

15. Slopinamųjų svyravimų tyrimas sukamąja Polio svyruokle

Užduotis

1. Išmatuoti Polio svyruoklės svyravimų periodą ir ciklinį dažnį be slopinimo ir naudojant skirtingų dydžių slopinimus.
2. Nustatyti logaritminį slopinimo dekrementą.
3. Realizuoti aperiodinius svyravimus ir lėtą slinkimą (šliaužimą).

Pagrindiniai teoriniai klausimai

1. Slopinamųjų svyravimų judėjimo lygties fizikinė prasmė.
2. Svyravimų slopinimo parametrai.

Tyrimo metodika

Sukamąją svyruoklę sudaro vertikalus plokščias metalinis žiedas su švaistikliu, tarpusavyje sujungti spiruline spyruokle ir galintys sukėti apie horizontalią ašį. Švaistiklis paprastai sujungiamas svirtele su ekscentriko disku, o šis per reduktorių - su elektros varikliu, kurio sukimosi greitį galima reguliuoti. Varikliui besisukant, švaistiklio svyravimai perduodami per spyruoklę žiedui. Vykstant žiedo saviesiems svyravimams jis yra veikiamas tik spiralinės svyruoklės sukimo momento M_1 , o slopinamųjų svyravimų atveju jį dar papildomai veikia ir elektromagnetinių stabdžių sukimo momentas M_2 :

$$M_1 = -D\phi \text{ ir } M_2 = -C\phi'. \quad (1)$$

Čia ϕ - posūkio kampas (radianais), ϕ' - kampinis greitis, D - kreipimo momentas, C - slopinimo koeficientas, kurio dydis priklauso nuo nuolatinės elektros srovės, tekančios per elektromagnetinius stabdžius, stiprio.

Svyravimų slopinimui yra skirtas elektromagnetas, kurio sukuriama magnetinio lauko stiprio linijos yra statmenos žiedo plokštumai. Pageidaujamą slopinimą parenkame keisdami elektromagneto maitinimo elektros srovės stiprį.

Įvedus žymėjimus

$$\delta = \frac{C}{2I} \text{ ir } \omega_0^2 = \frac{D}{I}, \quad (2)$$

svyravimus galima aprašyti šia diferencialine lygtimi

$$\phi'' + 2\delta\phi' + \omega_0^2\phi = 0. \quad (3)$$

Čia δ yra slopinimo koeficientas, ω_0 - savitasis ciklinis dažnis (juo vyksta svyravimai nesant išorinio slopinimo), I - svyruoklės inercijos momentas ir ϕ'' - kampinis pagreitis.

Diferencialinės lygties (3) sprendinys yra laiko funkcija

$$\phi(t) = \phi_0 e^{-\delta t} \cos \omega t, \quad (4)$$

kur ciklinis dažnis $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$ yra mažesnis už savitąjį ciklinį dažnį ω_0 .

Sprendinys (4) parodo, kad slopinamųjų svyravimų $\phi(t)$ pradinė amplitudė ϕ_0 sumažėja e kartų nuo svyravimų pradžios praėjus laiko intervalui $t_1 = 1/\delta$, o vienas po kito sekančių svyravimų amplitudžių santykis yra pastovus ir lygus:

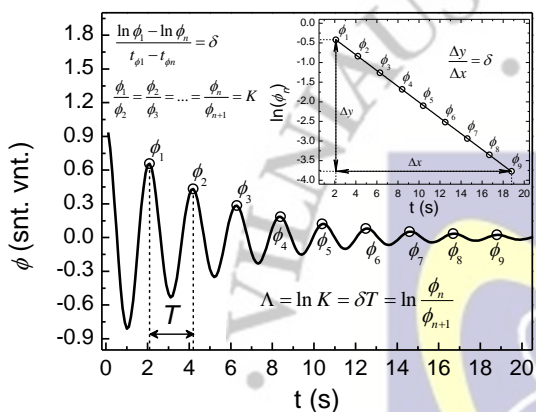
$$\frac{\phi_n}{\phi_{n+1}} = K = e^{\delta T}. \quad (5)$$

Šis santykis K yra vadinamas slopinimo dekrementu, o dydis

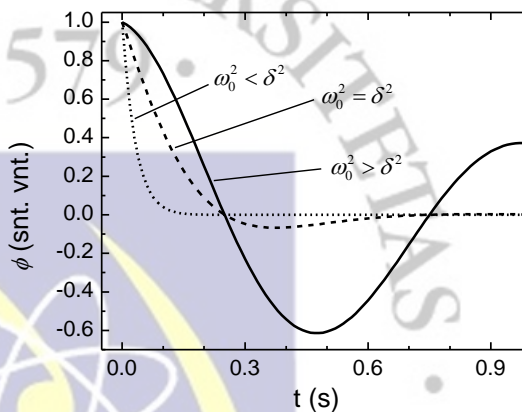
$$\Lambda = \ln K = \delta T = \ln \frac{\phi_n}{\phi_{n+1}} \quad (6)$$

yra vadinamas logaritminiu slopinimo dekrementu. Čia T – svyravimų periodas.

Lygtis (3) turi realų sprendinį tik tada, kai $\omega_0^2 \geq \delta^2$. Kai $\omega_0^2 = \delta^2$, svyruoklė į pradinę padėtį tik sugrįžta, bet svyravimai nevyksta (aperiodinių svyravimų atvejis). Kai $\omega_0^2 < \delta^2$, svyruoklė į pradinę padėtį sugrįžta asimptotiškai (lėto slinkimo, šliaužimo atvejis).



1 pav. Slopinamieji svyravimai.



2 pav. Slopinamųjų, aperiodinių svyravimų ir „šliaužimo“ atvejis.

Tyrimo eiga

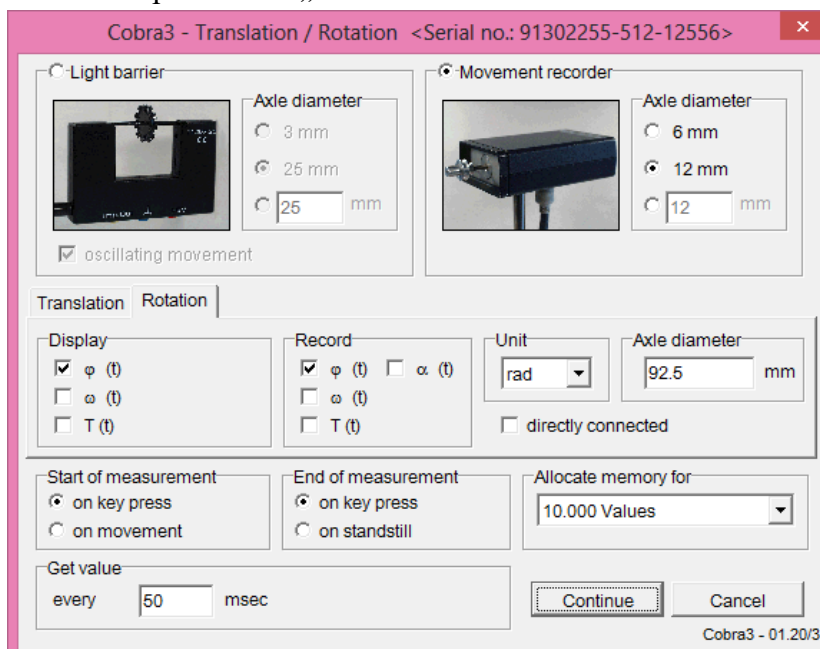
Darbo priemonių išdėstymas, elektrinių sujungimų schema ir *Cobra3* prietaiso jungimo schema yra parodyti Priede 1, atitinkamai, 7, 8 ir 9 paveiksluose. Maitinimo šaltinio nuolatinė (DC) įtampa $=U$ turi būti prijungta prie elektromagnetinių stabdžių. Elektros variklis maitinamas nuolatinė įtampa, todėl kintamoji (AC) maitinimo šaltinio įtampa $\sim U$ yra prijungiama prie diodų tiltelio, iš kurio jau nuolatinė įtampa prijungiama prie elektros variklio maitinimo gnybtų. Variklio sukimosi greitį galime reguliuoti sukdami potenciometro rankenėlę (*coarse* – grubiam reguliavimui, *fine* – tiksliam reguliavimui). Variklio sukimosi greitis yra proporcingas jo maitinimo įtampai, tad variklio sukimosi dažnį yra patogu apskaičiuoti pagal voltmetro prijungto prie variklio maitinimo grandinės parodymus. Dažnio kalibravimo kreivės pateiktos Priede 2. Nuolatinės srovės, tekančios elektromagnetinių stabdžių grandine, stipris I_B yra matuojamas ampermetru.

Svyruoklės metalinis žiedas yra sujungtas siūlu su posūkio jutikliu, kuris per *Cobra3* įrenginį prijungtas prie kompiuterio. Svyruoklės disko ir posūkio jutiklio jungiamasis siūlas turi būti lygiagretus diskui ir kiek įmanoma mažiau įtemptas, tačiau matavimų metu nepraslysti jutiklio ašimi. Matavimų duomenims nuskaityti ir išsaugoti yra naudojama programa „measure“.

!!! Prieš pradėdami matavimus kompiuterio loginiame diske D:\ susikuriame aplanką D:\Metai\Šios dienos data_Studento Vardas_Pavardė

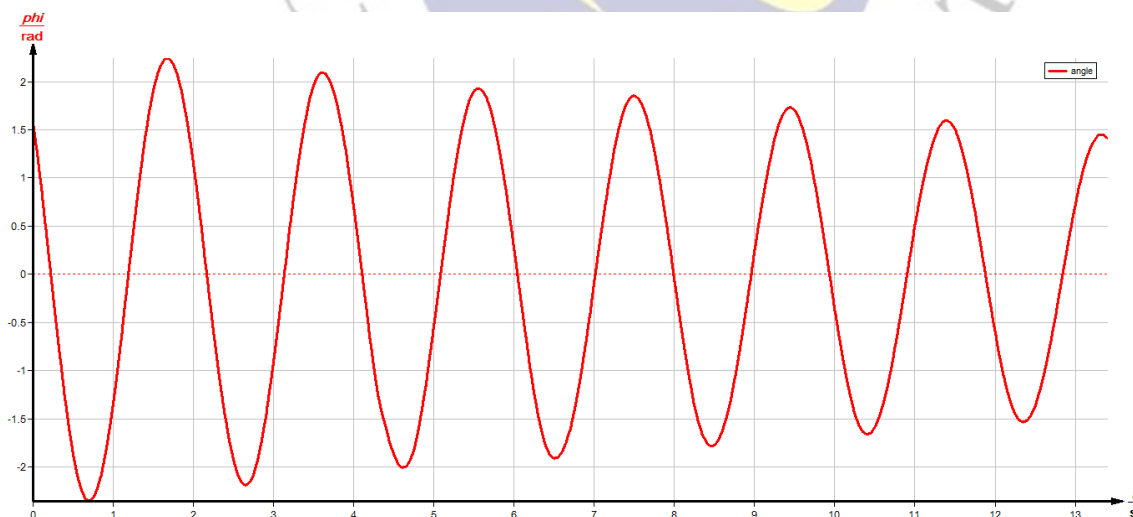
I. Svyruoklės savitojo dažnio nustatymas (be slopinimo):

1. Įsijungiame matavimų programą „measure“.
2. Svyruoklės disko rodyklė turi būti ties 0 padala. Jeigu taip nėra, sukdami prie varikliuko esantį ekscentriko diską nustatome rodyklę ties 0.
3. Viršutinėje meniu juostoje pasirenkame „File“ > „New measurement“ arba spaudžiame (trumpinys: Ctrl+N). Atsidariusiame lange „Cobra3 – Translation/ Rotation“ nustatome parametrus kaip parodyta 3 paveiksle ir spaudžiame „Continue“.



3 pav. Matavimo nustatymai.

4. Atlenkę svyruoklės diską nuo pradinės padėties 2,3–2,5 rad jį paleidžiame ir nedelsdami spaudžiame klavišą „Space“ arba mygtuką „Start measurement“. Leidžiame svyruoklei svyruoti 10–15 s ir stabdome matavimą spausdami klavišą „Space“ arba mygtuką „Stop measurement“. Kompiuterio ekrane pamatysime svyruoklės atsilenkimo kampo kinetiką (4 pav.).



4 pav. Svyruoklės atsilenkimo kampo kinetika.

5. Išsaugome matavimų duomenis. Viršutinėje meniu juostoje pasirenkame „Measurement“ > „Export data“ (arba Ctrl+C), atsiradusiame langelyje pasirenkame „Save to file“ ir „Export as

numbers“, ir spaudžiame OK. Matavimų duomenis išsaugome *.txt dokumente darbo pradžioje susikurtame aplanke. **Darbalaukyje išsaugoti ir palikti matavimų duomenys trinami!!!**

6. Nustatome ekstremumų padėtis, įvertiname svyravimų periodą ir apskaičiuojame savitą svyruoklės ciklinį dažnį. Meniu juostoje pasirenkame „Analysis“ > „Curve analysis“. Atsidariusiame lange „Curve analysis“ spaudžiame „Calculate“ (laukelyje „Search for“ varnelė turi būti uždėta ties punktu „extrema“). Lentelėje atsiranda ekstremumų amplitudės ir laiko vertės. Spaudžiame mygtuką „Copy“ ir susikūrę naują *.txt dokumentą darbo pradžioje sukurtame aplanke jame išsaugome nukopijuotas ekstremumų padėtis. Ekstremumų padėtis galime pavaizduoti svyravimų kinetikoje pažymėję varnelę „Vizualize results“. Uždarome langą „Curve analysis“ spausdami mygtuką „Close“.

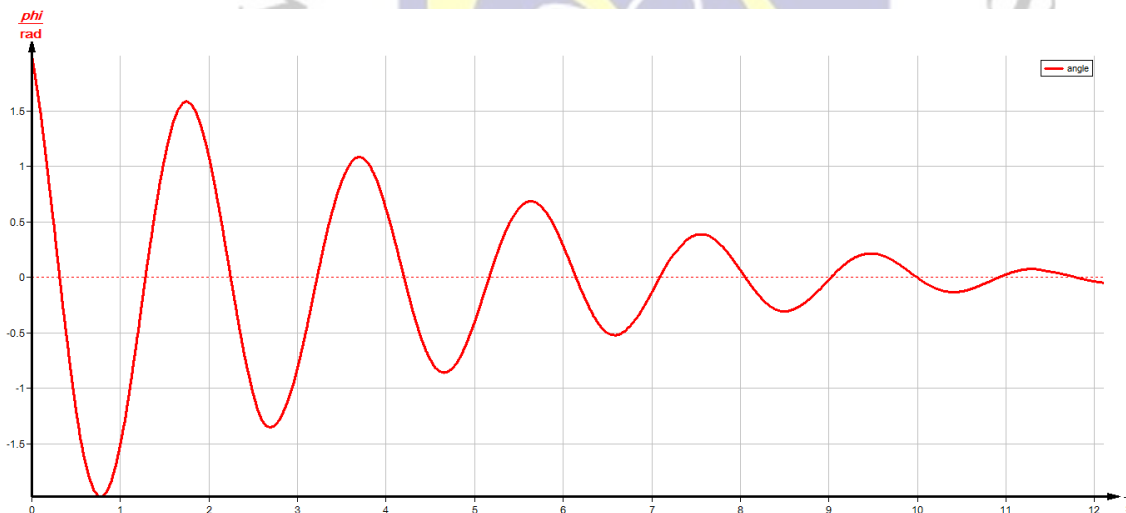
7. Atliekame kelis svyruoklės savitojo dažnio matavimus, kad galėtume įvertinti paklaidas.

II. Svyruoklės savitojo dažnio nustatymas (esant skirtingo dydžio slopinimui):

1. Įsijungiame elektromagnetinių stabdžių maitinimo šaltinį. Jungiklis yra prietaiso galinėje dalyje.

2. Išmatuojame slopinamųjų svyravimų periodą, apskaičiuojame slopinamųjų svyravimų ciklinį dažnį ir logaritminį slopinimo dekrementą esant skirtingiems slopinimams. Matavimus ir skaičiavimus atliekame bei duomenis išsaugome taip pat kaip ir matuodami savitą svyruoklės ciklinį dažnį be slopinimo (I dalis, 2–6 punktai). Atliekame kelis matavimus su tuo pačiu slopinimu, kad galėtume įvertinti paklaidas. Slopinamųjų svyruoklės svyravimų pavyzdys pateiktas 5 paveiksle. Rekomenduojamos elektromagnetinių stabdžių srovės stiprio vertės:

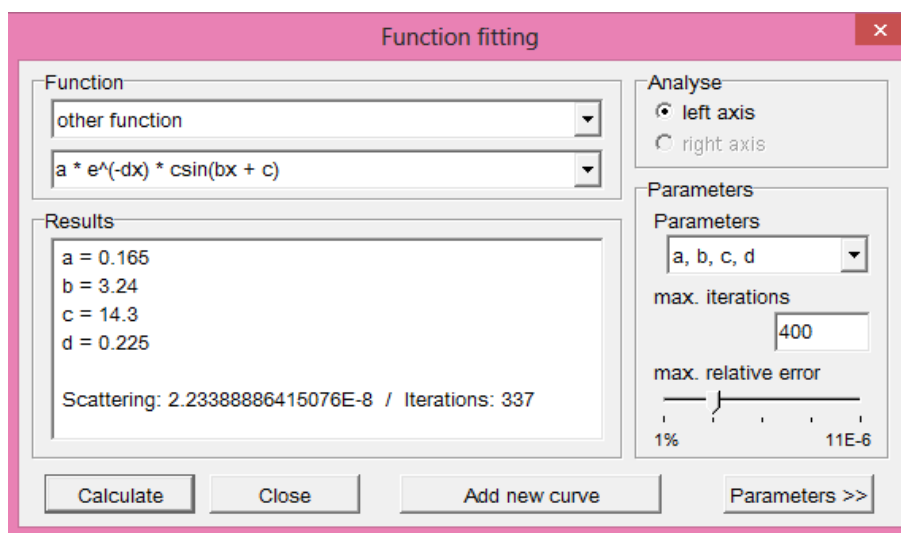
$$I_B \approx 0.16 \text{ A}, I_B \approx 0.35 \text{ A}, I_B \approx 0.5 \text{ A}, I_B \approx 0.7 \text{ A}, I_B \approx 0.9 \text{ A}.$$



5 pav. Slopinamieji Polio svyruoklės svyravimai.

Reikiamą elektromagnetinių stabdžių srovės stiprį parenkame sukdami maitinimo šaltinio įtampos rankenėlę „V“. Srovės stiprio reguliavimo rankenėlė „A“ turėtų būti ties verte „2“ **Atlikę matavimą elektromagnetinių stabdžių srovę sumažinkite iki 0 A. Elektromagnetinių stabdžių maksimalus leidžiamas srovės stipris 1 A (trumpalaikis 2 A) – neviršykite jo!!!**

δ ir Λ vertės apskaičiuojamos 1 paveiksle pavaizduotu metodu, tačiau tikslesnes δ vertes gausime atlikę teorinės kreivės $\phi(t) = \phi_0 e^{-\delta t} \cos(\omega t + \varphi_0)$ ir eksperimentinių kreivių tapatinimą. Viršutiniame programos meniu pasirenkame „Analysis“ > „Function fitting...“. Atsidariusiame lange „Function fitting“ laukelyje „Function“ pasirenkame „other function“, įrašome funkciją „a * e^{^(-dx) * csin(bx + c)“ (kur a= ϕ_0 , b= ω , c= φ_0 , d= δ), laukelyje „Parameters“ pasirenkame „a, b, c, d“ ir spaudžiame mygtuką „Calculate“. Programa suskaičiuos parametrus a , b , c ir d geriausiai atitinkančius mūsų eksperimentinę kreivę ir laukelyje „Results“ pateiks parametrų vertes (6 pav.). Užsirašome parametrų d ir b vertes. Jas galėsime palyginti su apskaičiuotomis naudojant}



6 pav. Eksperimentinės ir teorinės kreivių tapatinimas.

1 pav. pateiktą metodą. Norėdami įkelti teorinę kreivę į svyravimų paveikslą – spaudžiame mygtuką „Add new curve“.

3. Aperiodinius svyravimus realizuosime įvykdę sąlygą $\omega_0^2 = \delta^2$, t.y. $I_B \approx 1,3$ A. Šliaužimą realizuosime įvykdę sąlygą $\omega_0^2 < \delta^2$, t.y. $I_B \approx 1.7$ A. **Atlikę matavimą elektromagnetinių stabdžių srovę sumažinkite iki 0 A. Elektromagnetinių stabdžių maksimalus leidžiamas srovės stipris 1 A (trumpalaikis 2 A) – neviršykite jo!!!**

Matavimų duomenis išsaugome.

Tyrimo rezultatų pateikimas

Tiriant savuosius svyravimus reikia nubrėžti jų teigiamų ekstremumų verčių priklausomybę nuo laiko esant skirtingiems svyravimų slopinimams. Tyrimų rezultatai su įvairiais slopinimais pateikiami viename paveiksle. Paveiksle pateikti atitinkamas δ ir logaritminio slopinimo dekremento Λ vertės. Taip pat reikia nubrėžti aperiodinių svyravimų ir svyrųoklės šliaužimo paveikslus.

Suformuluoti ir pateikti išvadas.

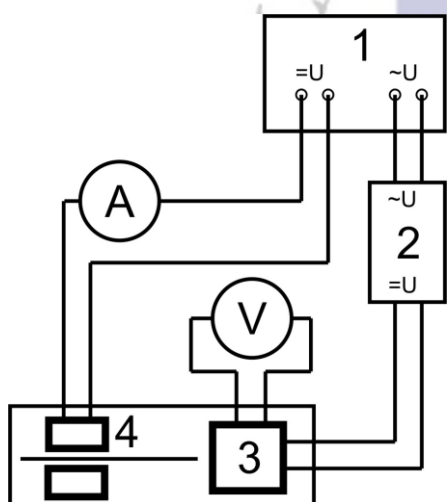
Literatūra:

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.
3. <http://repository.phywe.de/files/versuchsanleitungen/p2132711/e/p2132711e.pdf>

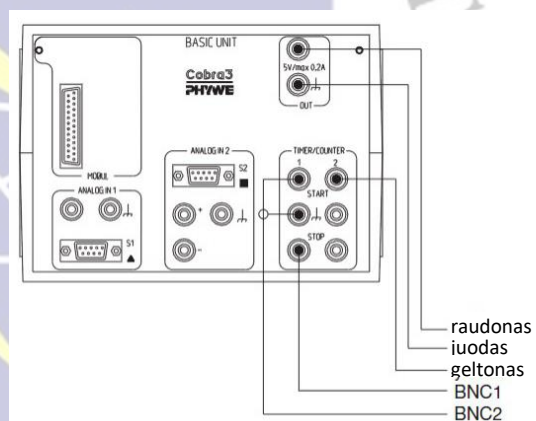
Priedas 1.



7 pav. Priemonės slopinamųjų ir priverstinių svyravimų tyrimui sukamąja Polio svyruokle.



8 pav. Elektrinių sujungimų schema.
1 – maitinimo šaltinis, 2 – diodų tiltelis,
3 – elektros variklis, 4 – elektromagnetiniai stabdžiai.



9 pav. Cobra3 įrenginio jungimo schema.