

## EKSPERIMENTINĖ UŽDUOTIS

Eksperimentinis laisvojo kritimo pagreičio įvertinimas svyruokle

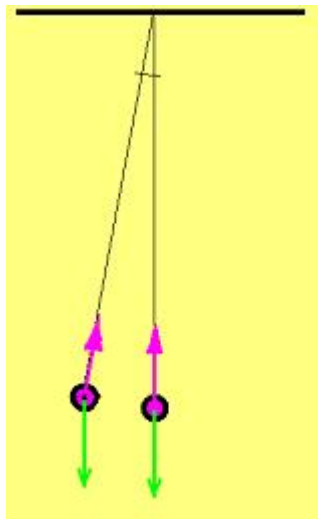
### I. UŽDUOTIS

- 1.1. Pasirinkite kelias skirtingas vietas, iškilusias į skirtingą aukštį virš jūros lygio, kad tarp jų būtų kuo didesnis aukščių skirtumas. Vietą galima pasirinkti savo nuožiūra, tačiau reikėtų pateikti jų aukštį virš jūros lygio ir geografines koordinates (šiaurės platumą, rytų ilgumą laipsniais-minutėmis-sekundėmis). Vieta turėtų būti Lietuvoje ir pasiekama be apribojimų (pvz., Kaune, Ažuolyne, Zoologijos sode liūto narvas turėtų būti įvardinamas kaip visiškai netinkamas šiam bandymui ☺ ). Vilniaus apylinkėse tiktų Juozapinės kalnas (aukščiausia vieta), ozas ir kažkuri gerokai žemesnė vieta.
- 1.2. Pasirinktose vietovėse sumontuojama svyruoklė.
- 1.3. Kūną išvedus iš pusiausvriosios padėties, stebimi svyravimai. Suskaičiavus svyravimų skaičių per ilgą laiko tarpą (kol dėl pašalinių poveikių nepasikeitė svyravimo pobūdis), apskaičiuojamas svyravimų periodas. Svyruoklės ilgis išmatuojamas dideliu tikslumu. Matavimai kartojami keliasdešimt kartų.
- 1.4. Pagal konstrukciją įvertinus sukonstruotos svyruoklės artinį, atliekami laisvojo kritimo pagreičio  $g$  skaičiavimai - matematinės svyruoklės arba fizikinės svyruoklės formulėmis. Skaičiuojant pagal fizikinės svyruoklės formulę, dar reikia papildomai suskaičiuoti inercijos momentą ir jėgų momentą. Būtina pagrįsti pasirinkimą.
- 1.5. Laisvojo kritimo pagreičio  $g$  skaičiavimai atliekami dideliu tikslumu, surinkus didelį kiekį statistinių duomenų (pvz., 50 bandymų po 200 svyravimų arba dar gerokai daugiau). Gautas rezultatas įvertinamas, naudojant Stjudento koeficientų techniką.
- 1.6. Padaryti išvadas: a) apie laisvojo kritimo pagreičio vertės reikšminių skaitmenų po kablelio kiekį, b) apie laisvojo kritimo pagreičio priklausomybę nuo aukščio virš jūros lygio Lietuvos sąlygomis, c) apie bandymo svyruokle tinkamumą tokiam  $g$  nustatymui.
- 1.7. Būtina pateikti nufotografuotą, o jei įmanoma – ir nufilmuotą bandymą \*.avi arba \*.mpeg formatu – fotoaparatu, vaizdo kamera arba mobiliuoju telefonu. Foto ir filmuotoje medžiagoje turi būti aiškūs planai: a) bendras planas - svyruoklė su atrama, kartu su autoriumi ne mažiau kaip DVIEJOSE vietovėse; b) stambus planas – materialus taškas, kablys, pakabinimo taškas, siūlas, c) filmavimo atveju – svyravimo eiga bent dvi minutes.

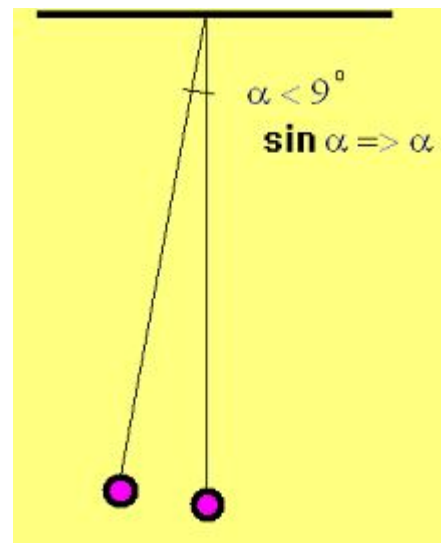
Užduotį rengė doc. dr. Alytis Gruodis, ji turi būti atlikta namuose iki 2008-2009 m.m. pavasario sesijos 2009 m. kovo mėn. Į šią sesiją reikia atsivežti bandymui naudotą savo įrangą.

## II. TEORIJA

- 2.1. Svyravimas.** Fizikinis kūnas, pakabintas už pakabos taško, pusiausvirojoje būsenoje nejuda. Sunkio jėgos vektorius ir siūlo įtempimo jėgos vektorius yra antilygiagretūs (nukreipti priešingomis kryptimis, žr. 1 pav.). Kai vienkartinis išorinis trikdys išveda kūną iš pusiausvyros padėties nejudančio atramos arba pakabos taško atžvilgiu, tada kūnas pradeda svyruoti apie pusiausvirąją padėtį. Svyravimas suprantamas kaip sudėtinis sukamasis judesys, periodiškai pakeičiant sukimosi kryptį. Tai dvigubas vyksmas – kūnas, pakabintas už pakabos taško, dėl periodinių jėgų poveikio nuolat sugrįžta į pusiausvirąją būseną, ir taip pat kūnas, sugrįžęs į pusiausvirąją padėtį, dėl inercijos iš jos išeina. Abu šie įvykiai kartojasi.
- 2.2. Matematinė svyruoklė** – tai **materialus** taškas, pakabintas ant netąsaus netampraus siūlo, kuris gali atlikti periodinius harmoninius svyravimus nejudančio atramos arba pakabos taško atžvilgiu (2 pav.). Į pusiausvyros padėtį kūną grąžina sunkio jėgos ir siūlo įtempimo jėgos atstojamoji. Svyravimai prasideda, kai vienkartinis išorinis trikdys išveda kūną iš pusiausvyros padėties atstumu, daug kartų mažesniu už svyruoklės ilgį. Idealiu atveju, jeigu siūlo ir pakabinimo vietos trinties jėgos bei oro pasipriešinimo jėgos būtų minimizuotos, svyruoklė svyruotų neapibrėžtai ilgą laiko tarpą.



1 pav. Kūno sunkio jėga ir siūlo įtempimo jėga, antilygiagrečios tik pusiausvirojoje būsenoje. Vienkartiniam išoriniam trikdžiui išvedus kūną iš pusiausvyrosios padėties, kūnas atsideria nuokrypos būsenoje.



2 pav. Matematinė svyruoklė. Po vienkartinio trikdžio poveikio buvo realizuotas materialaus taško atsilenkimas nuo pusiausvyros padėties labai mažu kampu.

Svyravimų periodas  $T$  skaičiuojamas pagal formulę:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}, \quad (1)$$

čia  $L$  – matematinės svyruoklės (siūlo) ilgis, o  $g$  – laisvojo kritimo pagreitis. Svyravimai yra harmoniniai, kai materialus taškas išvedamas iš pusiausvyros padėties atstumu, daug kartų mažesniu už svyruoklės ilgį.

**2.3. Fizikinė svyruoklė.** Kai realus fizikinis kūnas svyruoja nejudančio pakabos ar atramos taško atžvilgiu, tai tik atskiru atveju visa kūno masė yra sukoncentruota į materialųjį tašką. Bendroju atveju svyravimų periodas  $T$  skaičiuojamas pagal formulę:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I_A}{M}}, \quad (2)$$

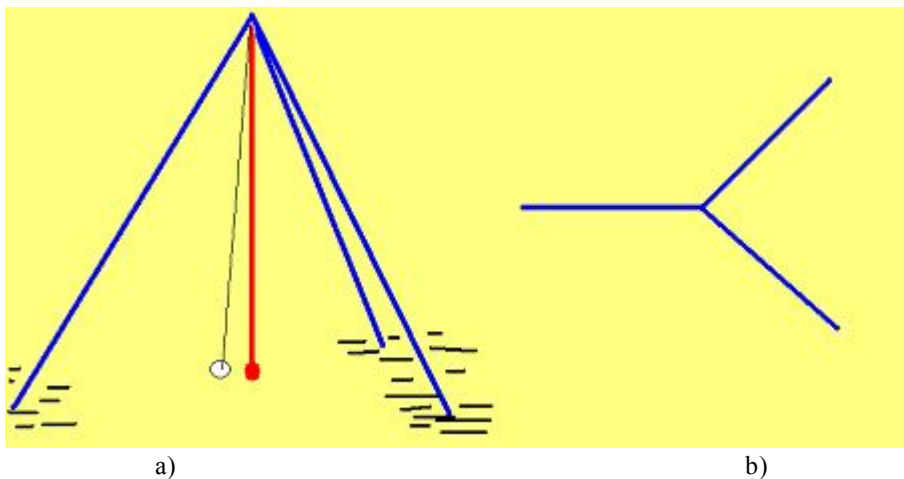
čia  $I_A$  – fizikinio kūno inercijos momentas pakabos taško atžvilgiu, o  $M$  – maksimalus jėgų gražinančių kūną į pusiausvyros padėtį jėgų momentas. Jei visa realaus kūno masė yra sukoncentruota į materialųjį tašką, kurį galima apibrėžti pakabos taško atžvilgiu, tai tokiu atveju fizikinė svyruoklė traktuojama kaip matematinė:

$$I_A = mL^2, \quad (3)$$

$$M = mgL, \quad (4)$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I_A}{M}} = 2\pi\sqrt{\frac{mL^2}{mgL}} = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}. \quad (5)$$

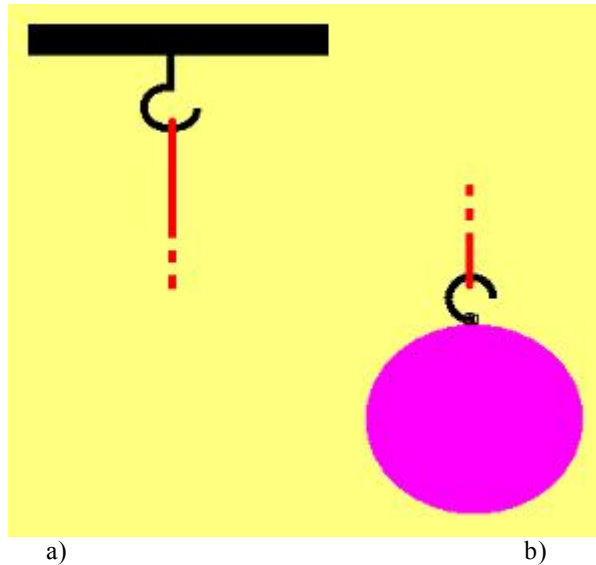
**2.4. Svyrų konstrukcija.** Svyruoti gali bet koks fizikinis kūnas, pakabintas už pakabos taško. Tačiau yra labai sudėtinga aprašyti minkšto kūno svyruojamąjį judesį. Toliau bus nagrinėjamas standusis kūnas. Ideali konstrukcija, norint fiksuoti pakabos tašką – tai piramidė (žr. 3 pav.)



3 pav. Piramidės konstrukcija matematinės svyruoklės pakabos taško fiksavimui: a) vaizdas iš šono; b) vaizdas iš viršaus. Matematinės svyruoklės pusiausvyros padėtis pavaizduota raudonai.

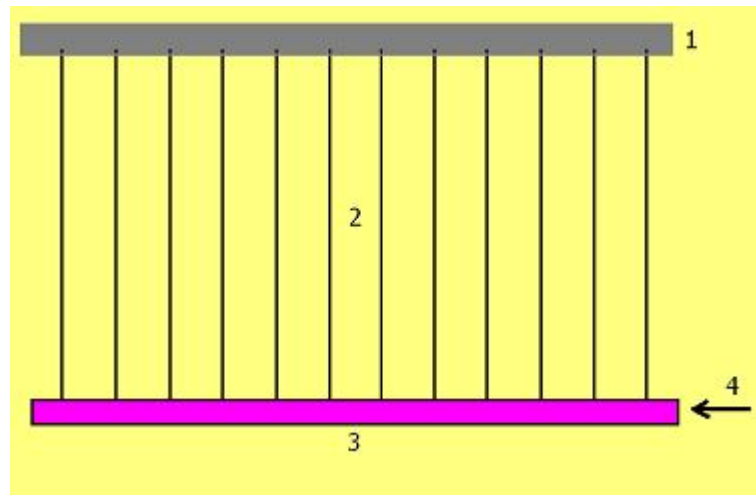
4 pav. pateikti matematinės svyruoklės konstrukciniai elementai: pakabos kablys ir fizikinio kūno kablys. Siekiant sumažinti trinties jėgų poveikį, reikia parinkti kuo glotnesnį kablių paviršių. Geriausia, kad pakabinimo siūlas būtų šilkinis.

Kabinant realų fizikinį kūną ant siūlo, reikia įsitikinti, kad TIKRAI yra pašalinto s (arba bent sumažintos iki minimumo) oro pasipriešinimo jėgos. Kūno paviršiaus plotas turi būti kuo mažesnis. Vadinas, a) reikia imti kuo didesnio tankio kūną; b) kūno geometriniai matmenys turi būti bent dešimt ar daugiau kartų mažesni už atstumą iki pakabos taško. Siūlytina, kad atstumas nuo kūno masės centro iki pakabos taško būtų 2–3 m.

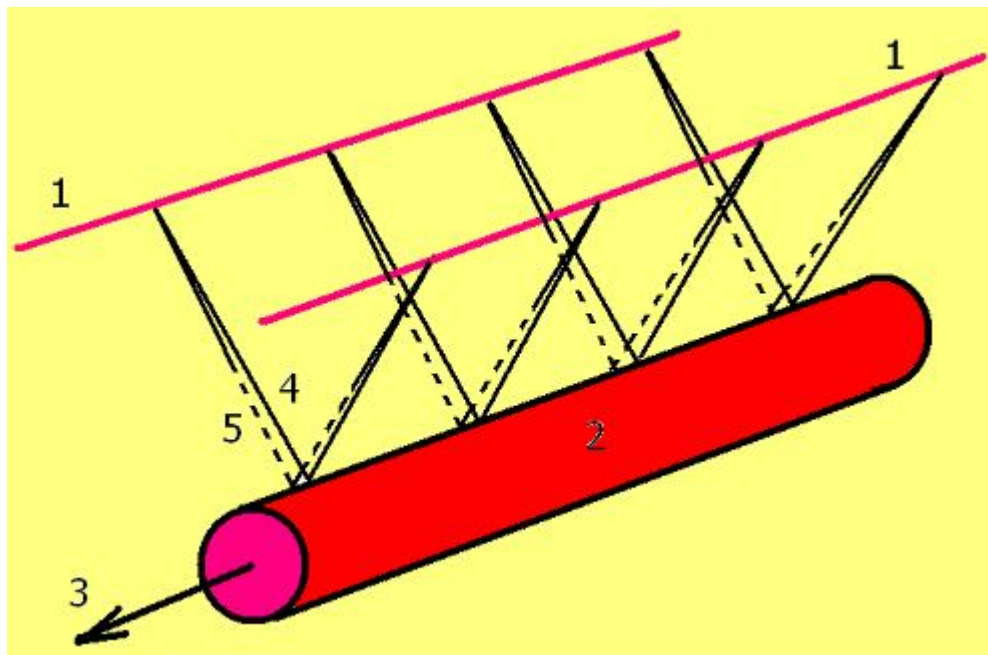


4 pav. Matematinės svyruoklės konstrukciniai elementai: a) pakabos kablys ir b) fizikinio kūno kablys. Šilkinis siūlas pažymėtas raudonai.

Geriausia vietoje (2) formulės naudoti (1) formulę - taip žymiai patogiau, tačiau tokiu atveju būtina sukonstruoti tokią fizikinę svyruoklę, kuriai pakankamai dideliu tikslumu galiotų matematinės svyruoklės artinys. 5 pav. pateikta mechaninė sistema pusiausvirojoje būsenoje, sudaryta iš standžios atramos, pakabos siūlų, lygiagrečių tarpusavyje, ir fizikinio kūno, kurio ilgis daug kartų didesnis už storį (pvz., rąstas, strypas). Harmoniniai svyravimai inicijuojami išorinio trikdžio poveikiu, pvz., pašaline jėga, kurios kryptis pažymėta rodykle 4). Jeigu atsilenkimas nuo pusiausvirojos padėties yra daug kartų mažesnis už atstumą iki pakabos taško, tai tokia sistema pakankamai dideliu tikslumu svyruoja kaip matematinė svyruoklė. Norint, kad svyruoklė svyruotų tik rodyklės 4) kryptimi ir neatliktų šoninių judesių, būtina lygiagrečių siūlų pakabos sistemą padaryti trikampę (6 pav.)



5 pav. Mechaninė sistema pusiausvirojoje būsenoje – vaizdas iš šono: 1) standi atrama, 2) pakabos siūlai, lygiagretūs tarpusavyje, 3) fizikinis kūnas, kurio ilgis daug kartų didesnis už storį (pvz., rąstas, strypas). Harmoniniai svyravimai inicijuojami išorinio trikdžio poveikiu, pvz., pašaline jėga, kurios kryptis pažymėta rodykle 4). Jeigu atsilenkimas nuo pusiausvimosios padėties yra daug kartų mažesnis už atstumą iki pakabos taško, tai tokia sistema pakankamai dideliu tikslumu svyruoja kaip matematinė svyruoklė.



6 pav. Mechaninė sistema pusiausvirojoje būsenoje 4) ir nepusiausvirojoje būsenoje 5): 1) dvi standžios atramos, 2) fizikinis kūnas, kurio ilgis daug kartų didesnis už storį (pvz., rąstas, strypas). Harmoniniai svyravimai inicijuojami išorinio trikdžio poveikiu - pašaline jėga, kurios kryptis pažymėta 3) rodykle. 4) ir 5) - pakabos siūlai, lygiagretūs tarpusavyje, pritvirtinti prie dviejų skirtingų atramų. Jeigu atsilenkimas nuo pusiausvimosios padėties yra daug kartų mažesnis už atstumą iki pakabos taško, tai tokia sistema pakankamai dideliu tikslumu svyruoja kaip matematinė svyruoklė.