N.Astrauskienė, R.Bendorius, A.E ...as,
B.Martinėnas, N.Mykolaitienė, A.J.Šatas, A.Urbelis
MECHANIKA, TERMODINAMIKA, NUOLATINĖ ELEKTROS SROVĖ.
V.: Technika, 1996. 100 p.

Fizikos laboratorinų darbų rinkinio pirmojoje dalyje surinkti ir aprašyti bendrosios fizikos darbai, kuriuos atlieka Vilniaus technikos universiteto visų specialybių pirmo kurso studentai. Rinkinį sudaro fizikos laboratorinių darbų atlikimo, apiforminimo ir atsiskaitymo už juos bendrųjų reikalavimų skyrelis, matavimo paklaidų teorija ir skaičiavimo metodika, laboratorinių darbų aprašymai, papildomos literatūros sąrašas.

Laboratoriniai darbai pateikiami taip, kad atitiktų bendrosios fizikos kurse nagrinėjamų fizikinių reiškinių turinį: kietojo kūno slenkamojo ir sukamojo judėjimo dinamika, tvermės dėsniai mechanikoje, mechaniniai svyravimai ir bangos, kietųjų kūnų ir dujų šiluminės savybės, nuolatinė elektros srovė, elektriniai matavimo prietaisai.

Kiekvieno laboratorinio darbo aprašyme nurodytas darbo tikslas ir darbo priemonės, glaustai išdėstyta darbo metodika ir pateiktos pagrindinės formulės, nuosekliai išdėstyta bandymo atlikimo tvarka. Aprašymo pabaigoje pateikti kontroliniai klausimai, kurie padės pasiruošti laboratorinio darbo gynimui. Pateikiamame literatūros sąraše galima rasti platesnę ir gilesnę nagrinėjamų reiškinių bei laboratorinių darbų atlikimo metodikos analizę.

Atsakingasis redaktorius S.A. Karpinskas

Recenzavo doc. A.P. Smilga ir doc. V.Špakauskas

Leidinio autorių kalba ir stilius netaisyti.

VTU leidyklos "Technika" 279 mokomosios metodinės literatūros knyga

ISBN 9986-05-272-6

TURINYS

Fizikos laboratorinių darbų atlikimo, apiforminimo ir atsiskaitymo už juos reikalavimai 5
I skyrius. Fizikinių matavimų paklaidos 7
II skyrius. Laboratorinių darbų aprašymai
Laboratorinis darbas Nr.1 15
Medžiagos tankio nustatymas ir atsitiktinių paklaidų skaičiavimas
Laboratorinis darbas Nr.2 18
Kūno laisvojo kritimo pagreičio matavimas
Laboratorinis darbas Nr.3 21
Sukamojo judėjimo dėsnio tikrinimas
Laboratorinis darbas Nr.4 24
Strypo inercijos momento matavimas sukamųjų svyravimų metodu
Laboratorinis darbas Nr.5 27
Taisyklingos formos kūnų inercijos momento matavimas sukamųjų svyravimų metodu
Laboratorinis darbas Nr.6 31
Kūno inercijos momento nustatymas iš trifiliarinio pakabinimo sukamųjų svyravimų ir Šteinerio teoremos tikrinimas
Laboratorinis darbas Nr.7 34
Žiedo inercijos momento matavimas
Laboratorinis darbas Nr.8 37
Slopinamųjų svyravimų tyrimas spyruokline svyruokle
Laboratorinis darbas Nr.9 40
Slopinamųjų svyravimų tyrimas pasvirusiąja svyruokle
Laboratorinis darbas Nr.10 44
Priverstinių svyravimų tyrimas
Laboratorinis darbas Nr.11 47
Kūno laisvojo kritimo pagreičio nustatymas apverčiamąja ir matematine svyruokle
Laboratorinis darbas Nr.12 50
Kulkos greičio matavimas sukamąja balistine švytuokle

Laboratorinis darbas Nr.13 54
Giroskopo precesijos tyrimas
Laboratorinis darbas Nr.14 58
Garso greičio matavimas interferenciniu metodu
Laboratorinis darbas Nr.15 61
Garso greičio ore matavimas Kundto metodu
Laboratorinis darbas Nr.16 64
Skersinių tampriųjų bangų sklidimo stygoje greičio matavimas
Laboratorinis darbas Nr.17 67
Dujų molinių šilumų sntykio Cp/Cv matavimas
Laboratorinis darbas Nr.18 70
Oro klampumo koeficiento ir molekulių vidutinio laisvojo lėkio nustatymas
Laboratorinis darbas Nr.19 73
Kietojo kūno linijinio plėtimosi koeficiento matavimas
Laboratorinis darbas Nr.20 76
Dielektrikų šiluminio laidumo koeficiento nustatymas
Laboratorinis darbas Nr.21 79
Metalų šiluminio laidumo koėficiento ir elektronų vidutinio laisvojo lėkio nustatymas
Laboratorinis darbas Nr.22 82
Entropijos pokyčio fazinio virsmo metu matavimas
Laboratorinis darbas Nr.23 85
Rezistorių varžos matavimas Vitstono tilteliu
Laboratorinis darbas Nr.24 88
Laidininko specifinės varžos matavimas
Laboratorinis darbas Nr.25 91
Ampermetro ir voltmetro matavimo ribų praplėtimas
Laboratorinis darbas Nr.26 95
Elektroninio oscilografo tyrimas

Literatūra 100

FIZIKOS LABORATORINIŲ DARBŲ ATLIKIMO, APIFORMINIMO IR ATSISKAITYMO UŽ JUOS REIKALAVIMAI

Bendrieji reikalavimai

1. Įžanginio užsiėmimo metu studentai supažindinami su saugumo technikos ir priešgaisrinės apsaugos taisyklėmis. Kiekvienas studentas pasirašo laboratorijos žurnale.

2. Laboratoriniams darbams paruošti ir eksperimentų duomenyms surašyti studentas privalo turėti atskirą sąsiuvinį (darbo žurnalą).

3. Atlikti laboratorinius darbus leidžiama tik tiems studentams, kurie namuose yra pasiruošę konkretaus, tam užsiėmimui skirto laboratorinio darbo atlikimui. Ruošdamiesi užsiėmimui studentai privalo:

a) išsiaiškinti laboratorinio darbo tikslą ir nagrinėjamų reiškinių fizikinę prasmę;

b) išsiaiškinti atitinkamo fizikinio dydžio matavimo metodiką, susipažinti su naudojamais preitaisais ir jų veikimo principais ;

c) darbo žurnale studentas privalo užsirašyti tikslų darbo pavadinimą, darbo tikslą ir užduotį, pagrindines darbo formules, paklaidų formules, nubraižyti darbo schemas, trumpai aprašyti darbo atlikimo eigą, pagrindinių darbe sutinkamų dydžių fizikinę prasmę bei jų matavimo vienetus, išvestinių vienetų apibrėžimus, paruošti lenteles išmatuotiems dydžiams surašyti.

4. Studentams atvykusiems be darbo žurnalo arba jo neužpildžiusiems, neleidžiama atlikti laboratorinio darbo .

5. Dėstytojas įvertina kiekvieno studento pasiruošimą laboratoriniam darbui ir leidžia jį atlikti.

Darbo atlikimo taisyklės

1. Gavus leidimą daryti laboratorinį darbą, reikia susipažinti su darbo priemonėmis, jų naudojimo taisyklėmis. Jei darbe naudojami elektros matavimo prietaisai, reikia susipažinti su jų matavimo galimybėmis ir jungimo į grandinę taisyklėmis. Prieš jungiant schemą į maitinimo tinklą būtina gauti laboranto arba dėstytojo leidimą. Apie kiekvieną sugadintą arba neveikiantį prietaisą informuoti dėstytoją.

2. Gautus eksperimentinius rezultatus kiekvienas studentas tvarkingai surašo į darbo žurnalą. Visus reikalingus skaičiavimus taip pat surašo darbo žurnale.

3. Baigęs darbą, kiekvienas studentas sutvarko darbo vietą. Laborantui arba dėstytojui parodo darbo priemones, gautus eksperimentinius rezultatus bei atliktus skaičiavimus. Darbo žurnale dėstytojas pažymi apie laboratorinio darbo atlikimą.

Darbo apiforminimo reikalavimai

1. Darbo ataskaitos pateikiamos standartiniuose A4 (11) formato lapuose. Ataskaitoje būtina nurodyti laboratorinio darbo numerį, pilną darbo pavadinimą, studento vardą, pavardę ir grupę. Turi būti surašyti šie punktai:

darbo tikslas, darbo priemonės, pagrindinės formulės, paklaidų formulės, darbo įrenginio (prietaiso) schema, darbo eiga. darbo rezultatai, paklaidų įvertinimas, darbo išvados, naudota literatūra.

Darbo rezultatus rekomenduojama pateikti lentelėse. Grafikai braižomi ant milimetrinio popieriaus.

2. Atliktą laboratorinį darbą reikia apiforminti sekančiam užsiėmimui .

Laboratorinių darbų gynimas

1. Atliktą laboratorinį darbą būtina apginti sekančio (arba grafike nurodyto) užsiėmimo metu. Studentas privalo mokėti paaiškinti gautus eksperimento duomenis bei gautas priklausomybes, atsakyti į visus kontrolinius klausimus, pateiktus prie kiekvieno laboratorinio darbo aprašymo.

2. Dėstytojas kiekvieną atliktą ir apgintą darbą vertina pažymiu.

3.Jei studentas neapgynė darbų, tai jis netenka teisės toliau dirbti darbus.

4. Už sugadintus prietaisus ir įrengimus (dėl pačių studentų kaltės) studentai atsako materialiai.

I SKYRIUS

1. FIZIKINIŲ MATAVIMŲ PAKLAIDOS

Kiekvieno fizikinio dydžio palyginimas su tos pačios rūšies etalonu yra vadinamas to dydžio matavimu. Fizikiniai dydžiai matuojami tiesiogiai ir netiesiogiai.

Tiesioginiuose matavimuose fizikinį dydį betarpiškai lyginame su tos pačios rūšies etalonu.

Netiesioginiuose matavimuose tiesiogiai matuojame pagalbinius fizikinius dydžius, o ieškomąjį dydį apskaičiuojame iš teorinių formulių.

MATAVIMO PAKLAIDŲ RŪŠYS

Nustatyta, kad matuojant kelis kartus tą patį fizikinį dydį matavimų rezultatai daugiau ar mažiau skiriasi. Skirtumas tarp tikro, bet nežinomo, ir išmatuoto fizikinio dydžio didumo vadinamas matavimo paklaida. Paklaidų teorija aiškina, kaip iš matavimo rezultatų nustatyti tikrąjį fizikinio dydžio didumą, įvertinti matavimo paklaidą ir patikimumą. Matavimų paklaidos pagal jų pobūdį skirstomos į grubias klaidas, sistemines ir atsitiktines paklaidas.

Grubios klaidos įvyksta, kai esmingai pasikeičia pagrindinės matavimo sąlygos arba eksperimentatoriaus atidumas. Išmatavus tą patį fizikinį dydį kelis sykius, grubias klaidas lengva pastebėti ir jas atmesti..

Sistemines paklaidas gauname, kai matavimo metu kryptingai veikia pašaliniai faktoriai: pav. nesuderintas prietaisas, neteisinga matavimo metodika ir kt. Šios rūšies paklaidoms būdingas tam tikras dėsningumas. Sisteminės paklaidos nustatomos specialiais tyrimais: pav. fizikinis dydis matuojamas skirtingais būdais, matavimo prietaisas ir metodika patikrinami matuojant etaloninius dydžius ir kt.

Atsitiktines paklaidas gauname veikiant daugeliui išorinių faktorių, kurių kiekvieno, atskirai paimto, įtakos negalima įvertinti dėl jo poveikio mažumo, arba dėl sudėtingos sąveikos tarp daugybės mažų poveikių. Tokių paklaidų priežastys labai įvairios: prietaiso ir pastato virpesiai, temperatūros netolygus pasiskirstymas prietaise, oro srautų judėjimas prietaise ir aplinkoje, eksperimentatoriaus subjektyvios savybės.

Atlikus pakankamai didelį skaičių matavimų galime pasiekti, kad atsitiktinė paklaida bus mažesnė, negu sisteminė paklaida. Tada matavimo tikslumas nurodomas užrašant sisteminę paklaidą. Priešingai, jei atsitiktinė paklaida didesnė už sisteminę, reikia matuoti kelis kartus, kad atsitiktinė paklaida būtų bent vienos eilės su sistemine. Pilniau panagrinėsime atsitiktinės paklaidos įvertinimo metodus.

TIESIOGINĖS MATAVIMŲ PAKLAIDOS

Tiesioginiais matavimais nustatome tikimiausią matuojamojo fizikinio dydžio didumą ir įvertiname paklaidas: atsitiktinę, prietaiso bei matavimo rezultato suapvalinimo. Sudėjus visų paklaidų dydžius nustatome pilną tiesioginio matavimo paklaidą.

ATSITIKTINĖS TIESIOGINIŲ MATAVIMŲ PAKLAIDOS

Tarkime, kad fizikinį dydį, kurio tikrasis didumas **a**, išmatavome **N** kartų ir gavome šiuos duomenis: a_1, a_2, $a_3 \dots a_N$. Tikrojo jo didumo **a** ir išmatuoto dydžio a_i skirtumą vadiname tiesioginio matavimo absoliutine nuokrypa:

$$\Delta a_i = a - a_i \quad (1)$$

Dydžiai Δa_i gali būti tiek teigiami, tiek neigiami. Sudėję panariui ir padalinę iš **N** (matavimų skaičiaus), užrašome:

$$a = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} a_i + \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\Delta a_i \quad (2)$$

(2) lygybės dešinėje pusėje esantis pirmasis narys yra atskirų matavimų duomenų aritmetinis vidurkis **<a>**; antrasis - vidutinė nuokrypa nuo tikrojo fizikinio dydžio didumo. Pastarosios didumas yra nežinomas, tačiau remiantis atsitiktinių paklaidų teorija ją galima įvertinti. Teorija pagrįsta dviem teiginiais:

1) lygaus absoliutinio didumo, bet priešingų ženklų paklaidos yra vienodai tikimos;

2) kuo didesnis paklaidos absoliutinis didumas, tuo toji paklaida yra mažiau tikima.

Iš pirmojo teiginio plaukia, kad išmatavus be galo daug kartų $(N \to \infty)$

$$\lim_{N\to\infty}\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\Delta a_i = 0 \quad , \quad (3)$$

o matuojamo fizikinio dydžio tikrasis didumas lygus matavimo duomenų aritmetiniam vidurkiui (**a=<a>**).

Matuojant baigtinį skaičių **N** kartų tikrasis fizikinio dydžio didumas tik apytikriai lygus matavimo duomenų aritmetiniam vidurkiui ($a \approx \langle a \rangle$), todėl reikia įvertinti šios apytikrės lygybės tikslumą, kitaip tariant, nustatyti matavimų atsitiktinę paklaidą Δa ir nurodyti rezultatų patikimumą. Kadangi fizikinio dydžio matavimai yra nepriklausomi, todėl atskirų matavimų duomenys a_i, taip pat jų absoliutinės paklaidos Δa_i, yra atsitiktiniai dydžiai su apibrėžtu tikimybių pasiskirstymu. Daugelio bandymų analizė rodo, kad atsitiktinių matavimų a_i pasiskirstymas gerai sutampa su normaliu, arba Gauso, pasiskirstymu. Atsižvelgiant į tai, kad lygaus absoliutinio didumo, bet priešingų ženklų atsitiktinės paklaidos yra vienodai tikimos, matavimų tikimybės tankio pasiskirstymo funkcija užrašoma taip:

$$f(a_i) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\exp\left(-\frac{(a-a_i)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (4)$$

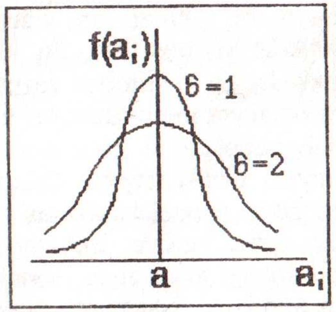
Pasiskirstymo funkcija $f(a_i)$ išreiškia santykinį skaičių **dN/N** matavimų intervale da_i :

$$\frac{dN}{N} = f(a_i)da_i \quad (5)$$

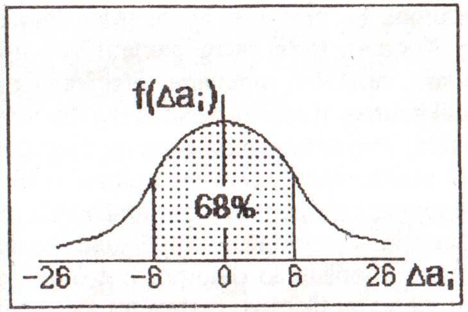
Funkcijos $f(a_i)$ išraiškoje (4) yra parametras σ vadinamas standartine nuokrypa. Kai matavimų skaičius **N** be galo didelis $(N \to \infty)$, σ lygus atskirų matavimų vidutinei kvadratinei paklaidai

$$\sigma \approx \Delta S = \lim_{N\to\infty}\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(a-a_i)^2}{N-1}} \quad (6)$$

Dydis σ^2 charakterizuoja atsitiktinių paklaidų Δa_i sklaidą. Jis vadinamas dispersija ir vartojamas kaip sklaidos matas. 1 paveiksle pateiktas matavimų a_i tikimybės tankio pasiskirstymo grafinis vaizdas dviem skirtingiems σ didumams.



1 pav.



2 pav.

Apskaičiuosime santykinį matavimų skaičių dN_m/N tenkantį pasirinktam paklaidų intervalui [**<a>-Δa** ; **<a>+Δa**]. Paklaidų teorijoje nustatyta, kad paklaidų intervalą patogiausia pasirinkti σ vienetais, t.y. $\Delta a_i = m\sigma$, čia **m**=1,2,3... Iš (5) lygybės plaukia, kad intervalui [**<a>-σ** ; **<a>+σ**]

$$\frac{N_1}{N} = \int_{<a>-\sigma}^{<a>+\sigma} f(a_i)da_i = 0.683$$

Intervalui [**<a>-2σ;<a>+2σ**] , $N_2/N=0.954$;
intervalui [**<a>-3σ;<a>+3σ**] , $N_3/N=0.997$.

Iš pateiktų skaičiavimų matyti, kad pirmam intervalui (m=1) tenka 68,3% (2 pav.), antram (m=2) - 95,4%, trečiam (m=3) - 99,75 visų matavimų. Priimta, kad į intervalą [**<a>-3σ** ; **<a>+3σ**] patenka visi matavimo duomenys.

Jei fizikinis dydis matuotas tik vieną kartą, tai tikimybė kad rezultatas pateks į pirmąjį intervalą yra lygi 0.683, kad į antrąjį - 0,954, kad į trečiąjį - 0,997. Taigi, nurodant atsitiktinę paklaidą, būtina nurodyti pasikliaujamąjį (patikimumo) intervalą [**<a>-Δa** ; **<a>+Δa**] ir jo tikimybę. Pastaroji vadinama patikimumo koeficientu α, arba tiesiog patikimumu α.

Aprašytasis paklaidų įvertinimas vartotinas tik dideliam matavimų skaičiui. Praktikoje fizikinį dydį matuojame nedaug kartų, todėl Gauso pasiūlytasis paklaidų įvertinimo metodas netinka, nes atskirų matavimų aritmetinis vidurkis nelygus tikrajam fizikinio dydžio didumui (**<a>≠a**), be to pagal (6) formulę negalima apskaičiuoti vidutinės kvadratinės paklaidos. Anglų mokslininkas V.Gosset'as, spausdinęs savo darbus "Stjudento" slapyvardžiu, pasiūlė atsitiktinių

dydžių tikimybės tankio pasiskirstymo išraišką, vadinamą Stjudento pasiskirstymo funkcija. Joje tikimybės tankio pasiskirstymas priklauso nuo matavimų skaičiaus **N**, standartinė nuokrypa σ prilyginama matavimų serijos aritmetinio vidurkio vidutinei kvadratinei paklaidai

$$\Delta S_{<a>} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(a_i - <a>)^2}{N(N-1)}} \qquad (7)$$

Nedideliam matavimų skaičiui skirtumą tarp tikrojo fizikinio dydžio didumo **a** ir matavimų vidurkio **<a>** nurodo Stjudento koeficientas $t_\alpha(N)$, o patikimumo intervalą apskaičiuojame (7) lygybę padauginę iš $t_\alpha(N)$, pasirinktam patikimumui α ir matavimų skaičiui **N** :

$$\Delta a = t_\alpha(N)\Delta S_{<a>} \qquad (8)$$

Koeficiento $t_\alpha(N)$ reikšmės surašytos 1 lentelėje.

N \ α	0.5	0.9	0.95	0.99
2	1.60	6.31	12.7	63.7
3	0.82	2.92	4.30	9.92
4	0.77	2.35	3.18	5.94
5	0.74	2.13	2.78	4.60
6	0.73	2.02	2.57	4.03
7	0.72	1.94	2.45	3.71
∞	0.68	1.65	1.96	2.59

Pastaba: laboratoriniuose darbuose vartojamas patikimumo koeficientas α=0,95.

Galutinis matavimo rezultatas užrašomas taip: a=<a>±Δa, α=0,95 , kitaip tariant, matuojamas fizikinis dydis su tikimybe 0,95 yra intervale (<a>±Δa).

VIENKARTINIO TIESIOGINIO MATAVIMO PAKLAIDA

Šių paklaidų didumas įvertinamas atsižvelgiant į matavimo prietaiso sisteminę paklaidą. Prietaiso sisteminės paklaidos dydį nurodo didžiausia absoliutinė prietaiso paklaida δ arba prietaiso tikslumo klasė **K**, kuri lygi santykinei redukuotajai paklaidai:

$$K = \frac{\delta}{A_V} 100\% . \qquad (9)$$

čia A_V - matavimo prietaiso vardinis (didžiausias) parodymas. Tikslumo klasė nurodo didžiausią redukuotąją paklaidą visam prietaiso padodymų diapazonui. Pav. elektros matavimo prietaisams nurodomos tokios tikslumo klasės: 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 2,5; 4,0.

Jei atsitiktinės paklaidos savo dydžiu yra artimos prietaiso sisteminei paklaidai, tai patikimumo intervalą skaičiuojame pagal formulę

$$\Delta a = \sqrt{\Delta S^2_{<a>} t^2_\alpha(N) + \left(\frac{\delta}{3}\right)^2 t^2_\alpha(\infty)} \qquad (10)$$

Paklaidos δ ir tikslumo klasės K didumai pateikiami su patikimumu 0,997. Patikimumui 0,95 prietaiso paklaidos didumas bus:

$$\Delta a_{pr} = \frac{2}{3}\delta = \frac{2}{3}\frac{K}{100\%}A_V \qquad (11)$$

NETIESIOGINIŲ MATAVIMŲ PAKLAIDOS

Dažnai fizikinio dydžio tiesiogiai išmatuoti negalima. Tarkime, kad fizikinis dydis **x** priklauso nuo **a**, **b**, **c**... fizikinių dydžių (**x = f(a,b,c...)**), kuriuos galime tiesiogiai išmatuoti ir anksčiau aprašytu būdu nustatyti jų matavimo paklaidas **Δa**, **Δb**, **Δc**... su vienodu patikimumu. Fizikinio dydžio **x** tikrąjį didumą apskaičiuojame nustatę **a**, **b**, **c**... vidurkius

$$x = <x> = f(<a>, <b>, <c>...) \qquad (12)$$

Fizikinio dydžio **x** matavimo paklaidą **Δx** apskaičiuosime pagal diferencialinio skaičiavimo metodu išvestą paklaidos formulę:

$$\Delta x = \sqrt{\left(\frac{\partial x}{\partial a}\right)^2 (\Delta a)^2 + \left(\frac{\partial x}{\partial b}\right)^2 (\Delta b)^2 + \left(\frac{\partial x}{\partial c}\right)^2 (\Delta c)^2 + \ldots} , \qquad (13)$$

čia $\frac{\partial x}{\partial a}, \frac{\partial x}{\partial b}, \frac{\partial x}{\partial c}$... yra funkcijos **f(a,b,c...)** dalinės išvestinės.

Apskaičiuotas dydis **x** bus intervale (**<x>±Δx**) su patikimumu α, kuris priimtas tiesioginiuose matavimuose.

Tiek tiesioginių, tiek netiesioginių matavimų kokybę galime įvertinti ir santykine paklaida ε išreikšta procentais:

$$\varepsilon = \frac{\Delta x}{x} 100\% \qquad (14)$$

2. SKAIČIŲ SUAPVALINIMO TAISYKLĖS

Suapvalinant apytikrį skaičių, ypatingą reikšmę turi reikšminių ženklų kiekis. Reikšminiais ženklais vadinami visi skaičiai, tarp jų ir nuliai, jei jie nėra skaičiaus pradžioje. Taip pvz. skaičiai

3,1416 ; 5,094 10^5 ; 0,0172

turi penkis, keturis ir tris reikšminius ženklus. Galima sakyti, kad tai yra penkiaženklis, keturženklis ir triženklis skaičiai.

Apytikrius ir tikrus skaičius galima apvalinti, t.y., mažinti jų reikšminių ženklų kiekį. Pvz. apvalinant skaičių 7,192 iki trijų ženklų gauname 7,19 iki dviejų - 7,2. Apvalinant skaičių 1681 iki dviejų reikšminių ženklų gauname 1,7 10^3.

Atliekant matematinius veiksmus su apytikriais skaičiais negalima gauti rezultato, tikslesnio negu tai leidžia išeities duomenys. Pvz. matuojant su milimetrine liniuote, gauto rezultato (121, 121, 122, 121, 122, 121) mm. vidurkis bus 121 mm, bet ne 121,3 mm arba 121,33 mm. Juk ilgis nei vienu atveju nebuvo matuotas iki dešimtųjų arba šimtųjų milimetro dalių. Kitaip sakant, rezultate paliekame tiek reikšminių ženklų, kiek jų buvo išeities duomenyse.

Jei sudedame skaičius turinčius skirtingą reikšminių ženklų kiekį, rezultate paliekame tiek ženklų kiek jų yra mažiausiai ženklų turinčiame skaičiuje.

Pvz. 12,1 + 4,340 + 0,402 = 16,842≈16,8.

Skaičiavimai supaprastėja, jei skaičius prieš sudėdami suapvaliname.

Pvz. 12,1+4,340+0,402≈12,1+4,34+0,40≈16,8.

Atimant du artimus skaičius rezultate gali nelikti nei vieno tikro ženklo.

Pvz. 12,2 - 12,1 = 0,1.

Dauginant arba dalinant skaičius su vienodu reikšminių ženklų skaičiumi rezultate paliekama tiek pat ženklų, kiek jų yra kiekviename skaičiuje.

Pvz. 82,5 x 2,50 = 206,250 ≈ 20,6.

Jei dauginamuose skaičiuose reikšminių ženklų skaičius yra skirtingas, rezultate paliekame tiek ženklų, kiek jų turi mažiausiai ženklų turintis skaičius.

Pvz. $6{,}25 \times 0{,}43 = 2{,}6875 \approx 2{,}7$;

$451 : 2{,}4 = 187{,}8 \approx 1{,}9\ 10^2$.

Keliant skaičius laipsniu arba traukiant šaknį, rezultate paliekama tiek ženklų , kiek jų yra pradiniame skaičiuje.

Pvz. $0{,}37^2 = 0{,}1369 \approx 0{,}14$;

$\sqrt{5{,}208} = 2{,}282$.

Logaritmuojant ir antilogaritmuojant paliekama tiek ženklų, kiek jų yra pradiniame skaičiuje.

Pvz. $\lg(22{,}15) = 1{,}345$, jei $\lg(x) = 0{,}649$, tai $x = 4{,}46$.

Pastaba. Skaičiavimo tarpiniuose rezultatuose paliekama reikšminių ženklų vienetu daugiau negu čia buvo aprašyta. Taip elgiamasi ir apvalinant skaičius, su kuriais vėliau atliekami matematiniai veiksmai.

II SKYRIUS

LABORATORINIS DARBAS Nr.1

MEDŽIAGOS TANKIO NUSTATYMAS IR ATSITIKTINIŲ PAKLAIDŲ SKAIČIAVIMAS

TIKSLAS: Nustatyti žinomos geometrinės formos kietojo kūno medžiagos tankį ir įvertinti matavimo paklaidas.

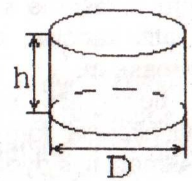
PRIEMONĖS: tiriamos medžiagos kietasis kūnas, svarstyklės, slankmatis, mikrometras.

PAGRINDINĖS FORMULĖS IR MATAVIMO METODIKA

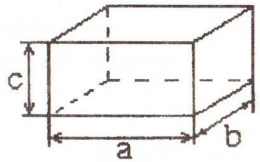
Vienalyčio kūno tankis ρ skaitmeniškai yra lygus vienetiniame tūryje esančios medžiagos masei ir išreiškiamas taip:

$$\rho = \frac{m}{V} \qquad (1)$$

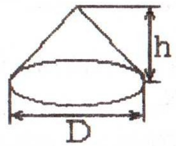
Darbe nustatomas cilindro, stačiakampio gretasienio, kūgio, nupjautinio kūgio formos kūnų tankis. Jų tūriai atitinkamai išreiškiami taip:



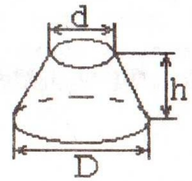
$$V_c = \frac{\pi D^2 h}{4}, \qquad (2a)$$



$$V_{sg} = abc \qquad (2b)$$



$$V_k = \frac{1}{12}\pi D^2 h \qquad (2c)$$



$$V_{nk} = \frac{\pi h}{12}(D^2 + dD + d^2) \qquad (2d)$$

Kūnų matmenys išmatuojami slankmačiu arba mikrometru, masė nustatoma svarstyklėmis.

BANDYMO EIGA

1. Išmatuojame kūno geometrinius matmenis. Kiekvieną dydį matuojame 3 - 5 kartus ir matavimo duomenis surašome į toliau pateikto pavyzdžio lentelę. Matuojant mikrometru užrašome šimtąsias milimetro dalis, slankmačiu - dešimtąsias, atitinkančias prietaisų tikslumo klasę. Pasveriame kūną ir nustatome jo masę **m**.

2. Apskaičiuojame kūno matmenų tiesioginių matavimų aritmetinius vidurkius ir, pagal kūno formą atitinkančią formulę (2), apskaičiuojame kūno vidutinį tūrį **<V>**. Įrašę skaitmeninius dydžius į (1) formulę, apskaičiuojame tiriamos medžiagos vidutinį tankį <ρ>.

3. Įvertiname tiesioginių ir netiesioginių matavimų paklaidas. Paklaidų įvertinimo pavyzdį pateikiame stačiakampio gretasienio formos kietajam kūnui. Tarkime, kad jo pagrindas yra kvadratas, kurio kraštinės ilgis **a**, o aukštis - **h**. Kūno tūrį apskaičiuojame iš formulės **V= a²h**. **a** ir **h** matavimų duomenis surašome į lentelę.

Nr.	a, mm	<a>, mm	a_i-<a>, mm	$(a_i$-<a>$)^2$, mm^2	$\Delta S_{<a>}$, mm	Δa, mm
1	32.76		+0.04	0.0016		0.086
2	32.71	32.72	-0.01	0.0001	0.02	a=0.95
3	32.69		-0.03	0.0009		

Tokią pat lentelę sudarome dydžiui h. Kūno masę matuojame vieną kartą, nes svarstyklių paklaida (mažiausiais svarelis pastebimai išvedantis svarstykles iš pusiausvyros) δ yra daug didesnė už atsitiktinę. Taigi įvertinant Δm formulėje (10) paliekame tik antrąjį narį. Paklaidas Δa ir Δh apskaičiuojame pagal (8) formulę imdami α=0,95. Kadangi

$$\partial\rho/\partial m = 1/a^2h, \quad \partial\rho/\partial a = -2m/a^3h \quad ir \quad \partial\rho/\partial h = -m/a^2h^2 \quad iš\ (12)$$

gauname:

$$\Delta\rho = \sqrt{\left(\frac{\Delta m}{<a>^2<h>}\right)^2 + \left(\frac{2m\Delta a}{<a>^3<h>}\right)^2 + \left(\frac{m\Delta h}{<a>^2<h>^2}\right)^2} \quad . (3)$$

Skaičiavimo rezultatą užrašome taip:

ρ=<ρ>+Δρ=(7851±10)kg/m³, α=0.95.

Medžiagos tankio skaičiavimo rezultatą palyginame su medžiagų tankiais, pateiktais žinyne, ir nustatome tiriamos medžiagos cheminę prigimtį. Suformuluojame išvadas.

KONTROLINIAI KLAUSIMAI

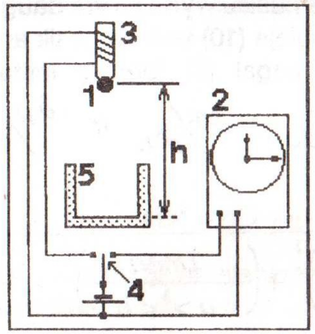
1. Fizikinių dydžių tiesioginiai ir netiesioginiai matavimai.
2. Matavimo paklaidos (sisteminės, atsitiktinės, grubios klaidos).
3. Vienkartinio matavimo absoliutinė paklaida, matavimų serijos vidutinė kvadratinė paklaida.
4. Santykinė paklaida.
5. Normalinis (Gauso) paklaidų pasiskirstymo dėsnis.
6. Pasikliaujamojo intervalo ir patikimumo koeficiento supratimas.
7. Pasikliaujamojo intervalo nustatymas Stjudento metodu.
8. Kaip nustatomos netiesioginių matavimų absoliutinė ir santykinė paklaidos?

LABORATORINIS DARBAS Nr. 2.

KŪNŲ LAISVOJO KRITIMO PAGREIČIO MATAVIMAS

TIKSLAS: išmatuoti laisvojo kritimo pagreitį **g**, įvertinti žmogaus reakcijos laiką ir apskaičiuoti netiesioginių **g** matavimų paklaidas.

PRIEMONĖS: kritimo įrenginys su elektromagnetu ir masyviu metaliniu rutuliuku (1 pav.), liniuotė, sekundometras, įrenginys žmogaus reakcijai matuoti (2 pav.).



1 pav.

DARBO METODIKA IR PAGRINDINĖS FORMULĖS

Laisvojo kritimo pagreitį apskaičiuojame išmatavę pakankamai masyvaus rutuliuko laisvojo kritimo iš aukščio **h** laiką **t** sekundometru 2. Pagreitį apskaičiuojame pagal formulę:

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

Įrenginyje elektromagnetas 3 ir sekundometras 2 sujungti taip, kad kritimo laiką **t** matuojantis sekundometras įjungiamas jungtuku 4 tą pačią akimirką, kai elekromagnetas paleidžia kristi rutuliuką 1.

Nukritus rutuliukui iš aukščio **h** į dėžutę 5 ir pasigirdus smūgio į dugną garsui eksperimentuotojas jungtuku 4 sustabdo sekundometrą. Akivaizdu, kad dėl eksperimentuotojo reakcijos sekundometras išjungiamas pavėluotai. Šį pavėlavimą, reakcijos laiką , τ būtina įvertinti, todėl (1) lygybę perrašome taip

$$g = \frac{2h}{(t-\tau)^2}. \qquad (2)$$

Reakcijos laiką τ įvertiname įrenginiu, pavaizduotu 2 pav.

Studentai 1,2,...n, pamatę įsižiebusią, jungtuku J_p įjungtą lemputę L (tuo pat metu paleidžiami laikrodžiai $L_1, L_2, ... L_n$), kuo skubiau jungtukais $J_1, J_2, ... J_n$ išjungia savo laikrodį, taip išmatuodami savo reakciją τ.

Kritimo laiko **t** ir reakcijos laiko τ tiesioginių matavimų paklaidas įvertiname Stjudento metodu. Kritimo aukštį matuojame vieną kartą, todėl įvertiname tik maksimalią paklaidą, atitinkančią matavimo prietaiso tikslumo klasę.

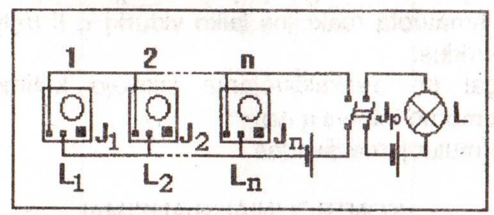
Laisvojo kritimo pagreičio netiesioginio matavimo patikimumo intervalą apskaičiuojame pagal formulę:

$$\Delta g = \frac{2}{(t-\tau)^3}\sqrt{\Delta h^2 (t-\tau)^2 + 4h^2(\Delta t^2 + \Delta\tau^2)}\ . \qquad (3)$$

DARBO EIGA

I. Reakcijos laiko τ matavimas.

Įjungiame matuojančius laikrodžius į maitinimo tinklą (~220 V).



2 pav.

1. Dėstytojas vienu metu įjungia lemputės L maitinimą ir paleidžia laikrodžius $L_1, L_2, ... L_n$ (2 pav.)

2. Pamatę įsižiebusią lemputę kuo skubiau išjungiame stendo laikrodį, rodantį reakcijos laiką τ, per kurį reaguojame į išorės dirgiklį. Bandymus atliekame **N** (3-5) kartų.

3. Įvertiname vidutinį reakcijos laiką

$$< \tau > = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\tau_i$$

4. Stjudento metodu apskaičiuojame reakcijos laiko τ patikimumo intervalą:

$$\Delta\tau = t_\alpha(N)\Delta S_n, \quad \alpha=0{,}95 \qquad (4)$$

II. Laisvojo kritimo pagreičio **g** matavimas.

1. Įjungę elektromagnetą 3 (1 pav.) į maitinimo tinklą (6 V) prikabiname prie jo rutuliuką 1.
2. Jungtuku 4 paleidžiame rutuliuką 1 kristi; tuo pat metu įsijungiamas laikrodis 2.
3. Nukritus rutuliukui į dėžutę 5 ir išgirdus rutuliuko smūgio į dėžutės 5 dugną garsą paleidžiame 4 mygtuką ir sustabdome laikrodį matuojantį kritimo laiką **t**. Atliekame matavimus 5-7 kartus ir apskaičiuojame **t** vidurkį.
4. Išmatuojame kritimo aukštį **h** ir įvertiname šio matavimo maksimalią paklaidą **Δh**.
5. Stjudento metodu apskaičiuojame kritimo laiko **t** patikimumo intervalą

$$\Delta t = t_\alpha(N)\Delta S_n, \quad \alpha=0{,}95 \qquad (5)$$

6. Laisvojo kritimo pagreitį apskaičiuojame į (2) lygybę įrašę šio darbo I dalyje išmatuotą reakcijos laiko vidurkį τ, II dalyje išmatuotų h bei **t** dydžių vidurkius.
7. Pagal (2) apskaičiuojame laisvojo kritimo pagreičio **g** matavimo patikimumo intervalą **Δg**.
8. Suformuluojame išvadas .

KONTROLINIAI KLAUSIMAI

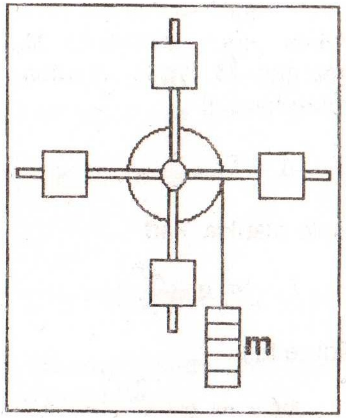
1. Kokia jėga suteikia kūnams laisvojo kritimo pagreitį?
2. Nuo ko priklauso laisvojo kritimo pagreitis?
3. Apibūdinkite kūno nesvarumo būseną.
4. Kurio dydžio **h**, **t** ar τ matavimo tikslumas lemia **g** patikimumo intervalo didumą?
5. Kokį vaidmenį vaidina žmogaus reakcija šiuo metodu matuojamo **g** didumui?

LABORATORINIS DARBAS Nr.3

SUKAMOJO JUDĖJIMO DĖSNIO TIKRINIMAS

TIKSLAS: ištirti Oberbeko švytuoklės sukimosi kampinio pagreičio priklausomybės nuo jėgos momento pobūdį ir nustatyti švytuoklės inercijos momento bei trinties jėgos momento didumus.

PRIEMONĖS: Oberbeko švytuoklė, kuri sudaryta iš keturių ritinių užmautų ant įtvirtintų skriemulyje sukryžiuotų strypų (1 pav.). Keičiant ritinių padėtį sukimosi ašies atžvilgiu, keičiasi švytuoklės inercijos momento didumas. Oberbeko švytuoklę įsuka virvelė, tempiama sunkio jėgos veikiamo pasvarėlio. Pasvarėlio kritimo laiką automatiškai registruoja įrenginys sujungtas su sekundometru. Kitos priemonės: pasvarėlių rinkinys, svarstyklės, slankmatis, liniuotė.



1 pav

DARBO METODIKA IR PAGRINDINĖS FORMULĖS

Pagrindinis sukamojo judėjimo dėsnis susieja besisukančio kūno kampinį pagreitį ε ir kūną veikiantįjį jėgos momentą **M** :

$$\varepsilon = \frac{M}{I} \qquad (1)$$

čia I - besisukančio kūno inercijos momentas, apibrėžiantis kūno inertiškumą sukamajame judėjime. Be išorinės jėgos momento $\mathbf{M_i}$, kiekvieną besisukantį kūną dažniausiai veikia pastovus, sukimąsi stabdantis, trinties jėgos momentas $\mathbf{M_0}$. Todėl atstojamojo momento modulis $\mathbf{M=M_0+M_i}$, (1) lygybę perrašome taip:

$$\varepsilon = -\frac{M_0}{I} + \frac{M_i}{I} \qquad (2)$$

Atliekant bandymą nustatome, ar tikrai kampinis pagreitis ε ir sistemą veikiantis jėgos momentas $\mathbf{M}$ susieti tiesine $\mathbf{y=-a+bx}$ tipo, priklausomybe.

Besisukančios Oberbeko švytuoklės kampinį pagreitį ε apskaičiuojame išmatavę pasvarėlio kritimo aukštį $\mathbf{h}$, laiką $\mathbf{t}$ ir skriemulio, aplink kurį apvyniota virvelė, spindulį $\mathbf{r}$. Kadangi pasvarėlio kritimo pagreitis ir skriemulio paviršiaus taškų linijiniai pagreičiai yra lygūs, todėl visos sistemos kampinis pagreitis ε yra:

$$\varepsilon = \frac{2h}{t^2 r}\ . \qquad (3)$$

Nepaisant trinties jėgos momento $\mathbf{M_0}$, Oberbeko švytuoklę veikiantis jėgos momentas $\mathbf{M}$ lygus virvutės įtempimo jėgos $\mathbf{T}$ ir skriemulio spindulio $\mathbf{r}$ sandaugai:

$$M = Tr\ . \qquad (4)$$

Iš antrojo Niutono dėsnio plaukia, kad

$$T = m\left(g - \frac{2h}{t^2}\right), \qquad (5)$$

todėl (4) lygybę užrašome taip:

$$M = m\left(g - \frac{2h}{t^2}\right)r\ . \qquad (6)$$

Atliekant bandymą su skirtingos masės $\mathbf{m_i}$ pasvarėliais nustatome $\mathbf{M_i}$ ir ε_i (i=1,2,3,4...) didumus. Iš gautų duomenų nubrėžiame funkcijos $\varepsilon_i\mathbf{=f(M_i)}$ grafiką. Iš tiesės polinkio į abscisių ašį nustatome švytuoklės inercijos momento didumą. Jei veikia trinties jėgos momentas, tai tiesės susikirtimo su abscisių ašimi taškas atitinka trinties jėgos momento $\mathbf{M_0}$ didumą.

BANDYMO EIGA

1. Nustatome ir užfiksuojame ritinėlių, užmautų ant švytuoklės strypų, padėtį. Švytuoklė subalansuota, jei ją pasukus kiekvienas ritinėlis gali užimti žemiausią padėtį.
2. Pasveriame pasvarėlius $\mathbf{m_i}$, išmatuojame veleno skriemulio spindulį $\mathbf{r}$ ir pasvarėlio kritimo aukštį $\mathbf{h}$.
3. Patikriname automatinio laiko registravimo mechanizmą ir parengiame sekundometrą matavimui.
4. Užvyniojame virvutę ant skriemulio, prikabiname prie jos pasvarėlį $\mathbf{m_i}$, ir priartinę per keletą milimetrų iki laiko paleidimo mechanizmo leidžiame kristi. Bandymą kartojame ne mažiau tris kartus. Įvertname kritimo laiko $\mathbf{t}$ vidurkį ir matavimo paklaidą (Stjudento metodu).
5. Ketvirtą užduotį pakartojame su didesnės masės pasvarėliais (3-4 pasvarėliai). Visus matavimo duomenis tvarkingai surašome į lenteles.
6. Apskaičiuojame kampinius pagreičius ε_i ir juos atitinkančius jėgos momentus $\mathbf{M_i}$.
7. Nubrėžiame funkcijos $\varepsilon_i\mathbf{=f(M_i)}$ grafiką ir nustatome švytuoklės su ritiniais inercijos momento I ir trinties jėgos momento $\mathbf{M_0}$ didumus.
8. Įvertiname ε ir $\mathbf{M}$ matavimo paklaidas ir suformuluojame išvadas.

KONTROLINIAI KLAUSIMAI

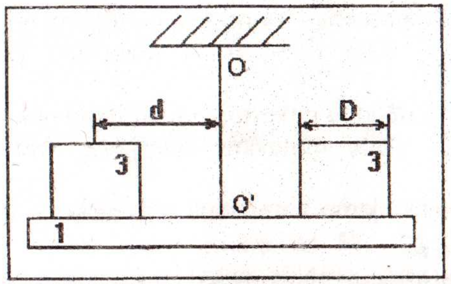
1. Sukamojo judėjimo kinematiniai dydžiai: kampinis greitis ir pagreitis, tangentinis ir normalinis pagreičiai.
2. Pagrindinis sukamojo judėjimo dėsnis, jo susiejamų fizikinių dydžių apibrėžimai.

LABORATORINIS DARBAS Nr.4

STRYPO INERCIJOS MOMENTO MATAVIMAS SUKAMŲJŲ SVYRAVIMŲ METODU

TIKSLAS: išmatuoti kūno (strypo su pasvaru) inercijos momentą.

PRIEMONĖS: matavimų stendas, kurį sudaro metalinis strypas, pakabintas ant plieninės vielos, ir pasvarai (1 pav.), sekundometras, slankmatis, kūnai, kurių inercijos momentai apskaičiuojami.



1 pav

PAGRINDINĖS FORMULĖS IR DARBO METODIKA

Sistema harmoningai svyruos, jei strypą 1 pasuksime mažu kampu aplink stačiąją ašį ir paleisime. Harmoninių sukamųjų svyravimų periodas T_0 priklauso nuo vielos sąsūkos modulio k ir švytuojančio kūno inercijos momento I_0:

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{I_0}{k}} \qquad (1)$$

Pakeitus svyruojančios sistemos inercijos momentą, t.y. papildomai pritvirtinus ant strypo simetriškai du ritinius, kurių bendras inercijos momentas I_k gali būti įvertintas, pakinta ir sistemos svyravimų periodas:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I_0 + I_k}{k}} \qquad (2)$$

Ritinių, svyruojančių kartu su strypu aplink stačiąją ašį, inercijos momentas I_k apskaičiuojamas pagal Šteinerio teoremą :

$$I_k = 2\left(\frac{1}{8}mD^2 + md^2\right), \qquad (3)$$

čia **m** vieno ritinio masė, **D** jo skersmuo, **d** atstumas nuo svyravimų ašies iki ašies, einančios per ritinio masės centrą.

Iš (1),(2) ir (3) plaukia:

$$I_0 = 2\left(\frac{1}{8}mD^2 + md^2\right)\frac{T_0^2}{T^2 - T_0^2}. \qquad (4)$$

Parinkus periodų T_0 ir T matavimų metu tą patį svyravimų skaičių **N**, (4) lygybę galima perrašyti taip :

$$I_0 = m\left(\frac{1}{4}D^2 + 2d^2\right)\frac{t_0^2}{t^2 - t_0^2}, \qquad (5)$$

čia t_0 ir t - strypo be ritinių ir su ritiniais svyravimų skaičiaus **N** laiko trukmės.

BANDYMO EIGA

1. Užsukę strypą (be ritinių) nedideliu kampu, paleidžiame jį svyruoti ir išmatuojame N=10 (arba kito pasirinkto skaičiaus) svyravimų laiką t_0. Atliekame kelis bandymus ir įvertiname vidutinį t_0 didumą.

2. Ant strypo nuotolyje **d** nuo svyravimų ašies įtvirtiname ritinius, kurių masę **m** ir skersmenį **D** prieš tai išmatuojame. Užsukę tokiu pat kampu sistemą su ritiniais, išmatuojame kelis kartus to paties svyravimų skaičiaus **N** laiką **t**, ir surandame jo vidurkį.

3. Iš (5) formulės apskaičiuojame strypo inercijos momentą I_0.

4. Įvertiname tiesioginių matavimų m, D, d, t_0, t paklaidas Δm, ΔD, Δd, Δt_0, Δt ir apskaičiuojame netiesioginio I_0 matavimo paklaidą ΔI_0.

KONTROLINIAI KLAUSIMAI

$J = mr^2$

1. Materialaus taško ir kietojo kūno inercijos momentas. Inercijos momento fizikinė prasmė.
2. Hiuigenso-Šteinerio teorema ir jos taikymas.
3. Jėgos momento ir impulso momento apibrėžimai.
4. Besisukančio kūno kinetinė energija.
5. Kodel tiriamos kūnų sistemos periodas matuojamas du kartus: neapkrauto strypo ir uždėjus simetriškai du kūnus?

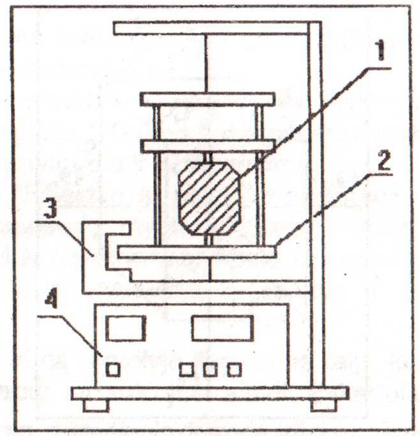
LABORATORINIS DARBAS Nr.5

TAISYKLINGOS FORMOS KŪNŲ INERCIJOS MOMENTO MATAVIMAS SUKAMŲJŲ SVYRAVIMŲ METODU

TIKSLAS: sukamųjų svyravimų metodu išmatuoti stačiakampio gretasienio formos kūno inercijos momentus ašių, einančių per jo masės centrą, atžvilgiu. Eksperimentinius duomenis palyginti su skaičiavimų rezultatais.

PRIEMONĖS: įrenginys kūno sukamųjų svyravimų periodui matuoti, svarstyklės, slankmatis.

Sukamosios svyruoklės schema pavaizduota 1 pav. Tiriamasis kūnas (1) įtvirtinamas rėmelyje (2). Rėmelio svyravimų skaičių **N** ir jų trukmę **t** registruoja fotoelektrinis justukas (3), sujungtas su prietaisu (4), kurio skaitmeniniuose indikatoriuose stebimi matavimo duomenys.



1 pav.

DARBO METODIKA IR PAGRINDINĖS FORMULĖS

Kai rėmelį su įtvirtintu jame kūnu veikia išorinių jėgų momentas $\mathbf{M_i}$, jis pasisuka kampu φ. Tampriosios deformacijos ribose galioja sąryšis:

$$M_i = k\varphi, \quad (1)$$

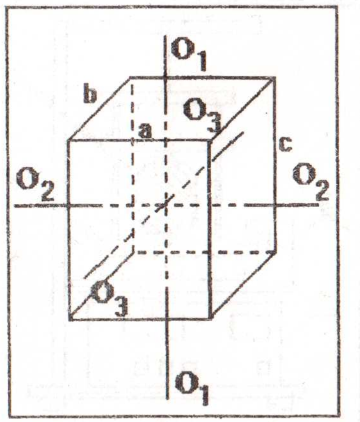
čia **k** vielos sąsūkos modulis. Jis priklauso nuo vielos ilgio **d**, jos spindulio **r** ir vielos medžiagos šlyties modulio **G**:

$$k = \pi \frac{Gr^4}{2d}. \qquad (2)$$

Nustojus veikti išorinių jėgų momentui M_i , vielos tamprumo jėgų momentas **M** priverčia rėmelį su kūnu suktis kampiniu pagreičiu **e**, kurio dydis priklauso nuo sistemos inercijos momento **I**:

$$\varepsilon = \frac{M}{I}. \qquad (3)$$

Svyruojančios sistemos inercijos momentas sudarytas iš rėmelio I_O ir tiriamojo kūno I_1 inercijos momentų: $I = I_O + I_1$. Kadangi $M_i = -M$, tai iš (1) ir (3) gautos diferencialinės svyravimų lygties sprendinio plaukia, kad svyruoklės svyravimų periodas **T** priklauso nuo jos inercijos momento **I**:



2 pav.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{k}} = 2\pi\sqrt{\frac{I_0 + I_1}{k}} \qquad (4)$$

Neapkrauto rėmelio svyravimų periodas:

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{I_0}{k}}. \qquad (5)$$

Iš (2), (3) (4) ir (5) lygybių plaukia, kad tiriamojo kūno inercijos momentas yra:

$$I_1 = \frac{k}{4\pi^2}(T^2 - T_0^2) = \frac{Gr^4}{8\pi d}(T^2 - T_0^2) \qquad (6)$$

Remiantis inercijos momento apibrėžimu, galima įrodyti, kad stačiakampio gretasienio formos vienalyčio kūno inercijos momentas **I1** ašių, einančių per masės centrą ir statmenų jo sienom yra:

$$I_1 = \frac{m}{12}(a^2 + b^2), \qquad (7)$$

čia **a** ir **b** yra stačiakampio gretasienio briaunų, gulinčių plokštumoje, statmenoje sukimosi ašiai, ilgiai. Sukantis apie ašį O_1, tai **a** ir **b**, apie O_2 - **a** ir **c**, apie O_3 **b** ir **c** (2 pav.)

BANDYMO EIGA

1.Išmatuojame tiriamojo kūno geometrinius matmenis **a**, **b**, **c**, masę **m**, vielos ilgį **d** ir spindulį **r**.

2. Prijungiame matavimų įrenginį prie maitinimo šaltinio (220 V) . Nuspaudžiame mygtuką " Tinklas ". Paspaudę mygtuką "Nulis", rėmelį pasukame iki elektromagneto ir užfiksuojame.

3. Mygtuku "Paleidimas" paleidžiame rėmelį svyruoti. Po 15-20 pilnų svyravimų paspaudę mygtuką "Stop" , nutraukiame laiko **t** ir svyravimų skaičiaus **N** registravimą. Apskaičiuojame svyravimų periodą $T_O = t/N$. Pakartojame šį matavimą 3-4 kartus ir apskaičiuojame T_O vidutinį didumą.

4. Tiriamąjį kūną rėmelyje įtvirtiname taip, kad viena iš jo ašių O_1, O_2 ar O_3 sutaptų su sukimosi ašimi. Pakartojame 3 užduotį su įtvirtintu stačiakampio gretasienio formos kūnu ir išmatuojame periodo vidutinį didumą.

5. Apskaičiuojame pagal (6) ir (7) formules inercijos momento didumus ir palyginame gautus rezultatus.

6. Pakeitę kūno padėtį rėmelyje, t.y. pakeitę sukimosi ašį, atliekame 3-5 užduotis.

7. Įvertiname matavimų paklaidas ir formuluojame išvadas.

KONTROLINIAI KLAUSIMAI

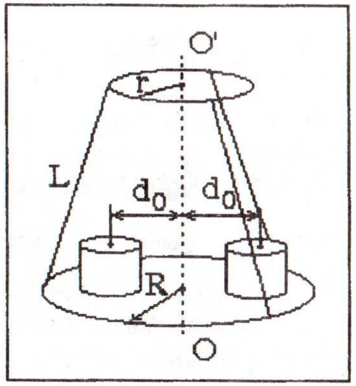
1. Laisvųjų harmoninių svyravimų diferencialinė lygtis.
2. Sukamųjų svyravimų diferencialinė lygtis.
3. Kietųjų kūnų inercijos momentų skaičiavimo paprasčiausi atvejai (ritinys, strypas).
4. Pagrindinė dinamikos lygtis sukamajam svyravimui.
5. Kūno tamprumą charakterizuojantys dydžiai: tamprumo koeficientas, Jungo modulis, sąsukos modulis ir šlyties modulis.

LABORATORINIS DARBAS Nr.6

KŪNO INERCIJOS MOMENTO NUSTATYMAS IŠ TRIFILIARINIO PAKABINIMO SUKAMŲJŲ SVYRAVIMŲ IR ŠTEINERIO TEOREMOS TIKRINIMAS

TIKSLAS : nustatyti cilindro formos kūnų inercijos momentą sukimosi ašies atžvilgiu. Matavimo razultatus palyginti su teoriniais skaičiavimais.

PRIEMONĖS: skritulys pakabintas trimis simetriškai pritvirtintais prie jo kraštų siūlais, kurių antrieji galai simetriškai pritvirtinti prie antro, kiek mažesnio, nejudamo skritulio (tokį pakabinimą vadiname trifiliariniu. 1pav.,), du vienodos masės cilindro formos krovinėliai, liniuotė, slankmatis, sekundometras.



1 pav.

DARBO METODIKA IR PAGRINDINĖS FORMULĖS

Skritulys užsuktas nedideliu kampu α_0 harmoningai svyruos aplink stačiąją ašį, einančią per skritulio svorio centrą ir statmeną jo plokštumai. Kampinį jo poslinkį α išreiškiame taip :

$$\alpha = \alpha_0 \sin\left(\frac{2\pi}{T_0}t\right), \tag{1}$$

čia T_O - svyravimo periodas, kurio didumas priklauso nuo skritulio inercijos momento I_O ir didėja, apkraunant skritulį papildomais krovinėliais.

Trifiliariniam pakabinimui skritulio svyravimo periodas T_O priklauso nuo skritulio masės m_O, jo spindulio **R**, atramos skritulio spindulio **r**, pakabinimo siūlo ilgio **L** ir skritulio inercijos momento I_O :

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{I_0 L}{m_0 gRr}} \tag{2}$$

Iš (2) formulės išreiškiame I_O:

$$I_0 = \frac{m_0 gRr}{4\pi^2 L} T_0^2 \tag{3}$$

Simetriškai apkrauto dviem krovinėliais, kurių kiekvieno masė **m**, skritulio inercijos momentas

$$I_1 = \frac{(m_0 + 2m)gRr}{4\pi^2 L} T_1^2 . \tag{4}$$

Išmatavę (3) ir (4) formulėse esančių fizikinių dydžių didumus, nustatome skritulio ir skritulio su krovinėliais inercijos momentus. Krovinėlių inercijos momentas lygus inercijos momentų I_1 ir I_O skirtumui:

$$I = I_1 - I_0 \tag{5}$$

Cilindro formos krovinėlių inercijos momentą tos pačios sukimosi ašies atžvilgiu galima apskaičiuoti išmatavus cilindro masę **m**, jo spindulį r_O ir atkarpos nuo sukimosi ašies iki cilindro masės centro ilgį d_O :

$$I = 2\left(\frac{1}{2}r_0^2 + d_0^2\right)m \tag{6}$$

Šteinerio teoremą patikriname, išmatavę skritulio inercijos momentus, kai krovinėliai yra skirtinguose atstumuose nuo sukimosi ašies. Inercijos momento didumą apskaičiuojame pagal (4) lygybę.

BANDYMO EIGA

1. Išmatuoti bandymo įrenginio parametrus m_O, **m**, **R**, **r**, **L**, d_O , r_O.

2. Skritulį pasukti 5-6 laipsnių kampu ir paleisti svyruoti. Sekundometru išmatuoti 30-40 pilnų svyravimų laiką t_O ir apskaičiuoti neapkrauto skritulio svyravimų periodą $T_O = t_O/N$. Laiką matuoti 3-5 kartus ir apskaičiuoti vidutinį periodo $<T_O>$ didumą.

3. Iš (3) formulės apskaičiuoti neapkrauto skritulio inercijos momentą I_O.

4. Ant skritulio simetriškai padėti du vienodos masės cilindrinius kūnus ir atlikti 2 užduotyje nurodytus matavimus. Apskaičiuoti vidutinį periodo T_1 didumą.

5. Iš (4) formulės apskaičiuoti apkrauto skritulio inercijos momenttą I_1.

6. Iš (5) lygybės apskaičiuoti cilindrų inercijos momentą **I** skritulio sukimosi ašies OO' atžvilgiu.

7. Iš (6) formulės apskaičiuoti cilindrų inercijos momentą tos pačios sukimosi ašies atžvilgiu.

8. Krovinėlius padėti skritulio centre (d_O=0) ir atlikti 4, 5, 6 užduotis.

9. Perkelti krovinėlius toliau nuo centro (atstumu d_2 ir d_3), išdėstyti simetriškai sukimosi ašiai ir atlikti tuos pačius matavimus. Iš (5) lygybės apskaičiuojame I_3 ir I_4.

10. Nubrėžti krovinėlių inercijos momento **I** priklausomybės nuo nuotolio **d** grafiką **I=f(d)**.

11. Įvertinti inercijos momento matavimo paklaidas ir suformuluoti išvadas.

KONTROLINIAI KLAUSIMAI

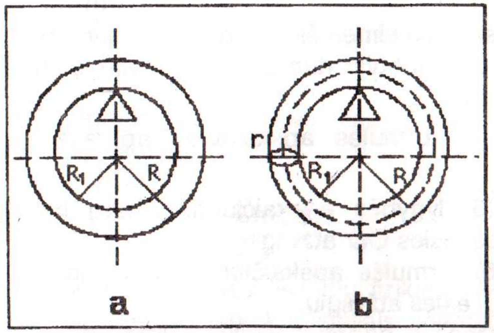
1. Paaiškinti materialaus taško inercijos momento sąvoką.
2. Kam lygus kietojo kūno inercijos momentas kiekvienos sukimosi ašies atžvilgiu?
3. Besisukančio kūno kinetinė energija.
4. Paaiškinti harmoningųjų sukamųjų svyravimų judėjimo lygtį.
5. Užrašyti inercijos momento paklaidos skaičiavimo formulę.

LABORATORINIS DARBAS Nr.7

ŽIEDO INERCIJOS MOMENTO MATAVIMAS

TIKSLAS: išmatuoti plokščio ir toroidinio žiedų inercijos momentus harmoninių svyravimų metodu. Matavimų rezultatus palyginti su teoriniais skaičiavimais.

PRIEMONĖS: plokščias ir toroidinis žiedai, stovas su laikikliu, prizminis strypelis, sekundometras, slankmatis, svarstyklės.



1 pav.

DARBO METODIKA IR PAGRINDINĖS FORMULĖS

Bet kokios formos kietojo kūno inercijos momentą apibrėžtos ašies atžvilgiu galima išmatuoti stebint harmoninius fizinės svyruoklės svyravimus. Fizinė svyruoklė yra kiekvienas kietasis kūnas, kuris sunkio jėgos veikiamas svyruoja apie nejudamą horizontalią ašį, neinančią per jo masės centrą. Jos svyravimų periodas **T** priklauso nuo svyruojančio kūno masės **m**, masės centro nuotolio **L** nuo svyravimų ašies, laisvojo kritimo pagreičio **g** ir kūno inercijos momento **I** svyravimo ašies atžvilgiu:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mgL}} \qquad (1)$$

Pakabinus plokščią arba toroidinį žiedą ant prizminio strypelio (1 pav. a ir b) ir privertus jį svyruoti, išmatuojame svyravimo periodą **T**.

Išmatavę kūno masę **m** ir atstumą **L** nuo svyravimų ašies iki masės centro, galime apskaičiuoti kūno inercijos momentą **I** :

$$I = \frac{T^2 mgL}{4\pi^2} \qquad (2)$$

Iš inercijos momento apibrėžimo ir Šteinerio teoremos, plokščio vienalyčio žiedo inercijos momentą tos pačios ašies atžvilgiu galima apskaičiuoti išmatavus žiedo masę **m**, bei žiedo geometrinius matmenis **R** ir R_1 (1 pav., a):

$$I = \frac{1}{2}m(R^2 + 3R_1^2) \qquad (3)$$

Analogiška formulė toroidiniam žiedui:

$$I = m[(R^2 + \frac{3}{4}r^2) + (R - r)^2], \qquad (4)$$

R, R_1 ir **r** pažymėti 1 pav. a ir b.

BANDYMO EIGA

1.Tiriamąjį žiedą pakabiname ant prizminio strypelio ir išmatuojame **N**=20-30 svyravimų laiką **t**. Apskaičiuojame svyravimų periodą **T=t/N**. Bandymą pakartojame ne mažiau kaip tris kartus ir apskaičiuojame vidutinį **T** didumą. Išmatuojame atstumą R_1 tarp svyravimų ašies ir masės centro. Pasvėrę nustatome žiedo masę **m**. Pagal (2) formulę apskaičiuojame žiedo inercijos momentą **I**. Analogiškus matavimus atliekame plokščiam ir toroidiniam žiedams.

2. Išmatuojame žiedo geometrinius parametrus ir apskaičiuojame pagal (3) ir (4) formules "teorinius" žiedų inercijos momentus bei palyginame juos su eksperimentiškai išmatuotais.

3. Stjudento metodu įvertiname svyravimų periodo **T** patikimumo intervalą **ΔT**, o kitų (tieiogiai matuojamų) dydžių sistemines paklaidas: **Δm**, **ΔL**, **ΔR**, **Δr**, ΔR_1. Apskaičuojame žiedų inercijos momentų matavimo absoliutines paklaidas **ΔI**.

KONTROLINIAI KLAUSIMAI

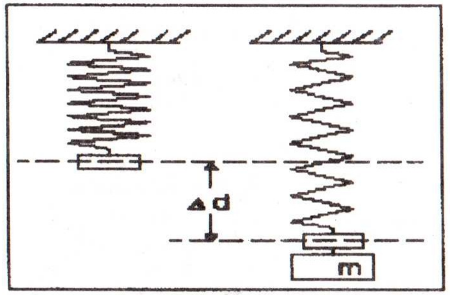
1. Materialaus taško, taškų sistemos, kieto kūno inercijos momentų apibrėžimai . Inercijos momento fizikinė prasmė.
2. Šteinerio teorema.
3. Pagrindinis sukamojo judėjimo dinamikos dėsnis.
4. Pagrindinės svyravimų charakteristikos.
5. Matematinės ir fizinės svyruoklės svyravimų periodo priklausomybė nuo jų parametrų.

LABORATORINIS DARBAS Nr.8

SLOPINAMŲJŲ SVYRAVIMŲ TYRIMAS SPYRUOKLINE SVYRUOKLE

TIKSLAS: išmatuoti spyruoklės tamprumo koeficientą **k**, slopinamųjų svyravimų logaritminį slopinimo dekrementą λ, slopininmo koeficientą β ir svyruoklės energijos nuostolius po **N** svyravimų.

PRIEMONĖS: plieninė spyruoklė su krovinėlių rinkiniu (1 pav.), liniuotė, sekundometras, svarstyklės.



1 pav.

DARBO METODIKA IR PAGRINDINĖS FORMULĖS

Spyruoklinę svyruoklę veikia tamprumo jėga $\mathbf{F_t=-kx}$ ir įvairios kilmės pasipriešinimo jėgos $\mathbf{F_p=-rv}$ (Žemės traukos jėga kompensuojama tam tikro spyruoklės pailgėjimo ir svyravimams įtakos neturi), todėl jos svyravimai slopinami, o nuokrypa **x** priklauso nuo laiko:

$$x = X_m \cos\left(\frac{2\pi}{T_s}t\right), \qquad (1)$$

čia X_m yra slopinamųjų svyravimų amplitudė, kurios mažėjimą apibūdina du dydžiai: slopinimo koeficientas β**=r/2m** ir logaritminis slopinimo dekrementas $\lambda = \ln(X_t/X_{t+T})$:

$$X_m = X_0 e^{-\beta t} \quad \text{arba} \quad X_m = X_0 e^{-\lambda N}, \qquad (2)$$

β yra dydis, atvirkščias laikui τ, per kurį svyravimų amplitudė sumažėja e kartų, o λ atvirkščias svyravimų skaičiui N_e per šį laiką.

Logaritminį slopinimo dekrementą galima apskaičiuoti išmatavus pradinę amplitudę X_0 ir N-tojo svyravimo amplitudę X_N:

$$\lambda = \frac{1}{N}\ln\left(\frac{X_0}{X_N}\right), \qquad (3)$$

λ ir β yra susiję:

$$\lambda = \beta T_s. \qquad (4)$$

Čia T_S - slopinamųjų svyravimų periodas, kuris susijęs su laisvųjų svyravimų periodu T_0 ir slopinimo koeficientu β:

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \qquad (5)$$

$$T_s = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{4\pi^2}{T_0^2} - \beta^2}} \qquad (6)$$

Tamprumo koeficientą **k** (5) lygybėje galima įvertinti išmatavus spyruoklės pailgėjimą **Δd** veikiant sunkio jėgai **mg**:

$$k = \frac{mg}{\Delta d} \qquad (7)$$

Kadangi svyruoklės didžiausia sukaupta potencinė energija W_p proporcinga amplitudės kvadratui X_0^2, tai jos santykinius nuostolius po **N** svyravimų galima apskaičiuoti:

$$\frac{\Delta W_p}{W_p} = \frac{X_0^2 - X_N^2}{X_0^2}100\% \qquad (8)$$

BANDYMO EIGA

1. Pasveriame krovinėlį **m** ir, prikabinę jį prie spyruoklės, išmatuojame jos pailgėjimą **Δd**. Tai atliekame su trimis skirtingų masių krovinėliais ir pagal (7) formulę apskaičiuojame tamprumo koeficientą, o po to ir jo vidutinį didumą.

2. Prikabiname prie spyruoklės žinomos masės krovinėlį ir pasižymime pusiausvyros padėtį x_1. Po to ištempiame svyruoklę iki padėties x_2 ir apskaičiuojame pradinę svyravimų amplitudę $X_0 = x_2 - x_1$. Paleidžiame svyruoklę svyruoti ir matuojame svyravimų laiką **t** bei skaičiuojame svyravimų skaičių per šį laiką **N** (N = 25 ÷ 30 svyravimų). Stebime N-tojo svyravimo didžiausią atsilenkimą nuo pusiausvyros padėties x_N ir jį pasižymime. Apskaičiuojame N-tojo svyravimo amplitudę $X_N = x_N - x_1$ ir slopinamųjų svyravimų periodą $T_S = t/N$. Pagal (3) bei (4) formules apskaičiuojame λ ir β.

3. Pakartojame bandymą 2 ÷ 3 kartus su tos pačios masės krovinėliu bet skirtingomis pradinėmis amplitudėmis. Įvertiname λ ir β vidutinius didumus $<\lambda>$ ir $<\beta>$.

4. Pagal (6) formulę apskaičiuojame laisvųjų svyravimų periodą T_0 ir palyginame jį su teorine reikšme, apskaičiuota iš (5) formulės.

5. Pagal (8) formulę apskaičiuojame energijos nuostolius po N svyravimų.

6. Įvertiname T_S, **k**, λ ir β matavimų paklaidas ir suformuluojame išvadas.

KONTROLINIAI KLAUSIMAI

1. Laisvųjų harmoningųjų svyravimų diferencialinė lygtis ir jos sprendinys (analizinė ir grafinė išraiška).
2. Slopinamųjų svyravimų diferencialinė lygtis ir jos sprendinys (analizinė ir grafinė išraiška).
3. Logaritminio slopinimo dekremento ir slopinimo koeficiento fizikinė prasmė.
4. Kaip galima sumažinti λ ir β matavimų paklaidas?
5. Dydžiai, charakterizuojantys tampriąsias medžiagų savybes.
6. Slopinamųjų ir laisvųjų svyravimų periodų (ciklinių dažnių) tarpusavio ryšys.

LABORATORINIS DARBAS Nr.9

SLOPINAMŲJŲ SVYRAVIMŲ TYRIMAS PASVIRUSIĄJA SVYRUOKLE

TIKSLAS: išmatuoti slopinamųjų svyravimų logaritminį slopinimo dekrementą λ, slopinimo koeficientą β, savųjų svyravimų periodą T_0 ir svyruoklės energijos nuostolius po **N** svyravimų.

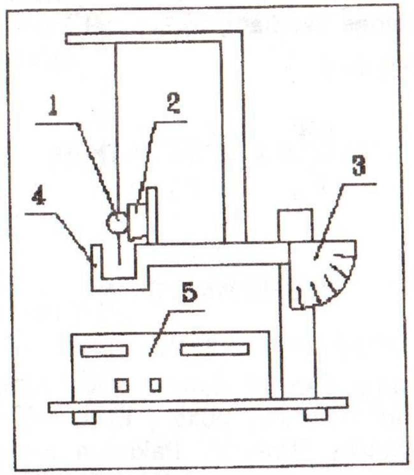
PRIEMONĖS: pasvirusioji svyruoklė (1 pav.) su fotoelektriniu svyravimų skaičiaus ir laiko matavimo įtaisu. Pasvirusiąją svyruoklę sudaro ant siūlo pakabintas rutuliukas (1). Jo svyravimus slopina sąveika su plokštele (2), kurios pasvirimo kampą nustatome skalėje (3). Fotoelektrinis justukas (4) ir matavimų pultas (5) registruoja svyravimų skaičių ir jų trukmę.

DARBO METODIKA IR PAGRINDINĖS FORMULĖS

Pasvirusiosios svyruoklės nuokrypą nuo pusiausvyros nustatome kampu α, kurį sudaro siūlas su vertikale. Tokios svyruoklės slopinamieji svyravimai vyksta veikiant sukimo momentui $\mathbf{M_1=-mgd\sin\alpha}$ ir pasipriešinimo jėgų momentui $\mathbf{M_2=-\gamma(d\alpha/dt)}$. Jei svyruoklės nuokrypos kampas α mažas ($\sin\alpha\approx\alpha$), tai pritaikius antrąjį Niutono dėsnį sukamajam judėjimui, apskaičiuojame nuokrypos kampo α priklausomybę nuo laiko:

$$\alpha = \alpha_m \cos\left(\frac{2\pi}{T_S}t\right), \qquad (1)$$

čia $\alpha_m = \alpha_0 e^{-\beta t}$ slopinamųjų svyravimų amplitudė, kurios mažėjimą apibūdina slopinimo koeficientas $\beta=\gamma/2m$. Kitaip amplitudės mažėjimą apibūdina logaritminis slopinimo dekrementas λ: $\alpha_m = \alpha_0 e^{-\lambda N}$, čia $\lambda=\ln(\alpha_N/\alpha_{N+1})$. Dydžių λ ir β fizikinė prasmė yra tokia : β yra dydis, atvirkščias laikui τ, per kurį svyravimų amplitudė sumažėja e kartų, o λ atvirkščias svyravimų skaičiui N_e per šį laiką.



1 pav.

Logaritminį slopinimo dekrementą apskaičiuojame išmatavę pradinę amplitudę α_0 ir N-tojo svyravimo amplitudę α_N:

$$\lambda = \frac{1}{N}\ln\left(\frac{\alpha_0}{\alpha_N}\right). \qquad (2)$$

Dydžiai λ ir β yra susiję sąryšiu:

$$\lambda = \beta T_S, \qquad (3)$$

čia T_S- slopinamųjų svyravimų periodas jis susijęs su svyruoklės savųjų svyravimų periodu T_0 ir slopinimo koeficientu β:

$$T_S = \frac{2\pi}{\sqrt{\dfrac{4\pi^2}{T_0^2} - \beta^2}}, \qquad (4)$$

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}. \qquad (5)$$

čia l - svyruoklės ilgis, g - laisvojo kritimo pagreitis.

Svyruoklės didžiausia sukaupta potencinė energija W_p proporcinga amplitudės kvadratui α_0^2, todėl jos santykiniai nuostoliai po **N** pilnų svyravimų bus:

$$\frac{\Delta W_p}{W_p} = \frac{\alpha_0^2 - \alpha_N^2}{\alpha_0^2} 100\% . \qquad (6)$$

BANDYMO EIGA

1. Paruošiame įrenginį darbui. Svyruoklės stovą įtvirtiname vertikaliai, įjungiame matavimų pultą į maitinimo (220V) tinklą ir nuspaudžiame mygtuką "Tinklas". Pakreipę svyruoklę (4-5)laipsnių kampu nuo pusiausvyros padėties ir nuspaudę mygtuką "Nulis", paruošiame pultą svyravimų skaičiaus **N** ir laiko **t** matavimui.

2. Paleidę svyruoklę, po **N**=10-15 svyravimų sustabdome matavimus, nuspausdami mygtuką "Stop". Panaudodami pulto indikatoriaus duomenis apskaičiuojame laisvųjų svyravimų periodą $T_O=t/N$. Pakartoję T_O matavimus kelis kartus, įvertiname T_O vidutinę reikšmę.

3. Išmatavę svyruoklės ilgį **d** iš (5) lygybės apskaičiuojame laisvųjų svyravimų periodą T_O ir palyginame jį su eksperimento duomenimis.

4. Pakreipiame svyruoklės stovą taip, kad svyruoklės rutuliukas 1 liestų atramos plokštelę 2. Paslenkame svyruoklės rutuliuką iš pusiausvyros padėtie ir pasižymime pradinę nuokrypą α_0, paleidžiame rutuliuką svyruoti ir, baigiantis N-tajam svyravimui pasižymime nuokrypą α_N, kuri buvo N-tojo svyravimo pabaigoje, svyravimų skaičių N ir svyravimų laiką t_S. Apskaičiuojame slopinamųjų svyravimų periodą $T_S=t_S/N$.

Pagal (2) formulę apskaičiuojame logaritminį slopinimo dekrementą λ, o pagal (3) formulę - slopinimo koeficientą β. Matavimus pakartojame ne mažiau trijų kartų ir apskaičiuojame α ir β vidutinius didumus.

5. Pakreipę svyruoklės stovą kitu didesniu kampu pakartojame 4 užduotį esant kitam slopinimui.

6. Pagal (6) formulę ir 4 užduoties duomenis apskaičiuojame vidutinius santykinius energijos nuostolius po **N** svyravimų.

7. Įvertiname matuotų dydžių T_O, T_S, λ ir β paklaidas ir suformuluojame išvadas.

KONTROLINIAI KLAUSIMAI

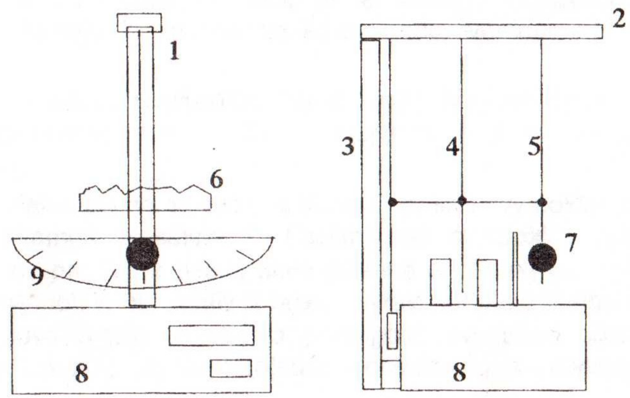
1. Savųjų harmoningųjų svyravimų diferencialinė lygtis ir jos sprendinys (analizinė ir grafinė išraiška).
2. Slopinamųjų svyravimų diferiancialinė lygtis ir jos sprendinys (analizinė ir grafinė išraiška).
3. Logaritminio slopinimo dekremento ir slopinimo koeficiento fizikinė prasmė.
4. Kaip galima sumažinti λ ir β matavimo paklaidas?
5. Dydžiai, charakterizuojantys tampriąsias medžiagų savybes.
6. Slopinamųjų ir savųjų svyravimų periodų (ciklinių dažnių) ryšys.

LABORATORINIS DARBAS Nr.10

PRIVERSTINIŲ SVYRAVYMŲ TYRIMAS

TIKSLAS: išmatuoti priverstinių svyravimų amplitudės priklausomybę nuo priverčiamosios jėgos dažnio, nustatyti svyruoklės savųjų svyravimų dažnį, priverstinių svyravimų rezonansinį dažnį ir apskaičiuoti slopinimo koeficientą.

PRIEMONĖS: matavimo įrenginys (1 pav.) sudarytas iš stovo 1 ir prie jo gembės 2 pritvirtintų trijų strypelių 3,4,5, kurie su jungiamąja spyruokle 6 ir krovinėliais 7 sudaro svyruoklę. Priverstinius svyravimus sužadina matavimų pulte 8 įrengtas elektros variklis sujungtas su strypeliu 3. Svyruoklės nuokrypos nuo pusiausvyros kampas nustatomas skalėje 9. Matavimų pulte yra fotoelektrinis jutukas ir laiko matuoklis, kurie matuoja svyravimų laiką ir jų skaičių.



1 pav.

DARBO METODIKA IR PAGRINDINĖS FORMULĖS

Kiekvienos svyruoklės veikiamos Žemės traukos jėgos $F_1=mg$ ir įvairios kilmės pasipriešinimo jėgos $F_2=-rv$, svyravimai bus slopstamieji. Veikiant papildomai išorinei periodinei jėgai:

$$F_3 = F_0 \cos \omega t, \tag{1}$$

čia F_0- periodinės jėgos amplitudė, ω - jos ciklinis dažnis, vyks priverstiniai svyravimai, kurių amplitudė

$$X_0 = \frac{F_0}{m\sqrt{\left(\omega_0^2 - \omega^2\right)^2 + 4\beta^2\omega^2}}, \tag{2}$$

čia **m** - svyruojančio kūno masė, ω_0 - svyruoklės savųjų svyravimų ciklinis dąžnis, kuris susietas su svyruoklės savųjų svyravimų periodu T_0:

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0}, \tag{3}$$

slopinimo koeficientas $\beta=r/(2m)$.

Veikiant pastovaus didumo amplitudės priverstinei jėgai ir nekintant slopinimui, priverstinių svyravimų amplitudė priklausys nuo išorinės periodinės jėgos ciklinio dažnio ω.

Kiekvienai sistemai būdingas dažnis ω_r, kuriam esant svyruojančios sistemos ampitudė yra didžiausia, vadinamas rezonansiniu dažniu. Jis susietas su svyruojančios sistemos savųjų svyravimų dažniu ω_0 ir slopinimo koeficientu β:

$$\omega_r = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2} \tag{4}$$

Kai nėra slopinimo, $\omega_r=\omega_0$. Esant slopinimui, $\omega_r<\omega_0$.

BANDYMO EIGA

1. Nustatome svyruoklės savųjų svyravimų ciklinį dažnį ω_0. Įrenginį įjungiame į 220 V elektros tinklą, nustatome indikatoriaus nulinius parodymus, patikriname, ar veikia fotoelektrinis justukas. Svyruoklę (5) pakreipiame 5 - 6 laipsnių kampu ir leidžiame svyruoti. Po N=(10-15) pilnųjų svyravimų nuspaudžiame stabdymo mygtuką ir užrašome indikatoriaus parodymus: **N** ir **t**. Matavimus pakartojame 3 kartus ir apskaičiuojame svyravimų periodą $T_0=t/N$ ir jo vidutinį didumą. Pagal (3) lygybę apskaičiuojame savųjų svyravimų ciklinį dažnį ω_0.

2. Išmatuojame priverstinių svyravimų amplitudės priklausomybę nuo priverstinės jėgos dažnio. Įjungiame elektros variklį ir, keisdami potenciometru jo sukimosi greitį, įsitikiname, kad svyravimų amplitudė priklauso nuo priverstinės jėgos dažnio ω. Nustatome mažiausią priverstinių svyravimų dažnį ir, nusistovėjus svyravimams, užrašome jų amplitudę X_0, bei pilnų svyravimų **N**= 15-20 skaičių ir laiką, **t**. Apskaičiuojame svyravimų dažnį $\omega=2\pi N/t$. Tokių matavimų atliekame 10-12, kiekvieną kartą padidindami priverstinės jėgos dažnį taip, kad 5-6 matavimai atitiktų $\omega<\omega_r$, o kiti 5-6 matavimai - $\omega>\omega_r$.

3. Nubrėžiame priverstinių svyravimų amplitudės X_0 priklausomybės nuo priverstinės jėgos dažnio ω kreivę ir nustatome rezonansinį dažnį ω_r.

4. Iš (4) lygybės apskaičiuojame svyruoklės slopinimo koeficientą β.

5. Suformuluojame darbo išvadas.

KONTROLINIAI KLAUSIMAI

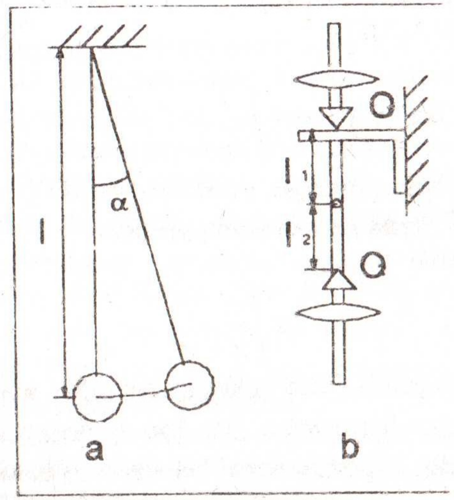
1. Kokius svyravimus vadiname priverstiniais ir kaip užrašoma tokių svyravimų diferencialinė lygtis?
2. Ką vadiname rezonansu? Nuo ko priklauso svyravimų rezonansinis dažnis ir rezonansinė amplitudė ?
3. Nurodykite naudingus ir žalingus rezonanso pasireiškimus.
4. Kaip atrodytų priverstinių svyravimų amplitudės priklausomybė nuo priverstinės jėgos dažnio esant skirtingiems slopinimams (nubrėžti grafikus ir juos paaiškinti).

LABORATORINIS DARBAS Nr.11

KŪNO LAISVOJO KRITIMO PAGREIČIO NUSTATYMAS APVERČIAMĄJA IR MATEMATINE SVYRUOKLE

TIKSLAS: išmatuoti fizikinės ir matematinės svyruoklių svyravimo periodus ir nustatyti laisvojo kritimo pagreitį.

PRIEMONĖS: pakabintas ant ilgo siūlo masyvus rutuliukas , kurio skersmuo daug kartų mažesnis už siūlo ilgį (matematinė svyruoklė), strypas su įtaisytais dviem sunkiais metaliniais lęšiais ir dviem pakabomis (apverčiamoji svyruoklė) , gembė svyruoklei pakabinti, sekundometras, liniuotė, trikampė prizmė.



1 pav.

DARBO METODIKA IR PAGRINDINĖS FORMULĖS

Kiekvienas fizinis kūnas, pakabintas ant horizontalios nejudamos ašies, kuri neina per jo masės centrą, vadinamas fizikine svyruoklė. Apverčiamoji svyruoklė pavaizduota 1b pav., l_1 ir l_2 -atkarpų tarp pakabos ir masės centro ilgiai. Pakreipus svyruoklę nedideliu kampu α, ją veiks grąžinantis į pusiausvyrą sunkio jėgos momentas **M=m g l sin**α, čia *l* atkarpos tarp kūno masės centro ir sukimosi ašies ilgis. Šio momento veikiamas kūnas judės kampiniu pagreičiu $\varepsilon = \frac{d^2\alpha}{dt^2}$, kurio dydis priklausys nuo kūno inercijos momento I svyravimų ašies atžvilgiu. Visus šiuos dydžius tarpusavyje sieja pagrindinis sukamojo judėjimo dėsnis $\varepsilon = \frac{M}{I}$. Įrašius šių dydžių išraiškas ir žinant, kad mažų kampų sin $\alpha \approx \alpha$, užrašome:

$$\frac{d^2\alpha}{dt^2} + \frac{mgl}{I}\alpha = 0 \; . \qquad (1)$$

(1) lygtis rodo, kad vieno pilno svyravimo laikas, vadinamas svyravimų periodu **T**, lygus:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mgl}} \; . \qquad (2)$$

Matematinės svyruoklės, kurios siūlo ilgis *l* (1 pav., a), inercijos momentas $I = ml^2$, todėl jos svyravimų periodas

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \; . \qquad (3)$$

Iš (2) ir (3) plaukia, kad fizikinės svyruoklės, kurios ilgis $l_r = I/md$, svyravimų periodas lygus tokio pat ilgio l_r matematinės svyruoklės svyravimų periodui (l_r-vadinamas fizikinės svyruoklės redukuotuoju ilgiu).

Išmatavę apverčiamosios svyruokės svyravimų periodus T_1 ir T_2 ašių O_1 ir O_2 atžvilgiu ir atstumus l_1 ir l_2 kūnų laisvojo kritimo pagreitį **g** apskaičiuojame iš lygybės:

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

Išmatavę matematinės svyruoklės svyravimo periodą **T** ir jos ilgį *l*, iš (3) lygybės apskaičiuojame **g**:

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2} \; . \qquad (5)$$

BANDYMO EIGA

1. Išmatuojame matematinės svyruoklės ilgį *l*. Pakabiname svyruoklę ant gembės, pakreipiame ją 4-5 laipsnių kampu ir paleidžiame svyruoti. Išmatuojame **N**=40-50 svyravimų laiką t ir apskaičiuojame svyravimų periodą **T=t/N**. Matavimus pakartojame ne mažiau trijų kartų ir apskaičiuojame periodo vidutinį didumą. Pagal (5) formulę apskaičiuojame laisvojo kritimo pagreitį **g** ir įvertiname matavimo paklaidas.

2. Apverčiamąją svyruoklę paremiame ant trikampės prizmės briaunos, nustatome jos masės centrą ir išmatuojame atkarpų l_1 ir l_2 ilgius. Pakabiname svyruoklę ant gembės ir, pakreipę nedideliu 4-5 laipsnių kampu, paleidžiame svyruoti. Išmatuojame **N**=40-50 svyravimų laiką t_1 ir apskaičiuojame svyravimų periodą $T_1 = t_1/N$. Matavimus pakartoję ne mažiau trijų kartų, apskaičiuojame periodo T_1 vidutinį didumą. Po to pakeičiame svyruoklės pakabos tašką (apverčiame svyruoklę) ir keletą kartų išmatuojame **N**=40-50 svyravimų laiką t_2. Apskaičiuojame periodą $T_2 = t_2/N$ ir jo vidutinį didumą. Matavimo rezultatus įrašome į (4) formulę ir apskaičiuojame laisvojo kritimo pagreitį **g**. Įvertiname matavimo paklaidas.

3. Palyginame matematine svyruokle ir apverčiamąja svyruokle nustatytą laisvojo kritimo pagreitį su Lietuvos geografinę platumą atitinkančiu jo didumu ir suformuluojame išvadas.

KONTROLINIAI KLAUSIMAI

1. Ką vadiname fizikine ir matematine svyruokle?
2. Nuo ko priklauso fizikinės svyruoklės svyravimų periodas? Ką vadiname fizikinės svyruoklės redukuotuoju ilgiu?
3. Kaip nustatomas laisvojo kritimo pagreitis iš fizikinės ir matematinės svyruoklės svyravimų?
4. Paaiškinkite laisvojo kūnų kritimo pagreitį sukeliančias priežastis.

LABORATORINIS DARBAS Nr.12

KULKOS GREIČIO MATAVIMAS SUKAMĄJA BALISTINE ŠVYTUOKLE

TIKSLAS : išmatuoti kulkos greitį sukamąja balistine švytuokle.

PRIEMONĖS: pneumatinis šautuvas, sekundometras, liniuotė, svarstyklės, sukamoji balistinė švytuoklė. Pastarąją (1pav.) sudaro ant plieninės vielos pakabintas skersinis, kurio viename gale pritvirtintas masyvus diskas 1, o kitame - atsvaras 2. Ant skersinio užmauti du vienodos masės krovinėliai 3, kuriuos galima slankioti sukimosi ašies atžvilgiu. Prie sukimosi ašies (plieninės vielos) pritvirtintas veidrodėlis 5, skirtas švytuoklės pasisukimo kampui matuoti. Veidrodėlio apšvietimui skirta lempa 6 , o atsispindėjusio nuo vedrodėlio zuikučio poslinkis nustatomas liniuote 7.

MATAVIMO METODIKA IR PAGRINDINĖS FORMULĖS

Kulka, pataikiusi į diską 1, išjudina balistinę švytuoklę iš pusiausvyros ir ji pasisuka kampu α. Vielos tamprumo jėgos veikiama švytuoklė grįžta į pusiausvyrą, o sukauptoji kinetinė energija užsuka ją priešinga kryptimi Tokiu būdu balistinė švytuoklė pradeda harmoningai svyruoti apie pusiausvyros padėtį. Jos svyravimo periodas

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{I}{k}} \qquad (1)$$

čia **I**- svyruoklės inercijos momentas, **k**- vielos sąsūkos modulis.

Švytuoklės kampinį sukimosi greitį ω ir kulkos greitį sieja judesio kiekio momento tvermės dėsnis:

$$mvd = I\omega \qquad (2)$$

čia **m** - kulkos mase **v** - jos greitis, **d** - atkarpos nuo sukimosi ašies iki taško, kuriame kulka įsminga į diską, ilgis. Iš (2) lygybės užrašome :

$$v = \frac{I\omega}{md} \qquad (3)$$

Sviruojant švytuoklei su įstrigusia kulka jos pilnoji energija išlieka pastovi, todėl galima užrašyti:

$$\frac{I\omega^2}{2} = \frac{k\alpha_m^2}{2} \qquad (4)$$

čia α_m - didžiausiais švytuoklės užsukimo kampas.

Iš (1), (2), (3), (4) užrašome :

$$v = \frac{\alpha_m T_0 k}{2\pi m d} \qquad (5)$$

(5) lygybėje esantį vielos sąsūkos modulį **k** įvertiname, išmatavę švytuoklės svyravimų periodus T_0 ir **T**, atitinkančius skirtingus kūnelių 3 ir 4 atstumus r_0 ir **r** ($r>r_0$) iki sukimosi ašies. Panaudojant (1) ir Šteinerio teoremą kunelių inercijos momentams išreikšti, užrašome švytuoklės svyravimo periodus

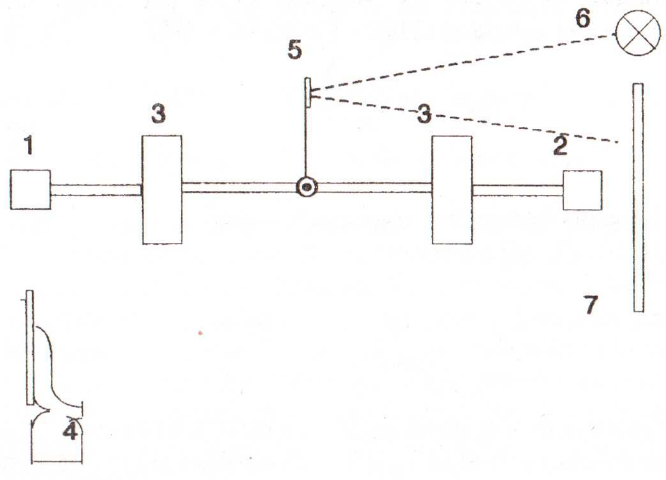
$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{I_s + (I_0 + Mr_0^2)2}{k}} \quad ir \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{I_s + (I_0 + Mr^2)2}{k}} \qquad (6)$$

čia **M** -papildomo kūnelio masė, I_0 - kūnelio inercijos momentas jo simetrijos ašies atžvilgiu.

Iš (6) gauname **k**:

$$k = \frac{8\pi^2 M(r^2 - r_0^2)}{T^2 - T_0^2} \qquad (7)$$

čia M vieno iš kūnelių masė.



1 pav.

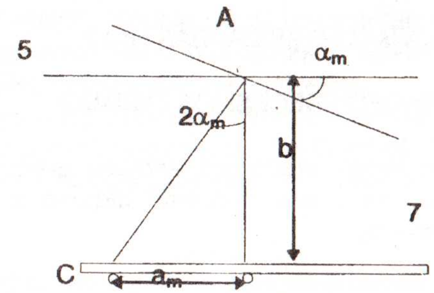
Įrašius (7) lygybę į (5), kulkos greičio skaičiavimo formulė atrodys taip :

$$v = \frac{4\pi M T_0 (r^2 - r_0^2)\alpha_m}{(T^2 - T_0^2) m d} \qquad (8)$$

Švytuoklės didžiausio užsukimo kampą α_m (radianais) nustatome tiesioginiu arba optiniu būdu, t.y. stebėdami šviesos zuikelio, atsispindėjusio nuo veidrodžio 5, pasislinkimą liniuotėje 7. Švytuoklei pasisukus kampu α, šviesos spindulio kritimo į veidrodį kampas pasikeis tokiu pat didumu (2 pav.). Iš šviesos atspindžio dėsnių ir trigonometrijostaisyklių seka :

$$tg(2\alpha_m) = \frac{a_m}{b} \qquad (9)$$

čia **b**- atkarpos nuo veidrodžio iki liniuotės ilgis, a_m - zuikelio pasislinkimo liniuotėje didžiausias atkarpos ilgis.



2 pav.

BANDYMO EIGA

1. Randame kulkos ir kūnelio mases **m** ir **M**. Išmatuojame atkarpos **b** nuo liniuotės iki veidrodėlio ilgį. Įjungiame ir sureguliuojame prožektorių 6; užfiksuojame pradinę šviesos zuikelio padėtį. Krovinėlius 3 įtvirtiname vienodame atstume $\mathbf{r_0}$ nuo sukimosi ašies.

2. Pneumatinį šautuvą nutaikome į diską 1 ir iššauname. Užfiksuojame didžiausią zuikelio poslinkį $\mathbf{a_m}$ ir išmatuojame atkarpos **d** nuo sukimosi ašies iki taško, kuriame kulka įsminga į diską, ilgį. Iš (9) lygybės apskaičiuojame α_m. Bandymą pakartojame du kartus.

3. Užsukame balistinę švytuoklę bet kokiu nedideliu kampu ir išmatuojame jos svyravimų periodą $\mathbf{T_0=t_0/N_0}$, čia $\mathbf{N_0}$ - švytuoklės svyravimų skaičius (10-15 svyravimų), $\mathbf{t_0}$-šių svyravimų laikas. Bandymą atliekame tris kartus ir nustatome $\mathbf{T_0}$ vidutinį didumą.

4. Perkeliame krovinėlius 3 toliau nuo sukimosi ašies ($\mathbf{r>r_0}$) ir išmatuojame **r**. Užsukę švytuoklę nedideliu kampu ir paleidę, nustatome jos svyravimų periodą **T=t/N**. Svyravimų laiką **t** matuojame tris kartus ir nustatome periodo **T** vidutinį didumą.

5. Pagal (8) formulę apskaičiuojame kulkos greitį. Suformuluojame išvadas.

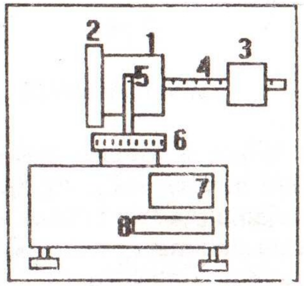
KONTROLINIAI KLAUSIMAI

1. Judesio kiekio ir judesio kiekio momento sąvokos.
2. Judesio kiekio momento tvermės dėsnis.
3. Kūno sukamojo judesio kinetinė energija.
4. Balistinės sukamosios švytuoklės svyravimų periodas.

LABORATORINIS DARBAS Nr.13

GIROSKOPO PRECESIJOS TYRIMAS

TIKSLAS: išmatuoti giroskopo precesijos kampinį greitį, nustatyti jo priklausomybę nuo išorinės jėgos momento didumo ir apskaičiuoti giroskopo inercijos momentą.



1 pav.

PRIEMONĖS: giroskopas, tachometras, sekundometras, svarelių rinkinys.Giroskopą (1 pav.) sudaro elektros variklis 1, smagratis 2, atsvaras 3, galintis slankioti išilgai strypo 4 su padalomis. Visa sistema įtvirtinta atramoje 5 taip, kad gali sukiotis aplink gulsčiąją ir stačiąją ašis. Giroskopo pasisukimo kampas gulsčiojoje plokštumoje matuojamas pažymėtomis plokščiame skritulyje 6 padalomis. Tachometras 7 matuoja smagračio sukimosi kampinį greitį, o sekundometras 8 giroskopo sukimosi aplink stačiąją ašį laiką.

DARBO METODIKA IR PAGRINDINĖS FORMULĖS

Tarkime, kad giroskopą sudaro besisukantis aplink ašį AA', paremtą taške O, smagratis 2 ir atsvaras 3 (2 pav.) Jei giroskopo inercijos momentas **I**, o smagratis sukasi kampiniu greičiu ω, tai giroskopo judesio kiekio momentas:

$$L = I\omega \qquad (1)$$

Neveikiant išorinių jėgų momentams (**M**=0), besisukančio giroskopo judesio kiekio momentas **L** išlieka pastovus (**dL/dt**=0), ir sukimosi ašies padėtis erdvėje nesikeičia.

Atsvarą 3 pastūmus tolyn nuo atramos taško O, giroskopą veiks atstojamasis išorinių jėgų momentas **M=FΔd**, čia **Δd** - atsvaro poslinkis. Šio momento sukurtas judesio kiekio momento pokytis:

$$dL = Mdt \qquad (2)$$

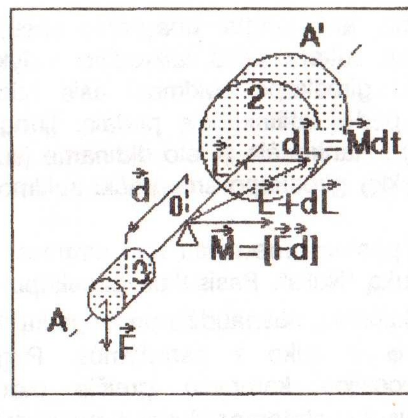
čia **dt** - jėgos momento **M** veikimo laikas. 2 pav. pavaizduoti jėgos momento **M**, judesio kiekio momento prieaugio **dL** ir atstojamojo judesio kiekio momento (**L+dL**) vektoriai. Iš 2 pav. plaukia, kad per laiko tarpą **dt** giroskopas pasisuks kampu $d\varphi$, t.y. precesuos statmena jėgos veikimui kryptimi. Precesijos kampinis greitis:

$$\Omega = \frac{d\varphi}{dt} = \frac{M}{I\omega} \qquad (3)$$

Jei giroskopo smagratis 2 sukasi pastoviu kampiniu greičiu (ω=const), tai

$$\frac{M}{\Omega} = I\omega = const. \qquad (4)$$

Atlikdami bandymą, nustatome giroskopo precesijos kampinio greičio Ω priklausomybę nuo išorinės jėgos momento **M** didumo **Ω=f(M)** ir nubrėžiame šios priklausomybės grafiką.



2 pav.

Giroskopo precesijos kampinio greičio Ω didumą apskaičiuojame iš lygybės:

$$\Omega = \frac{\varphi}{t} \tag{5}$$

čia φ - giroskopo ašies pasisukimo kampas per laiką **t**.

Giroskopą veikiantis išorinės jėgos momentas

$$M = F\Delta d \tag{6}$$

čia **F=mg** - atsvaro sunkio jėga , **Δd** atsvaro poslinkis.

Giroskopo inercijos momentą apskaičiuojame iš funkcijos **Ω=f(M)** grafiko. Iš (4) lygybės plaukia, kad **Ω=M/Iω**, t.y. lygtis tiesės, kuri sudaro kampą α su abscisių ašimi, o šio kampo **tg(α)=1/Iω**.Iš pastarosios plaukia, kad

$$I = \frac{1}{\omega\, tg(\alpha)} \tag{7}$$

Smagračio kampinį greitį ω matuoja giroskope įtaisytas tachometras.

BANDYMO EIGA

1. Patikriname, ar išjungta smagračio apsukas reguliuojanti rankenėlė (išjungiama sukant prieš laikrodžio rodyklę). Atsvarą 3 nustatome taip, kad giroskopo sukimosi ašis būtų horizontali, ir užsirašome atsvaro padėtį atitinkančią padalą. Įjungiame prietaisą į elektros tinklą (220V) . Rankenėle iš lėto didiname (sukame rankenėlę pagal laikrodžio rodyklę) giroskopo smagračio sukimosi greitį iki 6000 aps/min.

2. Atsvarą 3 pastumiame toliau nuo atramos (**Δd**=1.5cm) ir nuspaudžiame mygtuką "Nulis". Pasisukus giroskopui aplink vertikalią ašį kampu φ=60-70 laipsnių, nuspaudžiame mygtuką "Stop". Užrašome precesijos kampo φ ir laiko **t** parodymus. Pagal (5) formulę apskaičiuojame precesijos kampinio greičio didumą. Bandymą pakartojame tris kartus ir nustatome vidutinį didumą <Ω>.

3. Užduotį 2 pakartojame, pakeitę atsvaro poslinkį: **Δd**=2,0 , 2,5 , 3,0 cm.

4. Pagal (6) lygybę apskaičiuojame atitinkamus jėgos momento $\mathbf{M_i}$ didumus.

5. Nubrėžiame **Ω=f(M)** grafiką ir pagal (7) lygybę apskaičiuojame giroskopo inercijos momento **I** didumą.

6. Apskaičiuojame matavimo paklaidas ir suformuluojame išvadas.

KONTROLINIAI KLAUSIMAI

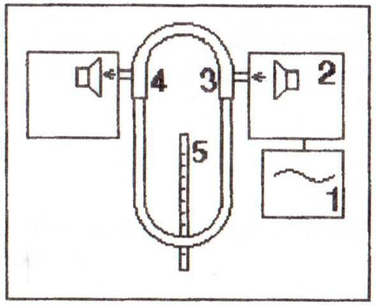
1. Ką vadiname kūno judesio kiekio momentu?
2. Suformuluokite impulso momento tvermės dėsnį.
3. Paaiškinkite giroskopo įrenginį.
4. Paaiškinkite giroskopo precesiją.

LABORATORINIS DARBAS Nr.14

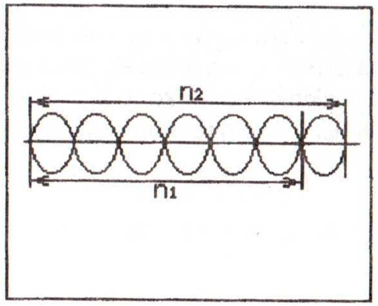
GARSO GREIČIO MATAVIMAS INTERFERENCINIU METODU

TIKSLAS: Stovinčiosios bangos metodu išmatuoti garso bangos greitį ore, apskaičiuoti oro molinių šilumų santykį ir nustatyti oro molekulių laisvės laipsnių skaičių.

PRIEMONĖS: garso generatorius, telefonas, įrenginys stovinčiosioms bangoms sudaryti su kintamo ilgio vamzdžiu, klausymo vamzdelis, milimetrinė matavimo liniuotė, termometras.



1 pav., a



1 pav., b

DARBO METODIKA IR PAGRINDINĖS FORMULĖS

Stovinčioji banga susidaro sudedant dvi koherentines bangas, kurių fazių skirtumas lygus π ir nesikeičia laikui bėgant.

Šiame darbe garso bangų sudėtis, kitaip sakant, interferencija, vyksta 1 pav., a pavaizduotame įrenginyje. Dažnio ν garso banga sklinda iš telefono 2, maitinamo garso dažnių generatoriaus 1. Taške 3 bangos frontas skyla į du : viena banga sklinda į kairę, kita į dešinę. Praėjusios skirtingą kelią, bangos susitinka ir interferuoja. Interferencijos rezultatą nustatome taške 4 įtaisytu klausymosi vamzdeliu. Vienos bangos sklidimo kelią keičiame slankiojančiąja vamzdžio dalimi. Vamzdžio poslinkį matuojame matuokliu 5. Užfiksavę vieną interferencijos minimumą (stovinčiosios bangos mazgą) taške 4 ir pažymėję skalės padalą n_1, ištraukiame vamzdį tiek, kad taške 4 susidarytų naujas interferencijos minimumas (1 pav., b). Užsirašome matuoklio skalės padalą n_2. Iš 1 pav., b plaukia, kad $n_2 - n_1 = \lambda/2$, o

$$\lambda = 2(n_2 - n_1) \tag{1}$$

Garso bangos greitį apskaičiuojame iš bangos ilgio λ, virpesių dažnio ν ir bangos sklidimo greičio v sąryšio:

$$v = \lambda\nu \tag{2}$$

Įrašę (1) į (2), apskaičiuojame garso bangos greitį

$$v = 2\nu(n_2 - n_1) \tag{3}$$

Išilginių bangų sklidimo greitis dujose susijęs su jų temperatūra T, moline mase **M** ir laisvės laipsnių skaičiumi i :

$$v = \sqrt{\gamma\frac{RT}{M}} = \sqrt{\frac{(i+2)}{i}\frac{RT}{M}} \tag{4}$$

čia γ - molinių šilumų C_p/C_V santykis, R=8,3 J/(mol·K), M_{oro} =29·10^{-3} kg/mol.

Pagal (4) formulę apskaičiuojame

$$\gamma = \frac{v^2 M}{RT}, \tag{5}$$

ir laisvės laipsnių skaičių

$$i = \frac{2}{\gamma - 1}\,. \tag{5a}$$

BANDYMO EIGA

1. Įjungiame garso generatorių. Parenkame jo sukeliamų virpesių dažnį 900-2000 Hz intervale.
2. Iš lėto traukiame prieš tai įstumtą iki galo vamzdį, o klausymo vamzdeliu zonduojame garso stiprumą. Nustatę jo minimumus, užrašome matuoklio 5 parodymus n_1 ir n_2. Pakartojame matavimus kelis kartus ir nustatome vidurkį. Pagal (1) formulę apskaičiuojame garso bangos ilgį
3. Pagal (3) formulę apskaičiuojame garso bangos greitį (pasirinktam dažniui ν).
4. Pagal (5) ir (5a) apskaičiuojame oro molinių šilumų santykį γ ir molekulių laisvės laipsnių skaičių i.
5. Pakeičiame generatoriaus virpesių dažnį (bandymą atliekame su 3-4 skirtingais dažniais) ir pakartojame 2-4 užduotis.

6. Apskaičiuojame vidutinius garso bangos greičio, molinių šilumų santykio ir laisvės laipsnių skaičiaus didumus bei įvertiname paklaidas.

7. Palyginame matavimų rezultatus su atitinkamais žinynuose pateikiamais dydžiais ir suformuluojame išvadas.

KONTROLINIAI KLAUSIMAI

1. Paaiškinkite tampriųjų bangų sklidimo dujose dėsningumus.
2. Paaiškinkite bangų interferencijos reiškinį. Kokios bangos vadinamos koherentinėmis?
3. Kaip priklauso išilginių tampriųjų bangų sklidimo greitis nuo aplinkos parametrų?
4. Paaiškinkite bangos sklidimo greičio matavimo metodiką.

LABORATORINIS DARBAS Nr.15

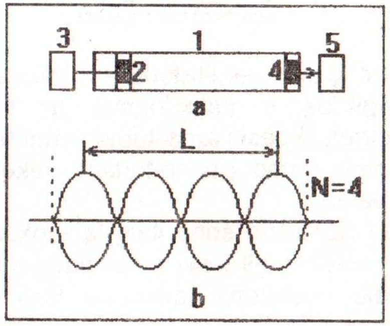
GARSO GREIČIO ORE MATAVIMAS KUNDTO METODU

TIKSLAS : Kundto metodu išmatuoti garso greitį ore, apskaičuoti oro molinių šilumų santykį ir molekulių laisvės laipsnių skaičių .

PRIEMONĖS : garso dažnių generatorius, oscilografas ir modernizuotas Kundto vamzdis. Pastarąjį (1 pav.,a) sudaro horizontalus metalinis vamzdis 1, kuriame slankioja telefono kapsulė 2, prijungta prie garso dažnio generatoriaus 3. Kitame vamzdžio gale įtaisytas mikrofonas 4, kuris garsinius virpesius keičia į kintamą elektrinį signalą. Mikrofonas sujungtas su oscilografu 5, kurio ekrane stebime virpesių amplitudę. Sukant vamzdžio šone įtaisytą rankenėlę telefono kapsulė pasislenka išilgai vamzdžio, jos padėtį fiksuoja vamzdžio išorėje įtaisyta skalė.

DARBO METODIKA IR PAGRINDINĖS FORMULĖS

Oro stulpas esantis tarp mikrofono ir telefoninės kapsulės, gali virpėti vienu iš savųjų dažnių. Kai vienas iš oro stulpo virpesių dažnių sutampa su generatoriaus dažniu ν, oscilografo ekrane stebime virpesių amplitudės maksimumą. Pastūmę telefono kapsulę per pusę stovinčiosios bangos ilgio, stebime kitą maksimumą ir t.t. Tokiu būdu,



1 pav.

perstūmę telefono kapsulę per visą vamzdžio ilgį, nustatome virpesių amplitudės maksimumų skaičių **N** ir atkarpos tarp pirmojo X_1 ir paskutiniojo amplitudės maksimumo X_N ilgį L. Šie dydžiai susieti su garso bangos ilgiu lygybe:

$$\lambda = \frac{2L}{(N-1)} = \frac{2(X_N - X_1)}{(N-1)}. \qquad (1)$$

Iš sąryšio $v = \lambda\nu$, (čia ν - garso generatoriaus virpesių dažnis), apskaičiuojame garso bangos greitį:

$$v = \frac{2(X_N - X_1)\nu}{(N-1)}. \qquad (2)$$

Išilginių garso bangų greitis ore susijęs su oro temperatūra **T**, moline mase **M** ir laisvės laipsnių skaičiumi i :

$$v = \sqrt{\gamma\frac{RT}{M}} = \sqrt{\frac{(i+2)}{i}\frac{RT}{M}}, \qquad (3)$$

čia γ - molinių šilumų C_p/C_V santykis. R=8.3 J/(mol·K), $M_{oro}=29\cdot10^{-3}$ kg/mol.

Pagal (3) formulę apskaičiuojame:

$$\gamma = \frac{v^2 M}{RT} \qquad (4)$$

ir laisvės laipsnių skaičių

$$i = \frac{2}{\gamma - 1} \qquad (5)$$

BANDYMO EIGA

1. Įjungiame garso generatorių ir oscilografą į elektros tinklą, įjungiame jų jungiklius ir patikriname, ar veikia šie prietaisai. Paruošiame oscilografą virpesių amplitudei matuoti..
2. Parenkame garso generatoriaus sukeliamų virpesių dažnį (900-2000)Hz intervale.
3. Sukdami vamzdžio šone įtaisytą rankenėlę, suskaičiuojame oscilografo ekrane stebimų virpesių amplitudės maksimumų skaičių **N**, o vamzdžio skalėje nustatome atkarpos tarp pirmo ir paskutinio amplitudės maksimumo ilgį **L**.
4. Pagal (2) formulę apskaičiuojame garso bangos greitį ore.
5. Pagal (4) ir (5)formules apskaičiuojame molinių šilumų santykį γ ir oro molekulių laisvės laipsnių skaičių **i**.

6. Pakeičiame generatoriaus virpesių dažnį ν (bandymą atliekame su 3-4 skirtingais dažniais) ir pakartojame 3-5 užduotis.
7. Apskaičiuojame vidutinius garso bangos greičio **v** ir molinių šilumų santykio γ didumus bei įvertiname matavimo paklaidas.
8. Palyginame matavimo rezultatus su atitinkamais žinynuose pateikiamais didumais ir suformuluojame išvadas.

KONTROLINIAI KLAUSIMAI

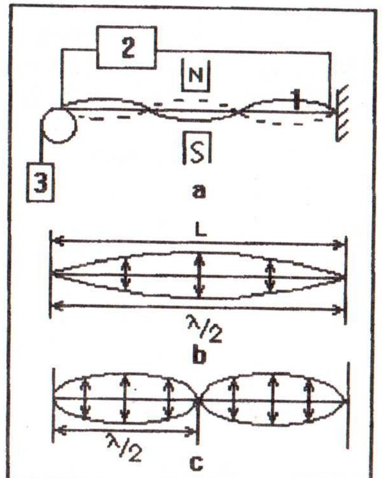
1. Paaiškinkite tamprių̧jų bangų sklidimo dujose mechanizmą.
2. Paaiškinkite bangų interferencijos reiškinį.
3. Paaiškinkite energijos pernešimo bangomis mechanizmą.
4. Paaiškinkite išilginių bangų sklidimo greičio priklausomybę nuo aplinkos parametrų (temperatūros , molinių šilumų santykio).
5. Paaiškinkite bangos sklidimo greičio matavimo metodą.

LABORATORINIS DARBAS Nr.16

SKERSINIŲ TAMPRIŲJŲ BANGŲ SKLIDIMO STYGOJE GREIČIO NUSTATYMAS

TIKSLAS: išmatuoti skersinių tampriųjų bangų stygoje sklidimo greitį ir nustatyti jo priklausomybę nuo įtempimo jėgos didumo.

PRIEMONĖS: garso generatorius, pastovus magnetas, styga su pasvarėliais, liniuotė, mikrometras.



1 pav.

DARBO METODIKA IR PAGRINDINĖS FORMULĖS

1 pav., a pavaizduotame įrenginyje stygos 1 svyravimus sukelia kintama Ampero jėga, veikianti magnetiniame lauke esančią stygą su srove. Kintamąją srovę sukelia garsinių dažnių generatorius 2. Stygos mechaninę įtempimo jėgą **F** lemia pasvarėlio 3 sunkio jėga **P=mg**. Kai priverstinius svyravimus sužadinančio generatoriaus dažnis ν atitinka įtemptos stygos savųjų ar virštoninių svyravimų dažnį, rezonanso dėka joje susidaro stovinčiosios bangos.

Stygoje gali susidaryti tik tokios stovinčiosios bangos, kuriose atstumas tarp mazgų **λ/2** sveiką skaičių kartų telpa visame stygos ilgyje **L**. Ilgiausia stovinčioji banga susidaro interferuojant bėgančiajai ir atsispindėjusiajai nuo įtvirtinimo bangoms taip, kad visa styga sudaro pusę bangos ilgio (1 pav.,b **L=λ/2**). Ji atitinka pagrindinį stygos toną. Trumpesnės bangos (1 pav.,c N=2,3,...) vadinamos šios bangos virštoniais. Kaip matyti iš brėžinio, bangos ilgis **λ=2L/N** , o jos sklidimo greitis

$$v = \frac{2L\nu}{N} \qquad (1)$$

Skersinių bangų sklidimo stygoje greičio priklaisomybė nuo stygos įtempimo jėgos **F**, bei ilginio tankio **μ=m/L** (čia **m**-stygos masė, **L** - jos ilgis) išreiškiama taip:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \qquad (2)$$

Kadangi **m=ρV=(πρLD²)/4** (**D**- stygos skersmuo, ρ-medžiagos tankis), iš (2) plaukia:

$$v = \frac{2}{D}\sqrt{\frac{F}{\pi\rho}} \qquad (3)$$

Nubrėžę funkcijos $v=f(F^{1/2})$ grafiką nustatome greičio priklausomybės nuo įtempimo jėgos pobūdį (tiesinė, laipsninė ar kitokia).

BANDYMO EIGA

1. Išmatuojame stygos skersmenį **D** ir jos ilgį **L**, pasveriame pasvarėlius ir nustatome jų masę.
2. Įtempiame stygą prikabindami prie jos galo pasvarėlį.
3. Pastatome magnetą ties stygos viduriu ir įjungiame generatorių (stebėti, kad generatoriaus sudaryta įtampa būtų optimali stygos svyravimų amplitudei, nes per didelė srovė įkaitina stygą ir keičia jos tampriąsias savybes).
4. Keisdami generatoriaus dažnį, nustatome pirmąją stovinčiųjų bangų harmoniką (vienas pūpsnis visame stygos ilgyje) ir užregistruojame jį atitinkantį generatoriaus dažnį ν_1.

5. Pastūmę magnetą ties spėjamomis antros (**N**=2) ir kitų harmonikų (**N**=3,4...) pūpsniais, keičiame generatoriaus dažnį ν_i, kol gauname virštoninių dažnių stovinčiąsias bangas. Užregistruojame generatoriaus dažnius ν_i ir kiekvieną jų atitinkantį pusbangių skaičių $\mathbf{N_i}$.

6.Pagal (1) ir (3) formules apskaičiuojame bangos sklidimo greičių didumus ir jų vidurkius.

7. Pakartojame 2-6 užduotis, įtempdami stygą 3-4 skirtingų masių krovinėliais.

8. Brėžiame greičio priklausomybės nuo stygos įtempimo jėgos $F^{1/2}$ grafiką.

9. Apskaičiuojame paklaidas ir suformuluojame išvadas.

KONTROLINIAI KLAUSIMAI

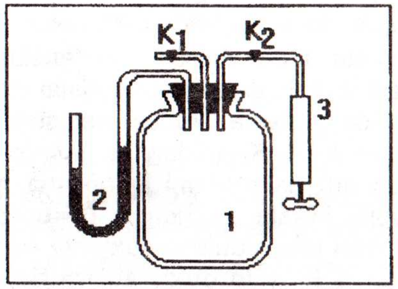
1. Paaiškinti tampriųjų bangų sklidimą kietuosiuose kūnuose.
2. Kokias bangas vadiname stovinčiosiomis?
3. Paaiškinti išilginių ir skersinių tampriųjų bangų sklidimo greičio priklausomybę nuo aplinkos parametrų (Jungo modulio, temperatūros ir kt.).

LABORATORINIS DARBAS Nr.17

DUJŲ MOLINIŲ ŠILUMŲ SANTYKIO C_p/C_V MATAVIMAS

TIKSLAS: išmatuoti dujų molinių šilumų santykį $\gamma=\mathbf{C_p/C_V}$ ir nustatyti molekulių laisvės laipsnių skaičių **i**.

PRIEMONĖS: Klemano-Dezormo prietaisas (1 pav.), kurį sudaro stiklinis indas 1 su kamščiu ir čiaupais K_1 ir K_2 , manometras 2 ir pompa 3.

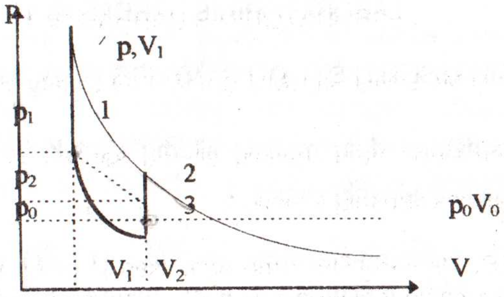


1 pav

DARBO METODIKA IR PAGRINDINĖS FORMULĖS

Izochoriškai šildant dujas, jų tūris išlieka pastovus, todėl didėja slėgimas ir temperatūra. Jei dujos šildomos izobariškai, palaikant pastovų slėgimą, didėja jų tūris ir temperatūra, todėl tiekiamoji šiluma suvartojama ne tik dujoms pašildyti, bet ir jų plėtimosi darbui atlikti. Iš to plaukia, kad molinė dujų šiluma $\mathbf{C_p}$, esant pastoviam slėgimui, yra visuomet didesnė už jų molinę šilumą $\mathbf{C_V}$, esant pastoviam tūriui: $\mathbf{C_p > C_V}$. Molinis šilumų santykis $\mathbf{C_p/C_V}$>1. Šį santykį galima išmatuoti tiriant adiabatinių ir izochorinių procesų kaitą dujose. Adiabatinio proceso metu tarp dujų ir aplinkos nevyksta šilumos mainai **(Q=0)**, o dujų tūrį V ir slėgį **p** sieja Puasono lygtis:

$$p_1 V_1^{\gamma} = p_2 V_2^{\gamma} \qquad (1)$$



2 pav.

Bandymo metu indo dujose vykstančius procesus galima modeliuoti tarus, kad stiklinio indo oras sąlyginai atskirtas nuo pompoje esančio oro paslankia pertvara, kurios vienintelė paskirtis -perduoti slėgį. Atidarę čiaupą K_2 (K_1 uždarytas) indo dujas politropiškai suslegiame pompos oru pakeisdami jų būseną nuo (p_0,V_0) į (p,V_1). Uždarius abu čiaupus vyksta izochorinis (V=const.) procesas, kurio metu dujos aušta, todėl slėgis dujose nukrenta nuo p iki p_1. Staigiai if plačiai atidarius čiaupą K_1 indo dujos adiabatiškai išsiplečia (1-3), jų slėgis susilygina su aplinkos slėgiu p_0, bet dujos atšąla, todėl tiriamųjų dujų tūris V_2 tebėra mažesnis nei pradinis jų (=indo) tūris V_0. Uždarius čiaupą K_1 dujos izochoriškai (V_2=const.) pašyla (3-1) iki kambario temperatūros, o slėgis pakyla iki p_2. 2 pav. brūkšneliais pažymėtas idealus pusiausvirasis izoterminis procesas 1-2, kurio metu besikeičiantys dujų būsenų parametrai susieti lygtimi:

$$p_1V_1 = p_2V_2 \quad (2)$$

Procesui 1-3 galioja adiabatės lygtis:

$$p_1V_1^\gamma = p_0V_2^\gamma \quad (3)$$

Akivaizdu, kad $p_1=p_0+\rho gh_1$ ir $p_2=p_0+\rho gh_2$, kai h_1 ir h_2 yra manometro vandens stulpelių aukščių skirtumai esant būsenoms 1 ir 2. Iš lygybių (2) bei (3) (jei $p_0>>\rho gh_1$ ir $p_0>>\rho gh_2$, o $\ln p_{1,2} \cong \ln p_0 + \frac{\rho gh_{1,2}}{p_0}$ -- Teiloro eilutės pirmieji nariai) plaukia, kad:

$$\gamma = \frac{h_1}{h_1 - h_2} \quad (4)$$

Klasikinėje molekulinėje kinetinėje teorijoje molinė izochorinė šiluma C_V ir molinė izobarinė šiluma C_p susiejama su molekulių laisvės laipsnių skaičiumi i:

$C_V = \frac{i}{2}R$, o $C_p = \frac{i+2}{2}R$. Čia R=8.3 J/(mol K)- universalioji dujų konstanta. Todėl :

$$\gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{i+2}{i} \quad (5)$$

Šiame darbe bandymą atliekame su oru, kurio sudėtyje yra 21% deguonies (O_2), apie 70% azoto (N_2) ir kitų dujų.

BANDYMO EIGA

1.Atidarome čiaupą K_1 ir pompa staigiai orą inde suslegiame tiek, kad manometre skysčio aukščių skirtumas sudarytų 4-5 cm. Po to čiaupą K_1 uždarome ir laukiame 4-5 minutes, kol nusistovi manometro skysčio aukščių skirtumas. Išmatuojame šį skirtumą h_1.

2. Trumpam visiškai atidarome čiaupą K_1. Susilyginus manometro skysčio stulpelių aukščiams, čiaupą K_1 uždarome. Palaukiame 4-5 minutes, kol skysčio stulpelių aukščių skirtumas nebesikeičia, išmatuojame aukščių skirtumą h_2.

3. Iš (4) lygybės apskaičiuojame molinių šilumų santykį γ.

4. Bandymą pakartojame 5-7 kartus, stengdamiesi suslėgti orą vienodai, apskaičiuojame γ aritmetinį vidurkį ir įvertiname paklaidą $\Delta\gamma$.

5.Iš (5) lygybės apskaičiuojame oro molekulių laisvės laipsnių skaičių *i* ir įvertiname oro dujų mišinio vidutinį atomų skaičių molekulėje.

KONTROLINIAI KLAUSIMAI

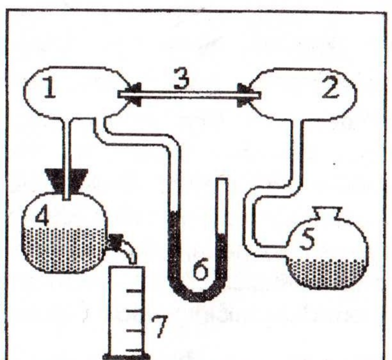
1. Paaiškinti tobulųjų dujų adiabatinį procesą ir užrašyti jo lygtį.
2. Tobulųjų dujų šiluminės talpos, molinės ir specifinės šilumų apibrėžimai. Sąryšis tarp molinių šilumų C_V ir C_p.
3. Dujų molinių šilumų C_p ir C_V priklausomybė nuo temperatūros.
4. Užrašyti ir paaiškinti pirmąjį termodinamikos dėsnį.

LABORATORINIS DARBAS Nr.18

ORO KLAMPUMO KOEFICIENTO IR MOLEKULIŲ VIDUTINIO LAISVOJO LĖKIO NUSTATYMAS

TIKSLAS: išmatuo oro klampumo koeficientą ir molekulių vidutinį laisvąjį lėkį.

PRIEMONĖS: sekundometras, manometras, menzūra ir prietaisas oro klampumo koeficientui matuoti (1 pav.). Jis sudarytas iš indų 1 ir 2, sujungtų kapiliaru 3, kurio ilgis **d** ir spindulys **r**. Indas 1 sujungtas su vandens pripildytu indu 4. Indas 2 sujungtas su indu 5, užpildytu drėgmę sugeriančia medžiaga. Slėgių skirtumą kapiliaro galuose matuoja monometras 6.
Klampa pasireiškia, kai oras slenka iš indo 2, kuriame slėgis lygus atmosferiniam, pro kapiliarą 3 į kitą indą 1, kuriame slėgis mažesnis dėl ištekančio iš indo 4 vandens. Ištekėjusio vandens tūris matuojamas menzūra 7.



1 pav.

DARBO METODIKA IR PAGRINDINĖS FORMULĖS

Dujų arba skysčių sluoksniai , slinkdami vienas kito atžvilgiu, veikia vienas kitą klampos arba vidinės trinties jėga:

$$F = -\eta \frac{dv}{dx} dS \qquad (1)$$

čia η- dinaminis klampumo koeficientas, skaitiniu didumu lygus jėgai, veikiančiai vienetinio ploto (**ds=1**) sluoksnį, kai dujose arba skystyje sudarytas vienetinis sluoksnių judėjimo greičių gradientas (**dv/dx=1**).

Puazeilis apskaičiavo, kad, esant kapiliarinio vamzdelio, kurio spindulys **r** ir ilgis **d**, galuose **Δp** slėgių skirtumui, per laiką **t** ištekėjusio skysčio, kurio klampumo koeficientas η, tūris **V** yra:

$$V = \frac{\pi r^4 t}{8\eta d}\Delta p \quad . \qquad (2)$$

Vandens manometru išmatuojame vamzdžio galuose slėgių skirtumą:

$$\Delta p = \rho g \Delta h \quad , \qquad (3)$$

čia **Δh**- manometro skysčio stulpelių aukščių skirtumas, ρ-manometro skysčio tankis, **g**- laisvojo kritimo pagreitis.

Iš (3) ir (2) plaukia, kad:

$$\eta = \frac{\pi g r^4 \rho t \Delta h}{8Vd} \quad . \qquad (4)$$

Molekulinėje kinetinėje dujų teorijoje klampumo koeficientas η yra susiejamas su dujų tankiu:

$$\rho_o = \frac{Mp}{RT} \quad , \qquad (5)$$

molekulių vidutiniu šiluminio judėjimo greičiu:

$$<v>=\sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} \qquad (6)$$

ir molekulių vidutiniu laisvuoju lėkiu $<\lambda>$:

$$\eta = \frac{1}{3}\rho_0 <v><\lambda> . \qquad (7)$$

Išmatavę klampumo koeficientą η, atmosferos slėgį **p** temperatūrą **T** ir žinodami, kad oro molinė masė **M**= $29 \cdot 10^{-3}$ kg/mol, įvertiname vidutinį oro molekulių laisvąjį lėkį:

$$<\lambda>=\frac{3\eta}{p}\sqrt{\frac{\pi RT}{8M}} \quad . \qquad (8)$$

BANDYMO EIGA

1. Paruošiame matavimų įrenginį tyrimams: į indą 4 įpilame vandens, atsukę čiaupą palaukiame, kol nusistovės manometro parodymai. Tuo metu vanduo teka į atsarginį indą.

2. Nusistovėjus slėgių skirtumui vamzdelio galuose, po ištekančio vandens čiaupu pastatome menzūrą skysčio tūriui **V** matuoti. Po 3-5 minučių čiaupą užsukame ir užrašome tūrio **V**, laiko **t** ir manometro stulpelių aukščių skirtumo **Δh** didumus.

3. Pagal (4) formulę apskaičiuojame klampumo koeficiento η didumą. (Kapiliaro duomenys **d** ir **r** pateikiami prie įrenginio).

4. Pakartojame 2-3 užduotis ne mažiau trijų kartų ir įvertiname klampumo koeficiento vidutinį didumą.

5. Termometru ir barometru išmatuojame aplinkos temperatūrą **T** ir slėgį **p**.

6. Pagal (8) formulę apskaičiuojame molekulių vidutinį laisvąjį lėkį $<\lambda>$.

KONTROLINIAI KLAUSIMAI

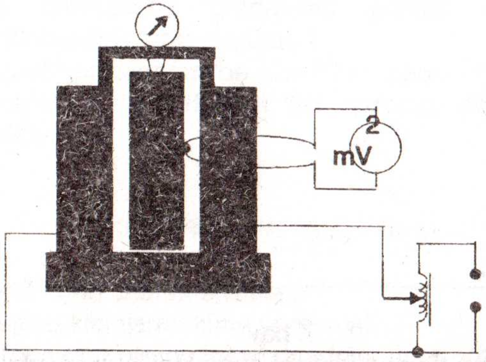
1. Apibūdinkite klampos reiškinius skysčiuose ir dujose.
2. Dinaminio klampumo koeficiento ir greičių gradiento apibrėžimai ir fizikinės prasmės.
3. Skysčių ir dujų tekėjimo kapiliarais Puazeilio dėsnis.
4. Dujų ir skysčių klampumo koeficiento priklausomybė nuo temperatūros.
5. Vidutinis molekulių laisvasis lėkis ir jo priklausomybė nuo slėgio ir temperatūros.

LABORATORINIS DARBAS Nr.19

KIETOJO KŪNO LINIJINIO PLĖTIMOSI KOEFICIENTO MATAVIMAS

TIKSLAS: išmatuoti metalo linijinio plėtimosi koeficientą.

PRIEMONĖS: kietojo kūno linijinio plėtimosi koeficiento matavimo įrenginys (1 pav.), metaliniai strypeliai, liniuotė, termoporos gradavimo kreivė.



1 pav.

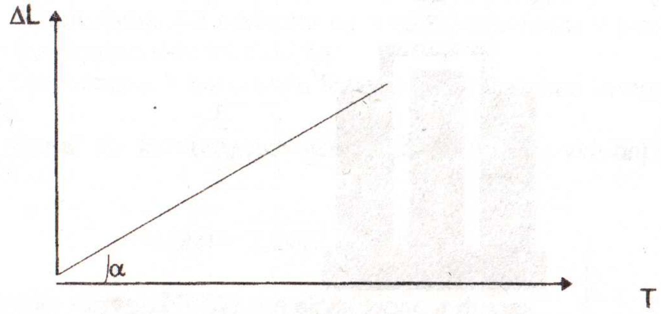
DARBO METODIKA IR PAGRINDINĖS FORMULĖS

Kietajame kūne atomą veikia traukos ir stūmos sąveikos jėgos. Termodinaminėje pusiausvyroje, šių jėgų veikiami, atomai svyruoja apie pastovios pusiausvyros padėtį. Traukos ir stūmos jėgos skirtingai priklauso nuo atstumo tarp atomų, todėl atomų svyravimai yra anharmoniniai. Didėjant kūno temperatūrai, t.y. didėjant anharmoninių kietojo kūno dalelių svyravimų amplitudėms, didėja vidutinis atstumas tarp atomų pusiausvyros padėčių - kietieji kūnai plečiasi, ir didėja jų matmenys.

Bandymais nustatyta, kad, šildant ploną metalinį strypą, santykinis jo pailgėjimas $(L-L_0)/L_0=\Delta L/L_0$ yra tiesiai proporcingas temperatūros padidėjimui $(T-T_0)=\Delta T$ ir priklauso nuo medžiagos cheminės prigimties:

$$\frac{\Delta L}{L_0} = \alpha \Delta T \ , \qquad (1)$$

čia α - šiluminis kietų kūnų linijinio plėtimosi koeficientas. Jis parodo vienetinio ilgio strypo absoliutinį pailgėjimą, padidinus temperatūrą vienu kelvinu. Koeficientas α silpnai priklauso nuo temperatūros, tačiau nedideliuose temperatūrų kitimo intervaluose praktiškai yra pastovus dydis. 2 pav. grafiškai pavaizduota absoliutaus pailgėjimo priklausomybė nuo temperatūros **T**.



2 pav.

Kietojo kūno tūrinį plėtimąsi charakterizuoja šiluminio plėtimosi koeficientas β . Jis yra lygus santykiniam kūno tūrio padidėjimui, $\Delta V/V_0$, padidėjus jo temperatūrai vienu kelvinu:

$$\beta = \frac{\Delta V}{V} \frac{1}{\Delta T} \ . \qquad (2)$$

Nesunku parodyti, kad $\beta = 3\alpha$.

Linijinis kietų kūnų šiluminio plėtimosi koeficientas apskaičiuojamas iš absoliutaus pailgėjimo **ΔL** priklausomybės nuo temperatūros matavimų. Tiriamasis strypelis patalpinamas į krosnelę 1, kuri jungiama į 220 V įtampos elektros tinklą. Tiriamojo strypelio pailgėjimas matuojamas indikatoriumi, o temperatūra - termopora 2. Kitame įrenginio variante, vietoje vienalyčio strypelio vartojamas vamzdelio formos bandinys tiesiogiai kaitinamas pastovios temperatūros vandens srove arba vandens garais. Nubrėžę funkcijos **ΔL=f(T)** grafiką, nustatome **ΔL, ΔT** ir pagal formulę

$$\alpha = \frac{1}{L_0} \frac{\Delta L}{\Delta T} \qquad (3)$$

apskaičiuojame šiluminio kietų kūnų plėtimosi koeficiento didumą.

BANDYMO EIGA

1. Susipažinti su matavimo įrenginiu, pastatyti indikatoriaus rodyklę į nulinę padėtį, įjungti kaitinimą. Didėjant temperatūrai užrašyti termoporos ir indikatoriaus parodymus.
2. Iš termoporos gradavimo grafiko rasti termoporos parodymus atitinkančias temperatūras **T**.
3. Nubrėžti priklausomybę **ΔL=f(T)** ir pagal (3) apskaičiuoti α.
4. Eksperimentą pakartoti (jei nurodys dėstytojas) su kitų metalų strypeliais.

KONTROLINIAI KLAUSIMAI

1. Bendroji kieto kūno charakteristika .
2. Dalelių judėjimo kietajame kūne ypatumai.
3. Sąveikos jėgos tarp atomų kietajame kūne ir jų potencinės energijos priklausomybė nuo atstumo tarp jų.
4. Kaip aiškinamas šiluminis kietų kūnų plėtimasis.
5. Linijinio ir tūrinio šiluminio plėtimosi koeficientai, jų apibrėžimai.

LABORATORINIS DARBAS Nr.20

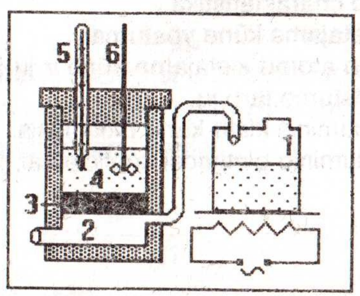
DIELEKTRIKŲ ŠILUMINIO LAIDUMO KOEFICIENTO NUSTATYMAS

TIKSLAS: išmatuoti dielektriko šiluminio laidumo koeficientą.

PRIEMONĖS: dielektriko šiluminio laidumo koeficiento matavimo kalorimetriniu metodu įrenginys (1 pav.), dielektriko plokštelė, slankmatis, sekundometras, menzūra.

DARBO METODIKA IR PAGRINDINĖS FORMULĖS

Šiluminę energiją dielektrikuose perneša kristalinės gardelės svyravimai. Padidinus dielektriko temperatūrą, padidėja atomų svyravimo amplitudė. Dėl atomų tarpusavio sąveikos svyravimo energija perduodama gretimiems atomams, pastarųjų kitiems ir t.t., - kietajame kūne plinta tampriosios bangos, pernešančios šiluminę energiją. Šių bangų plitimo dėsningumus aprašo kvantinė bangų sąveikos su kristalinės gardelės svyravimais teorija.



1pav

Empyriškai dielektrikų šiluminis laidumas aprašomas Furje dėsniu. Jei dielektrike išilgai x ašies yra temperatūros gradientas $\partial T / \partial x$, tai šilumos kiekis Q, perneštas per plotą S, statmeną x-sų ašiai, per laiką τ, yra proporcingas temperatūros gradientui x-sų ašies kryptimi $\partial T / \partial x$ plotui S ir laikui τ:

$$Q = -\chi \frac{\partial T}{\partial x} S\tau \qquad (1)$$

čia c - šiluminio laidumo koeficientas. Minuso ženklas rodo, kad šiluma pernešama temperatūros mažėjimo kryptimi.

Išmatavę Q, S, τ, ir temperatūros gradientą, galime apskaičiuoti šiluminio laidumo koeficientą χ.

Atliekant bandymą iš garintuvo 1, vandens garai nenutrūkstamai leidžiami į kaitintuvą 2, tuo palaikant pastovią jo sienelių temperatūrą, lygią garų temperatūrai, t.y. 373 K (kaitintuvą galima kaitinti ir kitais būdais). Ant viršutinės kaitintuvo sienelės dedamas tiriamos medžiagos pavyzdys 3, o ant jo -kalorimetras 4 su vandeniu. Kalorimetre 4 įtaisytas termometras 5 ir maišiklis 6. Kalorimetras 4 ir kaitintuvas yra termiškai izoliuoti nuo aplinkos. Kaitintuvo šiluma per dielektriko sluoksnį perduodama kalorimetrui su vandeniu. Pagal (1) formulę, per labai mažą laiko tarpą dt per dielektriko sluoksnį pereis mažas šilumos kiekis

$$dQ = \chi \frac{T_0 - T}{\Delta x} S d\tau \qquad (2)$$

čia To - kaitintuvo temperatūra, T - kalorimetro su vandeniu temperatūra, Δx - dielektriko bandinio storis, S - kalorimetro dugno plotas. Per laiko tarpą $d\tau$ kalorimetras su vandeniu gaus tokį pat šilumos kiekį

$$dQ = (m_1 c_1 + m_2 c_2) dT \qquad (3)$$

čia m_1 - vandens masė kalorimetre, c_1 - vandens specifinė šiluma. m_2 - kalorimetro masė, c_2 - kalorimetro medžiagos specifinė šiluma. dT - kalorimetro ir jame esančio vandens temperatūros pokytis. Sulyginę (2) su (3), atskyrę kintamuosius ir suintegravę, išreiškiame χ:

$$\chi = \frac{(m_1 c_1 + m_2 c_2)\Delta x}{S\tau} \ln\left(\frac{T_0 - T_1}{T_0 - T_2}\right). \qquad (4)$$

Pagal (4) formulę apskaičiuojame dielektriko šiluminio laidumo koeficientą χ.

DARBO EIGA

1. Įjungiame garintuvo kaitintuvą.
2. Pasveriame ir nustatome kalorimetro su maišikliu ir vandens, esančio kalorimetre, mases.
3. Slankmačiu išmatuojame dielektriko bandinio storį ΔX.
4. Išmatuojame kalorimetro dugno diametrą d ir pagal formulę $S=\pi d^2/4$ apskaičiuojame kalorimetro dugno plotą S.
5. Surenkame įrenginį ir laukiame, kol kaitintuvo temperatūra pasieks vandens garų temperatūrą, t.y., kol iš kaitintuvo pasirodys vandens garai.
6. Išmatuojame kalorimetro pradinę temperatūrą T_1 ir įjungiame sekundometrą (matavimo laiką nurodo dėstytojas). Matavimo metu maišome vandenį kalorimetre.
7. Pasibaigus matavimo laikui, užfiksuojame galutinę kalorimetro su vandeniu temperatūrą T_2.
8. Pagal (4) formulę apskaičiuojame χ.

KONTROLINIAI KLAUSIMAI

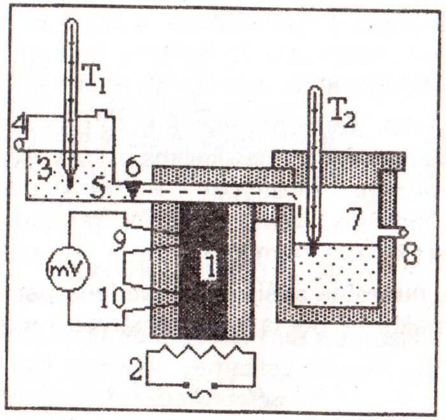
1. Paaiškinti šiluminio laidumo mechanizmą kietuosiuose kūnuose.
2. Paaiškinti dydžius ir sąvokas: perneštas šilumos kiekis, temperatūros gradientas, šiluminio laidumo koeficientas.
3. Paaiškinti eksperimento metodiką ir matavimo įrenginio darbą.

LABORATORINIS DARBAS Nr.21

METALŲ ŠILUMINIO LAIDUMO KOEFICIENTO IR ELEKTRONŲ VIDUTINIO LAISVOJO LĖKIO NUSTATYMAS

TIKSLAS: aušinimo metodu išmatuoti vario šiluminio laidumo koeficientą χ ir apskaičiuoti elektronų vidutinį laisvąjį lėkį $<\lambda>$.

PRIEMONĖS: metalų šiluminio laidumo koeficiento matavimo aušinimo metodu įrenginys (1 pav.), termoporų gradavimo kreivė, menzūra vandeniui rinkti, sekundometras.



1 pav.

DARBO METODIKA IR PAGRINDINĖS FORMULĖS

Šilumos kiekis **Q** perneštas per plotą **S** statmeną **x** ašiai per laiką τ yra propofcingas temperatūros gradientui, plotui **S** ir laikui τ:

$$Q = -\chi \frac{\partial T}{\partial x} S\tau \tag{1}$$

čia χ - šiluminio laidumo koeficientas. Iš (1) plaukia :

$$\chi = -\frac{Q}{\frac{\partial T}{\partial x} S\tau} \qquad (2)$$

Šilumos kiekį **Q** ir temperatūros gradientą $\partial T/\partial x$ galima išmatuoti įrenginiu pavaizduotu 1 pav.

Varinio (arba kito metalo) cilindrinio strypo 1 vienas galas kaitinamas kaitintuvu 2, o kitas aušinamas iš vandentiekio pastoviu greičiu tekančio vandens srove. Vanduo leidžiamas į rezervuarą 3, kuriame sudaromas pastovus vandens lygis (pertklinis vanduo išteka per angą 4). Esant pastoviam vandens lygiui rezervuare 3, per angą 5 išteka pastovaus stiprumo vandens srovė, kuri aušina viršutinį strypo 1 galą. Srovės stiprumas reguliuojamas čiaupu 6. Pratekėjęs, įšilęs vanduo surenkamas rezervuare 7, kuriame taip pat yra vandens lygį ribojanti anga 8. Termometrais matuojame įtekančio T_1 ir ištekančio T_2 vandens temperatūras. Termoporomis 9 ir 10 pritvirtintomis prie strypo 1, išmatuojame temperatūros pasikeitimą $\Delta T/\Delta x$ išilgai strypo (Δx - atstumas tarp termoporų). Jei strypas 1 ir rezervuaras 7 termiškai gerai izoliuoti, tai nusistovėjus termodinaminei pusiausvyrai termometrų temperatūros 9 ir 10 bei termoporų T_3 ir T_4 parodymai nesikeis. Šilumos kiekis **Q**, nuneštas aušinančio vandens per laiką τ, bus lygus šilumos kiekiui praėjusiam per tą laiką per strypo 1 skerspjūvį:

$$Q = C_v \rho_v V (T_2 - T_1) \qquad (3)$$

čia **V** - pratekėjusio per laiką τ vandens tūris, C_V - vandens specifinė šiluma.

Iš (2) ir (3) plaukia, kad šiluminio laidumo koeficientas:

$$\chi = \frac{C_v \rho_v V (T_2 - T_1)}{\frac{\Delta T}{\Delta x} S\tau} \qquad (4)$$

Remiantis klasikine metalų "elektroninių dujų" teorija vienvalenčiam metalui elektronų, kurių temperatūra **T**, vidutinis laisvasis lėkis:

$$<\lambda> = \frac{\chi M}{\rho} \sqrt{\frac{\pi m_e}{2 N_A R T}} \qquad (5)$$

Variniam strypui : M_{Cu}=63.54 10^{-3} kg/mol , ρ_{Cu}=8.93 10^3 kg/m^3 , **R**=8.31 kg/(K mol) ,N_A=6.02 10^{23} mol^{-1} , m_e=9.11 10^{-31} kg.

BANDYMO EIGA

1. Įjungiame strypo šildymą ir aušinimą. Palaukiame kol nusistovės termodinaminė pusiausvyra - termometrų ir termoporų parodymai nebesikeičia. Užrašome jų parodymus.
2. Nurodytą laiką τ renkame strypą aušinantį vandenį ir nustatome jo tūrį **V**.
3. Pagal termoporų gradavimo kreivę nustatome temperatūros pokytį ΔT ir temperatūros gradientą $\Delta T/\Delta x$.
4. Pagal (4) formulę apskaičiuojame χ.
5. Pagal (5) formulę apskaičiuojame kambario temperatūroje esančių elektronų vidutinį laisvąjį lėkį $<\lambda>$.

KONTROLINIAI KLAUSIMAI

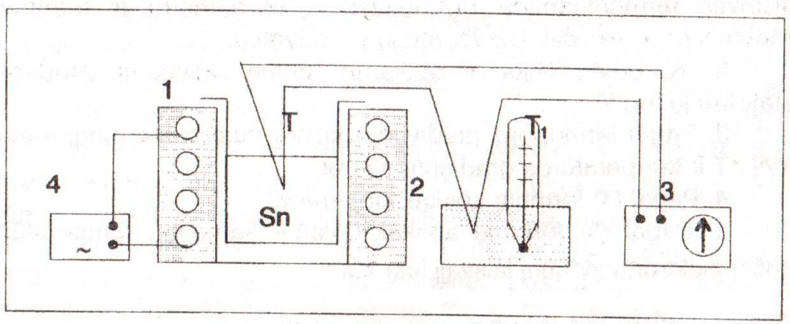
1. Paaiškinti šiluminio laidumo mechanizmą kietuosiuose kūnuose.
2. Paaiškinti dydžius ir sąvokas: perneštas šilumos kiekis, temperatūros gradientas, šiluminio laidumo koeficientas.
3. Paaiškinti eksperimento metodiką ir aparatūrą.
4. Paaiškinti elektronų laisvo lėkio sąvoką ir jo apskaičiavimo metodiką.
5. Nuo kokių fizikinių dydžių priklauso elektronų laisvasis lėkis?

LABORATORINIS DARBAS Nr.22.

ENTROPIJOS POKYČIO FAZINIO VIRSMO METU MATAVIMAS

TIKSLAS: išmatuoti entropijos pokytį šylant ir fazinio virsmo (kietas kūnas-skystis) metu.

PRIEMONĖS: mėgintuvėlis su lydomu alavu S_n (parafinu ar kt.), įstatytas į elekrinę krosnelę (1); termopora (2) ir jos gradavimo kreivė, nuolatinės srovės tiltelis įtampai matuoti (3), kintamos srovės šaltinis (4).



1 pav.

DARBO METODIKA IR PAGRINDINĖS FORMULĖS

Entropija yra sistemos netvarkos matas arba tokia būvio funkcija, kurios pokytis **dS** apibrėžiamas suteikto šilumos kiekio **dQ** ir temperatūros **T**, kuriai esant šis šilumos kiekis suteiktas, santykiu:

$$dS = \frac{dQ}{T} . \qquad (1)$$

Sistemai pereinant iš būsenos A į būseną B entropija pakinta dydžiu **ΔS:**

$$\Delta S = \int_A^B \frac{dQ}{T} . \qquad (2)$$

Didėjant kūno temperatūrai nuo T_O iki T_L, t.y. suteikus jam šilumos kiekį $Q_1 = cm(T_L - T_O)$ ir po to lydantis T_L temperatūroje, t.y. suteikus jam šilumos kiekį $Q_2 = \lambda m$, entropija pakinta dydžiu

$$\Delta S = \Delta S' + \Delta S'' = \int_{T_0}^{T_L} \frac{cm}{T} dT + \int_Q \frac{dQ}{T} = cm \ln\left(\frac{T_L}{T_0}\right) + \frac{\lambda m}{T_L} . (3)$$

(3) formulėje **c**- medžiagos specifinė šiluma, **m**- masė, T_L - lydymosi temperatūra, T_0 - pradinė (kambario) temperatūra, **λ**- medžiagos specifinė lydymosi šiluma.

Darbo priemonių schema pavaizduota 1 pav. Į elektrinę krosnelę 1 įstatytame mėgintuvėlyje yra alavo (parafino ar kito besilydančio elemento), kurio masė **m**. Autotransformatoriumi 4 reguliuojame krosnelės 1 įšilimą. Alavo temperatūrą matuojame termopora, kurios vienas galas yra mėgintuvėlyje, kurio temperatūra **T**, o kitas - termostate, kurio temperatūra T_1 praktiškai nekinta matavimų metu (paprastai, tai kambario temperatūros vandens rezervuaras). Tilteliu 4 matuojama įtampa proporcinga termoporos sulydymo vietų temperatūrų **T** ir T_1 skirtumui $\Delta T = T - T_1$. Pagal termoporos gradavimo kreivę $U = f(\Delta T)$ ir išmatuotų **U** bei T_1 galime įvertinti šildomo metalo temperatūrą.

$$T_0 = T_1 + \Delta T , \qquad (4)$$

čia **ΔT** pagal gradavimo kreivę įvertintas termoporos sulydymo taškų temperatūrų skirtumas.

DARBO EIGA

1. Išmatuojame termostato temperatūrą T_1.
2. Paruošiame darbui įtampos **U** matavimo tiltelį.
3. Įjungiame šildymo grandinę ir kas minutę užrašome tiltelio parodymus **U**. Lydymosi metu temperatūra nesikeičia, bet **U(T)** matavimus tęsiame tuo pačiu laiko intervalu iki išsilydo visa medžiaga. Pakilus temperatūrai keliais laipsniais virš lydumosi T_L temperatūros, šildymą nutraukiame. Matavimo duomenis surašom į lentelę.

4. Pagal termoporos gradavimo kreivę ir išmatuotus dydžius kiekvienam atvejui apskaičiuojame temperatūrų skirtumą ΔT bei temperatūrą T.

5. Nubrėžiame lydomos medžiagos temperatūros T priklausomybę nuo šildymo laiko t (ši kreivė atitinka kūno temperatūros T priklausomybę nuo suteikto šilumos kiekio Q).

6. Pagal (3) formulę apskaičiuojame entropijos pokytį medžiagą šildant ir lydant.

KONTROLINIAI KLAUSIMAI

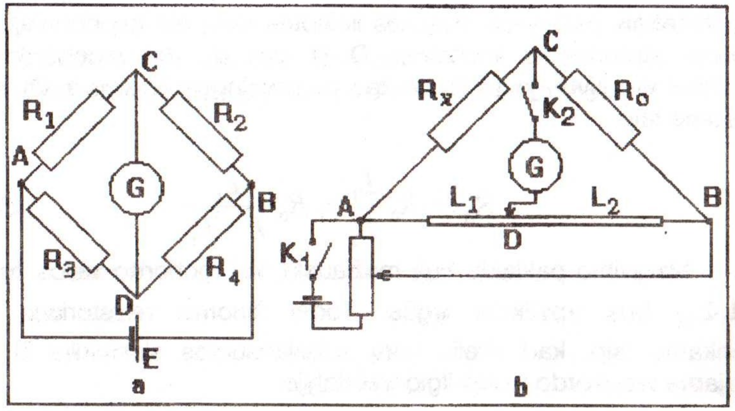
1. Apibūdinkite vidinės energijos sąvoką.
2. Paaiškinkite entropijos fizikinę prasmę.
3. Pirmasis ir antrasis termodinamikos principai.
4. Apibūdinkite izoentropinį (adiabatinį) procesą.
5. Paaiškinkite Karno ciklo T-S diagramą.
6. Paaiškinkite entropijos kitimo priežastis ir (3) formulę.

LABORATORINIS DARBAS Nr.23

REZISTORIŲ VARŽOS MATAVIMAS VITSTONO TILTELIU

TIKSLAS: išmatuoti rezistorių varžą Vitstono tilteliu ir patikrinti rezistorių nuoseklaus ir lygiagretaus jungimo dėsnius.

PRIEMONĖS: Vitstono tiltelio stendas, nuolatinės srovės šaltinis, nežinomos varžos rezistorių rinkinys.



1 pav.

MATAVIMO METODIKA IR PAGRINDINĖS FORMULĖS

Vitstono tiltelio laidininkų elektrinei varžai matuoti principinė schema pavaizduota 1 paveiksle a. Ji sudaryta iš keturių rezistorių R_1, R_2, R_3, R_4. Prie taškų A ir B jungiame elektros srovės šaltinį E, tarp taškų C ir D - galvanometrą G. Grandinės dalyje ADB parenkame tokį tašką D, kad jo potencialas būtų lygus grandinės dalies ACB taško C potencialui. Tuomet tiltelio istrižaine CD (1pav.,a) elektros srovė netekės ir galvanometro rodyklė nenukryps nuo nulio, kitaip tariant, tiltelis bus subalansuotas. Taikydami uždarosioms grandinėms antrąjį Kirchhofo dėsnį užrašome:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}. \qquad (1)$$

Jei viena iš šių varžų, pvz. R_1, nežinoma, tai ją galime apskaičiuoti :

$$R_1 = R_2 \frac{R_3}{R_4}. \qquad (2)$$

Vietoj dviejų rezistorių (pvz.,R_3 ir R_4) paprastai imame ištiestą ant milimetrais padalytos metrinės liniuotės vielą AB (reochordą), kuria slankioja stumdomas kontaktas D (1 pav.,b). Jei reochordo viela elektriškai vienalytė, jo pečių varžos proporcingos ilgiams ir (2) lygybę užrašome taip :

$$R_X = R_0 \frac{L_1}{L_2} = R_0 \frac{L_1}{L - L_1}. \qquad (3)$$

Matavimo paklaida bus mažiausia, kai rochordo vielos ilgiai L_1 ir (L-L_1) bus apytikriai lygūs. Todėl žinomo rezistoriaus varžą parenkame taip, kad tiltelis būtų subalansuotas slankikliui D esant antrajame reochordo vielos ilgio trečdalyje.

BANDYMO EIGA

1. Į tiltelio (1 pav.,b) grandinės dalį AC įjungiame nežinomos varžos rezistorių R_X. Parenkame apytikriai rezistoriaus R_0 varžos didumą ir sujungiame tiltelį su nuolatinės srovės šaltiniu. Įjungę jungiklius K_1 ir K_2, kontaktą D pastumiame tiek, kad galvanometro rodyklė rodytų nulį. Jungikliu K_2 keliskart išjungiame ir įjungiame elektros srovę ir stebime ar rodyklė nejuda, jei taip, tai tiltelis subalansuotas. Įrašę į (3) lygybę dydžius R_0, L ir L_1 apskaičiuojame nežinomo rezistoriaus R_X varžą. Tokiu pat būdu išmatuojame visų pateiktų rezistorių varžas.

2. Sujungiame rezistorius nuosekliai ir išmatuojame jų varžą. Gautus rezultatus palyginame su teoriškai apskaičiuota nuoseklaus rezistorių jungimo grandinės varža.

3. Sujungiame rezistorius lygiagrečiai ir išmatuojame jų varžą. Gautus rezultatus palyginame su teoriškai apskaičiuota lygiagretaus rezistorių jungimo grandinės varža.

4. Įvertiname tiesioginių matavimų sistemines paklaidas ir apskaičiuojame absoliutines rezistorių varžų matavimo paklaidas ΔR_i.

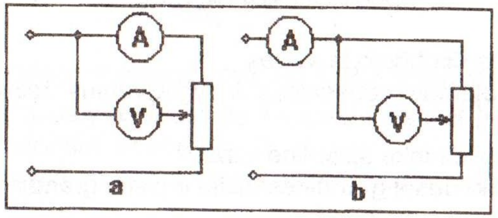
KONTROLINIAI KLAUSIMAI

1. Suformuluokite Kirchhofo taisykles.
2. Kaip skaičiuojamos nuoseklaus ir lygiagretaus rezistorių jungimo varžos?
3. Ką vadiname laidininko specifine varža ?
4. Užrašykite Omo dėsnį grandinės daliai ir pilnai grandinei.

LABORATORINIS DARBAS Nr.24

LAIDININKO SPECIFINĖS VARŽOS MATAVIMAS

TIKSLAS: išmatuoti laidininke sudarytą įtampą ir tekančios srovės stiprį ir apskaičiuoti laidininko specifinę varžą.



1 pav.

PRIEMONĖS: unifikuotas įrenginys EPM-01, mikrometras.

DARBO METODIKA IR PAGRINDINĖS FORMULĖS

Sudarius įtampą, laidininke sukurtas elektrinis laukas priverčia kryptingai judėti krūvininkus. Jų sudarytas elektros srovės stipris **I** lygus elektrinio krūvio kiekiui, pratekančiam laidininko skerspjūviu per laiko vienetą :

$$I = \frac{dq}{dt} \qquad (1)$$

Teigiamai įelektrintų krūvininkų judėjimo kryptis sutampa su srovės tekėjimo kryptimi.

Srovės stiprį **I** ir įtampą **U** laidininko galuose susieja Omo dėsnis:

$$I = \frac{U}{R} \qquad (2)$$

čia **R** - laidininko varža. Ji priklauso nuo laidininko medžiagos savybių, laidininko ilgio ir jo skerspjūvio ploto. Dydis ,išreiškintis vienetinio laidininko ilgio ir vienetinio jo skerspjūvio ploto varžą, vadinamas laidininko specifine varža ρ ir išreiškiamas taip :

$$\rho = R\frac{S}{L} \qquad (3)$$

Laidininko varžą **R** išmatuojame dviem būdais: tikslus srovės matavimas (1 pav.,a) ir tikslus įtampos matavimas (1 pav.,b).

Laidininko ilgį L_1 parenkame stumdami judantį kontaktą pritvirtintą prie stovo, kuriame yra liniuotė laidininko ilgiui nustatyti. Potenciometru nustatome tokį įtampos didumą, kad voltmetras rodytų apie 2/3 vardinės įtampos.

U_V	I_A	L_1	D	R	ρ_i	$<\rho>$

Pirmu būdu (a) matuojant laidininko varžą **R** apskaičiuojame iš formulės

$$R = \frac{U_V}{I_A} - R_A \qquad (4)$$

čia R_A=0.15 Ω - ampermetro varža.

Antru būdu (b) matuojant laidininko varžą **R** apskaičiuojame iš formulės :

$$R = \frac{U_V}{I_A - \frac{U_V}{R_V}} \qquad (5)$$

čia R_V=2500Ω - voltmetro varža.

Matuojant pirmuoju, (a) būdu, laidininko specifinę varžą apskaičiuojame iš (3) ir (4):

$$\rho = \left(\frac{U_V}{I_A} - R_A\right)\frac{\pi D^2}{4L} \qquad (6)$$

Antruoju, (b) būdu, -atitinkamai iš (3) ir (5):

$$\rho = \frac{\pi D^2 U_V}{4L\left(I_A - \frac{U_V}{R_V}\right)} \qquad (7)$$

BANDYMO EIGA

1. Įjungiame prietaisą į 220 V elektros tinklą ir nuspaudžiame jungiklį "Tinklas".

2. Išmatuojame laidininko skersmenį **D** ir apskaičiuojame jo skerspjūvio plotą $S = \pi D^2/4$. Parenkame laidininko ilgį L_i (jis turi būti didesnis negu pusė viso laidininko ilgio).

3. Pirmu būdu (a) matuojant jungiklio klavišas nenuspaustas. Išmatuojame sudarytos įtampos U_V ir srovės tekančios laidininku I_A didumus. Matavimo duomenis surašome į lentalę. Nuspaudžiame jungiklio klavišą (b matavimo būdas) ir užrašome prietaisų parodymus. Laidininko varžos matavimus atliekame 3-4 laidininko ilgiams.

4. Pagal (6) ir (7) formules apskaičiuojame laidininko specifinę varžą ρ ir jos vidutinį didumą (kiekvienam matavimo būdui atskirai).

5. Įvertiname specifinės varžos matavimo paklaidas.

6. Formuluojame išvadas. Nurodome, kuris specifinės varžos matavimo būdas tikslesnis.

KONTROLINIAI KLAUSIMAI

1. Kaip apibrėžiamas srovės stipris ir srovės tankis?
2. Omo dėsnis grandinės daliai.
3. Laidininko varža ir specifinė varža.
4. Kirchhofo taisyklės.
5. Laidininkų elektrinio laidumo klasikinė teorija.

LABORATORINIS DARBAS Nr.25

AMPERMETRO IR VOLTMETRO MATAVIMO RIBŲ PRAPLĖTIMAS

TIKSLAS: praplėsti didelio jautrumo elektros srovės matavimo prietaiso (mikroampermetro, miliampermetro) matavimo ribas; tą patį prietaisą panaudoti įtampos matavimui t.y. pagaminti voltmetrą.

PRIEMONĖS: mikroampermetras arba miliampermetras, kontrolinis srovės ir įtampos matavimo prietaisas, reostatas, jungiklis, srovės šaltinis, vielinis rezistorius ir varžų rinkinys.

DARBO METODIKA IR PAGRINDINĖS FORMULĖS

Elektrinių matavimo prietaisų pagrindinės charakteristikos yra jautris, matavimo ribos ir tikslumo klasė.

Elektrinio matavimo prietaiso jautriu **S** vadiname linijinio ar kampinio rodyklės nukrypimo ir nukrypimą sukėlusio matuojamojo dydžio pokyčių santykį:

$$S = \frac{d\alpha}{dx}. \qquad (1)$$

Jautriui atvirkščias dydis vadinamas prietaiso padalos verte

$$C = \frac{1}{S} = \frac{dx}{d\alpha}. \qquad (2)$$

Matavimo prietaiso skalės didžiausią vertę vadiname vardiniu didumu A_V.

Prietaiso absoliučios paklaidos ΔA santykis su prietaiso skalės vardiniu didumu A_V, išreikštas procentais, vadinamas prietaiso tikslumo klase

$$K = \frac{\delta}{A_V} 100\%. \qquad (3)$$

Tikslumo klasė nurodo didžiausią paklaidą visam skalės intervalui.

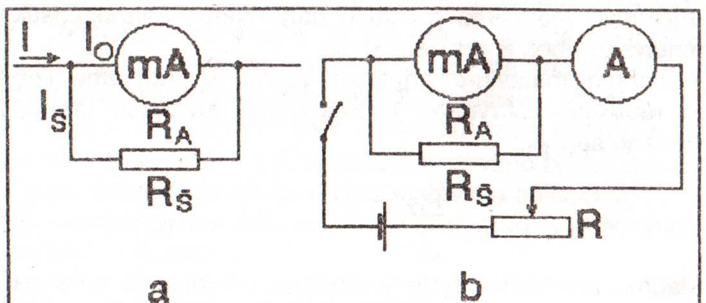
Elektriniai matavimo prietaisai yra suskirstyti į 8 tikslumo klases: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0. Pirmųjų trijų tikslumo klasių prietaisai vadinami preciziniais, likusiųjų klasių - techniniais.

Vieną ir tą patį elektrinį matavimo prietaisą, pvz. mikroampermetrą arba miliampermetrą, galima pritaikyti įvairaus didumo srovių arba įtampų matavimui.

Norint praplėsti elektros srovės matavimo prietaiso, ampermetro, matavimo ribas vartojamas šuntas, o voltmetrui - papildoma varža.

Tarkime, kad yra miliampermetras, kurio vidaus varža R, o didžiausia pratekanti elektros srovė - I. Norint išmatuoti elektros srovės stiprumą I_1, kuris yra n kartų didesnis už I, t.y. $I_1=nI$, lygiagrečiai miliampermetrui jungiamas šuntas, kurio varža $R_š$ (1 pav.,a)

$$R_š = \frac{R_A}{n-1}. \quad (4)$$



1 pav.

Šunto varža paprastai esti maža (0,1-0,001 Ω eilės); todėl šuntą sudaro žinomos specifinės varžos ρ vielos atkarpa. Jo ilgį apskaičiuojame iš formulės

$$L = \frac{\pi D^2 R_A}{4(n-1)\rho}. \quad (5)$$

čia D - vielos skersmuo.

Šuntuoto miliampermetro parodymus palyginame su kontrolinio prietaiso, kurio tikslumo klasė turi atitikti precizinių prietaisų tikslumo klasę, parodymais.

Sujungiame abu prietaisus nuosekliai (1 pav.,b) ir nustatome šuntuoto miliampermetro absoliučią paklaidą bei tikslumo klasę.

Voltmetro matavimo ribas praplečiame nuosekliai prijungę papildomą varžą R_p (2 pav.,a). Tarkime, matuojama įtampa U yra n kartų didesnė už didžiausią leidžiamą voltmetru matuoti įtampą U_V ($U=nU_V$).

Įtampos kritimas voltmetre neturi viršyti U_V. Kadangi:

$$U = U_V + U_p, \quad (6)$$

tai

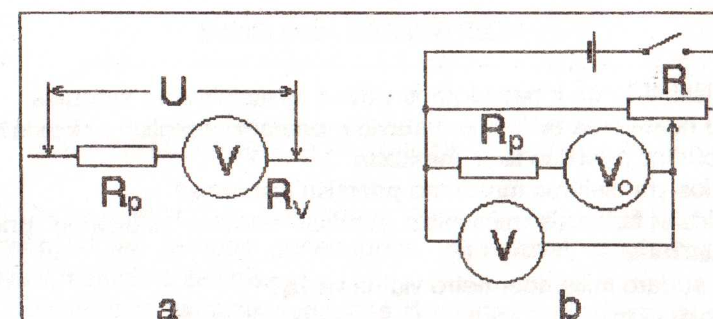
$$\frac{U}{U_V} = 1 + \frac{U_p}{U_V}, \quad (7)$$

arba

$$\frac{U_p}{U_V} = \frac{R_p}{R_V} = n-1. \quad (8)$$

Galutinai

$$R_p = (n-1)R_V. \quad (9)$$



2 pav

R_p parenkame, derindami įvairias standartines varžas. Prietaiso parodymus palyginame su kontrolinio voltmetro, atitinkančio precizinę klasę parodymais. Abu prietaisus sujungiame lygiagrečiai (2 pav.,b) ir nustatome voltmetro absoliutinę paklaidą bei tikslumo klasę.

BANDYMO EIGA

1. Pagal (5) formulę apskaičiuojame šunto vielos ilgį **L** (dydį n pateikia dėstytojas). Kiti dydžiai, esantys (5) lygybėje, pateikti prie bandymo įrenginio.

2. Sujungiame (1 pav.,b) grandinę. Reostatu R keisdami srovės stiprumą nustatome keletą (3-5) kontrolinio ir šuntuoto ampermetro parodymų ir vardinės srovės didumą.

3. Nustatome šuntuoto ampermetro padalos vertę, absoliutinę matavimo paklaidą (priimant, kad ji yra lygi kontrolinio ir šuntuoto ampermetrų parodymų skirtumui) ir prietaiso tikslumo klasę.

4. Pagal (7) formulę apskaičiuojame voltmetro papildomos varžos didumą R_p.

5. Sujungiame (2 pav.,b) grandinę. Reostatu R keisdami įtampą nustatome keletą (3-5) kontrolinio ir voltmetro su papildoma varža parodymų ir vardinės įtampos didumą.

6. Nustatome voltmetro su papildoma varža padalos vertę, absoliutinę paklaidą ΔU (priimame, kad ji yra lygi kontrolinio ir ir voltmetro su papildoma varža parodymų skirtumui) ir prietaiso tikslumo klasę.

KONTROLINIAI KLAUSIMAI

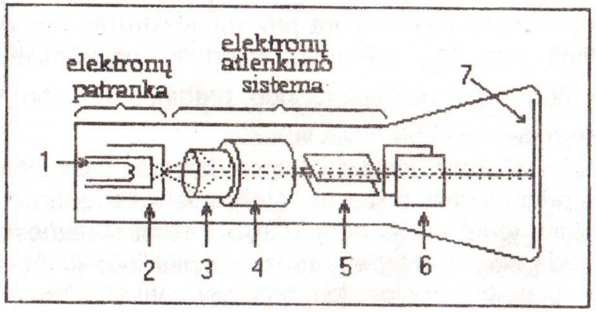
1. Paaiškinti šunto ir papildomos varžos apskaičiavimo formules.
2. Kaip nustatoma elektrinio matavimo prietaiso absoliuti paklaida?
3. Apibūdinti prietaiso tikslumo klasę.
4. Kokios yra elektros matavimo prietaisų sistemos?
5. Kokiais fizikiniais reiškiniais remiasi elektros matavimo prietaisų veikimas?
6. Kas sudaro miliampermetro vidinę varžą?

LABORATORINIS DARBAS Nr.26.

ELEKTRONINIO OSCILOGRAFO TYRIMAS

TIKSLAS: Susipažinti su oscilografo taikymu kintamos įtampos amplitudės ir laiko trukmės matavimams, įtampos impulsų formos registravimui ir nustatyti oscilografo plokštelių jautrį.

PRIEMONĖS: oscilografas, garsinio dažnio sinusinių virpesių ir stačiakampių įtampos impulsų generatoriai (GDG), voltmetras, standartiniai 220 V kintamos įtampos šaltiniai.

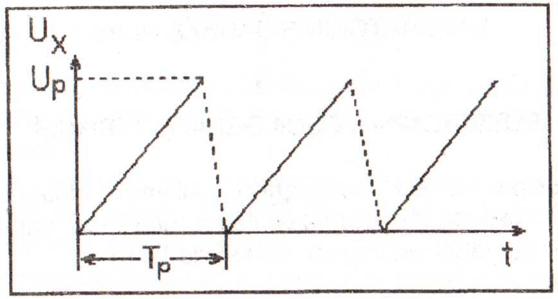


1 pav.

DARBO METODIKA IR PAGRINDINĖS FORMULĖS

Oscilografą sudaro elektroninis vamzdis (1 pav.), ir jo valdymo įrenginys, pjūklinės įtampos generatorius, stiprintuvai, sinchronizacijos įrenginys ir maitinimo šaltinis.

Elektroninis vamzdis sudarytas iš elektronų prožektoriaus, kurį sudaro katodas (1) ir valdymo elektrodas (2), reguliuojantis elektronų srauto didumą, pirmo (3) ir antro (4) anodų, greitinančių elektronus ir juos fokusuojančių į siaurą pluoštelį, kreipiančiųjų x ir y plokštelių (5 ir 6) bei liuminescuojančio ekrano (7).



2 pav.

Pjūklinės įtampos generatorius gamina pjūklinės formos (2 pav.) įtampos impulsus, kurių periodas T_p ir amplitudė U_p gali būti keičiami. Šios įtampos paskirtis yra priversti elektroninį spindulį slinkti x ašies kryptimi: nuo U_p priklauso spindulio pasislinkimo x ašimi didumas, o nuo T_p - nukrypimo nuo pradinės (ekrano kairėje) iki galinės (ekrano dešinėje) padėties laikas.

Tiriant oscilografu kintamą įtampą, jos didumą, formą ir pan. šis generatorius prijungiamas prie x plokštelių ir išskleidžia tiriamąją įtampą x ašies atžvilgiu, todėl x ašis tampa laiko t ašimi. Tiriamosios įtampos nejudantį vaizdą ekrane stebime tada, kai pjūklinės įtampos periodas T_p yra kartotinis tiriamosios įtampos periodui **T**. Tiriamoji įtampa jungiama prie y plokštelių.

Stiprintuvais padidiname prie x ar y plokštelių prijungtų įtampų amplitudę, kad ekrane spindulio svyravimų amplitudė būtų patogi stebėjimui.

Oscilografo elektroninio vamzdžio kreipiančiųjų plokštelių jautriu **j** vadiname elektroninio spindulio nuokrypį **h** ekrane, pakeitus kreipiančiųjų plokštelių įtampą **U** vienu voltu:

$$j = \frac{h}{U}\,. \qquad (1)$$

Kadangi darbe nustatant jautrį prie plokštelių jungiame kintamą įtampą $\mathbf{U = U_m \cos\omega t}$, kurios didumas kinta nuo U_m iki $-U_m$, t.y. plokštelėse sudarytos įtampos kitimo intervalas yra $\mathbf{2U_m}$, o voltmetras

matuoja šios įtampos efektinį didumą $\mathbf{U_{ef}}$ ($U_m = \sqrt{2}U_{ef}$), tai praktinė j skaičiavimo formulė yra:

$$j = \frac{h}{2\sqrt{2}U_{ef}}. \qquad (2)$$

Jautrio matavimo absoliutinė paklaida

$$\Delta j = j\sqrt{\left(\frac{\Delta h}{h}\right)^2 + \left(\frac{\Delta U_{ef}}{U_{ef}}\right)^2}\,. \qquad (3)$$

Dydis $\mathbf{\Delta U_{ef}}$ priklauso nuo kontrolinio prietaiso (voltmetro) tikslumo klasės.

BANDYMO EIGA

Įjungiame oscilografą ir garso generatorių į 220 V tinklą ir 3-5 min. palaukiame, kol nusistovi jų darbo režimai. Susipažįstame su oscilografo elektroninio vamzdžio valdymo pultu: rankenėlėmis "Ryškumas" ir "Fokusavimas" sureguliuojame elektronų srautą, o spindulio kreipimo potenciometrais ⊠ ir ≺ nukreipiame spindulį į ekrano centrą.

1. Įtampos ir impulso trukmės matavimas

1.1. Voltmetru išmatuojame standartinio kintamos srovės šaltinio įtampos didumą U_{ef}. Apskaičiuojame U_m.

1.2. Prijungiame prie oscilografo y gnybto ir įžeminimo standartinę įtampą (ν=50 Hz), o prie x plokštelių gnybto ir įžeminimo - pjūklinės įtampos generatoriaus įtampą (jungiklis oscilografo valdymo pulte, pažymėtas užrašu "Skleidimas"). x ir y plokštelių stiprintuvų stiprinimą parenkame taip, kad stebėtume visą ekrano plotą užimantį stabilų kintamos įtampos vieno periodo vaizdą, kurį nusibraižome darbo žurnale kartu su ekrano tinkleliu.

1.3. Įvertiname laiko **t** (x ašyje) ir įtampos didumo U_m (y ašyje) tinklelio padalų vertes. (Prisiminkime, kad vienas ν dažnio virpesys įvyksta per $T=1/\nu$ laiką).

1.4. Nekeisdami oscilografo stiprinimo ir pjūklinės įtampos parametrų vietoje standartinės įtampos prie oscilografo y įėjimo ir įžeminimo prijungiame garsinio dažnio generatoriaus gnybtus. Keisdami GDG įtampos dažnį pasiekiame, kad ekrane susidarytų stabili, nejudanti tiriamosios įtampos kreivė (sinusoidė), kurią nusibraižome darbo žurnale.

1.5. Palygindami žinomos įtampos (1.3 užduotis) ir tiriamosios įtampos (1.4 užduotis) grafikus ekstrapoliacijos būdu apskaičiuojame tiriamosios įtampos periodą **T**, amplitudinę U_m ir efektinę U_{ef} įtampos didumus.

1.6. Pakartojame 1.4 ir 1.5 užduotis keliems (3-4) GDG kintamos sinusinės įtampos dažniams.

1.7. Sinusinės įtampos GDG pakeičiame impulsiniu generatoriumi ir nustatome impulsų formą, amplitudės didumą ir impulso trukmę..

2. Svyravimų sudėties tyrimas

2.1. Išjungę pjūklinės įtampos generatorių (jungiklis "Skleidimas" rodo nulį) prie x plokštelių prijungiame standartinę (~50 Hz), o prie įtampos plokštelių - GDG sinusinę įtampą.

2.2. Parenkame x ir y stiprinimus taip, kad dviejų statmenų elektroninio spindulio svyravimų sudėties vaizdas tilptų ekrane. 2.3. Keisdami GDG dažnį sudarome stabilius Lisažū figūrų (standartinės figūros pateiktos plakate) vaizdus ekrane.

2.4. Duomenis surašome į lentelę.

Nr.	U_x dažnis ν_x, Hz	U_y dažnis ν_y, Hz	Santykis ν_x/ν_y	Ekrane stebimas vaizdas
1	50	25	2:1	
2	50	50	1:1	
3	50	75	2:3	
4	50	100	1:2	
5	50	150	1:3	

3. Plokštelių jautrio matavimas

3.1. Atjungę nuo oscilografo x ir y gnybtų GDG ir standartinę įtampą, pastarąją paeiliui prijungiame prie oscilografo užpakalinėje sienelėje įrengtų x ir y plokštelių gnybtų. Išmatuojame abiem atvejais oscilografo ekrane stebimų spindulio pėdsakų ilgius h_x ir h_y.

3.2. Pagal (2) formulę apskaičiuojame x ir y plokštelių jautrius.

4. Pjūklinės įtampos impulso stebėjimas

4.1. Sujungiame x ir y plokštelių gnybtus užpakalinėje oscilografo sienelėje ir įjungiame pjūklinės įtampos generatorių ("Skleidimas"). Nusibraižome ekrane stebimą vaizdą.

4.2. Surašome prietaisų lentelę. Įvertiname darbe atliktų tiesioginių matavimų paklaidas.

KONTROLINIAI KLAUSIMAI

1. Elektroninio vamzdelio įranga.
2. Pjūklinės įtampos generatoriaus paskirtis.
3. Statmenų svyravimų sudėtis. Lisažų figūros.
4. Įtampos matavimas oscilografu.
5. Elektrinio impulso trukmės matavimas oscilografu.

LITERATŪRA

	Šifras VTU bibliotekoje
1. P. Lukošius, Z. Pocius, A. Urbelis Mechanika. Fizikos laboratoriniai darbai. - V. : VISI, 1979. -84p.	V 2013
2. K. Lipskis P. Lukošius, Z. Pocius, A. Urbelis Molekulinė fizika ir termodinamika. Fizikos laboratoriniai darbai. - V. : VISI, 1979. -84p.	V 1968
3. A. Bogdanovičius, L. Klimka Elektrostatika ir nuolatinė elektros srovė.Fizikos laboratoriniai darbai. - V. : VISI, 1979. -68p.	V 1931
4. Fizika. Elektromagnetizmas . Kintamoji elektros srovė Laboratorinių darbų aprašymo rinkinys. Red. J.-V.Semionovas : VISI, 1976. -148p	V 1102
5. Fizikos praktikos darbai, 1d. / Red. P. Brazdžiūnas V.- :Mintis , 1979. - 316p	V 183
6. E. Mauza , A. Purlys , E. Špakauskas Fizikos eksperimentas ir jo rezultatų apdorojimas. - V. : VISI, 1974. - 136p.	V 163
7. J. Kaulakys , L. Klimka Fizikos laboratoriniai darbai. - V. : VISI, 1987. -89p.	V 3750
8. A. Kaminskas, R. Malinauskas Mechanika. Fizikos laboratoriniai darbai. - K. : KPI, 1990. -56p.	V 1716
9. A. Tamašauskas Fizika I t - Vilnius. : Mokslas, 1987. - 224p.	V 3860
10. A. Tamašauskas, J. Vosylius J. Fizika II t - Vilnius. : Mokslas, 1989. - 193p.	V 3860
11. B. Javorskis, A. Detlafas, L. Milkovskaja, G. Sergejevas Fizikos kursas. I t - Vilnius. : Mintis, 1970. - 368p.	V 201
12.. B. Javorskis , A. Detlafas, L. Milkovskaja, G. Sergejevas Fizikos kursas. II t - Vilnius. : Mintis, 1970. - 410p.	V 201

N.Astrauskienė, R.Bendorius, A.Bogdanovičius, S.A.Karpinskas, B.Martinėnas, N.Mykolaitienė, A.J.Šatas, A.Urbelis.
MECHANIKA, TERMODINAMIKA, NUOLATINĖ ELEKTROS SROVĖ
Fizikos laboratoriniai darbai
Atsakingasis redaktorius S.A.Karpinskas

SL 136. 1996.05.29. 5,81 apsk. leid. l.
Tiražas 1000 egz.
Užsakymas
Leido Vilniaus technikos universitetas, "Technika", Saulėtekio al. 11, 2054 Vilnius
Spausdino įmonė "Mokslo aidai". A.Goštauto 12, 2600 Vilnius
Kaina sutartinė