

## 10. Laisvojo kritimo pagreičio matavimas

### Užduotis

1. Nustatyti funkcinę ryšį tarp kritimo aukščio ir laiko.
2. Išmatuoti laisvojo kritimo pagreitį: a) tiriant kūno kritimą ore; b) apverčiamąją svyruokle.

### Pagrindiniai teoriniai klausimai

1. Visuotinės traukos dėsnis, jo ryšys su Keplerio dėsniais.
2. Kavendišo eksperimentas.
3. Sunkio jėga ir jos priklausomybė nuo geografinės platumos ir aukščio.
4. Laisvojo kritimo pagreičio matavimo metodai.

### Tyrimo metodika

Kūnui krintant ore jį veikia ne tik sunkio jėga  $mg$ , bet ir oro pasipriešinimo jėga, priklausanti nuo judėjimo greičio. Greičiui didėjant, iš pradžių ji didėja tiesiai proporcingai greičiui, o vėliau - ir jo kvadratui. Be pradinio greičio žemyn paleisto kūno kritimo pradžioje oro pasipriešinimo jėga yra daug mažesnė už sunkio jėgą, o pagreitis praktiškai lygus laisvojo kritimo pagreičiui, kurį galime rasti išmatavę kritimo aukštį  $h$  ir tam sugaištą laiką  $t$ :

$$g = \frac{2h}{t^2}. \quad (1)$$

Laisvojo kritimo pagreičio matavimas apverčiamąją svyruokle yra pagrįstas fizinės svyruoklės svyravimų periodo priklausomybe nuo sunkio jėgos. Apverčiamąją svyruoklę sudaro metalinis strypas, ant kurio užmauti du aptakios formos pasvarai  $L_1$  ir  $L_2$  bei pritvirtintos dvi atraminės prizmės  $O_1$  ir  $O_2$  (1 pav.), dėl ko jį galima pakabinti priešingose padėtyse. Sunkesnis pasvaras  $L_2$  pritvirtintas nejudamai arčiau strypo vidurio, o lengvesnio pasvaro  $L_1$  padėtį galima keisti.

Tarkime, svyravimų ašis eina atraminės prizmės  $O_1$  viršūne statmenai brėžinio plokštumai. Inercijos momentą šios ašies atžvilgiu pažymėkime  $I_1$ , o apvertus ir pakabinus ties prizmės  $O_2$  viršūne -  $I_2$ . Pagal Heigenso ir Šteinerio teoremą:

$$I_1 = I_0 + ml_1^2, \quad (2)$$

$$I_2 = I_0 + ml_2^2, \quad (3)$$

čia  $I_0$  - svyruoklės inercijos momentas atžvilgiu ašies, lygiagrečios toms dviem pasirinktoms svyravimų ašims ir einančios per masės centrą  $C$ , o  $l_1$  ir  $l_2$  - tų dviejų svyravimų ašių atstumai iki masės centro. Svyruklės svyravimų periodas abiem atvejais:

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{I_0 + ml_1^2}{mgl_1}}, \quad (4)$$

$$T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{I_0 + ml_2^2}{mgl_2}}. \quad (5)$$

Iš (4) ir (5) lygčių randame, kad laisvojo kritimo pagreitis

$$g = \frac{4\pi^2(l_2^2 - l_1^2)}{T_2^2 l_2 - T_1^2 l_1}. \quad (6)$$

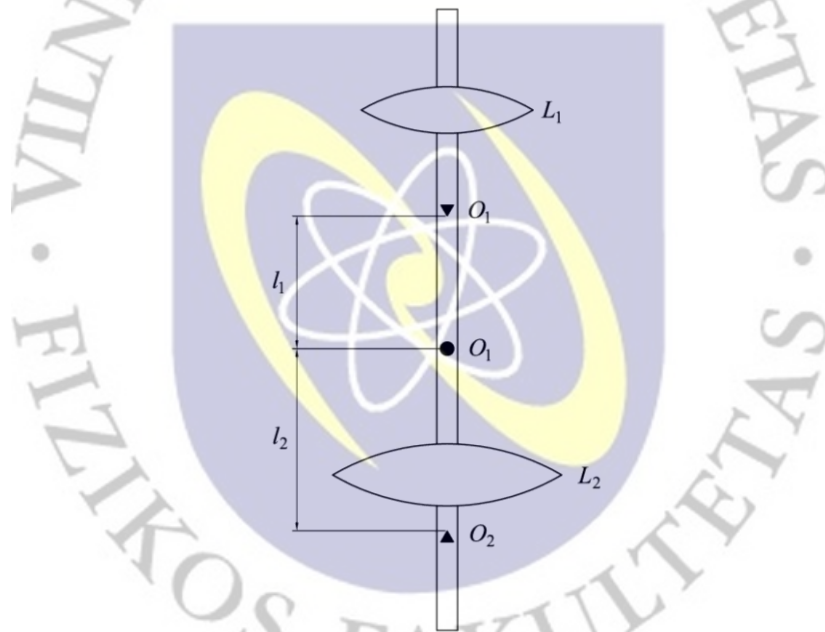
Pasvaro  $L_2$  padėtį galima pasirinkti taip, kad periodai abiejų svyravimo ašių atžvilgiu būtų vienodi:

$$T_1 = T_2 = T. \quad (7)$$

Tada laisvojo kritimo pagreitis

$$g = \frac{4\pi^2 l_r}{T^2}, \quad (8)$$

čia  $l_r = l_1 + l_2$  yra atstumas tarp atraminių prizmių viršūnių - redukuotasis šios fizinės svyruoklės ilgis.



**1 pav.** Apverčiamoji svyruoklė.



Sunkio jėgos ir tuo pačiu laisvojo kritimo pagreičio dydis ir kryptis priklauso nuo geografinės platumos  $\varphi$  ir aukščio virš jūros lygio  $y_0$ . Šią priklausomybę, lemiamą Žemės sukimosi apie savo ašį ir jos spindulio mažėjimo einant nuo pusiaujo prie ašigalio, galima aprašyti tokia empirine formule:

$$g = (9,78049(1 + 0,005288 \sin \varphi - 6 \cdot 10^{-6} \sin^2 2\varphi) - 30,86 \cdot 10^{-7} y_0) \text{ m/s}^2, \quad (9)$$

čia  $y_0$  vertė išreikšta metrais.

## Tyrimo eiga

Laisvojo kritimo pagreitis yra randamas tiriant rutuliuko kritimą ore įrenginiu, sumontuotu ant laboratorinio stovo su laikikliais (2 pav.). Rutuliuko paleidimo įtaiso elektriniai lizdai laidais yra sujungti su elektroninio laikmačio „Start“ lizdais.

Laikmačio „Start“ režimo jungtukas turi būti įjungtas  padėtyje. Optroninės šakutės, fiksuojančios rutuliuko laisvo kritimo atstumą  $h$  trukmę, lizdai sujungti su laikmačio „Imp“, korpuso ir maitinimo lizdais. Laikmačio darbo režimas turi būti . **Rutuliuko nukritimo vietoje turi būti padėtas guminis kilimėlis!**

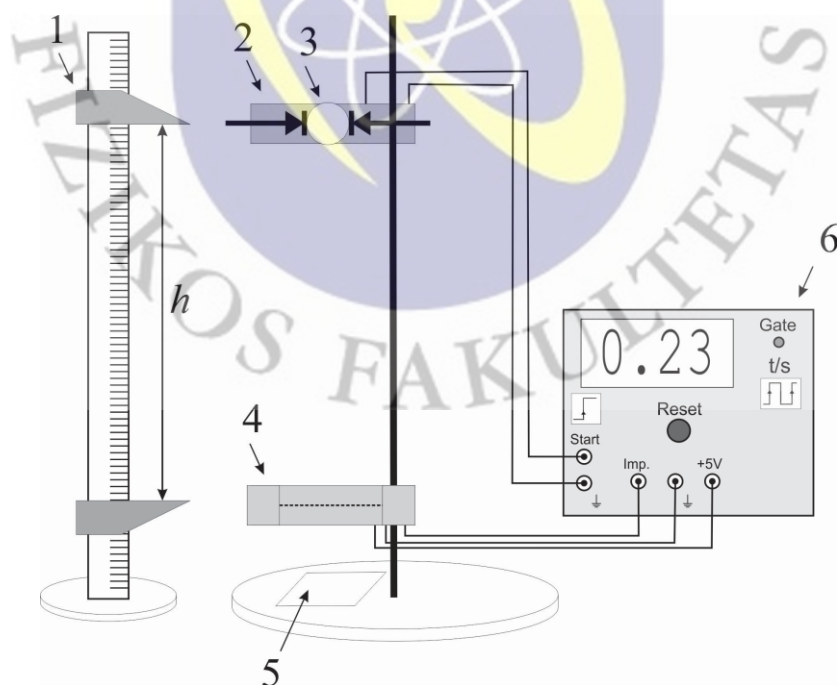
Matavimo eiga:

1. Rutuliuką įstatykite tarp paleidimo įtaiso atramų ir laikykite nuspaudę fiksiatorių;
2. Nuspauskite laikmačio mygtuką „Reset“ (laikmačio indikatorius „Gate“ turi nedegti/užgesti);
3. Atleiskite rutuliuko fiksiatorių. Rutuliukas krenta, užsidega laikmačio indikatorius „Gate“. Rutuliukui praskriejus pro optroninę šakutę laikmačio indikatorius parodo kritimo trukmę. Matavimą pakartokite 3–5 kartus, kad galėtumėte įvertinti matavimų paklaidas.
4. Keiskite rutuliuko paleidimo įtaiso tvirtinimo aukštį (t.y. atstumą  $h$  tarp paleidimo įtaiso ir optroninės šakutės) ir kartokite 1–3 punktus. Aukštį  $h$  keiskite nuo 10 iki 40 cm kas 5 cm. Tyrimo rezultatus rašykite į lentelę:

**1 lentelė.** Rutuliuko kritimo ore tyrimo duomenys.

$h, m$	$t, s$	$t^2, s^2$	$g, m/s^2$

Nustatant rutuliuko kritimo aukštį  $h$ , reikia įvertinti ir rutuliuko matmenis, t.y. paleidimo įtaise rutuliukas įtvirtintas per vidurį, o optroninė šakutė fiksuoja momentą kada rutuliuko apačia uždengia spindulį.



**2 pav.** Rutuliuko kritimo ore tyrimo įrenginys. 1 - liniuotė su žymekliais; 2 - rutuliuko paleidimo prietaisas; 3 – rutuliukas; 4 – optroninė šakutė; 5 – guminis kilimėlis; 6 – elektroninis laikmatis.

Pagal kritimo aukščio  $h$  priklausomybės nuo kritimo trukmės funkciją kritimo aukštis yra tiesiog proporcingas kritimo trukmės kvadratu:

$$h(t) = \frac{1}{2}gt^2. \quad (10)$$

Atlikę kritimo trukmių iš įvairių aukščių matavimus, jų rezultatus pavaizduokite grafike  $h(t^2)$  ir, įsitikinę, kad tai tiesė, iš jos polinkio (krypties koeficientas lygus 0,5 g) raskite laisvojo kritimo pagreitį. Kitas pagreičio radimo būdas - pasirinktam kritimo aukščiui atlikite ne mažiau kaip dešimt kritimo laiko matavimų. Apskaičiuokite vidutinę kritimo trukmę ir pagal (1) raskite laisvojo kritimo pagreitį. Matavimus pakartokite sumažinę kritimo aukštį, tikėdamiesi taip dar labiau sumažinti oro pasipriešinimo įtaką ir gauti bent jau ne mažesnę pagreičio vertę.

Matuodami apverčiamosios svyruoklės svyravimų periodus  $T_1$  ir  $T_2$ , atskaitykite po  $n = 100$  mažos amplitudės (apie  $(2 - 3)^\circ$ , kad oro pasipriešinimo jėgos būtų kuo mažesnės) svyravimų trukmes  $t_1$  ir  $t_2$ , tada

$$T_1 = \frac{t_1}{n}, T_2 = \frac{t_2}{n}. \quad (11)$$

Iš pradžių išmatuojame svyravimų periodus, kai pasvaras  $L_2$  yra arti strypo galo, o paskui - paslinkę jį maždaug 4 cm. Šio pasvaro padėčiai rasti strypo gale yra skalė, pagal kurią jo padėties pokytį galima nustatyti 0,1 mm tikslumu. Pavaizduokite brėžinyje gautas periodų priklausomybes nuo pasvaro padėties  $y$  dviejų tiesių pavidalu. Pagal šių tiesių susikirtimo vietą raskite pasvaro  $L_2$  koordinatę  $y_r$ , atitinkančią svyravimų periodų lygybę. Laisvojo kritimo pagreitį raskite pasinaudoję (8) formule. Norint jį apskaičiuoti pagal (6) formulę, reiktų rasti svyruoklės masės centro padėtį, padėjus ją pusiausvyrai ant laboratorijoje esančios specialios prizminės atramos.

Laisvojo kritimo pagreičio vertes, gautas matuojant skirtingais būdais, palyginame tarpusavyje ir su apskaičiuota pagal (9) formulę verte Vilniui ( $\varphi = 54,68^\circ$ ,  $y_0 = 160$  m).

### Paklaidų įvertinimas

Laisvojo kritimo pagreičio paklaida nustatant jį pagal (1) yra:

$$\Delta g = g \sqrt{\left(\frac{\Delta h}{h}\right)^2 + \left(\frac{2\Delta t}{t}\right)^2}. \quad (12)$$

I (8) įrašius periodą

$$T = \frac{t}{n} \quad (13)$$

turėsime

$$g = \frac{4\pi^2 n^2 l_r}{t^2}; \quad (14)$$

tuomet laisvojo kritimo pagreičio paklaida:

$$\Delta g = g \sqrt{\left(\frac{\Delta l_r}{l_r}\right)^2 + \left(\frac{2\Delta t}{t}\right)^2}. \quad (15)$$

**Literatūra:**

1. A. Medeišis „Mechanika, molekulinė fizika, elektra ir magnetizmas. Fizikos praktikumas.“, Vilnius, *Vilniaus universiteto leidykla*, 2000, 353 p.
2. A. Matvejevas, „Mechanika ir reliatyvumo teorija“, Vilnius, *Mokslas*, 1982, 334 p.

