

20. Priverstinių svyravimų tyrimas sukamąja Polio svyruokle

Užduotis

1. Tiriant priverstinius svyravimus išmatuoti ir grafiškai pavaizduoti atsilenkimo kampo priklausomybes nuo priverstinės jėgos dažnio naudojant bent du skirtingus slopinimus bei aprašyti rezultatus teorinėmis priklausomybėmis.
2. Suskaičiuoti ir grafiškai pavaizduoti fazės skirtumą tarp sukamosios svyruoklės ir priverstinės jėgos periodinių kitimų, kai nėra slopinimo ir esant darbe naudotoms slopinimo vertėms.

Pagrindiniai teoriniai klausimai

1. Slopinamųjų svyravimų judėjimo lygties fizikinė prasmė.
2. Svyravimų slopinimo parametrai.
3. Priverstinių svyravimų amplitudės ir fazės priklausomybė nuo jėgos dažnio.

Tyrimo metodika

Sukamąją svyruoklę sudaro vertikalus plokščias metalinis žiedas su švaistikliu, tarpusavyje sujungti spiraline spyruokle ir galintys sukstis 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. Pageidaujama 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:

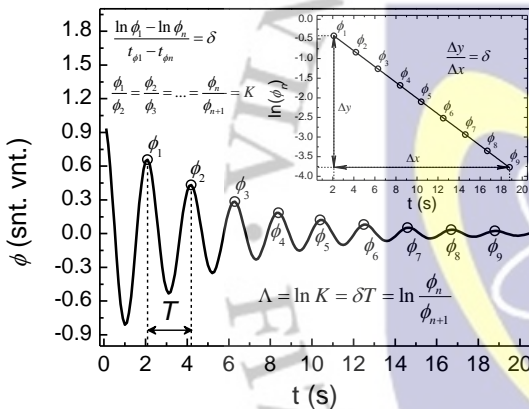
$$\frac{\phi_n}{\phi_{n+1}} = K = e^{\delta T}. \quad (5)$$

Šis santykis K yra vadinamas slopinimo dekrementu, o dydis

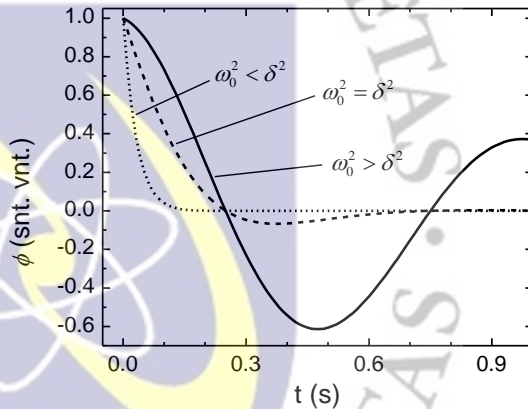
$$\Lambda = \ln K = \delta T = \ln \frac{\phi_n}{\phi_{n+1}} \quad (6)$$

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

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



1 pav. Slopinamieji svyravimai.



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

Jei svyravimai per spyruoklę periodiškai veikia išorinė jėga, kurios sukimo momentas $M_a = M_0 \cos \omega_a t$, tai lygtis (3) yra perrašoma taip:

$$\phi'' + 2\delta\phi' + \omega_0^2\phi = F_0 \cos \omega_a t. \quad (7)$$

Čia $F_0 = M_0/I$ yra jėgos amplitudė.

Nusistovėjus svyravimams, (7) lygties sprendinys yra

$$\phi(t) = \phi_a \cos(\omega_a t - \alpha), \quad (8)$$

kur

$$\phi_a = \frac{\phi_0}{\sqrt{\left\{1 - \left[\frac{\omega_a}{\omega_0}\right]^2\right\}^2 + \left\{2 \frac{\delta}{\omega_0} \frac{\omega_a}{\omega_0}\right\}^2}}, \quad (9)$$

$$\text{kur } \phi_0 = \frac{F_0}{\omega_0^2}.$$

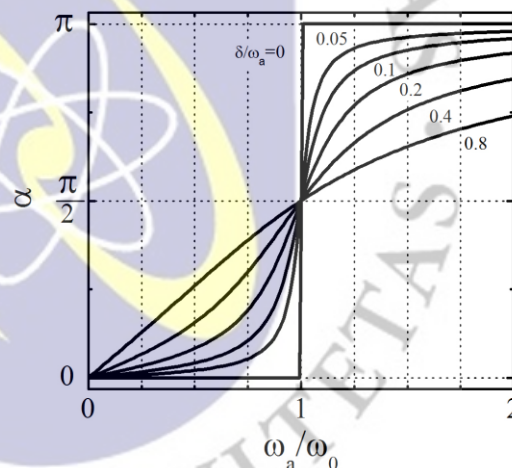
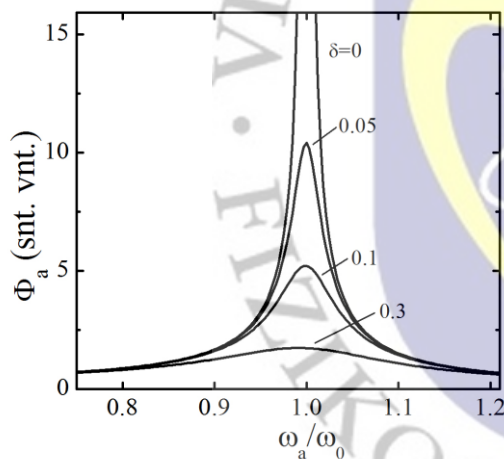
Pagal (9) suskaičiuota priverstinių svyravimų amplitudės priklausomybė nuo dažnio esant skirtingam slopinimui pavaizduota 1 paveiksle. Taigi, kuo didesnė priverstinės jėgos amplitudė F_0 , tuo didesnė ir priverstinių svyravimų amplitudė ϕ_a . Kai F_0 yra pastovus dydis ir $\omega_a \approx \omega_0$, tai svyravimų amplitudė labai išauga - įvyksta rezonansas. Kuo didesnis slopinimo koeficientas δ , tuo mažesnė priverstinių svyravimų amplitudė ϕ_a . Jei $\delta=0$, tai $\phi_a \rightarrow \infty$, kai $\omega_a = \omega_0$. Rezonansinis ciklinis dažnis:

$$\omega_r = \sqrt{\omega_0^2 - 2\delta^2} \quad (10)$$

Fazių postūmis tarp periodinės išorinės jėgos ir svyruoklės svyravimų

$$\tan \alpha = 2 \frac{\delta \omega_a}{\omega_0^2 - \omega_a^2}, \quad \alpha = \arctan \left(2 \frac{\delta \omega_a}{\omega_0^2 - \omega_a^2} \right). \quad (11)$$

Pagal (10) suskaičiuota svyravimų fazės postūmio priklausomybė nuo priverstinės jėgos dažnio pavaizduota 2 paveiksle. Kai dažnis ω_a yra mažas, fazių skirtumas yra artimas nuliui, t.y. priverstinės jėgos svyravimai ir svyruoklės svyravimai yra sinchroniški, sufazuoti. Kai dažnis ω_a yra daug didesnis už ω_0 , svyruoklės svyravimai yra priešingoje fazėje nei priverstinės jėgos. Kuo mažesnis svyravimų slopinimas, tuo sistemos perėjimas tarp sinchroninių svyravimų ir priešingos fazės svyravimų yra staigesnis.



3 pav. Priverstinių svyravimų amplitudės priklausomybė nuo dažnio esant skirtingam slopinimui.

4 pav. Priverstinių svyravimų fazių postūmio priklausomybė nuo dažnio, esant skirtingam slopinimui.

Tyrimo eiga

Darbo priemonių išdėstymas, elektrinių sujungimų schema ir *Cobra3* prietaiso jungimo schema yra parodyti Priede 1, atitinkamai, 5, 6 ir 7 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

Priverstinių svyravimų tyrimas

1. Elektros varikliu, kuris svirtimi sujungtas su Polio svyruoklės disku, sukeliame svyruoklės priverstinius svyravimus. Sukdami ant variklio esančio potenciometro rankenėlę keičiame variklio maitinimo įtampą (ją matuojame voltmetru) ir nustatome norimą priverstinės jėgos dažnį.

Pastaba 1: Variklio sukimosi dažnio priklausomybė nuo maitinimo įtampos yra pateikta Priede 2.

2. Palaukiame kol svyravimų amplitudė nusistovės, užsirašome svyruoklės atsilenkimo kampą (skalės padalomis) ir priverstinės jėgos dažnį.

3. Kartojame matavimus pakeitę priverstinės jėgos dažnį. Kad išvengtumėte svyruoklės mušimų ir ilgai trunkančio kito svyruoklės svyravimų periodo nusistovėjimo, prieš atlikdami matavimą su kitu priverstinės jėgos dažniu, išjunkite variklį ir palaukite kol svyruoklė sustos arba patys švelniai ją sustabdykite.

Pastaba 1: Rekomenduojamas priverstinės jėgos dažnio keitimo žingsnis intervale $\omega_a = \omega_0 \pm 0,5 \text{ rad/s}$ yra $0,05 - 0,1 \text{ rad/s}$, o už šio intervalo ribų – kas $0,4 - 0,5 \text{ rad/s}$. (Svyruoklės savitąjį dažnį ω_0 išmatavote 15 darbe.)

Pastaba 2: tiriant priverstinius svyravimus, kai nėra slopinimo arba slopinimas mažas, priverstinės jėgos dažnį reikia pasirinkti taip, kad svyruoklės atsilenkimas neviršytų didžiausios leistinos skalės vertės.

4. Pakartojame 1–3 punktus esant skirtingam svyruoklės slopinimui. Matavimus atliekame kai nėra slopinimo ir pasirinkę **bent dvi** prieš tai atliktame 15 darbe naudotas slopinimo vertes. Rekomenduojamos elektromagnetinių stabdžių srovės stiprio vertės:

$$I_B \approx 0.16 \text{ A ir } I_B \approx 0.35 \text{ A.}$$

Atlikę matavimus elektromagnetinių stabdžių srovę sumažinkite iki 0 A, sustabdykite variklį ir išjunkite maitinimo šaltinį.

Tyrimo rezultatų pateikimas

Tiriant priverstinių svyravimų rezonansines charakteristikas reikia nubrėžti svyravimų amplitudės priklausomybes nuo priverstinės jėgos dažnio. Tame pačiame paveiksle reikia nubrėžti pagal (9) išraišką apskaičiuotas teorines svyruoklės atsilenkimo kampo priklausomybes nuo priverstinės jėgos dažnio (atitinkamas δ vertes apskaičiuovome 15 darbe tirdami slopinamuosius svyravimus, o Φ_0 vertę parenkame taip, kad teorinė kreivė geriausiai sutaptų su eksperimentiniais duomenimis. Φ_0 vertė visiems matavimams turėtų būti vienoda).

Tiriant fazės skirtumo tarp svyruoklės atsilenkimo ir priverstinės jėgos periodinių kitimų reikia nubrėžti pagal (11) išraišką apskaičiuotas fazės skirtumo priklausomybes nuo priverstinės jėgos dažnio kai nėra slopinimo ir esant naudotoms slopinimo vertėms.

Suformuluoti ir pateikti išvadas.

Paklaidų įvertinimas

Svyravimų periodų ir ciklinių dažnių nustatymo pagal (10) santykinės paklaidas lemia tik jų trukmės matavimo santykinės paklaidos, nes tam reikalingą pilnų svyravimų skaičių patys pasirenkame pakankamai tiksliai.

Literatūra:

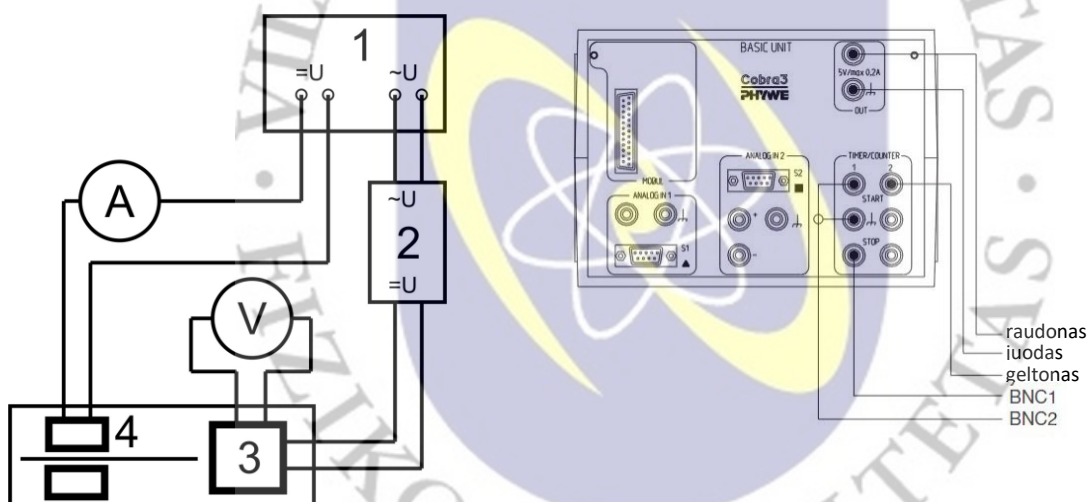
1. A. Medeišis, „Mechanika, molekulinė fizika, elektra ir magnetizmas. Fizikos praktikumas“, Vilnius, *Vilniaus universiteto leidykla*, 2000, 353 p.
2. A. Matvejevas, „Mechanika ir reliatyvumo teorija“, Vilnius, *Mokslas*, 1982, 334 p.
3. <http://repository.phywe.de/files/versuchsanleitungen/p2132711/e/p2132711e.pdf>



Priedas 1.



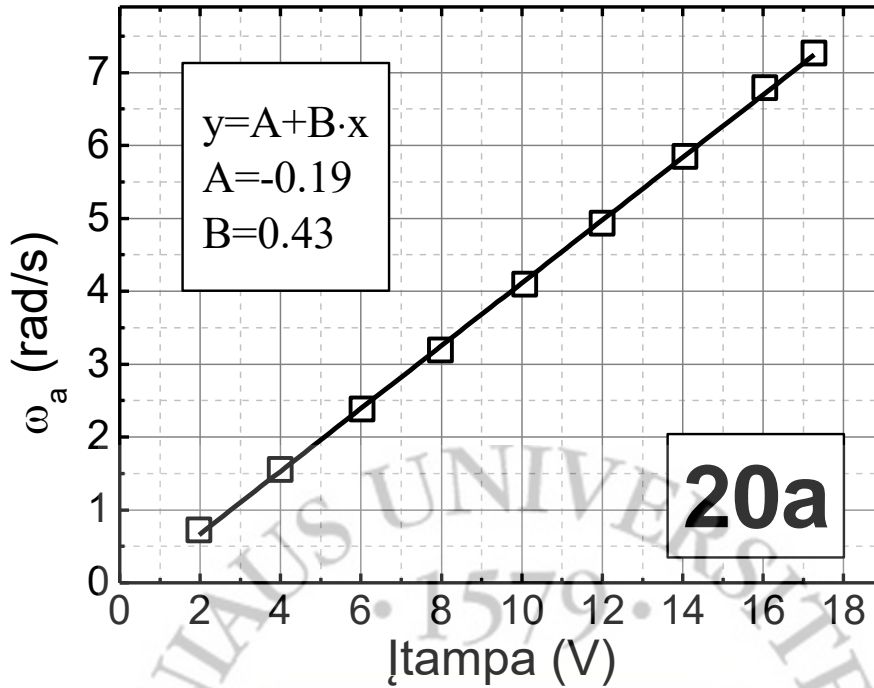
5 pav. Priemonės slopinamųjų ir priverstinių svyravimų tyrimui sukamąja Polio svyruokle.



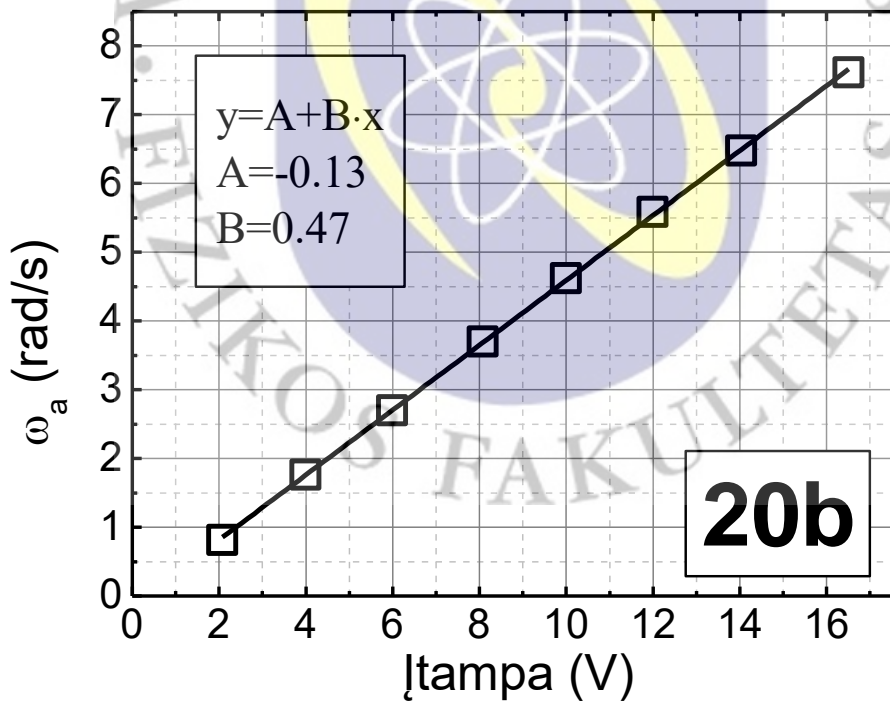
6 pav. Elektrinių sujungimų schema.
1 – maitinimo šaltinis, 2 – diodų tiltelis,
3 – elektros variklis, 4 – elektromagnetiniai stabdžiai.

7 pav. Cobra3 įrenginio jungimo schema.

Priedas 2.



8 pav. Variklio sukimosi dažnio priklausomybė nuo pridėtos įtampos.



9 pav. Variklio sukimosi dažnio priklausomybė nuo pridėtos įtampos.