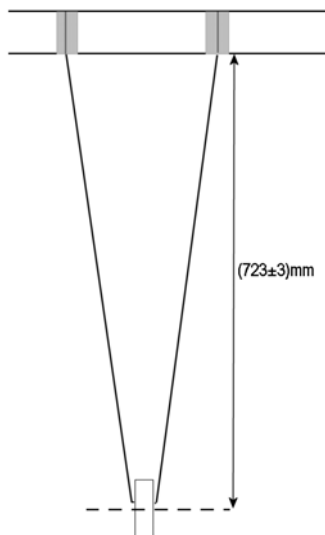


FOAIE DE RĂSPUNSURI

Investigare experimentală a pendulului gravitațional (15 puncte)

1. a. Realizarea pendulului gravitațional și motivarea calitativă a stabilității planului său de oscilație (3 puncte)

Prezentarea schematică a pendulului:

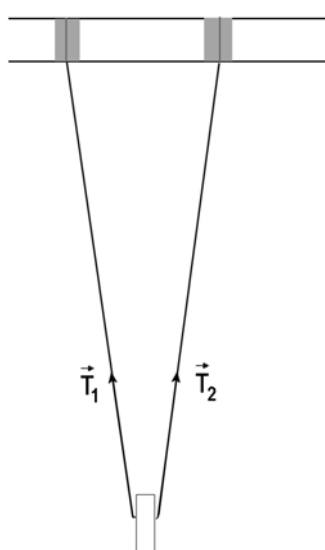


Capetele firului sunt fixate la marginea mesei cu bandă adezivă astfel încât pendulul să poată oscila în jurul muchiei inferioare a tăbliei mesei.

Lungimea firului este reglată (prin tragerea acestuia pe sub banda adezivă cu care este fixat) până când piulița poate oscila liber, foarte aproape de nivelul podelei.

Măsurând grosimea tăbliei mesei ($17\pm 0,5$)mm, raza cercului circumscris piuliței ($10\pm 0,5$)mm și ținând cont de înălțimea înscrisă pe tăblia mesei (750 ± 2)mm, rezultă că lungimea pendulului este (723 ± 3) mm.

Motivarea stabilității planului de oscilație a pendulului:



Atâta vreme cât este menținut planul de oscilație, tensiunile în cele două porțiuni de fir au mărimi egale și sunt simetrice față de verticală.

La o deplasare laterală, perpendiculară pe planul de oscilație, una dintre tensiuni se micșorează (\vec{T}_1 la o deplasare spre stânga), iar componenta orizontală a celeilalte tensiuni (nemodificată) va readuce piulița către planul de oscilație.

b. Determinarea puterii medii care ar fi necesară pentru a menține pendulul în oscilație la o amplitudine unghiulară de aproximativ 10° (4 puncte)

Prezentarea metodei experimentale folosite:

Amplitudinea unghiulară α poate fi reperată pe hârtia milimetrică așezată pe podea, sub pendul, ca o amplitudine liniară A , astfel:

$$A = l \cdot \operatorname{tg} \alpha .$$

Pentru unghiuri relativ mici, poate fi folosită aproximația:

$$\operatorname{tg} \alpha \approx \frac{\pi}{180^{\circ}} \cdot \alpha .$$

Se lasă pendulul să oscileze până când amplitudinea unghiulară scade de la $\alpha_1 = 12^{\circ}$ până la $\alpha_2 = 8^{\circ}$ (valori suficient de apropiate de valoarea 10° dar suficient de îndepărtate între ele pentru a permite o reperare mai precisă) și se numără oscilațiile complete efectuate de pendul între aceste amplitudini.

Se obțin astfel date suficiente pentru a determina variația energiei mecanice a pendului și intervalul de timp în care se produce această variație.

Eroarea de reperare a amplitudinii liniare A în timpul oscilațiilor pendulului este generată de erorile de paralaxă (centrul de greutate al piuliței se află în prelungirea firului, la mai mult de 1cm de planul foii milimetrice. Deoarece lungimea pendulului este mai mare de 70 cm, eroarea relativă introdusă de paralaxă este totuși mai mică de 2%.

Repetând experimentul de mai multe ori, au fost numărate 25 ± 1 oscilații (eroarea se datorează unei modificări foarte mici a amplitudinii de la o oscilație la alta).

Calculul puterii medii:

Când pendulul este înclinat la un unghi α față de poziția verticală de echilibru, energia mecanică a pendulului este $E = m \cdot g \cdot l(1 - \cos \alpha)$.

Pentru o micșorare a amplitudinii unghiulare de la α_1 la α_2 , variația energiei mecanice a pendulului este:

$$\Delta E = E_2 - E_1 = m \cdot g \cdot l(\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2) = -2m \cdot g \cdot l \cdot \sin \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \cdot \sin \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2}.$$

Numărând oscilațiile complete efectuate de pendul în timp ce amplitudinea unghiulară scade de la α_1 la α_2 , puterea medie necesară menținerii în oscilație la amplitudinea unghiulară intermediară $\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}$ este:

$$P_m = \frac{-\Delta E}{N \cdot T},$$

N fiind numărul de oscilații, iar T perioada de oscilație.

Deoarece nu este disponibil un cronometru, perioada de oscilație poate fi determinată folosind aproximația oscilațiilor mici:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}} = 6,28 \cdot \sqrt{\frac{(723 \pm 3) \cdot 10^{-3}}{9,81}} \text{ s} = (1,705 \pm 0,03) \text{ s}.$$

Valorile funcțiilor sinus pot fi calculate folosind aproximația:

$$\sin \alpha \approx \frac{\pi}{180^\circ} \cdot \alpha.$$

Astfel, puterea medie necesară menținerii pendulului în oscilație în jurul amplitudinii 10° este:

Valoarea puterii medii:

$$P_m = (20 \pm 2) \cdot 10^{-6} \text{ W}$$

1. c. Realizarea încă unui pendul asemănător și aducerea celor două pendule aproape la sincronism, lansate fiind cu aceeași amplitudine unghiulară inițială (3 puncte)

Prezentarea metodei experimentale folosite:

Pendulele sunt aduse deasupra aceluiași reper de amplitudine liniară de pe hârtia milimetrică și eliberate simultan.

Dacă apare o defazare sesizabilă pe parcursul primelor câtorva oscilații, se scurtează puțin firul pendulului care este defazat în urmă (prin aceasta este scurtată perioada sa de oscilație).

Lansarea este reluată până când nu apar defazări sesizabile pe parcursul primelor 50 de oscilații.

Numărul de oscilații fără apariția unui defazaj sesizabil: $N=50$

1. d. Determinarea raportului perioadelor medii de oscilație pentru amplitudini unghiulare inițiale aflate în raportul 10:1 (4 puncte)

Prezentarea metodei experimentale folosite:

Se trasează pe hârtia milimetrică două repere corespunzând unor amplitudini liniare 2,5 cm, respectiv 25 cm).

Se lansează simultan pendulele de la aceste amplitudini. Se observă că apare treptat un defazaj între cele două pendule (cel lansat de la o amplitudine inițială mai mare este defazat din ce în ce mai în urmă).

Lăsând pendulele să oscileze suficient de mult timp, s-ar putea obține un defazaj ușor reperabil (de exemplu, până când pendulele ajung la opoziție de fază). Din păcate, pendulele practic se opresc înainte de a se obține acest defazaj.

Poate fi însă lansat pendulul cu amplitudine inițială mai mare și, după câteva oscilații ale acestuia, când trece prin poziția de echilibru, este lansat celălalt.

Se introduce astfel un defazaj inițial de aproximativ un sfert de ciclu și se numără oscilațiile până când pendulele ajung din nou în fază.

Au fost numărate 30 ± 10 oscilații până când pendulele ajung din nou în fază. Eroarea mare se datorează faptului că este dificil de obținut un defazaj inițial de un sfert de ciclu și este dificil de apreciat când pendulele ajung din nou în fază (defazajul se modifică lent de la o oscilație la alta).

Calculul raportului perioadelor de oscilație:

În timpul în care pendulul lansat de la o amplitudine mai mică efectuează N oscilații, celălalt efectuează doar $\left(N - \frac{1}{4}\right)$ oscilații:

$$N \cdot T = \left(N - \frac{1}{4}\right) \cdot T'.$$

Rezultă că raportul perioadelor medii de oscilație este:

$$\frac{T'}{T} = \frac{N}{N - \frac{1}{4}} = \frac{1}{1 - \frac{1}{4N}} = \frac{1}{1 - \frac{1}{4(30 \pm 10)}} = 1,009 \pm 0,004.$$

Raportul perioadelor medii de oscilație:

$$\frac{T'}{T} = 1,009 \pm 0,004.$$

Observație: Pentru identificarea și analiza surselor de erori în cazul tuturor măsurătorilor efectuate și pentru prevederea marjelor de eroare în cazul valorilor indicate se va acorda **1 punct**