom bode oblúk o2 s polomerom R_2 , ktorý sa končí v jeho najvyššom bode, obr. D–5.



Obr. D–5

V najvyššom bode žľabu o1 vo výške R_1 nad najnižším bodom žľabu uvoľníme guľôčku G1 s hmotnosťou m_1 , ktorá sa kĺže do najnižšieho bodu, kde narazí do druhej rovnako veľkej guľôčky G2 s hmotnosťou m_2 , a tá pokračuje po oblúku o2. Predpokladajme, že trenie medzi guľôčkami a žľabmi je nulové a rozmery guľôčok sú veľmi malé v porovnaní s polermi oblúkov. Zrážku guľôčok považujte za dokonale pružnú.

- a) Určte pomer $k = R_1/R_2$ polomerov oblúkov, aby guľôčka G2 prešla najvyšším bodom žľabu o2.
 b) Akú maximálnu výšku h_{m1} dosiahne po zrážke guľôčka G1 a do akej maximálnej výšky h_{m2} vystúpi guľôčka G2, ak $R_1 = 2R_2$ v prípadoch pomeru $p = m_2/m_1$: $p_1 = 0,5$ a $p_2 = 2,0$?

7. Meranie ramena valivého odporu – experiment

Proti valivému pohybu telesa pôsobí odporová sila, ktorú označujeme ako valivý odpor. Tento odpor závisí jednak na kvalite dotykových povrchov, jednak na polomere ich zakrivenia. Z vlastnej skúsenosti vieme, že na bicykli sa lepšie ide po betónovej ploche ako po piesku, alebo kočík sa v snehu lepšie tlačí, ak má veľké kolesá.

Ak sa teleso s kruhovým prierezom valí vo rovinnej podložke, vyjadruje silu valivého odporu vzťah

$$F_o = \frac{\xi}{R} F_n, \quad (1)$$

kde ξ je rameno valivého odporu, R polomer krivosti povrchu telesa a F_n prítláčná sila telesa k podložke.

Úloha

Sledujte valivý pohyb telesa a určte rameno valivého odporu.

Pomôcky: Smartfón s aplikáciou stopky, dĺžkové meradlo (zvinovací meter, pásmo), pre experiment použite bicyklové koleso.

Postup:

1. Pre meranie použite predné bicyklové koleso, ktoré sa dá jednoducho demontovať. Vyhľadajte dlhšiu priamu vodorovnú dráhu s dĺžkou približne 30 m (napr. ihrisko, málo používaný chodník a pod.). Dráhu rozdeľte rovnomerne na kratšie úseky, napr. po 2 m. Hranice úsekov viditeľne označte značkami, napr. kolíkmi, hárkami papiera. Dĺžky úsekov zmerajte meracím pásmom. Zmerajte polomer R kolesa.
2. Pre experiment zvolte čas úplného bezvetria. Pre meranie požiadajte pomocníka, ktorý uvedie koleso do pohybu alebo bude merať čas. Najprv treba vyskúšať štartovaciu rýchlosť, aby koleso prešlo priamo vyznačenú trasu. Pri vlastnom meraní na stopkách v smartfóne treba zachytiť medzičasy zodpovedajúce prechodom okolo jednotlivých značiek.
3. Časy a dráhu od štartu po jednotlivé značky zapíšte do tabuľky.
4. Údaje z tabuľky zaznamenajte do grafu dráhy ako funkcie času. Potom zostrojte hladkú krivku, ktorá čo najlepšie zodpovedá nameraným bodom (body nespájajte úsečkami). Graf zostrojte na dostatočne veľkom milimetrovom papieri, aby sa z neho dali dostatočne presne odčítať hodnoty.
5. Časovú os rozdeľte rovnomerne na malé intervaly tak, aby bola krivka dráhy v jednotlivých intervaloch približne priama, napr. po jednej sekunde. Do novej tabuľky zapíšte časy zodpovedajúce tomuto rovnomernému rozdeleniu a k nim odčítajte dráhu z grafu.
6. Pre každý interval učte priemernú rýchlosť a zostrojte graf rýchlosti ako funkcie času, pričom stredu časových intervalov priradte vypočítanú priemernú rýchlosť.
7. Keďže predpokladáme konštantnú brzdiacu silu, očakávame lineárnu časovú závislosť rýchlosti. Bodmi grafu preto preložte najpravdepodobnejšiu priamku. Zo sklonu tejto priamky určte zrýchlenie pohybu kolesa.
8. S použitím definičného vzťahu (1) určte rameno valivého odporu.
9. Experiment zopakujte za iných podmienok, napr. koleso iného priemeru, koleso s vypustenou pneumatikou (mäkké), na inom povrchu. Z porovnania výsledkov posúďte vplyv rôznych podmienok na valivý odpor.
10. V tabuľkách vyhľadajte hodnoty ramena valivého odporu pre rôzne dvojice materiálov podložky a kolesa a posúďte ich praktické dôsledky.

Pozn.: Experiment možno urobiť aj s iným telesom, napr. loptou, skleneným valcom na rôznych podložkách. Teleso počas pohybu nesmie preklzávať.

Fyzikálna olympiáda – 66. ročník – úlohy domáceho kola kat. D

Návrh a úprava úloh: Lubomír Konrád, Ivo Čáp

Recenzia úloh: Lubomír Mucha, Aba Teleki

Redakcia: Ivo Čáp

Úlohy preložil: Aba Teleki

Vydalo: Slovenská komisia fyzikálnej olympiády
Národný inštitút vzdelávania a mládeže, Bratislava 2024