Fizika 1

Laboratorinių darbų aprašymai ir metodiniai nurodymai

2016

**Bendri reikalavimai laboratorinio darbo ataskaitai**

Laboratoriniai darbai aprašomi A4 formato lapuose. Kiekvienas laboratorinis darbas pradedamas aprašyti kitu puslapiu. Paruošus titulinį lapą (žr. Priedą 2), visų atliktų laboratorinių darbų ataskaitos susegamos. Titulinis lapas turi būti tik vienas visoms ataskaitoms susegti, todėl jį atsispausdinkite, bet pateikite tik semestro pabaigoje susegus visas ataskaitas ir juodraščius. Jei neturite savo asmeninio sprinterio ir spausdinatės ataskaitas kitur, rekomenduojame savo kompiuteryje išsaugoti darbą \*.pdf formatu. Tokiu būdu išvengsite formulių „išsilakstymo“, formato ir simbolių praradimo.

Atskiro laboratorinio darbo ataskaita turėtų būti išdėstyta pagal žemiau pateiktą struktūrą:

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**

FIZIKOS KATEDRA

**FIZIKA 2 (3)**

*LABORATORINIŲ DARBŲ ATASKAITOS*

Studentas J. Jonaitis MGMF 1/7 gr.

Vadovai:

**KAUNAS, 2016**

**LABORATORINIO DARBO PAVADINIMAS**

Studento pavardė ir vardas.......gr. Data: ...................... Dėstytojas..........

1. Darbo užduotis. Trumpai ir aiškiai nusakomas siekimas ką nors išmokti daryti (susipažinti su kokiu nors reiškiniu, išsiaiškinti, kaip veikia koks nors prietaisas ar įtaisas - paprastai perrašomas darbo tikslas, nurodytas duoto laboratorinio darbo aprašyme). 2. Teorinė dalis. Šioje dalyje, vengiant pažodinio perrašymo iš vadovėlio ar laboratorinio darbo aprašymo, daroma darbo teorinių pagrindų santrauka (1/3-1/2 puslapio). Duodama tiriamojo reiškinio samprata ar fizikinio dydžio sąvoka. Pateikiamos ir aptariamos tik darbe būtinos matematinės išraiškos, be išvedimų. 3. Aparatūra ir darbo metodas. Nubraižoma principinė eksperimento schema(-os). Schemos kaip paveiksliuko pavadinimas (šrifto dydis turi būti 10). Tekste paaiškinamos schemos sudėtinės dalys ir matavimo priemonės, jų paskirtis. Aprašoma matavimų esmė, t.y. kokiais reiškiniais ir dėsniais pagrįstas ieškomojo dydžio matavimas. 4. Darbo rezultatai. Pateikiami eksperimentinių matavimų duomenys, kur galima, rezultatai pateikiami lentelių pavidale. Funkcinių priklausomybių grafikai braižomi standartinėmis grafinių vaizdų programomis. Grafikams privalūs šie elementai: koordinačių ašys, kintamųjų dydžių reikšmių skalės ant ašių, fizikinių dydžių žymėjimai ir vienetai, grafiko pavadinimas. Grafikas taip pat yra paveiksliukas, todėl turi būti numeruojamas. Naudokitės rekomendacijomis kaip formuoti grafikus (kitame psl.).

**Pavyzdys.**

σ, mN/m 80

60

40

20

0 10 20 30 40 50 θ, %

1.1 pav. Paviršiaus įtempimo koeficiento σ priklausomybė nuo tirpalo koncentracijos θ.

5. Išvados. Čia analizuojamas pagrindinis darbo rezultatas, aptariamos dominuojančios

paklaidos ir jas lemiantys faktoriai.

**6. Literatūra:**

Literatūros sąraše turi būti du ar daugiau šaltinių. Vienas iš jų mokymo metodinė priemonė, o antras – būtinai vadovėlis.

Nuorodos į cituojamą literatūrą pavyzdys: 1. Fizikinės mechanikos laboratoriniai darbai /V. Ilgūnas, K. V. Bernatonis, L. Augulis, S.

Joneliūnas, S. Tamulevičius. – Kaunas:Konspektas, 1988. – P. 3-5. 2. Tamašauskas A. Fizika 1. – Vilnius: Mokslas, 1987. – P. 33-36.

**Grafikų braižymo Excel programa techniniame tekste patarimai**

1. Į lentelės stulpelius suvedami duomenys; 2. Iš įterpiamų (Insert) įrankių lentelės pasirenkamas grafiko (Chart) intarpas; 3. Iš pateiktų pasiūlymų pasirenkamas išsklaidytas (Scatter) (ar x,y) būdas tik taškų (only markers) rodymo vaizdas; 4. Paleidus braižymą gaunami grafiko taškai; 5. Taškams sujungti naudojamas numatomos linijos (Trendline) brėžimo būdas. Jis pasirenkamas pelės žymę nustačius ties grafiko tašku ir spustelėjus dešinį pelės klavišą. Atsivėrusiame pasiūlymų sąraše pasirenkama arba laukiamos funkcijos linija (pvz., tiesė – linear), arba geriausiai pro taškus praeinanti kreiva linija; 6. Parenkama grafiko tinklelio vertikalia ir horizontalia kryptimis vaizdas; 7. Panaikinama išorinio rėmelio linija ir grafiko ploto fonas; 8. Užrašomi atidėtų ašyse dydžių simboliniai pavadinimai ir vienetai. Žyminčių gairinius ašių taškus skaičių kiekis turi būti apie 10 vienoje ašyje; pasirenkamas toks būdas, kad skaičiaus užrašas būtų galimai trumpesnis; 9. Atidėtų ašyse dydžių ruožai parenkami taip, kad kreivė užimtų galimai didesnį grafiko plotą; 10. Po grafiku centre parašomas paveikslo numeris ir pavadinimas, pav., - 3 pav. Bandinio temperatūros priklausomybė nuo laiko. Vaizdo Excel lape pavyzdys: Sudarė V.Minialga

**1. TIESIOGINIŲ IR NETIESIOGINIŲ MATAVIMŲ PAKLAIDŲ ĮVERTINIMAS**

Darbo užduotis. Išmokti matuoti slankmačiu, mikrometru, sverti svarstyklėmis, nustatyti tiesioginių bei netiesioginių matavimų paklaidas.

Teorinio pasirengimo klausimai. Matavimas slankmačiu, mikrometru, TLS tipo svarstyklėmis. Tiesioginių bei netiesioginių matavimų sisteminės ir atsitiktinės paklaidos.

Teorinė dalis. Bendruoju atveju, kai kūno tūryje dV esančios medžiagos masė yra dm, tuomet jo masės tankiu vadiname dydį

ρ = d d

*V m*

. (1)

Vienalyčio kūno masės tankis užrašomas taip:

ρ = V m

; (2)

čia V – kūno tūris, m – jo masė.

Darbe nustatysime vienalyčio ritinio tankį. Jo tūris

V =

π

d 4

2

∙

; (3)

čia d – ritinio skersmuo, l – jo ilgis. Taigi tokio ritinio masės tankis

ρ = π

4 d

*m 2*



. (4)

Kai fizikinio dydžio tikroji (arba labiausiai tikima) vertė yra x, o jį matuojant gaunama x

*i*

, tuomet dydis ∆ x i

= x - x i (5) vadinamas jo absoliutine paklaida. Ji turi modulį ir ženklą. Matavimo tikslumą parodo santykinė, arba procentinė, paklaida:

δ

*x*

*i*

= ∆

*x*

*i x*

*,*

arba δ

*x i*

= ∆

*x*

*i x*

∙

100 % . (6)

Absoliutinė paklaida priklauso nuo: 1) matavimo prietaisų tikslumo; 2) pasirinktojo matavimo metodo; 3) nuo įvairių atsitiktinių priežasčių, kurių įtakos matavimui negalime net įvertinti. Paklaida, kurią sąlygoja pirmieji du veiksniai vadinama sistemine. Jos modulis ir ženklas yra pastovūs. Paklaida, kurią lemia atsitiktinės priežastys, vadinama atsitiktine. Tuomet, matuojant tą patį dydį keletą kartų, gaunamos vis skirtingos jo vertės x

1

, x

2

, x

3

, ... , kurių vienos yra mažesnės už tikrąją vertę, o kitos – didesnės. Tokiems matavimams galioja statistikiniai dėsniai. Iš jų išplaukia, kad ieškomojo dydžio x vertę patikimiausiai nusako visų matavimo verčių aritmetinis vidurkis.

〈

*x*

〉 = ∑ n

*x*

*i*

*,*

i 1= , 2 , 3 , n . (7)

Šiuo atveju atskirų matavimų absoliutinės paklaidos

∆ x i

= 〈 x 〉 - x i gali turėti skirtingus modulius ir ženklus. Tuomet bendram matavimo tikslumui įvertinti skaičiuojama arba vidutinė paklaida

∆〈 x

〉 = ∑ 〈

*x 〉 - x n*

, (8)

*arba vidutinė kvadratinė paklaida*

( ) ( 1 )

*i*

*S*

*n*

=

∑

〈

*x*

〉 - x i

2

*n*

n -

. (9)

Pastaroji patogi tuo, kad esant pakankamai dideliam matavimų skaičiui (n >> 1), su tikimybe α ≈ 0,997 galima teigti, jog ieškomojo dydžio tikroji vertė yra intervale nuo

〈 x 〉 3- S n

iki

〈 x 〉 3+ S n

. Intervale

〈 x 〉 - S n

÷

〈 x 〉 + S n

jai būti tikimybė 0,683, o intervale

〈 x 〉 2- S n

÷

〈 x 〉 + 2 S n

tikimybė α ≈ 0,956.

Dažnai tiesiogiai išmatavus vienus dydžius iš jų apskaičiuojamas ieškomas dydis. Pavyzdžiui, šiame darbe masės tankis ρ apskaičiuojamas tiesiogiai išmatavus ritinio masę m, jo ilgį l ir skersmenį d, t.y. ρ = ρ ( ,m  d, )

. Tuomet netiesiogiai išmatuoto dydžio pati paprasčiausia paklaidos formulė gaunama apskaičiuojamą dydį diferencijuojant pagal visus tiesiogiai matuotus dydžius:

ρ∆ = ± ⎛ │ │ ⎝

ρ∂ ∂

*m*

∆

*m*

+ ρ∂

∂



∆



+ ρ∂ ∂

*d*

∆

*d*

⎞ │ │ ⎠

. (10)

Čia laikomasi prielaidos, kad visų tiesiogiai matuojamų dydžių absoliutinės paklaidos ∆m, ∆ l ir ∆d yra vienodo ženklo (imami išvestinių moduliai), todėl taip nustatyta paklaida ∆ρ yra pati didžiausia ir vadinama ribine. Taip vertinti patogu, kai tiesiogiai matuojamų dydžių yra nedaug ir jų paklaidos yra sisteminės. Priešingu atveju minėtoji prielaida mažai tikima ir pagal (10) gaunama nepagrįstai didelė paklaida.

Iš paklaidų teorijos išplaukia labiau priimtina paklaidos įvertinimo formulė

ρ∆ = ± ⎛ │ │ ⎝

∂ ρ∂ m

⎞ │ │ ⎠

2

∆

*m*

2

+ ⎛ │ │ ⎝

ρ∂

2

2 ∂



⎞ │ │ ⎠

2

∆



2

+ ⎛ │ │ ⎝

∂ ρ∂ d

⎞ │ │ ⎠

∆

*d*

. (11)

Kai tiesiogiai matuojamiems dydžiams dominuoja atsitiktinės paklaidos, tuomet netiesiogiai išmatuotam dydžiui skaičiuojama vidutinė kvadratinė paklaida (žiūr. (9) formulę).

Darbo aprašymas 1. Pirmos tikslumo klasės svarstyklėmis TLS pasvėrę ritinį, randame jo masę m ir įvertiname svėrimo

paklaidos ∆m didumą ir tipą. 2. Slankmačiu išmatuojame ritinio ilgį l ir įvertiname paklaidos ∆ l didumą ir tipą. 3. 0,01 mm tikslumo mikrometru matuojame skersmenį d ritinio, kuris pagamintas mažesniu tikslumu nei 0,01 mm. Todėl, skirtingose ritinio vietose 10 kartų išmatavę skersmenį, apskaičiuojame skersmens aritmetinį vidurkį < d > bei jo nustatymo vidutinę < ∆d > ir vidutinę kvadratinę S

*n*

paklaidas. Dydis < d > apskaičiuojamas pagal (7) formulę, o < ∆d > - pagal (8). 4. Imdami < d > apskaičiuojame ritinio masės tankį.

5. Pagal (10) ir (11) įrodome tankio santykinės paklaidos

⎛ │

ρδ = ρ∆

ρ

⎞ │

formules

│ ⎠

│

│ ⎝

⎠

ρδ

1

= ± ⎛ ∆

*m*

m +

∆ 



+

2

∆ d

*d*

(ribinė paklaida) (12)

ir

2 2 2 2

│ ⎝

⎞

ρδ

= ± ⎛∆

│ ⎝

*m*

*m*

⎞ │ ⎠

+ ⎛∆ │ ⎝





⎞ │ ⎠

+ ⎛ │ ⎝

2

∆ d

*d*

│ ⎠

. (13)

6. Pagal (12) ir (13) formules įvertiname masės tankio nustatymo santykines paklaidas. Skaičiuodami

imame d = 〈 d 〉 , o

*n*

⎞

∆ d = 2 S . Gretiname paklaidas < ∆d > su S

*n*

bei δρ

1

su δρ

2

ir darome išvadas.

Matavimų ir skaičiavimų rezultatus patogu surašyti lentelėje:

m ± ∆m = .......... , kg ; l ± ∆ l = ............ , m

*d*

*i*

m

<d>

m

∆d

*i*

= (<d> - d

*i*

)

m

<∆d>

m

*S*

*n*

=

∑

( n 〈

*( d n 〉 -*

*- 1 d ) i*

)

2

m

<ρ>

δρ

1

δρ

2

m

3

Kontroliniai klausimai 1. Apibrėžkite absoliutinę bei santykinę paklaidas. Kuri jų parodo matavimo tikslumą ? 2. Nuo ko priklauso sisteminė paklaida ir nuo ko priklauso atsitiktinė paklaida ? 3. Kada tikslinga matavimą kartoti keletą kartų ? 4. Koks yra esminis skirtumas tarp ribinės ir atsitiktinės paklaidos ? 5. Kodėl atsitiktinę paklaidą patogu įvertinti vidutine kvadratine paklaida ? 6. Diferencijuodami įrodykite (12) formulę.

kg

**TIESIOGINIŲ IR NETIESIOGINIŲ MATAVIMŲ PAKLAIDŲ ĮVERTINIMAS Eksperimento rezultatų duomenų lapas**

Studento vardas, pavardė: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Grupė:\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Data:\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Dėstytojas: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Parašas:\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**Rezultatai ir skaičiavimai**

m ± ∆m = .............................................. , kg l ± ∆l= .................................................., m d

*i*

,

<d>,

m

m

∆d

*i*

= (<d

*i*

> - d

*i*

) , m

<∆d> m

m

P190B101: Fizika 1 Laboratoriniai darbai

<ρ> , kg/m

3

δρ

*1*

δρ

*2*

1

2. ELEKTRINIŲ DYDŽIŲ MATAVIMAS IR MATAVIMO PAKLAIDOS

Darbo užduotis. Išmokti elektrinius dydžius matuoti ir įvertinti matavimo sistemines paklaidas.

Teorinio pasirengimo klausimai. Absoliučioji ir santykinė paklaida. Prietaiso matavimo riba.

Omo dėsnis. Prietaiso tikslumo klasė. Absoliučiųjų paklaidų nustatymas matuojant skaitmeniniais ir

rodykliniais prietaisais.

Teorinė dalis. Pagrindiniai elektriniai dydžiai yra įtampa, srovės stipris ir varža. Įtampa U lygi darbui, kurį atlieka elektrostatinės ir pašalinės jėgos, perkeldamos toje grandinės dalyje vienetinį teigiamą krūvį (matuojama voltais (V)). Srovės stipris I nusako krūvio kiekį, pratekėjusį per laiko vienetą (matuojama amperais (A)). Varža R nusako laidininko savybę priešintis elektros srovei (matuojama omais (Ω)). Paprastiems laidininkams šių trijų dydžių sąryšis išreiškiamas Omo dėsniu grandinės daliai:

*I = U R*

; (1)

Elektrinių dydžių matavimams dažniausiai naudojami daugiafunkciniai matavimo prietaisai, vadinami multimetrais. Jais galima matuoti daugelį fizikinių dydžių: įtampą, srovės stiprį, varžą, talpą, temperatūrą, dažnį ir kt. Taip pat yra prietaisai, matuojantys tik konkretų dydį. Tai gali būti voltmetrai, ampermetrai ar ommetrai. Prietaisai gali būti skaitmeniniai, tačiau naudojami ir rodykliniai. Prie matavimo ribų perjungiklio vaizduojamas ženklas

rodo, kad esant nustatymams šioje padėtyje prietaisas matuos pastovų dydį, o esant

kintamą (kitaip tariant efektinę vertę),

žymėjimas rodo, kad prietaisas toje nustatymo padėtyje gali matuoti ir kintamą ir pastovų dydį.

Didžiausią matuojamo dydžio vertę x

*rib*

, kurią tuo prietaisu galima matuoti, vadiname ribine. Ji

nustatoma arba diskiniu perjungikliu arba mygtuko paspaudimu. Nuo pasirinktos matavimo ribos vertės

priklauso nustatomo dydžio tikslumas ir prietaiso eksploatacijos saugumas. Matuojant įtampą ar srovės

stiprį, vienas kištukas turi būti įkištas į COM jungtį, o kitas į V arba A (arba mA, μA). Matuojant

nežinomą srovės stiprį – vienas kištukas įkištas į COM, kitas į 10 A jungtį. Jeigu srovės stiprio vertė

telpa į matavimo ribas, kištukas perkišamas į A (arba mA, μA). Įtampa matuojama prijungiant

multimetrą lygiagrečiai grandinės daliai, srovės stipris – nuosekliai. Matuojant nežinomą įtampą, prieš

pradedant matuoti, matavimo ribą reikia nustatyti maksimalią ir palaipsniui mažinti iki padėties, kurioje

matuojant matavimo riba tampa mažesnė už matuojamą dydį (skalėje rodomi simboliai). Tada perjungti į

gretimai esančią didesnę matavimo ribą. Tik nustačius teisingą matavimo ribą nuskaitomi rodmenys. Yra

skaitmeninių multimetrų, kuriuose matavimo riba prietaise nustatoma automatiškai. Tačiau matuojant

nežinomą srovės stiprį, kištukas matavimo pradžioje turi būti įkištas į 10 A jungtį.

Skaitmeniniuose prietaisuose dydžio vertę rodo prietaiso švieslentė. Skaitmeniniu prietaisu

išmatuoto dydžio absoliučioji paklaida apskaičiuojama pagal formulę, kurioje pirmasis narys priklauso

nuo prietaiso tikslumo ir išmatuoto dydžio vertės, o antrasis nuo matavimo ribos (arba rezoliucijos) ir

analoginio skaitmeninio keitiklio kvantavimo paklaidos (1):

P ∆

x = %100

*sZx*

+ ⋅ ; (2)

čia P – procentais išreikštas prietaiso tikslumas, x – išmatuota dydžio vertė (švieslentėje rodomas

skaičius), Z – jauniausios skilties vieneto vertė (arba rezoliucija), s – prietaiso tikslumą apibūdinančių

skaitmenų vertė (pastovi paklaida, kuri gaunama verčiant analoginį signalą į skaitmeninį). Šie dydžiai

būna konkretaus prietaiso techniniame aprašyme. Dažniausia užrašymo kiekvienai matavimo ribai

forma: ±

).%( sP + Rodykliniuose prietaisuose išmatuoto dydžio skaitinė vertė apskaičiuojama pagal formulę:

*x = x*

*rib N*

⋅ n

; (3)

čia x

*rib*

– matavimo ribos vertė, N – skalės padalų skaičius, n – rodyklės rodomų padalų skaičius.

Naudojant rodyklinius prietaisus matavimo pradžioje rekomenduojama taip pat parinkti kuo didesnę

matavimo ribą ir mažinti ją iki tol, kol rodyklė atsilenks bent 2/3 visos skalės. Jeigu yra kelios skalės,

matavimo ribos vertę pasirenkame tokią, kad rodyklė kuo labiau atsilenktų, tačiau padalos vertę

atskaitome toje skalėje, kurios didžiausia skalės vertė yra kartotinė matavimo ribai.

Rodyklinių matavimo prietaisų absoliučioji paklaida priklauso nuo prietaiso tikslumo ir matavimo

ribos pasirinkimo. Prietaiso tikslumą apibūdina tikslumo klasė - ji rodo santykinę procentinę paklaidą

jeigu rodyklė matuojant atsilenktų iki paskutinės padalos vertės. Tikslumo klasė dažniausiai užrašoma

skalės apačioje dešinėje. Absoliučioji paklaida apskaičiuojama pagal formulę:

∆ x

*= xr*

⋅ 100

*rib*

; (4)

čia r – tikslumo klasė, x

*rib*

– matavimo ribos vertė. Kaip matome kuo didesnė matavimo riba, tuo didesnė

paklaida.

Varžos (šiuo atveju netiesioginio matavimo dydžio, t.y. paskaičiuoto) nustatymo absoliučioji

paklaida apskaičiuojama dauginant santykinę paklaidą iš išmatuoto dydžio:

∆ RRR = δ ⋅ ; (5)

čia

δ R

= ∆ R

*R*

=

∆

*I I*

+

∆

*U*

*U*

. (6)

Darbo aprašymas. 1. Darbe pateiktos 4 schemos. Kiekvienam variantui „išmatavę” srovės stiprį I bei įtampą U, pagal (1) formulę apskaičiuojame rezistoriaus varžą R = U/I . Rodykliniams prietaisams I ir U apskaičiuojami pagal (3) formulę. 2. Kiekvienam variantui, naudodami (2) arba (4) formulę apskaičiuojame srovės stiprio bei įtampos

*nustatymo absoliučiosios paklaidas ∆I ir ∆U. (Pastaba: paklaidos apvalinamos iki vieno reikšminio skaitmens, jei skaičiaus antras reikšminis skaitmuo yra lygus arba didesnis nei penki ir iki dviejų reikšminių, jei jis mažesnis už penkis. Reikšminiais skaitmenimis skaičiuje vadinami visi skaitmenys, išskyrus nulius skaičiaus kairėje pusėje.)*

3. Kiekvienam variantui apskaičiuojame santykines paklaidas ∆I/I bei ∆U/U.

4. Naudodamiesi (6) ir (5) formulėmis apskaičiuojame Rδ ir R∆ 5. Pagal absoliučiųjų paklaidų vertes apvaliname nustatytus dydžius ir viską surašome 1 lentelėje. 6. Apskaičiuojame R ir R∆ aritmetinį vidurkį ir gautąją vertę užrašome tokia forma ,RRR = ± ∆ Ω 7. Pagal dėstytojo rekomendacijas braižome rezistoriaus, su kuriuo „atlikome” matavimus,

voltamperinę charakteristiką I = f (U). 1 lentelė

Nr. I, A U, V R, Ω ∆I, A

I ∆

I ∆U, V

U∆

*U*

∆

*R*

R ∆R, Ω

**Kontroliniai klausimai**

1. Paaiškinti absoliučiosios bei santykinės paklaidos sąvokas. 2. Paaiškinkite Omo dėsnį. 3. Ką vadiname įtampa, srovės stipriu ir varža? 4. Ar varža priklauso nuo įtampos ir srovės stiprio? 5. Kokių priemonių reikia imtis norint nesugadinti prietaiso ir išmatuoti kuo tiksliau? 6. Kaip nustatoma absoliučioji paklaida matuojant skaitmeniniu multimetru? 7. Kaip nustatoma netiesioginių matavimų absoliučioji paklaida. 8. Kaip apvalinama absoliučioji paklaida? 9. Kaip apvalinami netiesioginių matavimų rezultatai? 10. Ką vadiname prietaiso tikslumo klase?

P190B101: Fizika 1 Laboratoriniai darbai

**ELEKTRINIŲ DYDŽIŲ MATAVIMAS IR MATAVIMO PAKLAIDOS Eksperimento rezultatų duomenų lapas**

Studento vardas, pavardė: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Grupė:\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Data:\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Dėstytojas: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Parašas:\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

1 lentelė. Matavimų ir skaičiavimų rezultatai.

**1 matavimas**

Srovė

I

išmatuota

, A Riba, A P, % Z, A s ΔI, A ΔI/I

Įtampa

U

išmatuota

, V Riba, V P, % Z, V s ΔU, V ΔU/U

Varža

R, Ω ΔR/R ΔR, Ω R = (R±ΔR), Ω

**2 matavimas**

Srovė

I

išmatuota

, A Riba, A P, % Z, A s ΔI, A ΔI/I

Įtampa

U

išmatuota

, V Riba, V P, % Z, V s ΔU, V ΔU/U

Varža

R, Ω ΔR/R ΔR, Ω R = (R±ΔR), Ω

**3 matavimas**

Srovė

I

išmatuota

, A Riba, A P, % Z, A s ΔI, A ΔI/I

Įtampa

U

išmatuota

, V Riba, V P, % Z, V s ΔU, V ΔU/U

Varža

R, Ω ΔR/R ΔR, Ω R = (R±ΔR), Ω

**4 matavimas**

Srovė

I

rib

, A N n I, A r ΔI, A ΔI/I

Įtampa

U

rib

, V N n U, V r ΔU, V ΔU/U

Varža

R, Ω ΔR/R ΔR, Ω R = (R±ΔR), Ω

1

**Grafikas I = f(U)**

**Skaičiavimai**

P190B101: Fizika 1 Laboratoriniai darbai

2

1

ATVUDO MAŠINA

Darbo užduotis. Atvudo mašina nustatyti kūno pagreitį ir jį palyginti su pagreičiu,

apskaičiuotu pagal antrąjį Niutono dėsnį.

Teorinio pasirengimo klausimai. Pirmasis ir antrasis Niutono dėsniai.

Teorinė dalis. Darbe naudojamos Atvudo mašinos principinė

schema parodyta 1 paveiksle. Milimetrais sugraduoto stovo 1 viršuje

įtaisytas apie horizontalią ašį laisvai besisukantis maţos masės

skridinėlis 2. Per jį permestas vienodos masės M kūnus 3 ir 4

jungiantis siūlas. Prie stovo tvirtinami laikikliai 5, 6 ir 7. Pirmųjų

dviejų padėtį ir atstumus s bei S galima laisvai pasirinkti.

Siūlu surištų kūnų 3 ir 4 sistema yra pusiausvyra. Ant vieno jų,

pavyzdţiui, 4, uţdėjus masės m svarelį, pusiausvyra sutrinka ir sistema

pradeda greitėjančiai judėti. Iš antrojo Niutono dėsnio kūnų pagreičio

projekcija vertikalioje ašyje

*s*

2

3

5

1

6

= ∑

; (1)

7

čia ∑

*i*

*a*

*M*

*F i*

4

F – visų sistemą veikiančių jėgų projekcijų vertikalioje ašyje

algebrinė suma, M

*s*

– judančios kūnų sistemos masė.

1 pav.

Jei nepaisysime trinties, ∑

*F i*

yra lygi uţdėto priedinio svarelio

sunkiui mg, t.y. ∑ F i

= gm . Kai skridinėlio ir siūlo masės, palyginti su kūnų mase, labai maţos,

tuomet M

*s*

≈ 2 M + m . Šiuo idealizuotu atveju, pagal antrąjį Niutono dėsnį, pagreitis

*a*

′

*≈ gm*

2

*M*

+

m . (2)

Ţinoma, realiu atveju kūnų sistemos pagreitis a < a ′ .

Prie laikiklio 6 pritaisyta ţiedinė lentynėlė skirta tam, kad, kūnui 4 krentant ţemyn, nuo jo būtų

nuimamas papildomas svarelis. Taigi tik nuotolį s kūnas juda tolygiai greitėdamas ir įgyja greitį v,

kuris pagal kinematikos lygtis

*v = ta 1*

bei

*s = ta 2*

1 2

išreiškiamas taip:

v 2

*= sa2*

; (3)

čia a – ieškomasis kūnų sistemos pagreitis. Jei trinties nepaisome, galima sakyti, kad likusį kelią S

kūnai nueina judėdami iš inercijos, t.y. pastoviu greičiu v. Šį greitį apskaičiuojame išmatavę

tolygaus judėjimo trukmę t ir nueitą kelią S :

2

*v = S t*

. (4)

Iš (3) ir (4) formulių gauname, kad kelią s kūnai juda su pagreičiu

*a = 2 S*

*ts 2*

2

. (5)

Tolygaus judėjimo trukmė t matuojama elektroniniu milisekundometru. Tam laikikliuose 6 ir 7

įtaisytos elektros lemputės ir du fotojutikliai (fotorezistoriai). Tuo momentu, kai nuo ţemyn

judančio kūno 4 nuimamas svarelis, kūnas 4 pirmajam fotojutikliui uţstoja šviesos pluoštelį, dėl to

paleidţiamas milisekundometras. Kai tas kūnas uţstoja šviesą antram fotojutikliui,

milisekundometras sustabdomas.

Darbo aprašymas. Frikcinė pavara valdoma skridinėlio įvorėje įtaisytu elektromagnetu.

Įjungus tinklo įtampą, elektromagnetas įsijungia, ir frikcinė pavara neleidţia skridinėliui su

nesubalansuota kūnų sistema judėti. Kūnų padėtį galima pakeisti tik išjungus frikcinę pavarą.

Nuspaudus klavišą „Paleidimas”, skridinėlis atsipalaiduoja ir pradeda laisvai suktis.

Patikriname stovo vertikalumą, t.y. ar kūnas 4 laisvai praeina pro laikiklio 6 ţiedinę lentynėlę,

jeigu ne, jį reguliuojame stovo kojelėmis.

1. Išmatuojame nuotolius s ir S.

2. Kūną 4 apkrovę maţiausios masės m

1

svareliu ir svarelio apatinės briaunos aukštį sutapdinę su

viršutinio laikiklio brūkšniu, įjungiame frikcinę pavarą. Palaukę kol kūnai nustos svyruoti,

nuspaudę klavišą „Paleidimas”, išjungiame pavarą ir išmatuojame kūnų tolygaus judėjimo

trukmę – t

1j

. Atlikę 3 matavimus (j = 3), apskaičiuojame jos vidutinę trukmę < t

1

> ir pagreitį a

1

.

Tokius matavimus ir skaičiavimus atliekame dar su vienu skirtingos masės svareliu. Matavimų

ir skaičiavimo rezultatus patogu surašyti lentelėje.

Nr. m

*i*

*t*

*ij*

, s

,

*m*

*i*

g ,

< t

*i*

*m*

kg

N

>,

s

*a*

*i*

, m/s2 i

2

*M*

+ m i

a′

*i*

,

m/s2

j = 1 2 3

3. Kiekvienam svareliui m

*i*

pagal antrąjį Niutono dėsnį apskaičiuojame pagreitį

a′. i

3

4. Vienoje koordinačių sistemoje pavaizduojame dydţių a ir a′ priklausomybę nuo jėgos mg. Iš

grafiko

*a = f ( gm )*

nustatome maţiausio svarelio sunkį, kuri išjudintų šią sistemą iš

pusiausvyros. Jis priklauso nuo trinties jėgų didumo.

**Kontroliniai klausimai**

1. Ar visuomet antrasis Niutono dėsnis išreiškiamas (1) formule ? 2. Išvardykite dydţio ∑

*F i*

visus dėmenis su ţenklais. 3. Įrodykite (3) lygybę. 4. 5. Kodėl dydţius Kodėl

*a = f ( gm s ir )*

S grafikas matuojame neina tik per po koordinačių vieną kartą, pradţią o judėjimo ?

trukmę t – 5 kartus ?

M = 60,70·10

-3

kg

GRAVITACINĖS KONSTANTOS NUSTATYMAS

Darbo užduotis. Kevendišo svarstyklėmis nustatyti gravitacinę konstantą.

Teorinio pasirengimo klausimai. Visuotinės traukos (gravitacijos) dėsnis. Gravitacinė

konstanta. Sukamųjų harmoninių svyravimų periodas, jo priklausomybė nuo svyruoklės parametrų.

Teorinė dalis. B. Kevendišas gravitacinę konstantą nustatė 1 paveiksle pavaizduotu įrenginiu.

Jį sudaro sukamoji svyruoklė, t.y. ant plonos plieninės vielos 1 pakabintas lengvas skersinis, kurio

galuose atstumu d nuo vielos įtvirtinti du maži masės m švino rutuliukai. Juos gravitacine jėga

traukia du didesni masės M švino rutuliai (2 pav.). Pasukant jų laikiklį, pastaruosius galima pervesti

iš padėties AA į padėtį BB.

*m m*

*d*

d A

B

*M*

M B

A

2

*F*

1 pav. 2 pav.

Eksperimentinė įranga yra labai jautri: svyruoklės posūkio kampas įvertinamas matuojant nuo

veidrodėlio V atsispindėjusios lazerio LZ šviesos rodyklės nuokrypį skalėje SK (2 pav.). Taip pavyksta išmatuoti net 10-9 N sąveikos jėgos pokyčius.

Du vienalyčiai masių M ir m rutuliai traukia vienas kitą gravitacine jėga, kurios modulis yra

lygus

2b

*m*

*F*

A

B

O

*F*

B

V

*F*

A

*m*

1

LZ

O

*n*

1

2α

1

*S*

2α

*n*

2

SK

*F = G Mm*

; (1)

čia G – gravitacinė konstanta, b – atstumas tarp sąveikaujančių rutulių masių centrų (eksperimento

metu jis keisis nežymiai, todėl jį laikysime pastoviu dydžiu). Kaip matome (1), gravitacinė

2

konstanta skaitine verte lygi tokiai traukos jėgai, kuria traukia vienas kitą vienalyčiai rutuliai.

Abiejų rutulių masė lygi 1 kg, nuotolis tarp jų centrų – 1 m.

Svyruoklei esant pusiausvyroje (pavyzdžiui, padėtyje AA), vielą 1 kampu α

1

užsukusių

gravitacinių jėgų momentą

*M 1*

= 2

*dF = 2 d GMm*

*b*

2 (2)

atsveria tampriai susuktos vielos sąsūkos momentas

*M*

*S*

= D α 1

, (3)

t.y.

*2 d GMm*

*b*

2

= D

α 1 ; (4)

čia D – sąsūkos koeficientas, priklausantis nuo vielos matmenų ir jos šlyties modulio. Didžiuosius

rutulius pasukus į kitą padėtį (BB – 2 pav.), gravitacinių jėgų momento kryptis pasikeičia į

priešingą. Naują pusiausvyros padėtį (užsukimo kampas α

2

) nusako lygtis

− 2

*dGMm*

*b*

2

= D

α 2 . (5)

Iš (4) ir (5) gauname

4

*dGMm*

*b*

2

= D

( α 1 − α 2 )

. (6)

Kai didžiuosius rutulius pasukame į naują padėtį, svyruoklė ima svyruoti apie naują savo

pusiausvyros padėtį. Jos sukamųjų svyravimų periodas

*T*

= 2 π I

0 D

= 2 π 2

*md*

2

*D*

(7)

priklauso nuo svyruoklės inercijos momento I 0

=

*2md 2*

ašies OO′ atžvilgiu (1 pav.) ir nuo sąsūkos

koeficiento D. Iš (6) ir (7), eliminavę dydį D, gravitacijos konstantai gauname tokią formulę:

G =

2

T π

2 2

*db M 2 ( α*

1 α− 2 )

. (8)

Atlikdami bandymą matuosime ne svyruoklės užsukimo kampų skirtumą α

1

– α

2

, o nuo jo

priklausantį šviesos zuikelio poslinkį S skalėje SK, esančioje atstumu i nuo veidrodėlio V (2 pav.).

Galima parodyti, kad nedideliems užsukimo kampams skirtumas

α 1

− α 2 ≈ i4 S

. (9)

Iš (8) ir (9) gauname

*G*

= π

2 M 2

*b*

2 T S i2

d . (10)

3

Pabandysime nustatyti gravitacijos konstantai apskaičiuoti reikalingus dydžius T, i ir S. Kiti

dydžiai yra įrenginio pastoviosios: M = 1.5 kg, d = 50 mm, b = 50 mm.

Darbo aprašymas. Dėmesio! Kavendišo svarstyklės yra labai jautrus ir lengvai sugadinamas

prietaisas. Dirbdami su juo venkite smūginių ir kitų nebūtinų poveikių prietaisui, nes sukelti

svyruoklės svyravimai nuslopsta tik per keliolika minučių, tai didina eksperimento trukmę.

1. Tiesle išmatuojame atstumą i nuo svyruoklės ašies iki skalės. Lazerio maitinimo šaltinį įjungę į

tinklą, pagal laikrodžio rodyklę pasukame jo raktelį ir taip įjungiame šviesos šaltinį.

2. Pradedant eksperimentą didieji rutuliai dažniausiai būna AA arba BB padėtyje (atstumas nuo

rutulio paviršiaus iki stiklo 1-2 mm). Tokią padėtį laikysime pradine. Jei taip yra, skalėje

atskaitome pradinę šviesos zuikelio padėtį n

1

. Jei taip nėra, atsargiai, nepaliesdami stiklo,

rutulius pastatome į pradinę padėtį (AA arba BB). Palaukę ne mažiau kaip 15 minučių kol

nuslops svyravimai, atskaitome n

1

.

3. Atsargiai, nepaliesdami stiklo, bet greitai, rutulius persukame į kitą padėtį (iš AA į BB arba

atvirkščiai). Pradedant šiuo momentu kas 30 s registruojame šviesos zuikelio padėtį skalėje ne

mažiau kaip dviem svyravimų periodams. Duomenis surašome į lentelę.

4. Jei eksperimentas nepavyko, laukiame, kol svyravimai nuslops, ir bandymą kartojame.

5. Nubrėžiame grafiką S = f (t). Jis turi būti panašus į pavaizduotą 3 paveiksle. Iš jo nustatome

nusistovėjusią šviesos zuikelio pusiausvyros padėtį n

2

, poslinkį S bei svyruoklės svyravimų

periodą T.

*S*

*T*

*S (t)*

3 pav.

6. Apskaičiuojame gravitacinės konstantos G vertę.

*t*

4

**Kontroliniai klausimai**

1. Suformuluokite visuotinės traukos dėsnį.

2. Nusakykite gravitacinės konstantos fizikinę prasmę.

3. Kodėl svyruoklės inercijos momentas laikomas apytiksliai lygus mažųjų švino rutulių inercijos

momentų sumai?

4. Ar tikslus harmoninių svyravimų artinys stebimiems svyravimams?

5. Kodėl skaičiuojant gravitacinės konstantos G vertę nereikėjo atsižvelgti į sienų, grindų ir kitų

aplinkinių daiktų sąlygojamas gravitacines jėgas?

**KŪNŲ LAISVOJO KRITIMO PAGREIČIO NUSTATYMAS**

Darbo užduotis. Nustatykite kūnų laisvojo kritimo pagreitį.

Teorinio pasirengimo klausimai. Visuotinės traukos dėsnis. Kūno laisvasis kritimas ir jo pagreitis. Atsitiktinės ir sisteminės paklaidos.

*Teorinė dalis. Pagal visuotinės traukos dėsnį nuotoliu r nutolę du taškiniai masės m ir M kūnai traukia vienas kitą jėga*

*F*

*= G m*

r ∙

2 M ; (1)

čia dydis G – gravitacijos konstanta. Ji apibrėžiama sąlygomis: jei m = M = 1 kg ir r = 1 m, tai F = G. Taigi gravitacijos konstanta skaitine verte lygi jėgai, kuria traukia vienas kitą du materialieji taškai, kurių kiekvieno masė lygi 1 kg ir kurie nutolę vienas nuo kito 1 m atstumu. (1) formulė tinka ir vienalyčiams rutuliams, tik tuomet r reikštų nuotolį tarp jų centrų.

Kadangi Žemę galima laikyti spindulio R

*ž*

rutuliu, (1) formulę galima taikyti ir Žemės gravitacijos jėgai skaičiuoti. Šiuo atveju

*F*

*= G m*

*∙ M ( R*

*h )2*

; (2)

*F*

*in*

*m ž*

*ž*

+

F čia M

*ž*

– Žemės masė, h – m masės kūno atstumas iki Žemės paviršiaus. Ši gravitacijos jėga nukreipta į Žemės centrą (1 pav.). Su Žeme susieta atskaitos joje sistema masės m dėl jos sukimosi apie ašį, tiksliai imant, kūną veikia išcentrinė inercijos jėga

nėra о

*in*

, inercinė statmena ir

*F о P s*

C

sukimosi ašiai. Jėgų geometrinė suma

*in*

s 1 pav.

*F*

F о

+ F о = F о vadinama sunkiu. Kai kūnas krinta veikiamas tik sunkio jėgos, tokį kritimą vadiname laisvuoju. Kūnas krinta Pagal g о

= F о s antrąjį Niutono dėsnį masės m kūnui laisvai sunkis

tik о s

beorėje erdvėje. F

suteikia pagreitį m . Šį pagreitį vadiname kūno laisvojo kritimo pagreičiu. Kaip ir , g vertė įvairiose geografinėse platumose yra nevienoda. Eksperimentiškai nustatyta, jog dėl Žemės elipsoidiškumo ir sukimosi perkėlus kūną iš ašigalio į ekvatorių jo sunkis, taigi ir g, sumažėja 1/190 dalimi. Kadangi gravitacinės ir išcentrinės inercijos jėgos moduliams tinka nelygybė , sunkį apytiksliai galima prilyginti gravitacijos jėgai. Tuomet

*F*

*F*

*in << F ( R*

*h )2*

*in*

*g*

*≈ m F*

= G

*M*

*ž*

*ž*

+

. (3)

Taigi laisvojo kritimo pagreitis nepriklauso nuo krintančio kūno masės. Kai kūnas krinta iš labai mažo aukščio h, palyginti su R

*ž*

, tuomet g ≈ G M

*ž 2*

(4)

yra pastovus, ir kūnas juda tolygiai greitėdamas. Šitokį judėjimą aprašome kinematinėmis lygtimis: greičio

v = tg (5) nueito kelio

2

*ž R*

*h = tg*

2

. (6)

Darbo aprašymas. 1. Įjungiame laikrodžio 3 matavimo šaltinį į tinklą. Rutuliuko paleidimo įtaiso

4 elektriniai lizdai sujungti su laikmačio „start“ lizdais. Start jungtukas įjungtas padėtyje

. Rutuliuko pagavimo 2 įtaiso lizdai sujungti su laikmačio „Imp“ ir korpuso lizdais. Pasirenkama

laikmečio darbo moda

. 2. Rutuliuką įstatome tarp paleidimo įtaiso 4 atramų ir laikome nuspaudė fiksatorių 5. Pakeliame gaudyklę 6. Nuspaudžiame laikmačio mygtuką „Reset“. Atleidus fiksatorių, rutuliukas krenta, užsidega laikmačio indikatorius „Gate“. Nukritus jam, laikmačio indikatorius parodo rutuliuko kritimo trukmę.

*Dėmesio ! Mygtuką „Reset“ nuspaudžiame tik tada, kai rutuliukas įstatytas tarp paleidimo įtaiso atramų.*

3. Bandymą kartojame dar 7-10 kartų.

4. Išmatavę rutuliuko kritimo laiką t

*i*

1

4

2 pav.

Kai matavimų skaičius didelis (n >> 1), tuomet su tikimybe 0,997 galima būtų tvirtinti, kad tikroji laisvojo kritimo pagreičio vertė yra intervale tarp <g> - 3 S

*n*

5

, pagal (6) kiekvienam atvejui apskaičiuojame laisvojo kritimo

6

pagreitį g

*i*

, vidutinę jo vertę <g> ir šio dydžio vidutinę kvadratinę jo paklaidą

( ) ( 1 )

3

2

*S*

*n*

=

∑

<

*g*

> - g i n

n -

2

. (7)

. Matavimo ir skaičiavimų rezultatus surašome lentelėje.

h, m t

*i*

ir <g> + 3 S

*n*

, m/s2

Kontroliniai klausimai 1. Paaiškinkite visuotinės traukos dėsnį. 2. Gravitacinės konstantos fizikinė prasmė. 3. Koks yra laisvasis kūnų kritimas ir nuo ko priklauso jo pagreitis ? 4. Kokiose Žemės platumose kūno sunkis nukreiptas tiksliai jos centro link ?

Literatūra 1. Tamašauskas A. Fizika. - Vilnius: Mokslas, 1987. - T.1. - P. 224. 2. Javorskis B., Detlafas A. Fizikos kursas. - Vilnius: Mintis, 1970. - T.1. - P. 388. 3. Ambrasas V., Jasiulionis B. Mechanika, molekulinė fizika ir termodinamika. - Kaunas: Technologija, 2008.- P. 88.

, s g

*i*

, m/s2 < g >, m/s2 S

*n*

1

KIETOJO KŪNO SUKAMOJO JUDĖJIMO TYRIMAS

Darbo užduotis. Patikrinti sukamojo judėjimo dinamikos pagrindinį dėsnį ir nustatyti kūnų

sistemos inercijos momentą.

Teorinio pasirengimo klausimai. Sukamojo judėjimo dinamikos pagrindinis dėsnis. Kūno

inercijos momentas. Šteinerio ir Heigenso teorema.

Teorinė dalis. Kai kūnas, kuris gali suktis apie nejudamą ašį, yra veikiamas išorinių jėgų, jis

sukasi kampiniu pagreičiu

ε = M

; (1) z

čia M

*z*

*z I*

– atstojamasis išorinių jėgų momentas sukimosi ašies atžvilgiu, I

*z*

– kūno inercijos momentas

tos ašies atžvilgiu. Ši lygtis yra kūno sukamojo judėjimo dinamikos pagrindinio dėsnio atvejis. Kaip

matome iš (1) lygties, kūno inercijos momentas sukamajame judėjime apibūdina jo inertiškumą,

kurį šiame darbe ir tirsime.

Masės m

*i*

materialiojo taško inercijos momentas ašies atžvilgiu

*I zi*

=

*m i R i 2*

; (2)

čia R

*i*

– jo atstumas iki sukimosi ašies. Jei laikysime, kad kietasis kūnas sudarytas iš N materialiųjų

taškų, tai jo inercijos momentą ašies atžvilgiu galima išreikšti

taip:

. (3)

4

*I z*

=

*∑ N*

*m i R i*

2

*i*

=

1

1 pav.

7

5

Kietojo kūno inercijos momentas I

*z*

visada nusakomas

3

konkrečios ašies atžvilgiu. Keičiant ašį, dydis I

*z*

bendruoju

2 atveju taip pat keičiasi. Masės m kūno inercijos momentą

ašies, einančios per jo masės centrą, atžvilgiu pažymėkime I

*c*

.

i 1

8

1

Tuomet to paties kūno inercijos momentą naujos ašies,

*h*

lygiagrečios pirmajai ir nuo jos nutolusiai dydžiu i, atžvilgiu

apskaičiuosime pagal Heigenso ir Šteinerio teoremą

*I*

*z*

=

I c + im 2

. (4)

6 10

11 (1) sukamojo judėjimo dinamikos dėsnį patogu tikrinti

12

9 vadinamąja Oberbeko svyruokle (1 pav.). Ją sudaro įvorėje 1

simetriškai įtvirtinti keturi vienodi strypai. Įvorė ir R

spindulio skriemulys 2 kietai užmauti ant horizontalios ašies, kuri gali laisvai suktis. Prie

2

vertikalaus stovo 3 dar įtaisytas skridinėlis 4, liniuotė ir fotojutiklių laikikliai 5 ir 6. Ant skriemulio

vyniojamas siūlas, prie kurio, permesto per skridinėlį 4, kito galo tvirtinamas masės m

*j*

svarelis.

Visą sistemą suka siūlo įtempimo jėga F. Lygaus dydžio tik priešingos krypties jėga siūlas veikia

svarelį. Šią jėgą apskaičiuojame, pagreičiu a judančiam svareliui 7 pritaikę antrąjį Niutono dėsnį.

Jei trinties nepaisome, tuomet

*m*

*j*

*a = m j g - ,F arba F = m j ( g - a )*

. (5)

Kadangi svarelis 7 juda tolygiai greitėdamas, pagreitį a galima išreikšti per laiką t nueitu keliu h

šitaip:

a = 2

*h t*

2

(6)

Tuomet sukamąjį momentą M

*z*

išreiškiame jėgos F ir jos peties sandauga:

*M*

*z*

=

*R ∙ F = mR j ( g - a )*

= mR j ⎛ │ ⎝

g - 2 t

2 h

*.*

(7)

Skriemulio 2 sudaromosios taškų tangentinis pagreitis a

τ

⎞ │ ⎠

lygus svarelio pagreičiui (6).

Atsižvelgę į tai ir į tangentinio pagreičio ryšį su kampiniu pagreičiu ε = a

τ

/R, gauname

ε = 2

*h tR*

2

. (8)

Taigi, išmatavę skriemulio spindulį R bei laiką t, per kurį žinomos masės m

*j*

svarelis nueina kelią h,

apskaičiuojame dydžius M

*z*

ir ε.

Didinant apkrovos masę m

*j*

, kinta sistemą veikiantis

ε

sukamasis momentas M

*z*

, kartu – ir kampinis pagreitis ε. Šią

ε

2

priklausomybę pavaizduojame grafiku

ε

1

α 2

1 ε = f ( M z )

(2 pav.).

Gauta tiesinė priklausomybė reikštų, kad (1) formule

užrašomas dinamikos dėsnis teisingas. Iš (1) ir 2 paveikslo

išplaukia, kad sistemos inercijos momentas

α

*I z*

=

*M*

*z*

2

- M z 1 ε

ε- . (9)

M

z

**Darbo aprašymas**

1. Slankmačiu išmatuojame skriemulio skersmenį ir apskaičiuojame jo spindulį R.

2. Sistemos inercijos momento padidinimui ant kiekvieno strypelio nuo sukimosi ašies vienodais

didžiausiais atstumais i

1

*M*

*z*

1

*M*

*z*

2

2 pav.

(1 pav.) pritvirtiname balastinius ritinius ir patikriname, ar po to

sistema išlieka pusiausvyra. Ant skriemulio suvynioję siūlą, prie jo galo prikabiname tokios

masės svarelį 7, kad sistema suktųsi. Svarelio judėjimo laiką matuosime elektroniniu

3

sekundometru 8. Jis į maitinimo tinklą įjungiamas nuspaudus mygtuką 9 – „Tinklas”, o

valdomas mygtukais 10 – „Numetimas” bei 11 – „Paleidimas”. Pastarasis mygtukas valdo ir

elektromagnetinį stabdį: kai mygtukas nenuspaustas – stabdys įjungtas, nuspaudus –

išjungiamas; nuspaudus 10 – 12 langelyje nutrinami sekundometro rodmenys.

3. Išjungę stabdį, svarelį pakeliame virš viršutinio jutiklio spindulio, kurio padėtis pažymėta

laikiklyje 5, ir tuomet įjungiame stabdį. Nutriname sekundometro rodmenis ir, nuspaudę

mygtuką „Paleidimas”, stabdį išjungiame. Svarelis, užstodamas viršutinio jutiklio spindulį,

paleidžia sekundometrą, o užstodamas apatinio jutiklio (6 laikiklis) spindulį, sekundometrą

sustabdo. Kritimo laiką atskaitome indikatoriuje 12, o nueitą kelią h – stovo liniuotėje. Kritimo

laiką išmatavę dar 4 kartus, apskaičiuojame vidutinę vertę < t >, po to – M

*z*

bei ε. Matavimų ir

skaičiavimų rezultatus surašome į lentelę.

R, m

*m*

*j*

, kg

i,

h, m

m t

1

t, s

< ε,

,

s-2

Nm

4. Trečiame punkte aprašytus veiksmus pakartojame dar keturioms vis didesnės masės apkrovoms.

5. Eksperimento rezultatus pavaizduojame grafiku

*t*

2

*t*

3

*t*

4

*t*

5

t >,

s

*M*

*z*

ε = f ( M z

)

. Iš grafiko apskaičiuojame inercijos

momentą I

*z1*

.

6. Ženkliai sumažiname balastinių ritinių nuotolį iki sukimosi ašies. Išmatavę šį nuotolį i

2

,

atliekame 3÷5 punktuose aprašytus matavimus bei skaičiavimus ir vėl nustatome sistemos

inercijos momentą I

*z2*

.

7. Patikriname Šteinerio ir Heigenso teoremą: bandymais nustatytų verčių skirtumą

*I z*

1 - I z 2 gretiname su skirtumu 4

m ( i 1 2

- i 2 2

)

, apskaičiuotu remiantis Šteinerio ir Heigenso teorema, ir

darome išvadą. Čia 4m - balastinių ritinių masė.

**Kontroliniai klausimai**

1. Nuo ko priklauso besisukančio kūno inertiškumas ? 2. Kada tinka vartoti (1) dėsnį ? 3. Kodėl kūnelio kritimo laiką matuojame kelis kartus ir skaičiuojame aritmetinį vidurkį, o kitus

dydžius matuojame vieną kartą ? 4. Kodėl šios sistemos inercijos momentą tikslinga nustatyti iš

ε = f ( M z

)

grafiko, o ne skaičiuoti iš atskiro matavimo ? 5. Kodėl

ε

*= f ( M z*

)

grafikas neina per koordinačių sistemos pradžią ?

SUKAMOJO JUDĖJIMO TYRIMAS

Darbo užduotis. Tirsime apie pastovią ašį besisukančios kūnų sistemos judėjimo

dėsningumus.

Teorinio pasirengimo klausimai. Inercijos momentas. Heigenso ir Šteinerio teorema. Judesio

kiekio momentas. Pagrindinis sukamojo judėjimo dinamikos dėsnis. Judesio kiekio momento

tvermės dėsnis.

Teorinė dalis. Darbe tirsime apie pastovią ašį besisukančią kūnų sistemą, kurios inercijos

momentas kis. Sistemos inercijos momentą I

*z*

, judesio kiekio momentą L

*z*

apibrėšime bei pagrindinį

dinamikos dėsnį užrašysime apie pastovią (nekeičiančią padėties erdvėje) ašį Oz besisukančio kūno

atvejui.

Atstumu r

*i*

nuo sukimosi ašies Oz esančio masės m

*i*

materialaus taško inertiškumą tos ašies

atžvilgiu apibūdinantis dydis

*I zi*

=

m i r i 2 (1) vadinamas jo inercijos momentu ašies Oz atžvilgiu. Jei laikysime, kad sukasi iš N materialiųjų taškų

sudarytas kietasis kūnas, tai jo inercijos momentą ašies Oz atžvilgiu galima išreikšti taip:

*I z*

=

*∑ N*

*m i r i*

. (2) i

=

2

1

Panašiai kūnų sistemos inercijos momentas yra lygus sistemą sudarančių kūnų inercijos momentų

sumai.

Kietojo kūno inercijos momentas I

*z*

visada nusakomas konkrečios ašies atžvilgiu. Kintant

besisukančio kūno formai ar keičiantis jo padėčiai ašies atžvilgiu I

*z*

bendruoju atveju keičiasi.

Masės m kūno inercijos momentą ašies, einančios per jo masės centrą, atžvilgiu pažymėkime I

*c*

.

Tuomet to kūno inercijos momentas atžvilgiu kitos ašies, lygiagrečios pirmajai ir nutolusios nuo jos

atstumu i, pagal Heigenso ir Šteinerio teoremą, yra lygus

*I*

*z*

= I c + 2im . (3) Apie ašį besisukančio kūno judesio kiekio momentas

*L z*

=

ω I z ; (4)

čia ω – kūno kampinis greitis, I

*z*

– kūno inercijos momentas tos ašies atžvilgiu. Tokio kūno judesio

kiekio momentą L

*z*

keičia tik jį veikiančios išorinės jėgos. Dydžio L

*z*

kitimo sparta d L

*z*

d t yra

tiesiogiai proporcinga kūną veikiančių išorinių jėgų momentui M

*z*

tos pačios ašies atžvilgiu:

d

*L z d t*

=

d d

*t ( ω I*

*z*

)

= M z . (5)

2

Tai ir yra apie pastovią ašį besisukančio kūno pagrindinis dinamikos dėsnis. Jei kūno išorinės jėgos

neveikia arba jos vienos kitas atsveria, tuomet M z

≡

0 ir iš (5) išplaukia, kad

d d

*t*

( ω

*I*

*z*

)

= 0

arba ω I z = const . (6)

Tai ir yra judesio kiekio momento tvermės dėsnis. Iš jo išplaukia, jei išorinių jėgų neveikiamam

kūnui sukantis pakinta jo inercijos momentas I

*z*

, tai kampinis greitis ω pakinta taip, kad sandauga

Iω

*z*

išlieka pastovi.

Eksperimentuojant šis dėsnis apytiksliai galios tik tuomet, kai išorinės jėgos, tarp jų ir ašį

veikiančios trinties jėgos, bus labai mažos ir per eksperimento trukmę kampinio greičio ω ženkliai

nepakeis.

**Darbo aprašymas. 1 paveiksle a**

z

schemiškai pavaizduota darbo aparatūra.

Nejudančiame stove 1 įtaisyta vertikali

judanti ašis ir jos kampinio greičio daviklis 2.

Su ašimi kietai susietame mazge 3 įtaisyti du

strypai 4. Ant kiekvieno jų užmauta po

vienodą slankų cilindrinį pasvarą 5. Jų

didžiausią nuotolį nuo ašies Oz riboja jos

atžvilgiu simetriškai įtaisyti guminiai diskai

6. Judančioji įrenginio dalis įsukama

rankenėle-suktuku 7. Jis įsukimo metu

0

pasvarus laiko galimai arčiau ašies Oz.

Sistemą įsukus rankenėlė staigiai pakeliama

(1 pav. b) ir inercijos jėgų veikiami pasvarai

5 strypais 4 slysta iki atramų 6. Nuo ašies

pasvarams tolstant, didėja jų inercijos

momentas, ir pagal (6) turi sukelti sukimosi

lėtėjimą. Daviklis 2 sukimosi informaciją

2i

2 perduoda kompiuterinei sistemai, kuri

apskaičiuoja kampinį greitį ω ir brėžia

grafiką , čia t – laikas.

Besisukančios sistemos elementų 3, 4 ir 6 (1

2i

1

(a)

i

1

7

6

6

4 5

3

5 4

2

1

(b) i

2

~~

1 pav.

=ω

*f ( t )*

3

pav.) suminis inercijos momentas ašies Oz atžvilgiu bandymo metu nesikeičia ir yra lygus

*I*

1

= ,9 74 ⋅ 10 − 4

kg ⋅ m 2 . Vieno slankaus pasvaro 5 inercijos momentas ašies, einančios per jo masių

centrą ir lygiagrečios ašiai Oz atžvilgiu yra išreiškiamas taip:

*I*

5

*c*

= m

12 5

⎛ ⎜ ⎝

3 4

1

2

+ 3 4

2 2

+ 2 ⎞ ⎟ ⎠

; (7)

čia D

1

D D H – cilindro išorinis skersmuo, D

2

– vidinis skersmuo, lygus strypo 4 skersmeniui, H – cilindro

aukštinė, m

5

= (81,8±0,1) g jo masė.

Įsukant pasvaro 5 masių centras nuo sukimosi ašies Oz nutolęs atstumu i

1

(1 pav., a), todėl

pagal (3) ašies Oz atžvilgiu jo inercijos momentas yra lygus

*I*

51

=

*I 5 c*

+ m 5 i 1 2 . (8) Į diską 6 atsirėmusio pasvaro inercijos momentą apskaičiuosime į (8) įrašydami jo masių centro

nuotolį i

2

.

1. Slankmačiu išmatavę slankaus cilindro D

1

, D

2

ir H, pagal (7) apskaičiuojame jo inercijos

momentą I

*5c*

.

2. Išmatavę slankių pasvarų 5 masių centrų mažiausią atstumą i

1

ir didžiausią i

2

pagal formulę

(8) apskaičiuojame vieno pasvaro I

51

bei I

52

.

3. Apskaičiuojame besisukančios sistemos inercijos momentus:

pradinį I

*z*

1

=

I 1 + 2I 51 (9)

ir

galinį I

*z*

2

=

I 1 + 2I 52 . (10)

4. Aparatūrą paruošiame kampinio greičio matavimams. Tam įjungiame kompiuterio ir

matavimo bloko „L mikro“ maitinimą. Ekrane stebimame lange pelės valdomu žymekliu

pasirenkame piktogramą „L phys lab. darbai“ ir, du kartus spragteldami kairiuoju pelės klavišu, ją

atidarome. Šios programos lange „Darbo pasirinkimas“ žymeklį perkeliame ant užrašo „Darbų

sąrašas“ ir vieną kartą spragteldami ją atidarome. Jame pasirenkame darbą „Impulso momento

tvermės dėsnis“ ir pele jį atidarome. Tai atlikę ekrane stebime langą „L mikro Demonstrations“.

Jame koordinačių sistemos vertikaliojoje ašyje bus atidėtas kampinis greitis ω, o horizontaliojoje –

laikas t.

5. Slankius pasvarus pristūmę kiek galima arčiau sukimosi ašies, jų padėtį fiksuojame suktuku

7 (1 pav., a). Įsitikiname, kad įsukta sistema neužkliūtų už darbo vietoje esančių daiktų.

6. Pelės žymeklį perkėlę ant užrašo „Leisti“ ir vieną kartą spragtelėję kairiuoju jos klavišu

sistema paruošta matavimui. Nuo šio momento per keletą sekundžių būtina sistemą įsukti ir staiga

nuo jos nukelti suktuką. Tai atlikus, po keleto sekundžių ekrane pasirodys išmatuoto kampinio

greičio ω priklausomybė nuo laiko. Stebimoje kreivėje greičio ω

1

maksimumas sutampa su suktuko

4

nukėlimo momentu. Beveik horizontali tiesi kreivės dalis atitinka laiką, kai pasvarai nuo sukimosi

ašies jau maksimaliai nutolę ir sukimosi kampinis greitis yra ω

2

. Kartu su kreive ekrane stebima

klaviatūros klavišais ← → valdoma vertikali brūkšninė linija. Ja pasirinkus reikiamą laiko

momentą ties užrašu „Kampinis greitis [rad/s]“ bus parodyta kampinio greičio vertė. Mūsų

skaičiavimams reikia atskaityti maksimalų kampinį greitį ω

1

(nukeliant suktuką) ir šio greičio vertę

ω

2

(kreivės horizontalios tiesinės dalies pradžia) inercijos momentui padidėjus iki maksimalios

vertės. Matavimų duomenis surašome lentelėje.

*m*

5

, kg

i

1

,

i

2

,

ω

1

,

ω

2

,

*I*

*z1*

,

*I*

*z2*

,

*L*

*z1*

,

*L*

*z2*

, m

m

rad/s

rad/s

kg⋅m2

kg⋅m2

kg⋅m2⋅s-1

kg⋅m2⋅s-1

7. Pagal formules (9) ir (10) apskaičiuojame sistemos pradinį ir galinį inercijos momentus.

Pagal (4) apskaičiuojame ribines sistemos judesio kiekio momento vertes L

*z1*

ir L

*z2*

. Sugretinę L

*z1*

ir

*L*

*z2*

darome išvadą apie judesio kiekio momento tvermės dėsnio galiojimą mūsų bandyme. Darome

prielaidas, kodėl šie dydžiai nėra tiksliai lygūs.

Išjungiame aparatūrą. Tam lange „L mikro Demonstrations“ pele sužadinę užrašą „Baiga“

išjungiame darbo programą. Tuo pačiu būdu sužadinę užrašą ekrano apačioje „Darbo pasirinkimas“

ekrane stebime to paties pavadinimo langą. Jame pelės žymekliu aktyvuojame užrašą „Baiga“ ir taip

išeiname iš programos „L mikro“. Išjungiame bloko „L mikro“ maitinimą. Įprastu būdu išjungiame

kompiuterį. Tam kairiajame apatiniame ekrano kampe sužadiname užrašą „Start“. Atsidariusiame

lange pasirenkame operaciją „Shut down – išjungti“ ir taip atidarome išjungimo langą „Shut down

Windows“. Jame pele pažymime „Shut down – išjungti“, o pelės žymekliu sužadiname jungtuką

„OK“. Užgesus ekranui arba pasirodžius jame užrašui „It‘s now safe to turn off – galima saugiai

išjungti“, išjungiame monitoriaus (vaizduoklio) maitinimą.

**Kontroliniai klausimai**

1. Ką vadiname kampiniu greičiu? Kokia šio vektoriaus kryptis?

2. Ką nusako kūno inercijos momentas?

3. Ką vadiname judesio kiekio momentu?

4. Ką teigia judesio kiekio momento tvermės dėsnis?

5. Kokios jėgos besisukančioje sistemoje slankius pasvarus verčia tolti nuo sukimosi ašies?

6. Kodėl slankiems pasvarams maksimaliai nutolus nuo sukimosi ašies kampinis greitis lėtai ir

beveik tiesiškai mažėja?

7. Ar šiai sistemai sukantis galios mechaninės energijos tvermės dėsnis?

KIETOJO KŪNO SUKAMOJO JUDĖJIMO DINAMIKOS PAGRINDINIO DĖSNIO TIKRINIMAS

Darbo užduotis. Nustatyti kampinio pagreičio priklausomybę nuo kūną veikiančios jėgos

momento.

Teorinio pasirengimo klausimai. Kampinio greičio, kampinio pagreičio, jėgos momento ašies

atžvilgiu ir inercijos momento sąvokos. Sukamojo judėjimo dinamikos pagrindinis dėsnis.

Teorinė dalis. Nagrinėsime apie nejudančią ašį Oz besisukančio kietojo kūno judėjimą (1

pav.). Visi jo taškai brėžia apskritimus. Per laiką dt bet kurio materialaus taško spindulys R brėžia tą

*patį posūkio kampą dφ. Todėl visų jo taškų kampinis greitis*

ω = d φ

*d*

t (1)

yra vienodas. Vektorius ω о

nukreipiamas išilgai sukimosi ašies taip, kad iš jo galo žiūrint kūnas

sukasi prieš laikrodžio rodyklės judėjimo kryptį.

Kampinio greičio kitimo spartą apibūdina kampinis pagreitis

ε о

= d ω о

*d*

t . (2)

Sukimuisi greitėjant pokytis d ω о

, o tuo pačiu о ε

, nukreipti lygiagrečiai ω о

, lėtėjant – priešingomis

kryptimis.

Slenkančio kūno inertiškumą apibūdina jo masė. Atstumu R nuo sukimosi ašies esančio masės

m′ taško inertiškumą apibūdina inercijos momentas

*I z*

= m ′ 2R . (3) Kūno inercijos momentas yra lygus visų jo materialiųjų taškų inercijos momentų sumai.

Jėgos F о

poveikis, keičiantis besisukančio kūno judėjimą,

z

apibūdinamas jėgos momentu. Jėgos momentas M

z

ašies Oz

ω

atžvilgiu užrašomas taip:

dφ

*m*

*F*

*M*

z

=

F τ R ; (4) čia τ

– kūną veikiančios jėgos

о

projekcija sukimosi

O

*R*

*F*

τ

trajektorijos liestinėje (1 pav.), R – dydžio petys. Taigi dydis

*M*

*F F*

*F*

z

yra skaliaras, turintis modulį ir ženklą.

τ

1 pav.

2

Jei kūnui sukantis apie pastovią ašį jo inercijos momentas nesikeičia, tuomet pagrindinis

dinamikos dėsnis užrašomas taip:

ε = M

z I

z

(5)

*– kūno kampinis pagreitis tiesiog proporcingas ją veikiančios jėgos momentui ir atvirkščiai*

*proporcingas kūno inercijos momentui tos pačios ašies atžvilgiu.*

Darbo aprašymas. Darbo įrenginį sudaro stovas su vertikalia ašimi, ant kurios užmaunamas

plastmasinis diskas ir trijų skirtingo spindulio (R

1

, R

2

, R

3

) skriemulių sistema 1 (2 pav.).

6

1 A

OUT

3

4

2 pav.

Kiekviename jų įstatyti vieną siūlo galą laikantys smaigai. Ant kito, per skridinėlį 2 permesto, siūlo

galo kabinamas masės m

j

5

2

MODE

*t*

E,F

GATE

START STOP 0 B E F pasvarėlis 3. Jei trintis nedidelė, į ją nekreipsime dėmesio ir sistemos

sukimąsi lems pasvarėlio sunkio jėga F

= m j

g (čia nagrinėjamu atveju pasvarėlio pagreitis daug

mažesnis už g). Šios jėgos momentas sukimosi ašies atžvilgiu yra

*M*

z

j = m j gR ; (6) čia R – pasirinkto skriemulio spindulys. Keičiant pasvarėlius, keisime jėgos momentus. Tuomet šios

sistemos dinamikos lygtis (5) užrašoma taip:

*ε j = m j gR I*

z

1 +

I z 2 ; (7)

čia disko inercijos momentas I

z1

-3

kg⋅m

2

, skriemulių sistemos inercijos momentas I

*z2*

= 1,16⋅10-3 kg⋅m2.

= 1,4⋅10

3

Kampinio greičio, o tuo pačiu ir kampinio pagreičio nustatymui naudojama optinė apkaba 4 ir

laiko matavimo blokas 5. Vienoje apkabos šakoje įtaisytas infraraudonosios šviesos spinduolis,

kitoje – jos jutiklis. Prie besisukančio disko krašto pritaisyta kampinio pločio φ

0

= 10° (0,174 rad)

neskaidri juostelė 6. Diskui sukantis blokas 5 apskaičiuoja laiką t, per kurį juostelė jutikliui blokavo

šviesos signalą. Iš čia sukimosi kampinis greitis

ω = φ t

. (8)

Blokas 5 užprogramuotas taip, kad jis matuoja iš eilės keturias šviesos blokavimo trukmes:

milisekundėmis matuoja pradinę t

1

0

, apsisukus kampu 2π – trukmę t

2

, po 4π posūkio – trukmę t

3

ir

po 6π posūkio – blokavimo trukmę t

4

. Be to, jis sekundėmis matuoja pirmojo sūkio trukmę t

1→2

ir

pirmųjų dviejų sūkių bendrąją trukmę t

1→3

.

Sistemą veikia pastovi varos jėga, todėl ji sukasi greitėjančiai, t.y. su pastoviu kampiniu

pagreičiu. Iš čia, jei per laiką t kampinis greitis pakito nuo ω

0

iki ω, suvidurkintas šiam intervalui

kampinis pagreitis

ε = −ω

ω 0 t

. (9)

1. Į elektros tinklą įjungiame matavimo bloko 5 maitinimo blokelį, spaudinėjame mygtuką Mode

(Matuojamas dydis) iki užsidega indikatorius t

**EF**

. Jei laiko indikatorius rodo ne 0.000 ms,

spustelime mygtuką →0←. Matavimams paruoštame bloke ties mygtuku Stop šviečia

indikatorius. Optinę apkabą pastatome taip, kad, disko juostelei 4 praeinant pro ją užgestų

apkabos indikatorius.

2. Siūlą su mažiausiu svareliu užkabiname ant dėstytojo nurodyto skriemulio smaigo. Slankmačiu

išmatuojame skriemulio diametrą ir apskaičiuojame jo spindulį R. Pamažu sukdami sistemą

(ant skriemulio vyniodami siūlą) svarelį keliame kiek galima aukščiau tol, iki juostelė 6

atsiduria prie pat šviesos spindulio (truputį suktelėjus – gęsta apkabos indikatorius). Spustelėję

bloko 5 mygtuką Start kartu leidžiame sistemai suktis. Sistemai sukantis ir paeiliui užsidegus

laukų t

1

, t

1→2

, t

2

, t

1→3

, t

3

, t

4

indikatoriams, sukimąsi ranka sustabdome. Laiko trukmes

atskaitome švieslentėje. Ji rodo ryškiausiai šviečiančio indikatoriaus rodomo laiko trukmę.

Spustelėjus mygtuką t

**EF**

į švieslentę išvedama kito indikatoriaus rodomo laiko trukmė.

Užsirašydami laiko intervalų trukmes, neužmirškite pasižiūrėti, kokiais vienetais jos matuotos.

Tai parodo dešinėje švieslentės degantis indikatoriaus ms – milisekundės arba s – sekundės.

Matavimo rezultatus surašome į 1 lentelę.

4

1 lentelė

R = ....................... m

*m*

j

, kg t

1j

, s t

2j

, s t

3j

, s t

4j

, s t

(1→2) j

, s t

(1→3) j

, s

3. Masės didėjimo tvarka, 2-me punkte aprašytus veiksmus atliekame dar su trimis svareliais.

4. Pagal (8) visiems atvejams apskaičiuojame kampinio greičio vertes ir surašome į 2 lentelę. Čia

ω j0

= φ 0

t j1 = ω j1 .

2 lentelė

R = ....................... m

*m*

j

,

kg

*M*

zj

,

N⋅m

ω

1j

,

rad/s

ω

2j

,

rad/s

ω

3j

,

rad/s

ω

4j

,

rad/s

ε′

j

,

rad/s

ε′′

j

,

rad/s

<ε

j

>,

rad/s

ε

j

,

2

2

2

rad/s

2

Naudodami 1 lentelės ir 2 lentelės duomenis, pagal (9) apskaičiuojame pagreitį ε′

j

, (kai

*t = t*

(1→2) j

); ε′′

j

, (kai t = t

(1→3) j

) ir jų vidutinę vertę <ε

j

>. Pagal (7), idealiuoju atveju,

apskaičiuojame kampinio pagreičio „teorines” vertes ε

j

.

5. Vienoje koordinačių sistemoje brėžiame grafikus <ε

j

> = f (M

z

) ir ε

j

= f (M

z

). Kitoje koordinačių

sistemoje brėžiame keturis grafikus ω

j

= f (t). Juose atidedame kampinio greičio reikšmes ω

2j

ir

ω

3j

laiko momentais t

(1→2) j

ir t

(1→3) j

, t.y. sistemos kampinius greičius atitinkamai po vieno ir

dviejų pilnų sistemos apsisukimų. Kadangi sistema pradeda suktis iš rimties būsenos, visi šie

grafikai turi eiti per koordinačių sistemos pradžią.

Darome išvadas.

Baigę darbą išjungiame aparatūrą ir sutvarkome darbo vietą.

**Kontroliniai klausimai**

1. Paaiškinkite kampinio greičio ir pagreičio sąvokas.

2. Ką apibūdina inercijos momentas ir nuo ko jis priklauso?

3. Paaiškinkite jėgos momentą ašies atžvilgiu.

4. Paaiškinkite pagrindinį sukamojo judėjimo dinamikos dėsnį (kūnui sukantis apie nejudančią

ašį).

TVERMĖS DĖSNIŲ SUKAMAJAME JUDĖJIME TIKRINIMAS

Darbo užduotis. Nagrinėjant dviejų apie nejudančią ašį besisukančių kūnų tamprųjį susidūrimą

patikrinti judesio kiekio momento ir mechaninės energijos tvermės dėsnius.

Teorinio pasirengimo klausimai. Apie nejudančią ašį besisukančio kūno kampinio greičio

projekcija, inercijos momentas, judesio kiekio momentas, kinetinė energija. Sukamojo judėjimo

dinamikos pagrindinis dėsnis. Judesio kiekio momento ir mechaninės energijos tvermės dėsniai.

Teorinė dalis. Nagrinėsime apie nejudančią ašį Oz besisukančio kietojo kūno judėjimą. Visi jo

taškai brėžia apskritimus (1 pav.) ir juda tuo pačiu kampiniu greičiu ω о

. Šis vektorius nukreipiamas

išilgai sukimosi ašies taip, kad žiūrint iš jo galo kūnas sukasi prieš laikrodžio rodyklės judėjimo

kryptį. Jo projekcija ω ašyje Oz yra algebrinis dydis – 1 paveiksle parodytu atveju dydis ω > 0,

sukantis priešingai – ω < 0.

Kūnui slenkant, jo inertiškumą apibūdina kūno masė. Apie

ašį Oz besisukančio masės m ́ taško inertiškumą apibūdina

dydis

2RmI = ′ , (1)

vadinamas inercijos momentu ašies atžvilgiu. Taigi

materialiajam taškui sukantis apie ašį (ar svyruojant), jo

inertiškumas priklauso nuo masės ir atstumo R iki ašies

kvadrato. Besisukančio kūno inercijos momentas yra lygus

visų jo materialiųjų taškų inercijos momentų sumai. Įrodoma,

kad vienalyčio skritulio inercijos momentas jo geometrinės ašies atžvilgiu yra

2 2

z

ω

O

*R*

*m*

*F*

*F*

τ

1 pav.

*RmI = 1*

; (2)

čia m – skritulio masė, R – jo spindulys. Inercijos momento SI vienetas yra 1 kg·m

2

.

Sukamajame judėjime jėgos F о

poveikį kūnui apibūdina jėgos momentas. Jėgos momentas M

ašies Oz atžvilgiu yra algebrinis dydis ir užrašomas taip:

*RFM =*

τ

⋅ ; (3)

čia

τ

о

projekcija sukimosi trajektorijos liestinėje (1 pav.), R – dydžio

τ

F – kūną veikiančios jėgos F

F petys.

Greičiu v о

slenkantis masės m kūnas apibūdinamas judesio kiekiu mK о

= v о

. Apie nejudančią

ašį kampiniu greičiu ω besisukantis kūnas apibūdinamas judesio kiekio momentu ašies atžvilgiu

2

IL = ω ; (4)

čia I – to kūno inercijos momentas sukimosi ašies atžvilgiu. L – algebrinis dydis, jo ženklas sutampa

su kampinio greičio ω projekcijos ženklu.

Slenkančio kūno kinetinė energija 2vmE = 2 . Iš analogijos besisukančio kūno kinetinė

energija

E =

*I*

2ω⋅

2

. (5)

Sukamojo judėjimo dinamikos pagrindinis dėsnis formuluojamas taip: kūno judesio kiekio

*momento nejudamos ašies atžvilgiu kitimo greitis tiesiogiai proporcingas tą kūną veikiančių*

*išorinių jėgų momentui tos pačios ašies atžvilgiu. Matematiškai jis užrašomas taip:*

*d dt*

*( ω MI )*

= . (6)

Jei išorinių jėgų momentas M = 0, tai kūno (ar jų sistemos) judesio kiekio momentas nekinta:

*d dt*

( ω I

)

= 0 arba ω I = const . (7)

*Tai yra judesio kiekio momento tvermės dėsnis.*

Kūną ar jų sistemą veikiant tik potencialinėms jėgoms (pvz., gravitacinėms, tampriosioms,

*elektrostatinėms ir pan.) bendra mechaninė energija nekinta. Tai mechaninės energijos tvermės*

dėsnis. Sistemos, kuriose galioja mechaninės energijos tvermės dėsnis, vadinamos

*konservatyviosiomis.*

Principinė laboratorinio darbo aparatūros schema pavaizduota 2 paveiksle. Apie vertikalią ašį,

nepriklausomai vienas nuo kito gali suktis du vienodi skrituliai. Kiekvieno jų inercijos momentas

sukimosi ašies atžvilgiu II 1

= 2 = 101 ⋅ − 3

kg·m

2

. Skritulių kraštuose pritaisyti nedideli magnetai. Su

skrituliais besisukantiems magnetams suartėjant vienodais poliais imituojamas tamprusis

susidūrimas. Čia veikia tik vidinės (stūmos) jėgos, todėl kūnų sistemai turėtų galioti judesio kiekio

momento tvermės dėsnis

*LLLL 1*

+ 2 = 1 ′ + 2 ′ . (8)

Kairėje lygybės pusėje yra abiejų skritulių judesio kiekio momentų algebrinė suma prieš jiems

susiduriant, dešinėje – atitinkamai po susidūrimo.

Skrituliams tampriai susiduriant ir esant nereikšmingai trinčiai turėtų galioti ir mechaninės

energijos tvermės dėsnis

*EEEE 1*

+ 2 = 1 ′ + 2 ′ . (9)

Bandymo metu skritulių potencinė energija nesikeičia, todėl (9) lygybės kairėje yra abiejų skritulių

kinetinė energija prieš susiduriant, dešinėje – po susidūrimo.

3

Darbo aprašymas. Skritulių kampinio greičio projekcijos nustatymui optinėse apkabose 3 ir 4

(2 pav.) atitinkamai įtaisyti infraraudonosios šviesos šaltiniai ir jos jutikliai, o prie skritulių kraštų

pritvirtintos šiai šviesai neskaidrios juostelės 5 ir 6. Besisukant skrituliui juostelė apibrėžtą laiką

jutikliui blokuoja šią šviesą. Pagal šį laiką duomenų apdorojimo blokas 7 ir kompiuteris

apskaičiuoja skritulio kampinio greičio projekcijos modulį, o jos ženklu įvertina sukimosi kryptį.

Kompiuteris užprogramuotas taip, kad kiekvieno

skritulio greitį matuoja tik du kartus – prieš jų

susidūrimą ir po susidūrimo, t.y. kairiuoju jutikliu

nustačius dydžius ω

1

ir ω

1

′, o dešiniuoju – ω

2

ir

ω

2

′, matavimai automatiškai nutraukiami.

Dydžiai ω

1

ir ω

2

′ dėl vienodos sukimosi krypties

rodomi kaip teigiami, atitinkamai dydžiai ω

1

′ ir

ω

2

– kaip neigiami. Taigi po susidūrimo

kiekvieno skritulio kampinio greičio projekcijos

ženklas pasikeičia į priešingą. Kai į programą

būna įvesti ir skritulių inercijos momentai I

1

bei I

2

, kompiuteris apskaičiuoja kiekvieno skritulio

judesio kiekio momentus, kinetines energijas bei jų sumines vertes. Baigus eksperimentinę darbo

dalį, aktyvuojant laikrodžio ikoną, kompiuteris ekrane pateikia bandymo rezultatus.

1. Įjungiame kompiuterį ir bloko 7 maitinimo šaltinį. Kompiuteris turi rodyti programų meniu ir

turi šviesti prietaisų 3, 4 ir 7 šviesos diodai. Optinių apkabų 3 ir 4 atstumą nuo skritulių ašies

parenkame taip, kad jų šviesos diodai nereaguotų į magnetų laikiklius, o reaguotų tik į juosteles

(joms uždengus infraraudonąjį spindulį, diodai užgestų).

2. Du kartus spragteldami kairiuoju pelės klavišu ikoną Sukamasis judėjimas, įjungiame

eksperimento rezultatų apdorojimo programą. Ekrano centre pasirodžiusį langą Settings

(Nustatymai) uždarome pelės kairiuoju klavišu sužadindami simbolį x dešiniajame viršutiniame

jo kampe. Vieną kartą spragteldami pelės kairiuoju klavišu sužadiname indikuojamą rodmenį –

Angular velocity (Kampinis greitis). Tai atlikus, ekrane turi pasirodyti vaizdas, pateiktas 3

paveiksle. Jei jo eilutėje 1 matyti ankstesnio eksperimento rezultatai, juos pašaliname. Tam

pele valdomą rodyklę perstumiame į baltą lauką apatinėje ekrano pusėje ir spragtelime dešinįjį

pelės klavišą. Ekrane atidarytoje lentelėje žymekliu pasirinkę eilutę Delete Last Measurement

Series (Naikinti paskutinę matavimų seriją), spustelime dešinįjį pelės klavišą (rodomame lange

n raide pažymėtas eksperimento eilės numeris).

7

3 5

1

4

2

6

2 pav.

Eilutė 1

3 pav.

3. Pasukame abu diskus taip, kad prieš pradedant eksperimentą jų juodos juostelės būtų

nukreiptos į eksperimentatorių. Vieną kartą spragtelėdami pelės kairįjį klavišą aktyviname

laikrodžio ikoną. Jeigu eilutėje 1 matyti ankstesnių matavimų rezultatai, juos pašaliname iš

kompiuterio atminties 2 punkte nurodytu būdu.

4. Paėmę už juostelių, apytiksliai iš vidurinės padėties vienu metu ir maždaug vienodu greičiu abu

skritulius lengvai suktelime į priešingas puses taip, kad jiems sukantis juostelės kirstų optines

apkabas, o po magnetų „susidūrimo” pro tuos pačius jutiklius grįžtų atgal. Jei taip padaryti

nepavyko, bandymą kartojame, prieš tai atlikę 3-ojo punkto operacijas. Matavimo rezultatai

stebimi atskiruose langeliuose ω

1

; ω

2

; ω

1

′; ω

2

′. Dar kartą pele aktyvinant laikrodžio ikoną, jie

perkeliami į kompiuterio ekrane stebimą eilutę 1. Užsirašę kampinių greičių vertes, pelės

kairiuoju klavišu aktyviname Angular Momentum (Judesio kiekio momentai) ir užsirašome

šių dydžių vertes L

1

, L

2

, L′

1

bei L′

2

. Jų ženklus gretiname su projekcijos ω i

ženklu.

Aktyvinę Total Angular Momentum – užrašome sistemos sumines dydžių L ir L′ vertes prieš

susidūrimą ir po tampraus susidūrimo.

Aktyvinę Energy – užrašome kinetinės energijos E

1

, E

2

, E′

1

bei E′

2

vertes.

Aktyvinę Total Energy – užrašome suminę abiejų diskų kinetinę energiją E prieš susidūrimą ir

E′ – po susidūrimo.

Aktyvinę Energy Loss – užrašome gautąjį mechaninės energijos procentinį sumažėjimą

(nuostolius) dėl to, kad reali kūną veikianti sistema nėra idealiai konservatyvi.

5. Visus iš ekrano perrašytus dydžius išreiškę SI vienetais, algebriškai tikriname (8) ir (9) dėsnių

galiojimą. Taip gautas vertes gretiname su kompiuterio apskaičiuotomis suminėmis vertėmis ir

darome išvadas.

6. Baigę eksperimentus išjungiame programą. Tam kairiuoju pelės klavišu spustelime simbolį x

viršutiniame dešiniajame ekrano kampe. Atsidariusiame lange Save Changes? (Ar išsaugoti

pakeitimus) aktyviname mygtuką No (Ne). Po to aktyviname ikoną Start. Atsidariusiame lange

4

5

pasirenkame komandą Shut Down Windows, esant pažymėtai pirmai eilutei Shut Down the

Computer (Išjungti kompiuterį) – pele spragtelime klavišą Yes (Taip). Ekrane turi atsirasti

užrašas „Dabar galite saugiai išjungti kompiuterį”.

7. Išjungiame aparatūros maitinimą.

**Kontroliniai klausimai**

1. Paaiškinkite kampinio greičio projekcijos, inercijos momento, judesio kiekio momento ašies

atžvilgiu ir jėgos momento ašies atžvilgiu sąvokas.

2. Suformuluokite pagrindinį sukamojo judėjimo dinamikos dėsnį.

3. Kada galioja judesio kiekio momento tvermės dėsnis?

4. Kada galioja mechaninės energijos tvermės dėsnis?

HEIGENSO IR ŠTEINERIO TEOREMOS TIKRINIMAS SUKAMAJA SVYRUOKLE

Darbo užduotis. Iš sukamosios svyruoklės periodo matavimų apskaičiuoti jos inercijos

momentą bei ištirti jo kitimą svyravimų ašies atžvilgiu keičiant papildomų pasvarų padėtį.

Eksperimentiškai patikrinti tiek adityvumo principą kūnų sistemos inercijos momentui, tiek

Heigenso ir Šteinerio teoremą.

Teorinio pasirengimo klausimai. Inercijos momento fizikinė prasmė ir skaičiavimas.

Heigenso ir Šteinerio teorema. Sukamieji svyravimai, jų periodo priklausomybė nuo svyruoklės

parametrų.

Teorinė dalis. Sukamai svyruojančios svyruoklės inertiškumą apibūdina jos inercijos

momentas I

*z*

konkrečios ašies atžvilgiu. Jis priklauso nuo svyruojančios sistemos masės ir jos

pasiskirstymo sukimosi ašies Oz atžvilgiu. Taškinio m masės kūno, nuo svyravimų (arba sukimosi)

ašies nutolusio atstumu R, inercijos momentas yra lygus

*I*

*z*

*= mR*

2

. (1)

Jei sistema susideda iš erdvėje pasiskirsčiusių kūnų ar jų dalių, jos inercijos momentas gali būti

skaičiuojamas taikant adityvumo principą, t.y. teiginį, kad iš daugelio kūnų susidedančios sistemos

*inercijos momentas lygus tų kūnų inercijos momentų sumai, t.y.*

*I*

=

*∑ n I i =*

1

; (2)

čia I

*zi*

z zi – i-jo kūno inercijos momentas. Taisyklingos formos kūno inercijos momentą žinomos ašies

atžvilgiu kartais patogiau apskaičiuoti integruojant

*I*

*z*

= ∫ ρ r 2 d V ; (3)

*V*

čia ρ – kūno masės tankis, dV – elementarus tūrio elementas, kurio masė lygi ρ dV, r – šio tūrio

elemento atstumas iki sukimosi ašies.

Kietojo kūno inercijos momentas I

*z*

visada nusakomas konkrečios ašies Oz atžvilgiu. Keičiant

ašies padėtį kūno atžvilgiu, bendruoju atveju I

*z*

taip pat keičiasi. Masės m kūno inercijos momentą

ašies, einančios per jo masių centrą, atžvilgiu pažymėkime I

*c*

. Tuomet to paties kūno inercijos

momentą naujos ašies, lygiagrečios pirmajai ir nuo jos nutolusiai dydžiu l, atžvilgiu galima

apskaičiuoti pagal Heigenso ir Šteinerio teoremą:

*I*

*z*

= I c + 2im . (4)

z

*d*

*i*

φ

O

1 pav.

Šiame darbe naudojama 1 paveiksle pavaizduota sukamoji svyruoklė. Nagrinėdami svyruoklę

trinties nepaisysime. Tuomet jos judėjimą aprašo diferencialinė lygtis

= d

2

d

*t*

= − φ φ

*k*

; (5)

čia M

*z*

*M*

*z*

*I z 2*

– jėgų momentas Oz ašies atžvilgiu, I

*z*

– svyruojančios sistemos inercijos momentas tos

pačios ašies atžvilgiu, φ – posūkio kampas, t – laikas, k – spyruoklės standumo koeficientas:

*k = M*

*z φ*

. Lygtyje (5) minuso ženklas matematiškai užrašo teiginį, kad iš pusiausvyros išvestą

svyruoklę visuomet veikia tokios krypties jėgos, kurios stengiasi ją grąžinti į pusiausvyros padėtį.

Lygtį (5) tenkina sprendinys

φ = φ m cos ( ω 0

*t*

+ α )

; (6)

čia dydis

ω

0

*= k I*

*z*

*vadinamas svyravimų savuoju cikliniu dažniu, α – pradine svyravimų faze.*

*Svyravimų periodas*

T = ω 2

π

0

=

2

π I

*z k*

. (7)

Iš lygybės (7) išplaukia, kad

2

=

4

π

2

*z*

z ; (8)

čia

*k*

*T k*

*I*

*= C I C*

= 4π

2 – svyruoklės spyruoklę apibūdinanti konstanta. Žinodami jos vertę ir eksperimentiškai

nustatę svyravimų periodą T, apskaičiuojame sistemos inercijos momentą I

*z*

.

2

3

Teoriškai įrodoma, kad vienalyčio strypo inercijos momentas ašies Oz, statmenos jo išilginei

ašiai ir einančios per jo masių centrą, atžvilgiu

12 I 0

= m

0

i 2

0 ; (9)

čia m

0

– strypo masė, l

0

– jo ilgis.

Svyruoklę (1 pav.) sudaro masės m

0

= 0,1305 kg bei ilgio l

0

strypas ir du vienodos masės m

*p*

=

0,237 kg pasvarai. Bandymo metu jų masių centrų atstumą d

*i*

iki ašies keičiame, bet abiem

pasvarams jis turi būti vienodas. Remiantis sistemos inercijos momento adityvumo principu bei

Heigenso ir Šteinerio teorema, tokios sistemos inercijos momentas ašies Oz atžvilgiu yra

*I z*

= I 0

+ 2

*I c + 2 m p ⋅ d i 2*

; (10)

čia I

*c*

= 4,02∙10-5 kg∙m2 – pasvaro inercijos momentas ašies, einančios per jo masių centrą, atžvilgiu.

(10) mes neįvertinome sistemos centrinio mazgo inercijos momento, nes jis žymiai mažesnis už

visus kitus šios lygties dėmenis.

**Darbo aprašymas**

1. Liniuote išmatavę svyruoklės strypo ilgį l

0

, apskaičiuojame jo inercijos momentą I

0

ašies,

einančios per jo masių centrą, atžvilgiu. Rezultatus surašome į 1 lentelę.

1 lentelė

Svyruoklės strypo parametrai

Ilgis l

0

, m

Masė m

0

, kg

Strypo inercijos momentas I

0

, kg⋅m2 0,1305

Svyruoklės slankaus pasvaro parametrai

Masė m

*p*

, kg

Slankaus pasvaro inercijos momentas ašies, einančios per jo masių

centrą, atžvilgiu I

*c*

, kg⋅m2 0,237 4,02∙10-5

2. Nuimame nuo strypo papildomus pasvarus. Užsukę svyruoklę, leidžiame jai svyruoti. Išmatavę

N = 5÷10 pilnų svyravimų trukmę t

0

, apskaičiuojame svyravimų periodą T

0

= t

0

/N.

3. Pagal (8) apskaičiuojame svyruoklės konstantą C. Šiuo atveju svyruoklės inercijos momentas

*I*

*z*

= I 0

randamas pagal (9) formulę.

4. Slankių pasvarų, simetriškai ašies atžvilgiu užmaunamų ant strypo (žr. 1 pav.), masių centrų

padėtį fiksuojame ties galinėmis strypo įrantomis. Išmatuojame atstumą 2d

1

tarp pasvarų

centrų. Užsukę svyruoklę, leidžiame jai svyruoti ir, išmatavę N = 5÷10 svyravimų trukmę t , apskaičiuojame svyravimų periodą T. Šiai pasvarų padėčiai apskaičiuojame sistemos inercijos

momentą tiek pagal (8), tiek pagal (10) formules (pastarąjį vadinsime teoriniu I

*zt*

).

4

5. Slankius pasvarus artindami prie svyravimų ašies ir simetriškai jos atžvilgiu fiksuodami

kiekvienoje kitoje įrantoje, pakartojame 4 punkte aprašytus matavimus ir skaičiavimus. Taip

matuojame iki artimiausios ašiai pasvarų fiksavimo padėties. Visus skaičiavimų rezultatus

surašome į 2 lentelę.

2 lentelė

*i d*

*i*

*, m N t*

*i*

, s T

*i*

, s C I

*zt*

, kg⋅m2 I

*zi*

, kg⋅m2 1. Be pasvarų 2. 3. 4. 5. 6. 7.

6. Tikriname Heigenso ir Šteinerio teoremą. Tam (10) užrašę dviem skirtingiems pasvarų

nuotoliams d

*i*

ir d

*j*

, iš didesnės vertės I

*zi*

atėmę mažesnę I

*zj*

(galiojant Heigenso ir Šteinerio

teoremai) gauname

*I zi*

− I zj = 2

*m p ( d i 2 − d 2 j )*

. (11)

Dėstytojo nurodytiems i ir j atvejams tikriname, ar (10) lygybė galioja.

Gretindami šį rezultatą bei 2 lentelės dviejų paskutinių skilčių vertes, darome išvadas.

**Kontroliniai klausimai**

1. Nuo ko priklauso apie ašį besisukančio kūno inertiškumas?

2. Ką teigia Heigenso ir Šteinerio teorema ?

3. Ką teigia adityvumo principas ?

4. Kaip priklauso svyruoklės periodas nuo jos inercijos momento ?

5. Ką vadiname harmoninių svyravimų periodu, dažniu, cikliniu dažniu? Kokiais vienetais šie

dydžiai matuojami?

7. FIZINĖS SVYRUOKLĖS SVYRAVIMŲ TYRIMAS

Darbo užduotis. Susipažinti su fizinės ir matematinės svyruoklės svyravimo dėsningumais ir

nustatyti kūnų laisvojo kritimo pagreitį.

Teorinio pasirengimo klausimai. Fizinė svyruoklė. Matematinė svyruoklė. Sukamasis

momentas. Inercijos momentas. Harmoninių svyravimų lygtis. Fizinės svyruoklės svyravimo

periodas.

*Teorinė dalis. Fizine svyruokle vadinamas bet koks*

*kietasis kūnas, galintis svyruoti apie nejudamą*

*horizontalią ašį gravitacijos lauke (1 pav.). Tokios*

svyruoklės nukrypimas nuo pastoviosios pusiausvyros

padėties OA apibūdinamas nuokrypio kampu φ.

Svyruoklei nukrypus į dešinę, φ laikomas teigiamu,

nukrypus į kairę – neigiamu. Svyravimai vyksta veikiant

sunkio jėgos dedamajai , kurios modulis

. F

O

C

A

z

*M*

−= F 1

L ≈ − gm L φ ; (1) 1 pav.

čia L – grąžinančiosios jėgos petys. Minuso ženklas

rašomas grąžinančiosios jėgos projekcijos F

1

φ

*L r*

*L*

*F*

1

*F*

2

*m g*

O

*m*

о

1

= sin

φ g о

*F*

1

*F*

*gm 1*

vadinamas grąžinančiąja jėga. Kai

nuokrypiai yra maži (sin φ ≈ φ), tuomet grąžinančioji jėga

tiesiog proporcinga nuokrypiui nuo pusiausvyros padėties

( F

1

≈ gm φ ). Jos momentas svyravimų ašies atžvilgiu φ

suderinimui su nuokrypio kampo φ ženklu. Mažais

kampais svyruojančiai svyruoklei pritaikius sukamojo judėjimo dinamikos pagrindinį dėsnį

M =

*I z*

ε⋅ ,

gaunama tokia jos svyravimus aprašanti diferencialinė lygtis

d

2

φ d

*t*

−=

*m*

*g L φ z*

, arba d d

2

*t*

2 φ

+

*m*

*g z*

L φ = 0

; (2)

čia ε=

2

*I*

*I*

d

2

φ d

*t*

2

– svyruoklės kampinis pagreitis, o I

*z*

– jos inercijos momentas svyravimo ašies Oz,

statmenos brėžinio plokštumai, atžvilgiu. Iš (2) išplaukia tokia fizinės svyruoklės savojo ciklinio

dažnio išraiška

2

ω

0

= m

*g L I z*

. (3)

Iš čia jos savasis svyravimų periodas

T = ω 2

π

0

*I m g L =*

2

π z . (4)

Masės m ilgio L matematinės svyruoklės inercijos momentas

*I*

*z*

*= Lm 2*

, todėl iš (4) jos svyravimų

periodas

T = 2 π L g

. (5)

Pabrėžtina, kad (3), (4) ir (5) formulės teisingos tik mažiems svyravimų kampams (sin φ ≈ φ).

Fizinės svyruoklės periodo formulėje (4), ilgio dimensiją turintį dydį

*I*

*z*

*( m ⋅ L )*

pažymėję L

*r*

,

ją perrašome taip

*T*

= 2 π L

*r g*

. (4a)

Dydį L

*r*

vadina fizinės svyruoklės redukuotuoju ilgiu. (4a) formulės pavidalas identiškas

matematinės svyruoklės periodui (5). Iš čia išplaukia, kad fizinės svyruoklės periodas yra lygus

periodui tokios matematinės svyruoklės, kurios ilgis

*L = L r*

.

Nuo svyruoklės pakabinimo taško O atstumu L

*r*

nutolęs taškas O′ (1 pav.) vadinamas fizinės

svyruoklės svyravimo centru. Galima įrodyti, kad jei svyruoklę apversdami perkelsime svyravimo

ašį Oz iš taško O į O′, jos svyravimo periodas nesikeis. Taigi, bandymu nustačius fizinės svyruoklės

svyravimo centrą O′, randame jos redukuotąjį ilgį ir, dar išmatavę svyravimo periodą, iš (4a)

apskaičiuojame laisvojo kritimo pagreitį.

Darbo aprašymas. Naudosime fizinę ir matematinę svyruokles (2 pav.). Fizinę svyruoklę

sudaro metalinis strypas 1, du masyvūs diskai 2 ir dvi svyruoklės pakabinimo prizmės 3. Šitokią

svyruoklę galima apversti, todėl ji vadinama apverčiamąja. Diskų ir pakabinimo prizmių padėtį tam

tikru intervalu galima keisti. Svyravimus skaičiuoja skaitiklis. Jį sudaro įtaise 4 įtaisyta lemputė su

fotodiodu ir skaitmeninis prietaisas 5. Kai svyruojanti svyruoklė užstoja lemputę, fotodiodas

suformuoja signalą, kurį registruoja skaitmeninis prietaisas. Taigi paleidus svyruoklę, skaitiklis

automatiškai fiksuoja svyravimų skaičių n (indikatorius 7) ir svyravimų laiką t (indikatorius 8).

Prietaiso maitinimas įjungiamas mygtuku 9 – „Tinklas”. Nuspaudus mygtuką 10 – „Numetimas”,

nutrinami indikatorių 7 ir 8 rodmenys ir, svyruoklei pirmą kartą pereinant pusiausvyros padėtį,

skaitiklis pradeda skaičiuoti svyravimų skaičių bei matuoti jų laiką. Matuoti baigiame, nuspaudus

mygtuką 11 – „Stop”.

3

1. Bandymui paruošiame fizinę svyruoklę. Tam diskus tvirtiname nesimetriškai strypo galų

atžvilgiu: vieną – arti strypo galo, kitą – arti strypo vidurio. Svyruoklių pakabinimo prizmių

briaunas nukreipiame vieną prieš kitą (2 pav.) ir įtvirtiname taip, kad tarp jų būtų svyruoklės

masės centras.

2. Svyruoklę kabiname laikiklyje 6 ant prizmės,

esančios prie strypo galo (2 pav.). Svyruoklę

atlenkę 3÷5° kampu, išmatuojame n = 10÷15

svyravimų trukmę t ir apskaičiuojame periodą

*T = t n .*

3 6

1

3

5

7

8 2 pav.

2

3. Svyruoklę apverčiame kabindami ant kitos prizmės

ir jau aprašytu būdu nustatome svyravimo periodą

2 T ′. Atsižvelgdami į T ir T ′ vertes, bandymais

vienos iš prizmių padėtį vis keičiame taip, kol

apverčiamosios svyruoklės svyravimo periodai T ′ ir

T sutaps ne mažesniu kaip 99% tikslumu. Tuomet

išmatuojame nuotolį tarp prizmių briaunų, t.y.

redukuotąjį svyruoklės ilgį L

*r*

4

.

4. Apskaičiuojame T ir T ′ aritmetinį vidurkį bei

laisvojo kritimo pagreitį.

Matavimo ir skaičiavimo rezultatus surašome 1

lentelėje.

1 lentelė

*n*

*i*

9 10 11

*t*

*i*

, s T

*i*

, s n

*i*

′ , s L

*r*

, m < T > , s g , m/s2

5. Aprašytu būdu nustatome matematinės svyruoklės periodą T, kurios ilgis L lygus redukuotajam

fizinės svyruoklės ilgiui L

*r*

′ t

*i*

′ , s T

*i*

(matematinės svyruoklės rutuliuko centras turi sutapti su optinio

daviklio ašimi). Matavimus kartojame 5÷7 kartus, skaičiuojame periodo aritmetinį vidurkį ir jį

gretiname su fizinės svyruoklės periodu.

Matavimo ir skaičiavimų rezultatus surašome 2 lentelėje.

2 lentelė

L , m n

*i*

*t*

*i*

, s T

*i*

, s < T > , s g , m/s2

4

**Kontroliniai klausimai**

1. Ar visada teisinga (4) formulė ?

2. Kam būtų lygus svyravimų periodas, jei pakabinimo ašis eitų per masės centrą ?

3. Ar matematinei svyruoklei tinka fizinės svyruoklės svyravimo dėsniai ?

4. Kodėl eksperimentus reikia atlikti esant mažiems svyruoklių nuokrypiams ?

1

INERCIJOS MOMENTO NUSTATYMAS SUKAMĄJA SVYRUOKLE

Darbo užduotis. Sukamąja svyruokle ištirti stačiakampio gretasienio kūno pagrindinius

inercijos momentus.

Teorinio pasirengimo klausimai. Kūno inercijos momentas. Heigenso ir Šteinerio teorema.

Laisvosios ašys. Pagrindiniai inercijos momentai. Sukamųjų harmoninių svyravimų periodas.

Teorinė dalis. Sukamajame judėjime kūno inertiškumas priklauso nuo fizikinio dydžio,

*vadinamo inercijos momentu. Šis dydis yra kūno inertiškumo matas, kai judėjimas yra sukamasis*

*arba svyruojamasis. Atstumu r*

*i*

nuo sukimosi ašies nutolusio masės m

*i*

materialiojo taško inercijos

momentas išreiškiamas taip:

*I zi*

=

*m i r i 2*

. (1)

Jei laikysime, kad kūnas sudarytas iš N materialiųjų taškų, jo inercijos momentą ašies Oz atžvilgiu

galima apskaičiuoti taip:

*I z*

=

*∑ N*

*m i*

*r i 2*

. (2) i

=

1

Kietojo kūno inercijos momentas I

*z*

visada nusakomas konkrečios ašies atžvilgiu. Keičiant ašį,

dydis I

*z*

bendruoju atveju taip pat keičiasi. Masės m kūno inercijos momentą ašies, einančios per jo

masės centrą, atžvilgiu pažymėkime I

*c*

. Tuomet to paties kūno inercijos momentą atžvilgiu naujos

ašies, lygiagrečios pirmajai ir nuo jos nutolusiai dydžiu i, apskaičiuojame pagal Heigenso ir

Šteinerio teoremą:

*I*

*z*

=

I c + im 2

. (3)

z

Ašys, apie kurias laisvai sukasi (išorinių jėgų

neveikiamas) kūnas, vadinasi laisvosiomis ašimis.

Tokį sukimąsi iš inercijos vadiname laisvuoju.

Galima įrodyti, kad bet kokios formos kūnui

O

y egzistuoja trys tarpusavyje statmenos ir einančios

per masės centrą ašys, kurios gali būti laisvosiomis

ašimis. Jos vadinamos pagrindinėmis inercijos

x

ašimis. Jų atžvilgiu nustatyti inercijos momentai

vadinami pagrindiniais. Vienalyčio stačiakampio

1 pav.

gretasienio formos kūno (1 pav.) pagrindinės ašys

Ox, Oy ir Oz eina pro sienų centrus. Tačiau toks kūnas laisvai sukasi tik apie dvi tarpusavyje

2

statmenas laisvąsias ašis, kurių atžvilgiu kūno pagrindiniai inercijos momentai yra ekstremalūs, t.y.

didžiausias ir mažiausias.

Sukamųjų harmoningų svyravimų periodas

T = 2 π I

*k z*

; (4)

čia I z

– s

istemos inercijos momentas svyravimų ašies atžvilgiu, dydis k priklauso nuo vielos

tampriųjų savybių ir matmenų.

Darbo aprašymas. Naudojamo įrenginio

i r svarbiausi elementai pavaizduoti 2 paveiksle.

6 6

Pagrindinė jo dalis yra ant plieninės vielos

pakabintas rėmelis 1. Tiriamajam kūnui 2

3 pritvirtinti naudojama judama sija 3. Ant

plieninės plokštelės pritaisytas

1

elektromagnetas, laikiklyje 4 – fotojutiklis.

4

2

Pastarasis sujungtas su milisekundometru. Jais

matuojamas rėmelio svyravimų skaičius ir jų

5 trukmė. Posūkio kampas nustatomas pagal

kampų skalę 5. Kampo dydis reguliuojamas

keičiant elektromagneto padėtį.

Stačiakampio gretasienio

*pagrindiniams*

2 pav.

inercijos momentams nustatyti reikia žinoti

paties rėmelio 1 inercijos momentą I

*z*

. Tam nu

statome neapkrauto rėmelio sukamųjų svyravimų

periodą.

*T*

1

= 2

π I

*z k*

. (5)

Tuomet apkrauto vienodu nuotoliu i nuo svyravimų ašies nutolusiais vienodos masės m ritiniais 6

(2 pav.) rėmelio svyravimo periodas

*T*

2

= 2

π I

*z*

*+ I zr k*

; (6)

čia I

*zr*

– abiejų ritinių inercijos momentas svyravimų ašies atžvilgiu. Jis pagal Heigenso ir Šteinerio

teoremą lygus

*I*

*zr*

=

2 ⎛ │ ⎝

1 2

*rm 2*

+ im 2 ⎞ │ ⎠

; (7)

3

čia pirmasis dėmuo yra vieno ritinio inercijos mome ntas jo sim etrijos ašies atžvilgiu, r – ritinio

spindulys, i – atstumas nuo ritinio 6 ašies iki rėmelio sukimosi ašies.

Iš (5) ir (6) eliminavus dydį k, gaunama rėmelio inercijos momento išraiška

*I*

*z*

*= I zr T*

1

2

*T*

2

2

-

*T 1*

2

.

(8)

Žinan t rėmelio inercijos momentą, galim a nustatyti kūno inercijos momentą. Tam nuė

mę

ritinius, rėmelyje reikiamu būdu įtvirtiname tiriamąjį kūną ir nustatome sistemos sukamųjų

svyravimų periodą

*k T 3*

= 2

π I

*z*

+

I ; (9)

čia I – k ūno inercijos momentas svyravimų ašie

s atžvilgiu. Iš (5) bei (9) išreiškiame I ir,

pasinaudoję (7) ir (8) išraiškomis, gauname

*I*

=

*I z*

*T*

3

2

-

*T 1*

2

*T*

1

2

=

*I*

*zr T*

3

2

*T*

-

*T 1*

2

2

2

-

*T 1*

2

=

*m*

( r 2

+ 2

i 2 )

*T T*

3 2 2

2

- -

*T 1*

2

*T 1*

2

. (10)

Įreng

inio valdymo bei matavimų blokas parodytas 3 paveiksle.

Mygtuku „Tinklas” – 1 įjungiamas matavimo blokas (mygtukas 3

turi būti nuspaustas). Rėmelis pasukamas apie ašį tiek, kad

elektromagnetas pritrauktų inkarą. Trumpam nuspaudus mygtukus

„Stop” – 4 ir „Numetimas” – 2, darbui paruošiame skaitiklius

matuoti – svyravimų skaičiui 5 ir svyravimo trukmei 6. Paspaudus

mygtuką „Paleidimas” – 3, išjungiamas elektromagnetas ir

paleidžiami skaitikliai. Kai svyravimų skaitiklis 5 rodo n-1 įvyk

usį me

mygtuką „Stop” – 4, tuomet, pasibaigus n-jam svyravimui, skai

tikliai automatiškai sustoja.

Svyravimų periodas T = t/n, čia t yra n svyravimų trukmė.

1. Išmatuojame ritinio masę m ir įvertiname jos nustatymo paklaidą Δm. Slankmačiu išmatavę

ritinio skersmenį d, apskaičiuojame jo spindulį r = d/2 ir į

vertiname Δr.

5 6

1 2 3 4

3 pav.

svyravimą, paspaudžia

2. Slankmačiu matuodami atstumą 2i, nustatome ant rėmelio uždėto ritinio centro nuotolį i iki

svyravimų ašies ir įvertiname Δi.

3. Išmatuojame neapkrauto rėmelio n ≅ 20 svyravimų trukmę t

1

, apskaičiuojame svyravimų

periodą T

1

bei paklaidą ∆

*T 1*

= ∆ t n; čia Δt – svyravimo trukmės paklaida.

4. Ant rėmelio iešmelių uždėję du ritinius, tuo pat būdu nustatome svyravimo periodą T

2

bei ΔT

2

.

5. Nuimame ritinius ir spe cialiais va ržtais rėmelyje tiriamąjį kūną tvirtiname

taip, kad viena jo

laisvoji ašis (1 pav.) sutaptų su svyravimų ašimi ir, išmatavę svyravimų periodą T

31

,

apskaičiuojame atitinkamą kūno pagrindinį inercijos momentą. Toliau atitinkamai kūną

4

pasukdami nustatome du kitus kūno pagrindinius inercijos momentus. Atkreipiame dėmesį,

kurių ašių atžvilgiu jie yra ekstremalūs.

Matavimų ir skaičiavimo rezultatus patogu surašyti lentelėje.

m ± Δm = ............ kg ; r ± Δr =.................

m ; i ± Δ i = ................ m ; n = .........

i 1 2 3

1

3

2

3

3

*t i*

, s

*T*

*i*

, s

Pagrindiniai inercijos momentai

**Kontr**

**oliniai klausimai**

1

. Ką apibūdina kūno inercijos momentas ?

2 . Ar inercijos momentas yr

a vienareikšmiška to kūno inertiškumo charakteristika ?

3

. Kokią kūnų sistemos inercijos momento savybę vadiname adiatyvumu ?

4. Kodėl, matuojant svyravimo periodą, rėme

lio posūkio kampas turi būti nedidelis ?

**1 MAKSVELIO SVYRUOKLĖS INERCIJOS MOMENTAS**

Darbo užduotis. Remiantis Maksvelio svyruoklės judėjimu, nustatyti jos inercijos momentą bei ją veikiančią trinties jėgą.

Teorinio pasirengimo klausimai. Slenkamojo judėjimo pagrindinės kinematinės lygtys. Mechaninės energijos tvermės dėsnis. Inercijos momentas. Sukamojo judėjimo dinamikos pagrindinis dėsnis.

Teorinė dalis. Kai kūnas, kuris gali suktis apie ašį, yra veikiamas išorinių jėgų, jis sukasi kampiniu pagreičiu

ε =

*M*

*z I*

*z*

; (1)

čia M

*z*

– atstojamasis išorinių jėgų momentas sukimosi ašies atžvilgiu, I

*z*

– kūno inercijos momentas tos ašies atžvilgiu. Ši lygtis yra kūno sukamojo judėjimo dinamikos pagrindinio dėsnio atvejis. Iš jo matyti, kad kūno inercijos momentas sukamajame judėjime apibūdina jo inertiškumą.

Masės m materialiojo taško inercijos momentas ašies atžvilgiu

*I z*

=

*mR*

2 ; (2) čia R – jo atstumas iki sukimosi ašies. Jei laikysime, kad kietasis kūnas sudarytas iš N materialiųjų taškų, tai jo inercijos momentą ašies atžvilgiu galime išreikšti taip:

*I z m i*

R . (3) i =

*∑ N*

2

=

1

*i*

Kietojo kūno inercijos momentas visada nusakomas konkrečios ašies atžvilgiu. Inercijos momentui tinka adityvumo principas: kūnų sistemos inercijos momentas I

*z*

yra lygus ją sudarančių kūnų inercijos momentų sumai, t.y.

*I z = I z 1 + I z 2 + I*

*z*

3

+

 . (4) Maksvelio svyruoklę sudaro ant dvisiūlės pakabos pakabintas diskas 1, kurio centre įtvirtinta ašis (1 pav.). Šitokios laisvai pakabintos masės m sistemos potencinę energiją laikysime lygia nuliui. Užvyniojus siūlus ant disko ašies, sistemos masės centras dydžiu h pakyla aukštyn ir sistemos potencinė energija W = mgh . Paleista svyruoklė dėl Žemės gravitacijos leidžiasi žemyn, o po to, paveikta tamprumo jėgų, atsiradusių dėl tamprių pakabos siūlų deformacijos, - kyla aukštyn. Jei nebūtų trinties ir deformacija būtų absoliučiai tampri, mechaninė energija nekistų, galiotų mechaninės energijos tvermės dėsnis, ir svyruoklė judėtų amžinai. Realiai taip nėra: pakabos siūlai trinasi į velenėlio ašį, judančią sistemą veikia oro klampa, ir siūlų deformacija nėra absoliučiai tampri. Dėl to vyksta Pagreičiu

mechaninės a  nukreipta įtemptos energijos disipacija (sklaida), t.y. virsmas žemyn besileidžiančią dvisiūlės pakabos suminė masės jėga

m kūnų T 

vidine energija. sistemą bei trinties veikia jėga

sunkio F 

*tr*

jėga mg 

ir priešingai (1 pav.). Pagal antrąjį Niutono dėsnį

*ma = mg - T - F*

*tr*

. Žemyn besileidžianti sistema, veikiama T + F tr

įtemptų = m ( g - siūlų a

) ir trinties jėgų atstojamosios

, (5a) sukasi apie momentinę horizontaliąją ašį. Jos atžvilgiu šių jėgų momentas M z = ( T + F tr

*) R = m ( g - a*

) R ; (6) čia R – jų petys. Jį laikysime lygiu velenėlio 1 spindulio R

*v*

ir siūlo spindulio R

*s*

sumai. Iš (1) ir (6), sistemos inercijos momentas

*I*

*z*

=

*m ( g -*

*a )*

R ε

. (7)

2 Taigi, nustatę dydžius a, ε ir R, apskaičiuojame I

*z*

. Pirmuosius jų išreiškime tiesiogiai matuojamais dydžiais.

Svyruoklė žemyn leidžiasi tolygiai greitėdama, todėl pagreitis

*a*

2

*h t*

2

; (8)

čia t – laikas, per kurį svyruoklė nusileidžia žemyn dydžiu h.

Nuo spindulio R

*v*

=

velenėlio nusivyniojančio siūlo taškų tangentinis pagreitis a τ

=

*R*

*v*

ε lygus žemėjimo pagreičiui a, todėl kampinis pagreitis

ε = R a v =

2

*h*

*R v*

*t*

2

. (9)

Įrašę (8) ir (9) į (7) lygtį, gauname

*I*

*z*

=

1 4

*mD 2*

⎛ │ │ ⎝

*gt*

2

2 h

- 1

⎞ │ │ ⎠

. (10)

Ieškosime pakabos siūlų ir velenėlio atstojamosios trinties jėgos F

*tr*

. Masės m svyruoklė, nusileidusi dydžiu h, dėl mechaninės energijos sklaidos, po to pakyla į mažesnį aukštį h

1

. Iš čia seka, kad vieno judėjimo ciklo metu sistemos mechaninė energija sumažėja dydžiu mg (

h -

*h 1*

)

. Jei energijos sklaidos pagrindinė

4

priežastis yra trinties jėgos atliktas darbas

*A F tr*

*( h h*

)

, tuomet apytiksliai

( ) ( )

= +

1

1

*F*

*tr*

*h + h ≈ gm h - h F tr ≈ gm*

( h +

Stendas veikia taip. Nuspaudžiame fiksatoriaus troselį ir užfiksuojame varžteliu. (Nenaudoti didelės jėgos). Ant disko ašies, vija prie vijos, vienu sluoksniu pagal laikrodžio rodyklę suvyniojame pakabos siūlus, svyruoklę fiksuojame viršutinėje padėtyje fiksatoriaus troselio antgaliu. Laiko matavimo įrangą įjungiame į elektros tinklą. Operacinę modą reikia pastatyti į

padėtį

1

1 ir

*h*

-

*h 1*

*) h 1*

. (Fiksatorius)

(11) 5

Darbo aprašymas. Bendra matavimo stendo schema parodyta 1 paveiksle. Prie pagrindo 2 pritvirtinti trys vertikalūs strypai 3, prie kurių pritvirtintas viršutinis kronšteinas 4. Prie kronšteino pritvirtinami siūlai. Prie vieno iš strypų tvirtinamas disko fiksatorius 5. Apačioje pritvirtintas laikmatis 6.

3

6

2

. Nuspaudžiame laikmačio mygtuką „Set“. 1. Sudarome lentelę matavimų rezultatams registruoti.

1 lentelė

1 pav.

m = 0,436 kg; R

*V*

= 2,5 mm; D = 5 mm,

*h = n – n*

0

) , m.

*t*

*i*

, m; < h

1

> = h – (< n

1

> – n

0

, s < t >, s n

*i*

, m < n >, m a, m/ s2

ε, s–2

*F*

*tr*

, kg∙m2

2. Nuspaudžiame fiksatoriaus troselį ir užfiksuojame varžteliu. 3. Užsirašome svyruoklės pradinę padėtį n

0

. 4. Pakeliame Maksvelio svyruoklę į viršų ir fiksuojame jos padėtį n. 5. Nuspaudžiame laikmačio mygtuką „Set“.

, N I

*z*

3 6. Atlaisviname fiksatoriaus varžtelį, svyruoklė leidžiasi žemyn. 7. Kai tik svyruoklė pasieks žemiausią tašką, staigiai nuspaudžiame fiksatoriaus troselį ir varžteliu

užfiksuojame. 8. Laikmatis parodys nusileidimo laiką t. 9. Svyruoklės nusileidimo laiką matuojame dar keturis kartus ir apskaičiuojame nusileidimo laiko

*aritmetinį vidurkį < t >. Kiekvieną kartą įtvirtinus svyruoklę viršutinėje padėtyje nuspaudžiame mygtuką „Set“ ir kai svyruoklė pasiekia žemiausią tašką, staigiai nuspaudžiame fiksatoriaus troselį ir užfiksuojame varžteliu. Tik tuomet laikmatis parodys laiką. 10. Kiekvieną kartą stebime ir pažymime pirmąjį pakilimo aukštį n. Tai galima atlikti ir atskirai*

nematuojant laiko. 11. Pagal gautuosius duomenis apskaičiuojame a, ε, I

*z*

ir F

*tr*

.

Kontroliniai klausimai 1. Paaiškinkite antrąjį Niutono dėsnį slenkamajam ir sukamajam judėjimui. 2. Paaiškinkite inercijos momento ir jėgos momento sąvokas. 3. Kokie energijos virsmai įvyksta per vieną svyruoklės judėjimo ciklą? 4. Ką reiškia „inercijos momento adityvumo” sąvoka ? 5. Kada galiotų mechaninės energijos tvermės dėsnis ?

Literatūra: 1. Tamašauskas A. Fizika. – Vilnius: Mokslas, 1987. – 1d. – 224 p. 2. Javorskis B. ir kt. Fizikos kursas. – Vilnius: Mintis, 1970. – 1d. – 388 p. 3. Ambrasas V. ir Jasiulionis B. Mechanika, molekulinė fizika ir termodinamika. – Kaunas:

Technologija, 2007. – 59 p.

1

6. MAKSVELIO SVYRUOKLĖS INERCIJOS MOMENTAS

Darbo užduotis. Remiantis Maksvelio svyruoklės judėjimu, nustatyti jos inercijos momentą

bei ją veikiančią trinties jėgą.

Teorinio pasirengimo klausimai. Slenkamojo judėjimo pagrindinės kinematinės lygtys.

Mechaninės energijos tvermės dėsnis. Inercijos momentas. Sukamojo judėjimo dinamikos

pagrindinis dėsnis.

Teorinė dalis. Kai kūnas, kuris gali suktis apie ašį, yra veikiamas išorinių jėgų, jis sukasi

kampiniu pagreičiu

ε =

*M*

*z I*

*z*

; (1)

čia M

*z*

– atstojamasis išorinių jėgų momentas sukimosi ašies atžvilgiu, I

*z*

– kūno inercijos momentas

*tos ašies atžvilgiu. Ši lygtis yra kūno sukamojo judėjimo dinamikos pagrindinio dėsnio atvejis. Iš jo*

matyti, kad kūno inercijos momentas sukamajame judėjime apibūdina jo inertiškumą.

Masės m materialiojo taško inercijos momentas ašies atžvilgiu

*I z*

=

*mR*

2 ; (2) čia R – jo atstumas iki sukimosi ašies. Jei laikysime, kad kietasis kūnas sudarytas iš N materialiųjų

taškų, tai jo inercijos momentą ašies atžvilgiu galime išreikšti taip:

*I z m i*

R . (3) i =

*∑ N*

2

=

1

*i*

Kietojo kūno inercijos momentas visada nusakomas konkrečios ašies atžvilgiu. Inercijos momentui

tinka adityvumo principas: kūnų sistemos inercijos momentas I

*z*

yra lygus ją sudarančių kūnų

inercijos momentų sumai, t.y.

*I z = I z 1 + I z 2 + I*

*z*

3

+

 . (4)

Maksvelio svyruoklę sudaro ant dvisiūlės pakabos pakabintas velenėlis 1 (1 pav.) su standžiai

užmautu ritinėliu 2, ant kurio dar užmautas masyvus metalinis žiedas 3. Kūnų masė yra žinoma.

Šitokios laisvai pakabintos masės m sistemos potencinę energiją laikysime lygia nuliui. Užvyniojus

siūlus ant velenėlio, sistemos masės centras dydžiu h pakyla aukštyn ir sistemos potencinė energija

W = mg h . Paleista svyruoklė dėl Žemės gravitacijos leidžiasi žemyn, o po to, paveikta tamprumo

jėgų, atsiradusių dėl tamprių pakabos siūlų deformacijos, - kyla aukštyn. Jei nebūtų trinties ir

deformacija būtų absoliučiai tampri, mechaninė energija nekistų, galiotų mechaninės energijos

tvermės dėsnis, ir svyruoklė judėtų amžinai. Realiai taip nėra: pakabos siūlai trinasi į velenėlį,

2

judančią sistemą veikia oro klampa, ir siūlų deformacija nėra absoliučiai tampri. Dėl to vyksta

mechaninės energijos disipacija (sklaida), t.y. virsmas vidine energija.

Pagreičiu

a 

*žemyn*

*besileidžiančią masės m kūnų*

sistemą veikia sunkio jėga mg

4

*ma mg T F*

*tr*



ir

priešingai nukreiptos įtemptos

dvisiūlės pakabos suminė jėga

T 

bei

trinties jėga

F 

*tr*

(1 pav.). Pagal

antrąjį Niutono dėsnį

= - - . (5)

Žemyn besileidžianti sistema,

*T + F*

*tr*

veikiama įtemptų siūlų ir trinties jėgų

2 3 atstojamosios

z

z

*T + F tr*

= m ( g -

*a*

)

, (5a)

1

sukasi apie momentinę horizontaliąją

*mg*

5

ašį zz′. Jos atžvilgiu šių jėgų

1 pav. momentas

*M z = ( T + F tr*

*) R = m ( g - a*

) R ; (6)

čia R – jų petys. Jį laikysime lygiu velenėlio 1 spindulio R

*v*

ir siūlo spindulio R

*s*

sumai. Iš (1) ir (6),

ašies zz′ atžvilgiu sistemos inercijos momentas

*I*

*z*

=

*m ( g -*

*a )*

R ε

. (7)

Taigi nustatę dydžius a, ε ir R, apskaičiuojame I

*z*

. Pirmuosius jų išreiškime tiesiogiai matuojamais

dydžiais.

Svyruoklė žemyn leidžiasi tolygiai greitėdama, todėl pagreitis

*a*

=

2

*h t*

2

; (8)

čia t – laikas, per kurį svyruoklė nusileidžia žemyn dydžiu h.

Nuo spindulio R

*v*

velenėlio nusivyniojančio siūlo taškų tangentinis pagreitis a τ

=

*R*

*v*

ε lygus

žemėjimo pagreičiui a, todėl kampinis pagreitis

ε = R a

*v*

=

2

*h*

*R v*

*t*

2

. (9)

3

Ieškosime pakabos siūlų ir velenėlio atstojamosios trinties jėgos F

*tr*

. Masės m svyruoklė,

nusileidusi dydžiu h, dėl mechaninės energijos sklaidos, po to pakyla į mažesnį aukštį h

1

. Iš čia

išplaukia, kad vieno judėjimo ciklo metu sistemos mechaninė energija sumažėja dydžiu mg (

h -

*h 1*

)

. Jei energijos sklaidos pagrindinė priežastis yra trinties jėgos atliktas darbas

A =

*F tr*

(

*h*

+

*h 1*

)

, tuomet apytiksliai

*F*

*tr*

*( h + h 1*

*) ≈ gm ( h - h 1 )*

ir

*F tr ≈ gm h ( h +*

-

*h 1*

*) h 1*

. (10)

Darbo aprašymas. Darbe naudojama Maksvelio svyruoklė su elektrine valdymo ir laiko

matavimo įranga į elektros tinklą įjungiama mygtuku „Tinklas”. Viršutiniame laikiklyje 4 įtaisytas

elektromagnetas ir fotoelektrinis jutiklis, apatiniame 5 – fotoelektrinis jutiklis. Elektromagnetas

valdomas mygtuku „Paleidimas” – vieną kartą jį nuspaudus elektromagnetas įjungiamas, o kitą

kartą jį spaudžiant – išjungiamas, ir paleidžiamas elektroninis sekundometras. Pastarąjį sustabdo

antrasis jutiklis jį pasiekus svyruoklei. Jo rodmenis nutriname nuspausdami mygtuką „Numetimas”.

1. Apskaičiuojame svyruoklės masę

*r*

*ž ;*

čia

*r*

*ž m =*

*m v + m + m m*

*v*

, m , m – atitinkamai velenėlio, ritinėlio ir dėstytojo nurodyto žiedo masės.

Mikrometru išmatuojame velenėlio, slankmačiu – ritinėlio išorinį skersmenį D

*v*

ir D

*r2*

bei žiedo

vidinį D

*ž 1*

ir išorinį D

*ž 2*

skersmenis.

Ant ritinėlio užmovę žiedą, pagal patogiai pasirinktą judrios sistemos žymę ir stovo skalę,

pažymime jos apatinės padėties padalą n .

Ant velenėlio, vija prie vijos, vienu sluoksniu suvynioję pakabos siūlus, svyruoklę

elektromagnetu fiksuojame viršutinėje padėtyje. Pagal minėtą žymę skalėje atskaitome padalą

*n*

0

. Tuomet svyruoklės nusileidimo kelias h = n – n

0

.

Mikrometru išmatuojame velenėlio su siūlu skersmenį D

*v*

′ ir apskaičiuojame jėgų momento

petį R ≈ D

*v*

′ / 2. Visus šiuos duomenis surašome į iš anksto paruoštas lenteles.

1 lentelė

m = .......... , kg; R = ......... , m; h = n – n

0

> – n

0

) = ............ , m.

*t*

*i*

= ............. , m; < h

1

> = h – (< n

1

, s < t > n

*i*

, mm < n > a, m/ s2

ε, s–2

*F*

*tr*

, N I

*z*

, kg∙m2

4

2 lentelė

*m*

*v*

= .............. , kg

*D*

*v*

*m*

*ž*

= ................. , kg m

*r*

= ................. , kg

*D*

*ž 1*

= ............... , m = D

*r 1*

= ....... , m

*D*

*r 2*

= ................ , m

*D*

*ž 2*

= ................. , m

Velenėlio I

*v*

, kg∙m2

Ritinėlio I

*r*

, kg∙m2

Žiedo I

*ž*

, , kg∙m2

*I*

*z*

= I

*v*

+ I

*r*

+ I

*ž*

, kg∙m2

*I*

*z*

, kg∙m2

2. Išjungę elektromagnetą, stebime ir pažymime pakartotinai pakilusios svyruoklės padėtį n

1

bei

žemėjimo trukmę t. Tai pakartoję dar 4 kartus, apskaičiuojame šių dydžių vidutines vertes: < t

> bei < n

1

> ir pirmojo pakilimo vidutinį kelią < h

1

> = h – (< n

1

> – n

0

). Pagal gautuosius

duomenis apskaičiuojame a, ε, I

*z*

ir F

*tr*

.

3. Sistemos inercijos momentą dar apskaičiuojame naudodami jam tinkantį adityvumo principą

((4) formulė).

Velenėlio inercijos momentas

I v = 2 1

*m v R v 2 =*

8 1

*m v*

*D*

*v*

2

. (11)

Žiedo inercijos momentas

*I ž*

=

8 1

m ž (

*D ž 1*

2

+ D ž 2

2

)

. (12)

Pagal formulę

*I r*

=

1 8

*m r ( D v*

2

+ D r 2

2

)

(13)

skaičiuojamas tuščiavidurio ritinio inercijos momentas I

*r*

*.*

**Kontroliniai klausimai**

1. Kokie energijos virsmai įvyksta per vieną svyruoklės judėjimo ciklą ?

2. Kokiam judėjimui taikoma (1) lygtis ?

3. Ką apibūdina kūno inercijos momentas ?

4. Ką reiškia „inercijos momento adityvumo” sąvoka ?

5. Kada galiotų mechaninės energijos tvermės dėsnis ?

6. Kodėl svyruoklės judėjimo laiką matuojame kelis kartus, o skersmenis – tik vieną kartą ?

1

SPYRUOKLINĖS SVYRUOKLĖS SVYRAVIMŲ TYRIMAS

Darbo užduotis. Nustatyti tampriųjų harmoninių svyravimų periodo priklausomybę nuo

svyruoklės masės ir spyruoklės tamprumo koeficiento.

Teorinio pasirengimo klausimai. Harmoniniai svyravimai. Jų diferencialinė lygtis.

Harmoningai svyruojančio kūno greitis, pagreitis, jį grąžinanti tamprumo jėga. Tampriųjų

harmoninių svyravimų periodas.

Teorinė dalis. Nagrinėsime tampriuosius harmoninius svyravimus.

Svyravimų sistemą sudaro 1 paveiksle pavaizduota įtvirtinta tampri

spyruoklė su masės m apkrova. Pastaroji spyruoklę ištempia tiek, kad

apkrovos sunkio jėgą kompensuoja dėl spyruoklės deformacijos

susidariusi tamprumo jėga, ir sistema yra pastoviosios pusiausvyros

būsenoje. Svyruoklę paveikus išorine jėga, kūnelio padėtį pusiausvyros

padėties atžvilgiu ašyje 0s aprašome nuokrypiu, kuris lygus ilgio

i spyruoklės deformacijos dydžiui s. Kai nuokrypis s << i, tuomet dėl

spyruoklės deformacijos susidariusiai, į pusiausvyros padėtį nukreiptai

grąžinančiajai jėgai F galioja Huko dėsnis – jėga tiesiog proporcinga

*nuokrypiui, t.y.*

i

F =

- k s ; (1) 1 pav.

čia teigiamas dydis k vadinamas spyruoklės tamprumo koeficientu. Jis

apibrėžiamas iš formulės

*s*

0

*m*

s

*s*

*k = F*

,

*t.y. skaitine verte lygus grąžinančiajai jėgai, kai spyruoklės deformacijos dydis s lygus vienetui. Jo*

vertė priklauso nuo spyruokl

ės matmenų ir medžiagos. Ženklas „-“ formulėje (1) įrašytas jėgos

projekcijos ženklui nusakyti.

Taigi svyruoklę nedaug patempus žemyn ir atleidus, dėl grąžinančios jėgos vyks tamprieji

svyravimai. Jei grąžinančioji jėga aprašoma (1) lygtimi, tai svyravimus vad

*iname harmoniniais.*

Tuomet pastovios masės m sistemai pritaikę antrąjį Niutono dėsnį, gauname:

*a*

*s*

= - k

*m*

*s ,*

arba

d

2

s d

*t*

2

+ ω 0 2

*s*

= 0

; (2)

2

čia

*a*

*s*

= d

2

s d

*t*

2

– svyruojančio kūno pagreičio projekcija, o teigiamas dydis

*k m*

pažymėtas ω

0 2

. (2)

yra harmoninių svyravimų diferencialinė lygtis. Ją tenkina daliniai sprendiniai

*s*

1

= s m

cos ( ω 0 t + φ 01 ) bei s 2 = s m sin ( ω 0 t + φ 02 )

; (3)

čia s

*m*

– nuokrypio amplitudė,

( ω 0

t + φ 01 ) bei ( ω 0 t + φ 02 )

– svyravimo fazė, φ

01

bei φ

02

*– pradinė*

fazė. Dydis

ω

0

*= k m*

(4)

yra tampriųjų svyravimų ciklinis dažnis. Iš čia tampriųjų svyravimų periodas

T = ω 2

π

0

=

2

*π m k*

. (5)

Pasinaudoję (3) lygčių sistemos, pavyzdžiui, pirmąja išraiška, svyruojančio kūno greičio projekcija

ašyje 0s

*v s*

= d

s d

*t*

= - s

*m ω 0*

sin

( ω 0 t + φ 01 )

, (6)

pagreičio projekcija –

*a*

*s*

= d

*v*

*s d*

*t*

= - s

*m*

ω 0 2

cos

( ω 0

t + φ 01 )

, (7)

grąžinančiosios jėgos projekcija –

*F*

= - k s = - k s m

cos ( ω 0

t φ+ 01 )

. (8)

Taigi, kaip matome (3), (6), (7) ir (8) formulėse, kai grąžinančioji jėga F = - k s , tuomet nuokrypis,

greitis, pagreitis ir pati grąžinančioji jėga kinta harmoniniu (sinuso ar kosinuso) dėsniu, todėl ir

svyravimai vadinami harmoniniais.

Darbo aprašymas. Tirsime tris svyravimų sistemas, kurias sudaro skirtingą tamprumo

koeficientą turinčios tampriosios spyruoklės. Pagal (5) lygtį tokios svyruoklės svyravimo periodas

T ~ m k , čia k – spyruoklės tamprumo koeficientas, m – svyruojančiojo kūno masė (tiksliai

skaičiuojant periodą prie kūno masės reikėtų pridėti trečdalį spyruoklės masės).

1. Kiekvienai spyruoklei nustatome tamprumo koeficientą. Tam veidrodyje pagal laisvai pasirinktą

spyruoklės atžymą fiksuojame pradinį spyruoklės ilgį n

0

. Spyruoklę apkrovę masės m

1

svareliu,

t.y. sunkio jėga P

1

=

m 1 g , išmatuojame naują spyruoklės ilgį n

1

ir pailgėjimą s 1

= n 1 - n 0 .

Sunkio jėgą P

1

atsveria tamprumo jėga F

1

, t. y. modulis P

1

= F

1

. Taip darome dar 4 kartus, vis

didindami apkrovą P

*i*

, kiekvieną kartą apskaičiuodami pailgėjimą

*s*

*i*

= n i - n 0

ir apkrovos

3

2. Nustatome svyruoklės periodo priklausomybę nuo apkrovos masės. Tam dėstytojo nurodytą

spyruoklę apkrauname masės m

1

svareliu ir, timptelėję 30 mm, išmatavę N = 20-30 svyravimų

laiką t, apskaičiuojame svyravimo periodą T = t N . Tai pakartojame dar 4 kartus vis didindami

apkrovą. Kiekvienai apkrovai svyravimų periodą apskaičiuojame ir pagal (5) formulę.

Priklausomybes T nuo m pavaizduojame toje pačioje koordinačių sistemoje grafikais

*T 2*

=

f ( m ) . Matavimų ir skaičiavimų rezultatus surašome į 2 lentelę.

2 lentelė

Spyr. Nr. j m

*i*

*T*

*j*

= 2 π m

, s

3. Eksperimentiškai nustatome svyruoklės periodo priklausomybę nuo tamprumo koeficiento k.

Tam, paeiliui kiekvieną spyruoklę apkraudami ta pačia dėstytojo nurodyta apkrova m, 2-ame

punkte aprašytu būdu, kiekvienai jų nustatome svyravimo periodą. Juos apskaičiuojame ir pagal

(5) formulę. Priklausomybes toje pačioje koordinačių sistemoje, pavaizduojame grafikais

*T f ( 1*

*k )*

, kg N t

*i*

, s T

*ji*

, s

*k*

2

= .

3

jėgą atsveriančią tamprumo jėgą F

*i*

. Kiekvienai

spyruoklei ( j = 1, 2, 3 ) brėžiame priklausomybę

*f ( s )*

(2 pav.). Kai deformacijos mažos (galioja

Huko dėsnis), tai ji bus tiesinė. Iš grafikų tiesinės

dalies nustatę dydį s atitinkančią jėgą F,

apskaičiuojame kiekvienos spyruoklės tamprumo

koeficientą

F

*s*

F =

*k*

*j*

F s 0 s

2 pav.

Spyr. Nr. j m

*i*

*F*

= .

Matavimų ir skaičiavimų rezultatus surašome į 1

lentelę.

1 lentelė

, N/m

1

, kg F

*i*

= P

*i*

= m

*i*

g, N n

*j 0*

, mm n

*i*

, mm s

*i*

= n

*j 0*

- n

*i*

, m F , N s, m k

*j*

4

**Kontroliniai klausimai**

1. Kokiu atveju tamprieji svyravimai yra harmoniniai ?

2. Ką apibūdina tamprumo koeficientas ?

3. Kodėl tamprumo koeficientą tikslinga nustatyti iš grafiko, o ne iš pavienio matavimo ?

4. Kodėl tikslinga brėžti grafikus

*T 2 = f ( m )*

ir

*T 2*

= f ( 1

*k )*

, o ne

*T = f ( m )*

ir

*T = f ( k )*

?

**1 SLOPINAMŲJŲ SVYRAVIMŲ TYRIMAS**

Darbo užduotis. Nustatyti savųjų svyravimų periodą T

*0*

ir dažnį ω

*0*

, nustatyti slopinamųjų svyravimų

periodą T

*1*

ir kampinį dažnį ω esant skirtingoms slopinimo koeficiento δ vertėms, apskaičiuoti relaksacijos

laiko τ ir logaritminio slopinimo dekremento Λ vertes.

Teorinio pasirengimo klausimai. Harmoniniai svyravimai ir jų pagrindinės charakteristikos:

amplitudė, fazė, periodas ir dažnis. Harmoninio svyravimo diferencialinė lygtis. Slopinamieji svyravimai:

jų diferencialinė lygtis ir pagrindiniai parametrai.

Teorinė dalis. Sakykime, kad koks nors kūnas, sujungtas spiraline spyruokle su nejudančiu kūnu

(atrama), gali suktis aplink tam tikrą ašį. Pasukus tokį kūną tam tikru kampu ir paleidus, jis pradės

svyruoti. Tokie svyravimai vadinami sukamaisiais, o pati sistema – sukamąja svyruokle (Polio svyruokle).

Pasukus tokią svyruoklę iš pusiausvyros padėties, esant stangriai spyruoklei, sukeliamas elastingumo jėgų

momentas M

*0*

, kuris siekia grąžinti svyruoklę į pusiausvyros padėtį. Pagal Huko dėsnį

*M 0*

= - kα ; čia α yra užsukimo kampas, k – spyruoklės tamprumo koeficientas. Neigiamas ženklas parodo, kad šis

momentas yra priešingas svyruoklę užsukusių jėgų momentui.

Tegu svyruoklės neveikia jokios kitos jėgos. Tuomet pagal sukamojo judėjimo antrąjį Niutono

dėsnį

*I d*

2

*α dt*

2

= - k

α (1)

čia I – inercijos momentas.

Jeigu iš pradžių svyruoklės užsukimo kampas α = 0 , tai šios lygties atskirasis sprendinys bus toks:

0 0

;

A = A sin ω t ;

čia

ω 0

=

*k I*

.

Taigi svyruoklė svyruoja harmoningai. Dydis ω

*0*

*vadinamas savuoju svyruojančios sistemos dažniu, o*

dydis

*T*

0

= 2

π ω

0

*– savųjų svyravimų periodu. Jis yra lygus:*

*T*

0

=

*2 π I k*

.

2 Tačiau, svyruoklei svyruojant, visada veikia tam tikras trinties jėgos momentas

*M 1*

, proporcingas

kampiniam greičiui

*d*

*α dt*

, atseit

*M 1*

= - r

*d*

*dt α*

;

čia r

– terpės pasipriešinimo koeficientas. Neigiamas ženklas rodo, kad šis momentas stabdo svyravimus.

Atsižvelgus į trintį, lygtį (1) reikės išreikšti taip:

*I d*

2 α dt 2

= - k α - r

*d dt α*

(2)

Šios lygties sprendinys

0

.

A = A e - δ ω t (3)

Šiuo atveju svyravimų dažnis

2 2 1 0

*t*

sin 1 . ω = ω - δ , o

δ =

2 r

*I*

.

Iš lygties (3) matyti, kad svyravimų amplitudė

*A 0*

e δ- t , laikui bėgant, mažėja, svyravimai slopsta. Dydį δ

vadiname slopinimo koeficientu. Dažnai slopinamieji svyravimai apibūdinami logaritminiu slopinimo

dekrementu Λ, kuris nusakomas dviejų gretimų tos pačios krypties amplitudžių santykio natūriniu

logaritmu. Vadinasi,

Λ = ln A n

*A n*

+

= ln A e

-

δ

*t*

*A e*

- δ t +

*T*

1

= ln A e -

δ

*T 1*

= δ

*T*

1

.

(4)

Pažymėkime raide τ laikotarpį, per kurį svyravimų amplitudė sumažėja e kartų. Tada

0 ;

0

( ) 0 1 0

*A A τ*

= e δτ

=

*e*

iš čia δτ = 1 , arba

δ

= τ 1

. Vadinasi, slopinimo koeficientas δ yra fizikinis dydis, atvirkščias laiko tarpui

τ , per kurį amplitudė sumažėja e kartų. Laikas τ vadinamas relaksacijos laiku. Sakykime, kad N yra

skaičius svyravimų, po kurių amplitudė sumažėja e kartų. Tada τ = N ∙ T 1 , Λ = δ

*T*

1

= T τ 1

=

1 N

.

Vadinasi, logaritminis slopinimo dekrementas Λ yra fizikinis dydis, atvirkščias svyravimų skaičiui N, po

kurių amplitudė sumažėja e kartų.

Esant slopinimui, svyravimų periodas

3

*T*

1

=

ω 0

2 2 2

π -

δ . Sakykime, kad šalia minėtų momentų svyruoklę veikia dar ir periodinis priverčiančiosios jėgos

momentas

*M 2*

= M ∙ tω čia ω - priverčiančiosios jėgos dažnis.

Pagal antrąjį sukamojo judėjimo dinamikos dėsnį visų momentų suma turi būti lygi sistemos inercijos

momento I ir jos kampinio pagreičio

*a*

sin ,

α

sandaugai, todėl

2

2

*d*

2

*dt*

2

*I d*

*dt α = M a*

∙ sin ω t - k α - r

*d dt α*

.

(5)

Šiuo atveju svyruoklės svyravimas susidės iš savųjų ir priverstinių svyravimų. Tačiau po kurio laiko

savieji svyravimai bus nuslopinti ir išnyks, liks tik priverstiniai svyravimai. Šiuo atveju

*A = A 0*

∙ sin ( tω + φ )

; (6)

čia

*tg*

φ

= -

*r I*

ω ω 0

2 -

ω

2

,

(7)

o

*A*

0 =

*M*

( ω 0

2 - ω

2

)

2

*a*

+

⎛ │ ⎝ r I ω

⎞ │ ⎠

2

. (8)

Svyruoklė svyruoja priverčiančiosios jėgos dažniu ω, tačiau svyravimų fazė nebesutampa su tos jėgos

faze. Be to, iš (8) matyti, kad svyravimo amplitudė priklauso nuo priverčiančiosios jėgos dažnio, bet

nepriklauso nuo laiko, t. y. svyravimai neslopinami. Esant tam tikram dažniui

*ω rez*

, amplitudė pasidaro

didžiausia. Šį reiškinį vadiname rezonansu. Iš amplitudės maksimumo sąlygos randame rezonansinį dažnį.

Išdiferencijavę A

0

pagal ω ir gautą reiškinį prilyginę nuliui, gauname:

*ω rez*

= ω 0 2 - 2 r I

2

2

= ω 0 2

- 2 δ 2 .

(9)

Kai slopinimas yra nežymus, 2 δ 2 〈〈

ω 0 2

, todėl apytikriai ω rez

ω= 0 , t. y. rezonansinis dažnis sutampa su

savųjų svyravimų dažniu. Kuo mažesnis slopinimas, tuo didesnė rezonansinė amplitudė. Kai slopinimas

didelis, rezonansas yra neryškus.

4 Darbo aprašymas. Matavimo įrenginys pavaizduotas 1 pav. Polio švytuoklę (1 pav.) sudaro plieninis

plokščias žiedas (1), turintis sukimosi ašį, ir plokščia spyruoklė (2), grąžinanti žiedą į pusiausvyros padėtį.

Pavara (3) jungia ekscentriką (4) su elektros varikliu (5).

1

2

1. Atliekame bandymą, kai nėra slopinimo (elektromagnetas neįjungtas). Polio švytuoklę atlenkiame

nedideliu kampu (<10 padalų ) ir paleidžiame svyruoti. Iš eilės pasižymime visus didžiausius svyruoklės

pasisukimus A (padalų skaičių) į vieną pusę. Nustatę sekundometru 5 svyravimų trukmę, apskaičiuojame

*T*

*0*

7

5

3

4

6

1 pav.

. Matavimus pakartojame 2 kartus, esant skirtingoms pradinėms amplitudėms. Rezultatus surašome į 1

lentelę ir brėžiame grafiką ln A =

f ( t ) . 2. Atliekame bandymą esant slopinimui. Įjungiame srovės šaltinį. Srovės šaltinio srovės stiprio

reguliavimo rankenėlę nustatome į kraštinę kairiąją, o U-į vidurinę padėtį. Įjungiame srovės matavimo

prietaisą ir pasirenkame 20 A matavimo ribą.

Naudotini srovės stiprio dydžiai nurodyti lentelėje. Atliekame visus matavimus, išvardintus 1 punkte ir užpildome 2 lentelę. Brėžiame grafiką ln A = f ( t ) . Surandame logaritminį slopinimo dekrementą.

Logaritminį dekrementą apskaičiuojame iš tokios formulės:

ln Λ = A 1 A 2 + ln A 2 A 3 + ln A 3 A 4 4 4

5 1

5 +

ln

*A A =*

1 4

ln A A

.

Pasinaudoją formule (4), apskaičiuojame slopinimo koeficientą.

5 1 lentelė. Matavimų rezultatai.

Bandymo

Nr.

Svyravimų

Kampinis

skaičius

Periodo vidurkis

dažnis < T

0

A lnA

0 1.

2.

..

.

5.

1.

2.

.

.

5.

2 lentelė. Matavimų rezultatai.

Srovės

stipris

Laikas, s Periodas T

0,

s

>, s

ω = 2

π T

,

*1 s*

Svyravimų

Periodas

Periodo vidurkis

Kampinis dažnis skaičius

T

1,

< T

1

1

A lnA δ Λ

I

1

Laikas, s

s

>, s

ω = 2 T

π

, 1 s 1.

=0,35 A

2.

...

5.

I

2

1.

=0,4 A

2.

...

5.

**Kontroliniai klausimai**

1. Užrašykite laisvųjų harmoninių svyravimų diferencialinę lygtį ir jos sprendinį.

2. Užrašykite slopinamųjų svyravimų diferencialinę lygtį ir jos sprendinį (analizinė ir grafinė išraiškos).

3. Kokia yra logaritminio dekremento ir slopinimo koeficiento fizikinė prasmė?

4. Kas yra relaksacijos laikas ir ką jis parodo?

Literatūra 1. Tamašauskas A. Fizika. – Vilnius: Mokslas, 1987. - T.1. P.112. 2. Ambrasas V., Jasiulionis B. Mechanika, molekulinė fizika ir termodinamika. – Kaunas:

Technologija, 2008.–P.165. 3. Javorskis B., Detlafas A. Fizikos kursas. – Vilnius: Mintis, 1970. - T.1. - P. 167.

12. STYGOS SVYRAVIMŲ TYRIMAS

Darbo užduotis. Taikant stovinčiąsias bangas, ištirti stygos savųjų dažnių ir skersinių bangų

sklidimo fazinio greičio priklausomybę nuo stygą tempiančios jėgos.

Teorinio pasirengimo klausimai. Vienmatės bangos lygtis. Stovinčiosios bangos. Jų

susidarymas ribotų matmenų stygoje. Stygos savųjų dažnių priklausymas nuo jos įtempimo.

Teorinė dalis. Neriboto ilgio stygoje Ox kryptimi sklindančios bangos lygtis yra

*s*

1

= s m

cos

*( ω t − k x )*

; (1)

čia s

1

– virpančių dalelių nuokrypis, s

*m*

– virpėjimo amplitudė, ω – virpėjimo ciklinis dažnis,

k = 2 π λ (λ – sklindančios bangos ilgis) – banginis skaičius. Tokiai bangai sklindant priešinga

kryptimi, ji aprašoma lygtimi

*s*

2

= s m

cos

*( ω t + k x )*

. (2)

(1) ir (2) lygtimi aprašomos bangos yra koherentiškos, todėl joms sklindant ta pačia styga bangos

interferuoja ir gaunama virpėjimo būsena vadinama stovinčiąja banga. Ji aprašoma lygtimi

*s*

= s 1

+ s 2 = 2

*s m*

cos k x cos ω t . (3)

Dydis

2

*s*

*m*

cos kx =

2 s m cos 2

λ

π x yra kosinuso dėsniu aprašoma skirtingą koordinatę x turinčių stygos dalelių virpėjimo amplitudė.

Dalelės, kurioms kosinuso argumentas

2 λ π

*x*

=

π 2

, 3

⋅

π 2

, 5

⋅

π 2

K, , (4)

nevirpa ir šios stygos vietos vadinamos stovinčiosios bangos nuokrypio mazgais. Dalelių, kurioms

tinka lygybė

2

λ

π

x =

0

, π , 2 π , 3 π , K , (5)

virpėjimo amplitudė yra didžiausia ir lygi 2s

*m*

. Šios stygos vietos vadinamos stovinčiosios bangos

*nuokrypio pūpsniais.*

Jėgos F tempiamoje skerspjūvio ploto S stygoje skersinių bangų sklidimo fazinis greitis

priklauso nuo stygos įtempio σ = F S ir lygus

*v t*

=

σ

*F*

*S*

2 d F ρπ

, (6)

nes 4

ρ

=

ρ

=

S = π d 2

. Čia ρ – stygos medžiagos tankis, d – stygos skersmuo.

2

Periodiškai virpinant abiem galais

įtvirtintą stygą (1 pav.), ja sklinda skersinės

bangos. Pasiekusios įtvirtintus galus, jos

atsispindi ir interferuoja. Taigi tokioje

stygoje gali susidaryti stovinčiosios bangos

su nuokrypio mazgais įtvirtintuose stygos

*galuose. Tačiau taip įtvirtintoje stygoje*

*stovinčiosios bangos susidaro tik tuomet,*

*kai jos ilgyje l telpa sveikas sklindančios*

*bangos pusbangių skaičius, t.y.*

a)

b)

c)

d)

1 pav.

2

3

4

l n

*( n , , , K )*

l =

λ 2

l =

2

λ 2

l =

3

λ 2

l =

4

λ 2

= λ

. (7)

Šiuos bangos ilgius n

*n*

2

*n*

=

1 2 3 λ = l2 atitinka savieji stygos dažniai

*v*

⋅

ρπ . (8)

Žemiausias dažnis ν

*t1*

ν

*tn*

= t

λ

*n*

=

*d*

*n*

l

*F*

( n = 1) vadinamas pagrindiniu. Aukštesni dažniai ( n = 2, 3, 4, ... ) yra

pagrindinio dažnio kartotiniai ir vadinami aukštesnėmis harmonikomis.

Darbo aprašymas. Darbo įrenginio

principinė schema parodyta 2 paveiksle.

Stygos, esančios pastovaus magneto 1

magnetiniame lauke, vienas galas

įtvirtintas nejudamai. Prie antrojo,

permesto per skridinėlį 2, pakabinta

lėkštelė 3. Dedant ant lėkštelės svarelius,

keičiamas stygos įtempis, o tuo pačiu ir

stygos savasis virpėjimo dažnis. Prie stygos prijungus garsinių dažnių generatoriaus 4 įtampą, styga

teka kintamoji srovė. Dėl to magnetiniame lauke esančią laido dalį, kuria teka kintamoji elektros

srovė, veikia periodinė magnetinė jėga. Ši jėga stygoje sukelia skersines bangas, kurių dažnis lygus

srovės dažniui. Generatoriaus srovės dažnį galima tolydžiai keisti. Kai srovės dažnis pasidaro lygus

įtemptos stygos vienam savajam dažniui (8), stygoje susidaro stovinčiosios bangos (1 pav.) – ji

rezonuoja, ir atskiri taškai virpa didžiausiomis amplitudėmis.

4

~ ~

2 pav.

1. Susipažinę su aparatūra, virpesių generatorių įjungiame į elektros tinklą.

N

1 2

3

S

3

2. Išmatavę stygos ilgį l ir skersmenį d, stygą įtempiame padėję ant lėkštelės svarelį.

Apskaičiuojame įtempio jėgą niutonais:

*m 1*

=

10 , kg F

=

*( m 1*

+ m l

)

g ;

čia m

l

– lėkštelės masė.

Padėję magnetą ties stygos viduriu, lėtai keičiame generatoriaus virpesių dažnį (pradėję nuo

žemiausio) ir randame pagrindinį stygos savąjį dažnį (1 pav., a atvejis). Perstatydami magnetą ties

naujos harmonikos pūpsnio tikimiausia vieta (žiūr. 1 pav.) ir tolydžiai keisdami generatoriaus dažnį

randame stygos savuosius dažnius ν

2

, ν

3

, ir ν

4

(1 pav. atvejai b, c ir d). Apskaičiuojame atitinkamus

bangų ilgius λ

*n*

. Matavimo ir skaičiavimo rezultatus surašome į lentelę.

Harmonikos

*v*

*n*

=

λ n ν n Įtempio

jėga F

*i*

Teorinis dažnis

ν

*t i*

Teorinis greitis F i

ν

*in*

, Hz λ

*in*

, m

*v*

*n*

*,*

m

s

〈v

〉 , m s

, Hz

*v*

*it*

*,*

m

s

3. Lėkštelės apkrovos masę didindami kas 100 g iki 0,4 kg, kaskart atliekame 2-ame punkte

aprašytus veiksmus ir skaičiavimus.

4. Kiekvienam įtempiui, visoms 4 harmonikoms pagal formulę

*v n*

=

λ n

ν n apskaičiuojame fazinį

greitį ir jo aritmetinį vidurkį.

5. Kiekvienam stygos įtempiui pagal (6) ir (8) formules apskaičiuojame vadinamąsias „teorines”

fazinio greičio v

*it*

ir harmonikų ν

*it*

vertes.

6. Brėžiame grafikus: vienoje koordinačių sistemoje vaizduojame abiem būdais gauto fazinio

greičio priklausomybę

v = f ( F )

; kitame grafike vaizduojame abiem būdais nustatytą

pasirinktos harmonikos dažnio priklausomybę

ν n

= f

( F ) .

**Kontroliniai klausimai**

1. Kaip gaunamos stovinčiosios bangos ?

2. Kokiu atveju abiem galais įtvirtintoje stygoje susidaro stovinčiosios bangos ?

3. Ar žinote (8) formulės praktinių taikymo atvejų ?

4. Kodėl faziniam greičiui ir savajam virpesių dažniui geriau brėžti priklausomybes nuo F , o

ne nuo F ?

1

GARSO BANGŲ MŪŠA

Darbo užduotis. Stebėti ir ištirti dviejų vienos krypties artimų dažnių harmoninių svyravimų

sudėtį. Išmatuoti mūšos dažnį.

Vartojami sutrumpinimai: PK – personalinis kompiuteris,

SAB – signalų apdorojimo blokas.

Teorinio pasirengimo klausimai. Harmoniniai svyravimai. Dviejų vienodos krypties skirtingų

dažnių svyravimų sudėtis.

Teorinė dalis. Svyravimais vadiname daugiau ar mažiau pasikartojančius laikui bėgant

judėjimo arba būsenos kitimo procesus. Svyravimai vadinami periodiniais, jeigu jiems vykstant

sistemą apibūdinančių kintamųjų dydžių reikšmės pasikartoja po vienodų laiko tarpų. Periodiniai

svyravimai vadinami harmoniniais, jei svyruojančio dydžio reikšmės kinta harmoniniu (sinuso ar

kosinuso) dėsniu.

Sudedant skirtingų dažnių harmoninius svyravimus vektorinių amplitudžių (fazorių) metodu

abiejų svyravimų amplitudžių vektoriai sukasi skirtingais kampiniais greičiais. Kampas tarp šių

vektorių laikui bėgant kinta, taigi kinta ir atstojamojo vektoriaus modulis. Šio vektoriaus projekcija

koordinačių ašyje O

S

aprašoma jau nebe harmonine, o sudėtingesne funkcija. Tai reiškia, kad

sudėties rezultatas yra neharmoninis svyravimas. Mes nagrinėsime vienos krypties artimų dažnių

harmoninių svyravimų sudėtį, dėl kurios ir gaunami svyravimai, vadinami mūša.

Kad būtų paprasčiau, sudėsime vienodos amplitudės ir vienodos pradinės fazės harmoninius

svyravimus. Juos aprašome lygtimis:

*S*

1

= S m cos( ω 1 t ) ; (1a)

*S*

2

= S m cos( ω 2 t ) ; (1b)

čia S

*m*

– svyravimų amplitudė, ω

*1*

ir ω

*2*

– jų cikliniai dažniai, t– laikas.

Atstojamojo svyravimo nuokrypis:

*S*

= S 1

+ S 2 = S m

*(cos ω 1 t + cos ω 2 t ) = 2 S m cos( ω*

1

ω− 2

2 t ) cos( ω 2 2 ω− 1 t ) . (2)

Kai ω

*1*

ir ω

*2*

artimi, tuomet pirmojo kosinuso ciklinis dažnis

ω

1

ω− 2

2 mažas, o antrojo dažnis

ω = (

ω

1

ω+ 2

2 ) mažai kuo skiriasi nuo kiekvieno iš sudedamųjų ω

*1*

bei ω

*2*

. Todėl čia modulį

reiškinio

*S*

*m \**

= 2 S m

*cos( ω*

1

ω− 2

2 t ) (3)

2

patogu laikyti lėtai kintančia dažniu ω vykstančio svyravimo amplitude. Nagrinėjamu atveju ji kinta

nuo vertės, lygios 2S

*m*

, iki mažiausios – 0. Tokį amplitudės kitimą vadiname mūša. Svyravimų

sudėties rezultatas grafiškai pavaizduotas 1 paveiksle. Čia T

*S*

– mūšos periodas, skaičiuojamas pagal

formulę:

*T*

=

2

π

; (4) S

čia

1

*2 S*

ω

ω

*S*

= ω − ω – mūšos ciklinis dažnis.

Mūsų eksperimente dažniais ω

*1*

ir ω

*2*

svyruos du kamertonai. Kamertonas – tai U formos

dažniausiai metalinis rezonatorius. Jo forma ir tvirtinimo taškas parenkami taip, kad smūgiu

sužadinus jame įvairiausių dažnių svyravimus po trumpo laiko išlieka tik pagrindinio dažnio, lėtai

slopstantys (artimi harmoniniams) svyravimai. Jų dažnis priklauso nuo kamertono medžiagos

tampriųjų savybių: jo formos, masės ir gabaritų. Nedidelėse ribose šį dažnį galima pakeisti

(sumažinti) prie kamertono vienos ar abiejų šakų pritvirtinant papildomus kūnelius. Darbe

naudojami kamertonai pritvirtinti prie vienu galu atvirų medinių dėžučių – rezonatorių. Jose oro

stulpas rezonuoja kamertono pagrindinei harmonikai ir pro atvirą galą spinduliuoja sustiprintas

garso bangas. Jei dviejų kamertonų svyravimų dažniai skiriasi daugiau kaip 6%, tuomet žmogaus

klausa suvokia du skirtingo tono garso šaltinius. Jei šis skirtumas mažesnis už 6%, mes girdime

suminį vieno dažnio lėtai kintančios amplitudės garsą. Žmogaus ausis reaguoja į garso bangų

kuriamo slėgio p kitimus. Jie proporcingi bangos amplitudės kvadratui, t.y.

*p*

*~ S m*

*cos ω*

ω− 2

t . (5)

Palyginimui funkcija (2) pavaizduota 1a paveiksle, o funkcija (5) – 1b paveiksle.

Mūšos periodu T

*m*

4 2 2 1 2 vadiname laiko tarpą tarp gretimų laiko momentų, kuriais svyravimo

amplitudė minimali.

Per laiką T

*m*

(5) išraiškos kosinuso argumentas pakinta dydžiu π. Iš čia išplaukia, kad

ω

1 ω− 2

2 T

*m*

=

π arba

*T m*

=

ω

1

2

π − ω 2 . (6)

*) t(S*

S2

*m*

*S 2 t( ) 4*

*S*

*m 2*

 2  

ω

2

− ω 1  2

*T*

*S*

*2 T S m*

*cos   t = 1*

*T*

= 4

π ω

1

− ω 2

3

**Darbo aprašymas**

Naudojama aparatūra pavaizduota 2 paveiksle. Čia 1 – kamertonai, 2 – papildomas svarelis,

3 – kamertonų rezonatoriai, 4 – mikrofonas, 5 – mikrofoninis stiprintuvas, 6 – signalų apdorojimo

blokas (SAB), 7 –kamertono sužadinimui skirtas guminis plaktukas.

1. Aparatūrą išdėstome 2 paveiksle pavaizduota tvarka. Atstumas tarp kamertonų rezonatorių

atvirų galų 4 – 6 cm, mikrofonas tarp jų.

2. Įjungiame PK ir SAB. Mikrofoninio stiprintuvo 5 darbo režimų perjungiklis turi būti

paveiksle pavaizduotoje padėtyje „~“, jo stiprinimą keičianti rankenėlė – vidutinio stiprinimo

padėtyje. Spusteldami kvadratinį raudoną mygtuką įjungiame mikrofoninį stiprintuvą 5. Atminkite,

*kad maždaug po pusės valandos šis stiprintuvas automatiškai išsijungia. Jei tai atsitiktų*

eksperimento nebaigus, stiprintuvą įjungiame pakartotinai.

3. Pele aktyviname PK ekrane esančią piktogramą „Mūša1“. Atsidariusiame lange matomas

darbo laukas eksperimento rezultatams pateikti ir pagalbinis laukas „Settings“ (nustatymai).

Pastarąjį uždarome pele.

4. Matuosime abiejų kamertonų savųjų svyravimų dažnius. Tam guminiu plaktuku 7

suduodame per tiriamojo kamertono viršutinę dalį ir tuojau po to nuspaudžiame PK klaviatūros

klavišą F9. Dešiniojoje PK ekrano pusėje stebime mikrofono priimtų ir sustiprintų kamertono

sukeliamų virpesių oscilogramą, kairėje – mikrofono išėjimo įtampos skaitmeninę priklausomybę

nuo laiko. Svyravimų dažnį lengviausia nustatyti paliepus PK atlikti stebėtų ir jo įsimintų virpesių

spektrinę analizę. Tam pele aktyviname virš duomenų lentelės esantį mygtuką „Frequency

spectrum“ (dažnių spektras). Skaičiavimų rezultatus PK pateiks grafiniu ir skaitmeniniu pavidalais.

Mūsų stebėto harmoninio signalo pagrindinis dažnis atitiks ekrane stebimos smailės viršūnę. Jį

4

nustatome sutapatinę pelės valdomą + formos žymę su smailės viršūne ir spustelėję kairįjį pelės

klavišą. Tuomet šį kreivės tašką atitinkantys duomenys lentelėje bus apvesti punktyrine linija. Juos

užsirašome.

5. Kartojame 4 – ame punkte aprašytą eksperimentą su antruoju kamertonu. Rezultatus taip pat

užsirašome.

6. Matuojame mūšos dažnį. Tam pelės žymekliu pasirenkame ir kairiuoju jos klavišu

pasižymime matavimo režimą „Standard“ (standartinis). Guminiu plaktuku užgavę abu kamertonus,

nuspaudžiame PK klavišą F9. Ekrane stebime mūšos oscilogramą ir mikrofono išėjimo įtampos

skaitmeninę priklausomybę nuo laiko. Mūšos periodo T nustatymui pele pasižymime ekrane

stebimo kairiojo maksimumo tašką ir užsirašome jį atitinkančią laiko reikšmę t

*1*

, po to oscilogramos

dešinėje dalyje pažymime dar vieną iš mūšos maksimumų ir užrašome jį atitinkantį laiko momentą

*t*

*n*

. Mūšos periodą apskaičiuojame pagal formulę:

*T S*

= t

*n*

*− t n*

; (7)

čia n – mūšos periodų skaičius tarp pažymėtų taškų.

7. Apskaičiuojame mūšos dažnį

*S*

1

ν m

= T

1

. (8)

Palyginame jį su kamertonų dažnių skirtumu:

ν 1

− ν 2 .

8. Atliekame mūšos svyravimų Furjė analizę. Tam kairiuoju pelės klavišu pažymime matavimo

režimą „Frequency spectrum“ (dažnių spektras). 4 – ame punkte aprašytu būdu išmatuojame abiejų

smailių dažnius. Sulyginame juos su kamertonų savaisiais dažniais.

9. Išeiname iš programos. Į klausimą „Save changes?“ (ar išsaugoti pakeitimus?) atsakome

„No“(Ne).

10. Išjungiame PK ir duomenų apdorojimo bloką 4 (2paveikslas).

**Kontroliniai klausimai**

1. Ką vadiname harmoniniais svyravimais?

2. Ką gausime, sudėję mažai besiskiriančių dažnių vienos krypties svyravimus?

3. Kas yra kamertonas ir kokia jo paskirtis šiame darbe?

4. Kokia kamertonų medinių dėžučių paskirtis?

5. Nuo ko priklauso kamertonų savųjų svyravimų dažnis?

6. Kaip svyravimus pakeičia prie kamertono pritvirtinamas papildomas kūnas?

**GARSO GREIČIO ORE NUSTATYMAS BANGŲ INTERFERENCIJOS METODU**

Darbo užduotis. Taikant bangų interferencijos metodą, nustatyti garso greitį ore ir apskaičiuoti oro molinių šilumų C

*p*

ir C

*V*

santykį.

Teorinio pasirengimo klausimai. Stovinčiųjų bangų gavimas. Garso greitis ore. Molekulės laisvės laipsnių sąvoka. Izochorinė ir izobarinė molinės šilumos.

Teorinė dalis. Šiame darbe garso greitį išmatuosime gavę jo stovinčiąsias bangas. Tam viena kryptimi sklindančiai s

1

= bangai s m

cos

( ω t - k x ) interferuojant su priešpriešiais sklindančia s

2

=

*s m*

cos ( ω tokio t + k pat x )

dažnio ir amplitudės banga

gaunama „stovinčioji banga”

*s*

= s 1

+ s 2 = 2

*s m*

cos k x cos ω t ; (1) čia s

*m*

– sklindančios bangos amplitudė, ω = 2 πν – jos ciklinis dažnis, k = 2π ⁄λ – banginis skaičius. (1) lygtis – tai svyravimų lygtis, kurių amplitudė

*s*

\*

=

2 s m

cos k x (2) yra periodinė koordinatės x funkcija. Taškuose, kurių koordinatė x tenkina lygtį

k x = 0 , π , 2 π , 3 π , (3) nuokrypio amplitudė yra didžiausia ir lygi 2s

*m*

. Šie taškai vadinami stovinčiosios bangos nuokrypio pūpsniais. Taškuose, tenkinančiuose sąlygą

*k*

x = π 2

, 3

π 2

, 5

π 2

, (4)

virpesių amplitudė lygi nuliui. Šie aplinkos taškai nevirpa ir juos vadiname stovinčiosios bangos nuokrypio mazgais.

Molinė šiluma, lygi šilumos kiekiui, kurį suteikus vienam moliui medžiagos jos temperatūra pakyla vienu laipsniu. Dujoms ji labai priklauso nuo jų molekulių sudėtingumo ir nuo proceso, kurio metu suteikiama šiluma, pobūdžio.

Molekulės sudėtingumas susietas su ją sudarančių atomų skaičiumi ir apibūdinamas molekulės laisvės laipsnių skaičiumi. Pastarasis lygus koordinačių skaičiui, reikalingam nusakyti molekulės padėtį erdvėje. Vienatomę molekulę galima laikyti materialiuoju tašku. Jos padėtį nusakome trimis koordinatėmis (x, y, z), kurios kinta molekulei slenkant, todėl ji turi 3 slenkamojo judėjimo laisvės laipsnius.

Dviatomės kietojo ryšio molekulės erdvinė padėtis apibūdinama 5 koordinatėmis: trys jų (x, y, z) nusako molekulės masės centro padėtį ir du kampai (α, β) su koordinačių ašimis – jos ašies orientaciją. Pastaroji kinta molekulei sukantis, todėl tokia molekulė turi 3 slenkamojo ir 2 sukamojo judėjimo laisvės laipsnius. Kai ryšys tarp atomų yra tamprus, tai tokia molekulė turi dar vieną virpamojo judėjimo laisvės laipsnį. Triatome erdvine struktūra pasižyminti molekulė turi ne mažiau kaip 6 laisvės laipsnius.

Molekulinėje fizikoje įrodoma, kad kiekvienam laisvės laipsniui vidutiniškai tenka 1 2

*Tk*

kinetinės energijos (čia k Bolcmano konstanta). Tačiau virpėjimo laisvės laipsniui vidutiniškai dar tiek pat ( 1 2

*Tk*

) tenka potencinės energijos. Todėl molekulinės fizikos energetinėse lygtyse

molekulės sudėtingumas apibūdinamas dydžiu

( i = 3 + n suk

*+ 2 n virp )*

; (5) čia 3 – molekulės slenkamojo, n

*suk*

– sukamojo ir n

*virp*

– virpamojo judėjimo laisvės laipsnių skaičius. Kai tarpatominis ryšys molekulėje yra kietas (n

*virp*

= 0), tuomet i lygus molekulės laisvės laipsnių skaičiui.

Dujoms ypač svarbi izochorinė (pastovaus tūrio) molinė šiluma C

*V*

ir izobarinė (pastovaus

slėgio) molinė šiluma C

*p*

. Molekulinėje fizikoje parodoma, kad C

*V*

= i 2

*,R*

*C p = i*

+ 2

2

*R*

, todėl

γ = C C

*V p*

= i

+ 2 i

. (6)

Oras, kaip ir visos dujos, pasižymi tik tūriniu tamprumu, todėl garso bangos yra išilginės. Jas sudaro periodiškai besikaitaliojantys oro sutankėjimai ir praretėjimai, kurie nuolat tolsta nuo garso šaltinio. Sutankėjimo vietose temperatūra pakyla, praretėjimo – sumažėja. Dėl mažo oro šilumos laidumo šie sutankėjimo ir praretėjimo procesai, galima sakyti, vyksta be šilumos mainų, t.y. adiabatiškai. Adiabatinį procesą aprašo Puasono lygtis ir garso bangų greitį ore apibūdina adiabatinis tūrio tamprumo modulis

γ

K = γ p . Todėl garso greitis ore

*M*

*pV = const v = K*

ρ

=

γ

ρ

p =

γ TR ; (7)

čia M ≅ 29,2∙10-3 kg/mol – oro vieno molio masė, ρ – oro tankis; R – universalioji dujų konstanta.

Darbo aprašymas. Laboratorinio darbo įrenginio principinė schema parodyta 1 paveiksle. Ją sudaro tiesus stiklinis akustinis vamzdis 1, kurio viename gale įtaisytas telefonas 2, o antrajame – mikrofonas 3. Jų membranos yra lygiagrečiose plokštumose. Mikrofonas prijungtas

prie kompiuterio 4. Prie telefono prijungtas garsinių dažnių generatorius (GDG) 5, todėl generuojamos akustinės bangos sklinda vamzdžiu. Kaip ir kiekvienam kūnui, taip ir membranų ribojamam oro stulpui būdingi tam tikri virpesių savieji dažniai. Garso bangos ore mažai slopsta, todėl jos, atsispindėjusios nuo mikrofono membranos, sklinda priešinga kryptimi. Kai tarp telefono ir mikrofono membranų yra tam tikras nuotolis, vamzdyje gaunamos stovinčiosios bangos.

4

1 pav.

Pūpsniai |S\*|

x

λ/2

Mazgai

2 pav. Mikrofonas ne tik pasyviai atspindi garso bangas, bet ir akustinius virpesius transformuoja į elektrinius: jei mikrofonas yra stovinčiosios bangos slėgio pūpsnyje, gauname didžiausią elektrinių virpesių amplitudę, jei mazge – mažiausią (2 pav.). Atstumas tarp dviejų gretimų pūpsnių (arba mazgų) lygus pusei sklindančiosios bangos ilgio (λ/2). Tuo naudojamasi matuojant bangos ilgį.

1. Gerai susipažįstame su naudojamais įrengimais, juos įjungiame į elektros tinklą, paruošiame

darbui GDG ir kompiuterį. Matuojant rankenėlė „dažnio matavimo ribos“ turi būti padėtyje „20 kHz“. Švelniai dažnį galime keisti rankenėle 2. Išėjimo galią keičiame rankenėle 3 ir 5. Perjungėjas 4 turi būti padėtyje „101“. Įjungiame kompiuterį ir paleidžiame darbo programą.

1

~

5

2 3

~

2 kHz

20 kHz

101 102

2

3 4

3 pav.

2. Bandymą rekomenduojama pradėti nuo 3000 Hz dažnio. 3. Strypą su pritvirtintu mikrofonu atitraukiame netoli dešiniojo akustinio vamzdelio galo. 4. Lėtai stumiame strypą su mikrofonu į kairę ir stebime virpesiu amplitudę monitoriuje. Kai virpesių amplitudė bus didžiausia, mikrofonas bus stovinčios bangos pūpsnyje. Užrašome jo pądėtį. 5. Toliau lėtai stumiame mikrofoną į dešinę iki gretimo pūpsnio ir išmatuojame nuotolį tarp

dviejų pūpsnių: tai bus λ

i

100

103

1

5

/2. Nekeisdami dažnio, tęsiame matavimus dar keletą kartų ir apskaičiuojame bangos ilgio vidurkį. 6. Aprašytus veiksmus atliekame dar esant 2500 Hz, 2000 Hz ir 1500 Hz dažniams. 7. Iš formulės v=λ

i

ν

i

apskaičiuojame greitį ore. 8. Kelvino skalėje užrašęe oro temperatūrą, apskaičiuojame oro molinių šilumų C

*p*

ir C

*V*

santykį γ (iš 7 formulės) 9. Apskaičiuojame garso greičio bei molinių šilumų santykio vidutines vertes ir jų vidutines

kvadratines paklaidas.

*S*

*v*

=

∑

( n 〈

vv ( n 〉 -

- 1 ) i

)

2

*,*

*S γ*

=

*∑ n*

( 〉γ〈

( n -

- 1 γ )

*i )*

2 .

Matavimo ir skaičiavimų rezultatus surašome į lentelę.

R = 8,314 J∙mol-1∙K-1 ; M = 29,2∙10-3 kg∙mol-1 ; T = (273 + t ) K

ν i

,

*λi ,*

*v*

*i*

,

< v >,

γ

*i*

< γ > S

*v*

,

*S*

γ Hz

m

m/s

m/s

m/s

**Kontroliniai klausimai**

1. Ar visuomet garso bangų sklidimas yra adiabatinis ? 2. Kas yra stovinčioji banga ir kaip ji gaunama ? 3. Ar garso greitis ore priklauso nuo jo dažnio ? 4. Kokius laisvės laipsnius ir kiek jų turi dviatomė dujų molekulė? 5. Kam būtų lygus vienatomių dujų molinių šilumų C

*p*

ir C

*V*

santykis ?

Literatūra 1. Tamašauskas A. Fizika. – Vilnius: Mokslas, 1987. – I d. – 131-133 p. 2. Ambrasas V., Jasilionis B. Mechanika, molekulinė fizika ir termodinamika. – Kaunas:

Technologija, 2008.

**GARSO GREIČIO STRYPUOSE MATAVIMAS**

Darbo užduotis. Išmatuoti metalų strypais sklindančio garso greitį ir apskaičiuoti tirtų metalų

Jungo modulius.

Teorinio pasirengimo klausimai. Vienamatės bangos lygtis. Stovinčiųjų bangų susidarymas

ribotų matmenų kūne. Išilginių bangų sklidimo greitis kietajame kūne.

Teorinė dalis. Neriboto ilgio stygoje ar strype Ox ašies kryptimi sklindančios (vienmatės)

bangos lygtis:

*s*

1

= s m

cos

*( ω t - kx )*

; (1)

čia s

*1*

– virpančių dalelių nuokrypis; s

m

– virpėjimo amplitudė; ω – virpėjimo kampinis daţnis;

k = 2 π λ (λ – sklindančios bangos ilgis) – banginis skaičius. Tokiai bangai sklindant priešinga

kryptimi, ji aprašoma lygtimi:

*s*

2

= s m

cos

*( ω t + kx )*

. (2)

(1) ir (2) lygtimi aprašomos bangos yra koherentinės (t. y. vienodo daţnio, pastovaus fazių

skirtumo bangos), todėl, sklisdamos vienu metu, jos interferuoja. Gaunama virpėjimo būsena,

vadinama stovinčiąja banga. Ji aprašoma lygtimi:

*s*

= s 1

+ s 2 = 2

*s m*

cos kx cos ω t .

(3)

Stovinčiosios bangos nuokrypio mazgai ir pūpsniai pavaizduoti 1 pav.

1 pav. Stovinčioji banga: 1 – mazgai; 2 – pūpsniai

Darbe naudosime iš įvairių metalų – aliuminio, bronzos, vario bei plieno pagamintus baigtinio

ilgio l

(apačioje stalo) liečia pjezoelektrinį keitiklį (statyti ant jo

strypą reikia iš lėto ir atsargiai, nes keitiklis trapus). Pasirinktąjį strypą ties jo viduriu įtvirtiname

laikiklyje (2 pav.). Lengvai sudavus į laisvąjį strypo galą, tiriamajame kūne suţadinamos įvairiausių

ilgių išilginės bangos. Sklisdamos strypu, jos atsispindi nuo kito jo galo – taip susidaro

priešpriešiais sklindančios vienodos bangos. Tiems bangos ilgiams, kuriems strypo įtvirtinimo

vietoje susidaro nuokrypio mazgai, abi bangos interferuoja. Gauname stovinčiąsias bangas.

Didţiausios amplitudės stovinčioji banga susidaro rezonansiniam (pagrindinės harmonikos) daţniui,

kuriam strypo ilgį sudarys pusė sklindančios bangos ilgio, t. y. bus tenkinama lygybė:

i = λ 2

. (4)

2 Iš šios lygties pagrindinio strypo rezonansinio daţnio sklindančios bangos ilgis λ = i2 , o

tampriųjų bangų fazinis greitis jame

v = ν∙λ = i2

*T*

; (5)

čia ν ir T – strypo rezonansinis daţnis ir jį atitinkantis periodas.

Kietuosiuose kūnuose gali sklisti skersinės ir išilginės bangos. Iš kietųjų kūnų tampriųjų

deformacijų teorijos išplaukia, kad kai sklindančios išilginės bangos ilgis λ, palyginti su kietojo

kūno (stygos, strypo) skersiniu matmeniu yra didelis, tuomet turime tempimo (gniuţdymo)

deformaciją. Bangos fazinis greitis

*v = E ρ*

; (6)

čia E – kūno Jungo modulis, ρ – medţiagos tankis. Jungo modulis yra koeficientas, apibūdinantis

medţiagos pasipriešinimą ištempimui (gniuţdymui), esant tampriajai deformacijai. Iš (5) ir (6)

lygties strypo medţiagos Jungo modulis gali būti skaičiuojamas taip:

E = 4 iρ 2 T 2 . (7)

2 pav. Matavimo įrenginio struktūrinė schema: 1 – tiriamasis strypas; 2 – laikiklis, fiksuojamas varţtais; 3, 4

– pjezoelektrinis elektromechaninis keitiklis; 5 – duomenų apdorojimo blokas; 6 – lazdelė

Darbo aprašas. Matavimo įrenginio struktūrinė schema pavaizduota 2 paveiksle. Ją sudaro

tiriamasis strypas 1, atsargiai įstatomas į prie stalo krašto tvirtinamą laikiklį 2 ir fiksuojamas

varţtais 3. Strypas tvirtinamas taip, kad apatinis jo galas liestų pjezoelektrinį elektromechaninį

keitiklį 4, kuris mechaninius strypo galo virpesius paverčia elektriniais virpesiais. Pastarieji per

duomenų apdorojimo bloką 5 patenka į kompiuterį, kuris šiame darbe panaudojamas keitiklio

išėjimo įtampai kitimo laike pavaizduoti, t. y. kaip „atsimenantis“ oscilografas, taip pat matavimo

rezultatams kaupti ir apdoroti.

*Darbo eiga:*

3 1. Išmatavę strypo ilgį, strypą įkišame į laikiklį, atsargiai nuleidţiame, kad jis galu paliestų ties

keitiklio 4 centru juodai paţymėtą skritulį, ir fiksuojame varţtais 3.

2. Įjungiame aparatūrą (personalinį kompiuterį PK ir monitorių – tinklo jungikliais, duomenų

apdorojimo bloką CASSY Lab 5 (2 pav.) – įstatydami jo maitinimo šaltinį į tinklo lizdą). Du

kartus kairiuoju pelės klavišu bakstelėdami ikoną „Tampriųjų bangų greitis“ paleidţiame

matavimo programą. Turi atsiverti langas su koordinačių tinkleliu ir ant jo – langas Settings

(Sistemos parametrų parinkimas). Šie parametrai yra įvesti programoje, todėl langas Settings

gesinamas kairiuoju pelės klavišu bakstelint lango Settings viršutiniame dešiniajame kampe

simbolį x. Ekrane turi likti suliniuota stačiakampė koordinačių sistema. Vertikalioje ašyje U

B1 V turi būti atidėta skalė (–1...1) V su nuliu viduryje, horizontalioje laiko ašyje – 0...2 ms.

Kairėje monitoriaus ekrano pusėje lieka tuščias laukas eksperimento rezultatų lentelei.

Kairiuoju pelės klavišu suţadiname laikrodţio ikoną. Koordinačių tinklelyje turi atsirasti

pranešimas No Trigger Signal (Nėra paleidimo signalo).

Jeigu viskas vyko taip, kaip čia aprašyta, sistema matavimui parengta. Tuomet matavimus

atliekame pagal 4 ir tolesnius šio aprašymo punktus.

Jei vaizdas ekrane yra ne toks, kaip aprašytasis, pavyzdţiui, ekrane nesustabdomai rodomas iš

keitiklio gaunamas signalas ir pan., galima tikėtis, kad sistemos parametrai lange Settings dėl

kokių nors prieţasčių yra iškraipyti. Tuomet teks atlikti 3 aprašymo punkte nurodytus

veiksmus.

3. Vykdomas tiktai tuomet, jei duomenų apdorojimo bloko nepavyko parengti darbui pagal 2

darbo aprašo punktą.

3.1. Bakstelėdami kairiuoju pelės klavišu ţenklą x, esantį dešiniajame viršutiniame ekrano

kampe, uţdarome matavimų programą. Atsidariusiame lange Save Changes? (Ar išsaugoti

pakeitimus?) bakstelime pele No (Ne).

3.2. Du kartus kairiuoju pelės klavišu bakstelėdami ikoną Tampriųjų bangų greitis iš naujo

įeiname į programą. Atsivėrusiame lange Settings (3 pav.) bakstelėdami kairiuoju pelės

klavišu suţadiname CASSY klavišą ir stiprintuvo įėjimą 1.

3.3. Atsidariusiame lange Sensor Input Settings (Daviklio matavimo reţimo parinkimas) (4

pav.) pelės kairiuoju klavišu įvedame arba taisome šiuos nustatymus: Quantity – Voltage

U

B1

(Matuojamas dydis – U

B1

), Meas. Range – –1V...1V (Matavimų ribos –1V...1V),

Record Measured Values (Išmatuotų verčių ragistravimas), paţymime Instantaneous

Values – 100 ms (Momentinės vertės – 100 ms), Zero Point – Middle (Nulio taškas –

viduryje). Teisingas langas turi atitikti langą pavaizduotą 4-ajame paveiksle. Tuomet jį

uţdarome bakstelėdami kairiuoju pelės klavišu Close (Uţdaryti).

3.4. Lange Settings (3 pav.) kairiuoju pelės klavišu suţadiname klavišą 2 – Display

Measuring Parameters (Matavimo parametrų rodymas). Tuomet atsidaro langas

1

2

1 2 3 4 5 6 7

5 pav.

4. Ekrane esant pranešimui No Trigger Signal, lengvai suduodame į viršutinį tiriamo strypo galą

lazdele 6. Strypo svyravimų pjezoelektriniame keitiklyje sukeltas signalas automatiškai

paleidţia matavimo sistemą, kuri kreivės ir lentelės pavidalu ekrane parodo ir įsimena keitiklio

išėjimo signalą U

B1

= f (t). Jis yra kiek iškraipytos sinusoidės formos. Iškraipymus lemia

4 Measuring Parameters (Matavimo parametrai), kuris su reikiamais laboratoriniam darbui

atlikti nustatymais pateiktas 5 paveiksle. Jeigu nustatymų nėra arba jie neatitinka 5

paveikslo, įvedame (keičiame) juos lango vietose 1–7 kairiuoju pelės klavišu. Baigę

taisymus, uţdarome langą bakstelėdami kairiuoju pelės mygtuku klavišą Close.

Analogiškai uţdarome langą Settings. Po šių operacijų galime tęsti laboratorinį darbą.

Tam vėl kairiuoju pelės klavišu suţadiname laikrodţio ikoną. Turi pasirodyti pranešimas

**No Trigger Signal.**

3 pav.

4 pav.

5 galimybė strypu sklisti įvairių rūšių bangoms ir stendo konstrukciniai netobulumai. Jei bangų

amplitudė per didelė ir keitiklio signalas „netelpa“ monitoriaus ekrane, kartojame eksperimentą

suduodami į strypą silpniau. Tam vėl suţadiname laikrodţio ikoną. Atsidarius langui Save

Changes? bakstelime pele mygtuką No. Vėl turi pasirodyti pranešimas No Trigger Signal.

Tuomet kartojame 4 darbo aprašymo punktą.

Pastaba: eksperimentą taip pat reikia kartoti, jei virpesių forma netaisyklinga ir nepanaši į

sinusoidę. Rekomenduojama eksperimentą kartoti, šiek tiek pakeitus strypo tvirtinimo tašką.

5. Nustatome strypo rezonansinių svyravimų periodą, kuris yra lygus ekrane stebimų keitiklio

išėjimo signalo svyravimų periodui. Tam iš kreivės ekrane nustatome laiko tarpą t∆ , per kurį

įvyko ţinomas pilnų svyravimų skaičius N. Svyravimų periodą skaičiuojame pagal formulę

NtT = ∆ . t∆ nustatyti pelės valdomą ţymę perkeliame ant grafiko kairėje pusėje gerai

stebimo maksimumo (arba minimumo) ir bakstelime kairiuoju pelės klavišu. Taip išskiriama ir

punktyru paţymima pasirinktą tašką aprašanti eilutė šalia grafiko esančioje lentelėje. Joje

atidedame t

*k*

. Skaičiuodami pilnų periodų skaičių N, perstumiame pelės ţymę ant kito

pasirinkto maksimumo (minimumo). Bakstelėję pelės kairįjį klavišą, išskiriame šį tašką

atitinkančią eilutę ir joje nuskaitome laiką t

*d*

. Skaičiuojame t∆ = t

*d*

– t

*k*

ir T. Rezultatus

surašome į lentelę. Apskaičiuojame išilginių tampriųjų bangų greitį strypo metale ir jo Jungo

modulį. Skaičiavimui reikalingi medţiagų tankiai nurodyti šio aprašo priede.

Strypo medţiaga Ilgis

***, m***

*t*

*k*

,

ms

*t*

*d*

,

ms

t∆ ,

*N T,*

v,

E,

ms

ms

m/s

N/m

2

6. Dydţių v ir E vertes sulyginame su lentelėse surašytomis šių dydţių vertėmis.

7. Aparatūros išjungimas. Tam bakstelime kairįjį pelės klavišą ties simboliu x dešiniajame

viršutiniame ekrano kampe. Atsidariusiame lange Save Changes? pelės kairiuoju klavišu

suţadiname mygtuką No ir taip grįţtame į programos pradinį langą. Jame pele suţadiname

kairiajame apatiniame ekrano kampe esantį mygtuką Start (pradţia), atsidariusiame kataloge

Windows 95 paţymime pelės kairiuoju klavišu apatinę eilutę Shut down (Išjungti).

Atsidariusiame lange Shut Down Windows, kuriame paţymėta pirmoji eilutė Shut Down the

Computer (Išjungti kompiuterį), pele bakstelime klavišą Yes (Taip).

8. Išjungiame aparatūros maitinimą, iš laikiklio išimame tirtus strypus ir padedame į jiems skirtą

vietą.

**Kontroliniai klausimai**

1. Ar galima mūsų turima aparatūra išmatuoti bangų greitį strype iš dielektrinės medţiagos?

2. Nuo ko priklauso išilginių bangų fazinis greitis?

6 3. Kaip apskaičiuojamas Jungo modulis?

Medţiaga ρ, kg/m3 v

*strype*

2

Aliuminis 2,7∙103 5 080 7,1∙1010

Plienas 7,8∙103 5 050 20,6∙1010

Varis 8,9∙10

, m/s E, N/m

3 3 490 12,3∙10

10

Ţalvaris 8,5∙10

3 3 170 9,8∙10

10

**ULTRAGARSO BANGŲ DIFRAKCIJOS TYRIMAS**

Darbo užduotis. Ištirti ultragarso bangų difrakciją plyšyje ir apskaičiuoti bangos ilgį.

Teorinio pasirengimo klausimai. Ultragarsas ir jo gavimo metodai. Hiuigenso ir Frenelio principas. Frenelio zonų metodas. Difrakcija plyšyje. Intensyvumo maksimumų ir minimumų sąlygos.

Teorinė dalis. Bangos, sklindančios kurioje nors terpėje (dujose, skystyje, kietuose kūnuose), vadinamos mechaninėmis bangomis. Virpesiai, kurių dažnis didesnis už girdimo garso ribą (>20 000 Hz), vadinami ultragarsu. Savo fizikine prigimtimi jos nesiskiria nuo paprastų garso bangų, bet mūsų klausa ultragarso nepajunta. Kaip ultragarso šaltiniai dažnai naudojami kvarciniai ultragarso generatoriai, kurių konstrukcijos ir veikimo pagrindas yra pjezoelektrinis reiškinys. Šį reiškinį 1880 m. pastebėjo broliai Kiuri Pjezoelektrinio reiškinio esmė tokia. Jei tam tikru būdu išpjausime ploną kvarco plokštelę ir ją deformuosime tempdami arba suspausdami, tai jos paviršiuje atsiras surištieji elektros krūviai. Be tiesioginio pjezoelektrinio efekto pastebimas atvirkštinis efektas – kvarco plokštelės matmenys keičiasi, veikiant kintamajam elektriniam laukui. Jeigu kvarco plokštelę įtaisysime tarp metalinių elektrodų ir prijungsime prie jų elektros bateriją, tai plokštelės storis kiek pasikeis. Pakeitus prijungtos įtampos ženklą plokštelės storis pasikeis priešinga kryptimi. Šis reiškinys vadinamas elektrostrikcija. O jei prie kvarcinės plokštelės prijungsime kintamąją įtampą, tai šioje plokštelėje atsiras tamprieji virpesiai, kurių dažnis lygus kintamosios įtampos dažniui. Kuo didesnis kintamosios įtampos dažnis, tuo didesniu dažniu virpa plokštelė. Taip galima gauti įvairių dažnių ultragarsinius virpesius. Ultragarso dažnio viršutinę ribą lemia medžiagos sandara: dujų elastinių bangų ilgis didesnis už molekulių laisvojo kelio ilgį, o skysčių ir kietųjų kūnų – už nuotolį tarp atomų. Ultragarso dažnių diapazonas skirstomas į tris sritis: <105 Hz – žemo, (105 ÷ 107) Hz – vidurinio ir (107 ÷ 109) Hz – aukšto dažnio ultragarsą. Elastinės bangos, kurių dažnis >109 Hz, vadinamas hipergarsu.

Jei ultragarso bangų kelyje pastatysime ekraną su plyšiu, kurio plotis artimas bangos ilgiui, už ekrano sklis antrinės bangos taip, jog atrodys, kad ekrano plyšyje yra išsidėstę taškiniai bangų šaltiniai 1 pav.

Optinių bangų difrakcijos teorijos pagrindą padėjo F.M. Grimaldi (Grimaldi) (1618 – 1663), sukūręs terminą „difrakcija“ nuo lotynų „diffringere‘ – šviesos nuokrypį nuo sklidimo tiese. Ultragarso bangų (kaip ir optinių) difrakcijos reiškinį galima paaiškinti naudojantis Hiuigenso ir Frenelio principu. Jo esmė: kiekvienas terpės taškas, kurį banga pasiekia tam tiktu laiko momentu, yra elementariųjų koherentinių bangų šaltinis, o visų tokių bangų gaubtinė yra bangos paviršius vėlesniu laiko momentu (1 pav.) Frenelis, pasinaudojęs bangų koherentiškumo ir interferencijos sąvokomis, 1 pav.

papildė Hiuigenso formuluotę.

Garso bangų slėgis p(φ) nusakomas difrakcijos kampo funkcija, vadinama plyšio funkcija:

( )

*U*

Kai turim difrakciją už plyšio, kiekviename ekrano taške C interferuoja ne dvi, o daug bangų, kadangi pagal Hiuigenso principą, kiekvienos bangos fronto taškas išilgai koordinatės y plyšyje spinduliuoja antrines bangas (2 pav.), tokio paties bangos ilgio λ, kaip ir krentančios į plyšį bangos. Interferencijos rezultatas kiekviename ekrano taške C priklauso nuo fazių skirtumo tarp antrinių bangų. Pirminių bangų kryptimi (φ = 0) (2 pav.) visos bangos turės vienodas fazės ir stipris viena kitą.

π

*b*

φ P

φ =

b , čia λ

φ sin

λ sin = λ φ

π π

*b*

sin

*b*

sin

*U*

*U = b*

sin

. (1)

Čia b – plyšio plotis, λ – bangos ilgis, p – kintamasis garso slėgis, kurį registruoja garso imtuvas. (1) lygties kvadratinė forma taip pat galioja skersmens elektromagnetinėms bangoms (optika), kadangi tuo atveju

intensyvumas yra proporcingas amplitudės kvadratui. Kai φ=0, gaunamas neapibrėžtumas, nes tiek skaitiklis, tiek vardiklis lygūs nuliui. Pritaikius Lopitalio taisyklę, kai φ=0, dalmuo įgauna „1“ reikšmę. Pakėlę (1) kvadratu, gauname ultragarso bangų intensyvumo pasiskirstymo už plyšio išraišką.

x C

y

∆=

φ

φ

y

b

2 pav.

π

φ

*b*

*b*

I I . (2)

Pažymėję λ

φ

⎞

=

⎛ │ ⎝

λ

φ

λ

φ

│ ⎠ π

u = π

*b*

sin

,

turime

*I*

( φ ) =

I ( 0 )

⎛ │ ⎝

sin

2

*u*

φ

│ ⎠

, (3)

čia I(0) centrinio (φ=0) difrakcinio maksimumo intensyvumas (2 pav.). Tuose erdvės taškuose, iki kurių nueitų kelių skirtumas ∆ lygus sveikam bangų skaičiui (plyšyje telpa lyginis zonų skaičius), virpesių amplitudė bus mažiausia (minimumo sąlyga).

φ min

b =

n λ ⎞ sin , n=±1, ±2, ... (4)

Difrakcijos maksimumai bus stebimi kryptimi

I

sin

2 sin ( ) ( 0

)

⎛ │ ⎝

sin

⎞ │ ⎠

2

λ φ b = n + , n=±1, ±2, ... (5)

Darbo aprašymas. Įrenginio vaizdas parodytas 3 pav. Čia 1 – goniometro maitinimo šaltinis, 2 – ultragarso bangų ir imtuvo maitinimo šaltinis, 3 – įgaubtas veidrodis, 4 – ultragarso bangų siųstuvas, 5 – ultragarso bangų imtuvas, 6 – goniometro stalas su kampų skale, 7 – plyšio arba difrakcinės gardelės laikiklis, 8 – goniometro slankiojanti rankenėlė su pritvirtintu imtuvu.

sin

max

( 2 1 )

2

7

3 4

5

6

2

**Darbo eiga.**

1. Esant išjungtai aparatūrai, sukdami goniometro ultragarsinio imtuvo rankenėlę 8 (su raudona

rodykle) nustatykite nulinę padėtį kampinėje skalėje ant goniometro stalo 6.

Pastaba. Jeigu rankenėlė laisvai nejuda, nenaudokite jėgos, sugadinsite. 2. Parinkite plyšio plotį, lygų 6 cm. 3. Įjunkite maitinimo šaltinį ir kompiuterį į elektros tinklą. Goniometro maitinimo šaltinio langas rodo

„000,0“. 4. Suaktyvinkite matavimo programą. 5. Nustatyti matavimo kampus nuo -500 iki +500 ir jų nekeisti. 6. Spragtelėkite kompiuterio pelės mygtuku lange „Continue“. Ultragarso imtuvo rankenėlė

automatiškai pasileis į pradinę padėtį (-500). 7. Toliau paspauskite „Start measurement“. Programa pradeda veikti. 8. Pasibaigus matavimui paspauskite pelės mygtuką lange „End seriesof meausurement“. Gaunate

grafiką A4 formato lape ir jį įrašykite į atmintį arba spausdinkite. 9. Paspauskite goniometro maitinimo šaltinio mygtuką „Cal“. Atsilaisvina imtuvo rankenėlė su

rodykle.

1 8

3 pav.

10. Jeigu centrinis difrakcijos maksimumas nesutampa su kampo skalės nuliu, išmatuokite kampą tarp įvairios eilės minimumų (arba maksimumų) ir pagal (4) arba (5) lygtis skaičiuokite ultragarso bangų ilgį. 11. Sumažinę plyšio plotį iki 4 cm., pakartokite matavimus.

Matavimo rezultatai.

Plyšio plotis b=6 cm. Plyšio plotis b=4 cm. Minimumo kampai Maksimumo

kampai n 2 φ0 λ, cm 2 φ0 λ, cm 1 2 3

Minimumo kampai Maksimumo

kampai n 2 φ0 λ, cm 2 φ0 λ, cm 1 2 3

Vidutinė bangos ilgio vertė <λ>=......... cm.

Kontroliniai klausimai 1. Paaiškinkite bangų užlinkimą už kliūčių, remiantis Hiuigenso principu? 2. Paaiškinkite Frenelių zonų metodą. 3. Suformuokite difrakcinių minimumų ir maksimumų sąlygas už plyšio. 4. Paaiškinkite pjezoelektrinį reiškinį. 5. Kas yra elektrostrikcija?

Literatūra 1. Tamašauskas A., Vosylius J. Fizika. – Vilnius: Mokslas, 1987. - T.1. P.119-131. 2. Ambrasas V., Jasiulionis B. Mechanika, molekulinė fizika ir termodinamika. – Kaunas: Technologija,

2008.–P.190-198.

1

ULTRAGARSO GREIČIO ORE IR ORO ŠILUMINIŲ TALPŲ

SANTYKIO NUSTATYMAS

Darbo užduotis. Išmatavus ultragarso greitį ore, nustatyti oro molinių šilumų C

*p*

ir C

*V*

santykį.

Vartojami sutrumpinimai: PK – personalinis kompiuteris,

SAB – signalų apdorojimo blokas.

Autorių pastaba: darbo aprašyme vartojami LST ISO 31 rekomenduojami terminai izobarinė

*(pastoviojo slėgio) molinė šiluminė talpa C*

*p*

*ir izochorinė (pastoviojo tūrio) molinė šiluminė talpa*

*C*

*V.*

Seniau rašytuose vadovėliuose dažnai vartojami jų atitikmenys izobarinė (pastovaus slėgio)

*molinė šiluma C*

*p*

*ir izochorinė (pastovaus tūrio) molinė šiluma C*

*V*

*.*

Teorinio pasirengimo klausimai. Molekulės laisvės laipsnių sąvoka. Izochorinė molinė

šiluma ir izobarinė molinė šiluma. Ultragarso greitis ore.

Teorinė dalis. Molinė šiluma lygi šilumos kiekiui, kurį suteikus vienam moliui medžiagos

temperatūra pakyla vienu laipsniu. Dujoms ji labai priklauso nuo jų molekulių sudėtingumo ir nuo

proceso, kurio metu suteikiama šiluma, pobūdžio.

Molekulės sudėtingumas susietas su ją sudarančių atomų skaičiumi ir ryšiais tarp jų. Jis

apibūdinamas molekulės laisvės laipsnių skaičiumi. Šis skaičius lygus koordinačių skaičiui,

reikalingam nustatyti molekulės padėtį erdvėje. Vienatomę molekulę galima laikyti materialiuoju

tašku. Jos padėtį nusakome trimis koordinatėmis (x, y, z), kurios kinta molekulei slenkant, todėl ji

turi 3 slenkamojo judėjimo laisvės laipsnius.

Dviatomės kietojo ryšio molekulės erdvinė padėtis apibūdinama 5 koordinatėmis: trys iš jų (x,

y, z) nusako molekulės masės centro padėtį, o jos ašies du kampai (α, β) su koordinačių ašimis –

ašies erdvinę orientaciją. Pastaroji kinta molekulei sukantis, todėl tokia molekulė gali turėti 3

slenkamojo ir 2 sukamojo judėjimo laisvės laipsnius. jei dviatomės molekulės ryšys tarp atomų yra

tamprus, tai tokia molekulė turi dar vieną virpamojo judėjimo laisvės laipsnį.

Molekulinėje fizikoje įrodoma, kad kiekvienam laisvės laipsniui vidutiniškai tenka 1 2

*kT*

kinetinės energijos (čia k – Bolcmano konstanta). Tačiau virpėjimo laisvės laipsniui vidutiniškai

tenka dar tiek pat ( 1 2

*kT*

) potencinės energijos. Jeigu visų trijų rūšių judėjimui galima taikyti

klasikinės mechanikos dėsnius, tai vidutinė molekulės energija:

*w*

= ( 3 + n suk

+ 2 n virp ) 1 2

*kT = i*

*2 kT*

; (1)

2

čia 3 – molekulės slenkamojo, n

*suk*

– sukamojo ir n

*virp*

– virpamojo judėjimo laisvės laipsnių

skaičius. Kai tarpatominis ryšys molekulėje yra kietas (n

*virp*

= 0), tuomet i lygus molekulės laisvės

laipsnių skaičiui.

Todėl molekulinės fizikos energetinėse lygtyse molekulės judėjimo sudėtingumas

apibūdinamas dydžiu

i = ( 3 + n suk

*+ 2 n virp )*

. (2)

Dujoms ypač svarbi izochorinė (pastoviojo tūrio) molinė šiluminė talpa C

*V*

*ir izobarinė*

(pastoviojo slėgio) molinė šiluminė talpa C

*p*

. Molekulinėje fizikoje parodoma, kad

*C*

*V*

= i 2

*,R*

*C p = i*

+ 2

2

*R*

, todėl

γ = C C

*V p*

= i

+ 2 i

. (3)

Oras pasižymi tik tūriniu tamprumu, todėl juo sklindančios ultragarso bangos yra išilginės. Jas

sudaro periodiškai besikaitaliojantys oro sutankėjimai ir praretėjimai, kurie nuolat tolsta nuo bangų

šaltinio. Sutankėjimo vietose temperatūra pakyla, praretėjimo – sumažėja. Dėl oro mažo šilumos

laidumo. Tarp šių sutankėjimų ir praretėjimų šilumos mainai neįvyksta, t.y. jie yra adiabatiški.

Adiabatinį procesą aprašo Puasono lygtis pV γ

=

const , o ultragarso sklidimo ore greitį apibūdina

*adiabatinis oro tūrio tamprumo modulis K = γ p . Todėl ultragarso greitis ore*

c = K ρ

=

γ

ρ

p =

*γ TR M*

; (4)

čia ρ – oro tankis, p – jo slėgis, M ≅ 29,2⋅10

-3

kg/mol – oro vieno molio masė, R = 8,31 J/(K⋅mol) –

universalioji dujų konstanta. Išmatavę ultragarso greitį c ir oro temperatūrą T K, iš (3)

apskaičiuojame dydį γ.

**Darbo aprašymas**

Darbe naudosime impulsinį ultragarso greičio ore nustatymo metodą, kurio aparatūros

struktūrinė schema pavaizduota 1 paveiksle. PK valdomas SAB blokas 1 skleidžia retus įtampos

impulsus U

*1*

(t) (1 pav). Jų veikiamas garsiakalbis 2 vamzdyje 3 skleidžia trumpus tampriųjų bangų

impulsus 4. Šie patekę į mikrofoną 5 vėl sukuria elektrinį impulsą. Šie impulsai patenka į PK, kuris

ir įvertina impulso sklidimo trukmę t, per kurią jis nusklido kelią s nuo garsiakalbio iki mikrofono.

Iš čia išplaukia, kad garso greitis ore:

*c = s t*

. (5)

3

Tiesiogiai išmatuoti atstumą s nepatogu. Todėl ultragarso nueitą kelią matuosime mikrofono

padėties pokyčių metodu. Kai mikrofonas vamzdyje įstumtas giliai, liniuotėje atskaitę ir pažymėję

jo laikiklio žymeklio kraštinę padėtį x

*1,*

išmatuojame bangų sklidimo laiką t

*1*

. Mikrofoną nuo

garsiakalbio nutolinę tiek, kad vamzdyje liktų tik keletas centimetrų jo laikiklio ir pažymėję jo

stovo padėtį x

*2*

, nustatome bangų sklidimo laiką t

*2*

.

Akivaizdu, kad kelių skirtumas

∆ s = x 2

− x 1 . (6)

Nuotolį ∆s garso bangų impulsas nusklis per laiką

∆ t = t 2

− t 1 . Tuomet bangų sklidimo greitis

*c*

= ∆

s ∆

*t*

. (7)

Darbo aparatūros eskizinis vaizdas pateiktas 2 paveiksle. Be jau 1 paveiksle aprašytų SAB

bloko 1, garsiakalbio 2, vamzdžio 3 bei mikrofono 5 ją sudaro temperatūrą matuojantis

termoelementas 6, oro kaitinimo spiralė 7 (šiame eksperimente nenaudojama) ir mikrofono padėties

atskaitymo liniuotė 8.

1. Patikriname, ar garsiakalbis gerai prigludęs prie vamzdžio (jei reikia, pataisome).

Patikriname, ar mikrofono režimų perjungiklis (detaliau pavaizduotas 2 paveiksle išnašoje) yra

perjungtas į padėtį „Π“. Mikrofono jautrio keitimo rankenėlė turi būti prieš laikrodžio rodyklę

pasukta iki galo (sukti atsargiai!). Mikrofono stovą pastumiame tiek, kad beveik visas mikrofono

laikiklio vamzdelis būtų skaidraus vamzdžio viduje. Liniuotėje ties stovu atskaitome ir užsirašome

šią padėtį.

2. Tinklo jungikliais įjungiame PK ir monitorių. SAB bloko maitinimo šakutę įkišame į jos

lizdą bloke. Įjungiame mikrofoną 5 spustelėdami jo kvadratinį raudoną klavišą. Įjungtas mikrofonas

veikia apie 0,5 val., po to automatiškai išsijungia. Jei mikrofonas išsijungia nebaigus eksperimento,

jį vėl įjungiame. Įjungto PK ekrane turi būti standartinis „Windows“ langas su instaliuotų programų

piktogramomis.

3. Pele bakstelėję du kartus piktogramą „Ultragarsas 1“ aktyviname ultragarso greičio

matavimo programą. Atsiradusią lango fone užsklandą „Settings“ (nustatymai) pašaliname pele.

Dabar sistema paruošta matavimui PK ekranas sąlyginai padalintas į dvi dalis: kairiojoje

matavimų rezultatai bus pateikiami skaitmeniškai, dešiniojoje – grafiškai.

4. Mikrofono padėčiai x

*1*

matuojame ultragarso sklidimo laiką ∆t

*A1*

. Tam arba PK

paspaudžiame klaviatūros klavišą F9, arba pele pažymime laikrodžio piktogramą. Matavimo

rezultatai matomi ekrane esančioje lentelėje. Jos grafoje n nurodytas matavimo eilės numeris,

grafoje s – bazinis (bet ne tikrasis) atstumas tarp garsiakalbio ir mikrofono, θ

*B11*

– vamzdžio oro

temperatūra oC, ∆t

*A1*

– ultragarso impulso sklidimo nuo garsiakalbio iki mikrofono trukmė

sekundėmis. Šiuos duomenis perrašome į 1 lentelę. Kitoje ekrano pusėje matavimų rezultatai

atvaizduojami grafiko taškais. Matavimą pakartojame penkis kartus. Išmatuotas ∆t

*A1*

ir θ

*B11*

vertes,

bei jų aritmetinius vidurkius 〈∆t

*A1*

〉 ir 〈θ

*B11*

〉 įrašome į 1 lentelę.

4

5

5. Mikrofoną nuo garsiakalbio atitoliname tiek, kad jis permatomame vamzdyje liktų apie

1 ÷ 5 cm. Atskaitome ties jo stovo rodykle ir užrašome naują sąlyginę jo koordinatę x

*2*

. Penkis

kartus kartojame 4 – ame punkte aprašytus matavimus ir skaičiavimus. Jų rezultatus, t.y. ∆t′

*A1*

, θ′

*B11 ir 〈∆t′*

*A1*

〉, 〈θ′

*B11*

〉 užrašome 1 lentelėje.

6. Apskaičiuojame ultragarso nueito kelio bei sklidimo laiko pokyčius

∆ s = x 2

− x 1 ir

∆ t = ∆ t ′ A

1 − ∆ t A 1 , pagal (7) formulę apskaičiuojame ultragarso greitį ore.

7. Ultragarso greitį ore dar apskaičiuojame pagal (3) ir (4) formules kai T=(〈θ′

*B11*

〉+273)K, atvejams

i = 3, i = 5 ir i = 7. Sugretinę šių skaičiavimų ir eksperimento rezultatus, darome išvadą apie

labiausiai tikimas dydžių i ir γ reikšmes kambario temperatūros orui.

8. Baigę eksperimentą pele išeiname iš programos „Ultragarsas1“. Išeidami atsidariusiame

lange „Save changes?“ (ar įsiminti pakeitimus ?) pele pasirenkame atsakymą „No“ (ne). Mikrofoną

grąžiname į pradinę padėtį. Įprastine tvarka išjungiame PK ir SAB maitinimą.

**1 lentelė**

Nr. ∆t

*A1*

*, s θ*

*B11,*

oC θ′

*B11,*

*oC ∆t′*

*A1*

, s

1

2

3

4

5

〈∆t

*A1*

〉 = s 〈θ

*B11*

〉 = oC 〈θ′

*B11*

〉 = oC 〈∆t′

*A1*

〉= s

*x*

*1*

*= m x*

*2*

= m

*s = x 2*

*− x 1 ∆t = s*

*c = m/s*

**Kontroliniai klausimai**

1. Apibrėžkite molinę ir savitąją šilumines talpas.

2. Paaiškinkite ultragarso sąvoką (ultragarso samprata).

3. Nuo ko priklauso ultragarso greitis dujose ?

4. Paaiškinkite naudotą matavimo metodiką.

5. Paaiškinkite adiabatinį procesą dujose.

6. Kodėl vienus matavimus kartojame, o kitų ne ?

**JUNGO MODULIO NUSTATYMAS**

Darbo užduotis. Nustatyti medžiagos, iš kurios pagamintas pavyzdėlis, Jungo modulį.

Teorinio pasirengimo klausimai. Kūnų deformacija. Huko dėsnis. Elastingumo (Jungo) modulis. Sąveikos jėgos tarp atomų ar jonų kietuosiuose kūnuose.

Teorinė dalis. Kūną vadiname absoliučiai kietu, kai nekinta nuotolis tarp bet kurių jo taškų. Absoliučiai kietų kūnų nėra. Veikiant atitinkamo dydžio išorės jėgoms, visi realūs kūnai daugiau ar mažiau keičia savo formą ir tūri, t.y. deformuojasi. Griežtesne prasme deformacija vadiname tokį kietojo kūno taškų padėties pokytį, kai tarp jų pakinta nuotolis.

Kietieji kūnai sudaryti iš atomų, jonų ar molekulių. Tarp šių dalelių veikia tarpusavio traukos bei atostūmio jėgos, kurios yra gana sudėtingos elektrinės kilmės. Atostūmio jėgas susitarta laikyti teigiamomis, o traukos - neigiamomis. Šių sąveikos jėgų dydis priklauso nuo nuotolio tarp dalelių. Nustatyta, kad, nuotoliui didėjant, atostūmio jėgos silpnėja greičiau, negu traukos. 1 pav. pavaizduota dviejų kietojo kūno dalelių tarpusavio atostūmio jėgos f

1

ir traukos jėgos f

2

priklausomybė nuo nuotolio tarp jų – r. Matome, jog nuotoliui r→∞ , jėga f

1

mažėdama artėja į 0, o jėga f

2

– taip pat artėja į 0. Vidurinioji kreivė, gauta geometriškai sudedant f

1

ir f

2

ordinates, rodo atstojamosios jėgos f priklausomybę nuo nuotolio. Kai nuotolis tarp dalelių yra lygus r=r

0

, jėgą f

2

atsveria priešinga jėga f

1

, ir atstojamoji jėga f(r

0

)=0. Šis nuotolis r

0

vadinamas normaliu nuotoliu tarp dalelių.

Iš 1 pav. matome, kad, priartinus daleles viena prie kitos f

iki nuotolio r<r

0

0

1 pav.

*l*

, atstojamoji jėga teigiama, t.y. vyrauja atostūmio jėgos, kurios stengiasi atstatyti pirmykštį nuotolį

*f*

r

0

. Kai nuotolis tarp dalelių r>r

0

, atstojamoji jėga yra neigiama, ir vyrauja traukos jėgos. Išorinei jėgai keičiant f

1

dalelių tarpusavio padėtį, atsiranda vidinės jėgos, nukreiptos prieš išorinių jėgų veikimą. Šios jėgos vadinamos tamprumo, r

0

r

1

arba elastingumo jėgomis. Išorinei jėgai veikiant kietąjį kūną,

∆r

r

kinta jį sudarančių dalelių tarpusavio padėtis – tuo pačiu kinta kūno forma, t.y. jis deformuojamas. Kūną paveikus deformuojančia jėga ar jai nustojus veikti, kūnai įgauna f

2

atitinkamą formą ne staiga, o per tam tikrą laiką. Jei, deformuojančiai jėgai nustojus veikti, tamprumo jėgos atstato pirmykštę kūno formą, tai deformacija yra tampri, arba elastinga. Kai kūnas neatstato savo formos, deformacija yra netampri, arba plastinė. Praktiškai su tuo susiduriame, tempdami ar gniuždydami kūnus. Kol nuotolis tarp dalelių kinta labai mažu intervalu ∆r atžvilgiu

normalaus nuotolio r

0

(deformacijos labai mažos), tol, kaip matome iš 1 pav., elastingumo jėga tiesiai proporcinga deformacijai; tokia deformacija yra tampri. Nuotolį r, o tuo pačiu ir deformaciją toliau didinant, tiesaus proporcingumo jau nėra ir, nustojus veikti deformuojančiai jėgai, kūnas savaime neįgauna pirmykštės formos – deformacija yra ne tampri, nes

∆l

peržengta tamprumo riba. Didinant deformuojančią jėgą, didės nuotolis r ir, kai r>r

1

2 pav.

, vidinės jėgos neatsvers išorinių jėgų ir kūnas nutruks; šiuo atveju

*F о*

peržengta tamprumo riba. Kūno deformacijos dydis priklauso dar nuo temperatūros. Netamprioms deformacijoms didelės įtakos turi kūno apkrovimo laikas.

Panagrinėkime tempimo deformaciją. Vienu galu įtvirtintą ritinio formos strypą, kurio pradinis ilgis l , skerspjūvio plotas S, tempia išilgai ašies jėga F, ir jis pailgėja dydžiu ∆l (2 pav.). Hukas nustatė, kad santykinis pailgėjimas ∆l/l , esant tampriai deformacijai, tiesiai proporcingas įtampumui F/s (jėgai į ploto vienetą):

F ∆

*l l*

=

*k*

*S*

; (1)

Čia k – tamprumo (elastingumo) koeficientas. Praktikoje naudojamas atvirkščias dydis

= 1 k

yra

vadinamas tamprumo, arba Jungo, moduliu. Tuomet:

*S*

*E*

*∆ l l*

=

E 1

*F*

. (1a)

Iš Huko dėsnio (1a) gauname E modulio reikšmę:

*E*

=

∆

*l l*

*F S*

. (2)

Kai ∆l=l , Tuomet

E =

*F S*

, t.y. Jungo modulis savo didumu lygus tokiam įtempiui, nuo kurio strypas

pailgėtų dvigubai (suprantama, jei deformacija būtų tampri ir deformuojamas strypas nenutruktų). Koeficientas k ir modulis E priklauso nuo medžiagos elastinių savybių.

*l*

*F*

λ

о

3 pav.

Kūno deformaciją galima sukelti ir jį lenkiant. Stačiakampio strypo vieną galą įtvirtinkime, o antrąjį lenkime jėga F (3 pav.).

Viršutinioji, išorėn išlenkta strypo dalis ištempiama, o l

apatinioji, vidun įlenkta, suslegiama. Tas dvi strypo dalis skiria visai deformacijos nepaliesta vadinamoji neutrali juosta. Strypo išlenkimas jo įtvirtinto galo atžvilgiu viduriniojo taško b

poslinkis λ yra tiesiogiai proporcingas lenkiančiai jėgai F, strypo ilgiui l trečiuoju laipsniu, atvirkščiai proporcingas jo

a

pločiui a ir storiui b trečiuoju laipsniu (4 pav.).

4 pav.

λ =

*k*

⎛ ⎜ ⎝

*b l*

⎞ ⎟ ⎠

3

*E*

, (3)

čia k yra skaitinis koeficientas, kurio vertė priklauso nuo strypo įtvirtinimo būdo. Kai abu strypo galai laisvai padėti ant atramų ir pats strypas lenkiamas per

vidurį

4

1 a ⋅ F

*y*

*k*

= 1

.

Izotropinių kūnų Jungo modulis visomis kryptimis yra vienodas. Anizotropinių kūnų, ypač kristalų, Jungo modulio vertė priklauso nuo tempimo arba slėgimo krypties.

Iš lygties (3)

E =

1 4

⎛ ⎜ ⎝

*b l*

⎞ ⎟ ⎠

3

λ 1 a ⋅ F

*y*

, (4)

*l*

λ

F о

Darbo aprašymas. Jungo modulio matavimui naudojamą prietaisą vaizduoja 5 paveikslas. Stove A

1

ir A

2

pritvirtintos trikampės prizmės P

1

ir P

2

ant kurių dedamas stačiakampis strypas. Ant strypo užmauta movelė d, prie kurios kabinami pasvarėliai. Movelė pastatoma viduryje tarp atramų.

1. Strypo storį b ir plotį a išmatuojame mikrometru, ilgį l nuo vieno atramos taško iki kito – rulete, B

arba liniuote.

P

1

A

1

d

P

2 A

2

2. Mikrometru B nustatome strypo pradinę padėtį. Mikrometro sraigtą atsargiai sukame tol, kol paliečia strypą (tačiau nedeformuoja). Atskaitome mikrometro pradinį rodmenį n

0

. 3. Strypą apkrauname svarsčiu P

1

5 pav.

ir palaukiame apie 5 minutes kol nusistovi deformacija. Pasukę mikrometro sraigtą kol paliečia stiebą, atskaitome rodmenį n

1

. Apkrauname strypą papildomais svarsčiais P

2

, P

3

, atskaitome rodmenis n

2

ir n

3

. 4. Tiksliai atvirkščia tvarka, kiekvieną kartą 5 min. palaukdami, nuimame svarsčius ir atskaitome

rodmenis n′ 3

, n′ 2

, n′ 1

ir n′ 0

. 5. Apskaičiuojame vidutines vertes:

= + 2

′ ,

*n*

= n

+ 2

n ′ ,

*n*

= n

+ n ′ 2

ir

= + 2

′ .

6. Kiekvienam pailgėjimui apskaičiuojame Jungo modulį (4) ir randame aritmetinį vidurkį. 7. Matavimų ir skaičiavimų rezultatus surašome į lentelę.

0

*n*

0

*n*

0

n 0 1

1

1 2

2

*2 n*

3

*n*

3 n 3 n

n′ 0

*n*

1

n′ 1

*n*

2

n′ 2

*n*

3

n′ 3

*n*

0

*n*

1

*n*

2

*n*

3

λ

1

= n 1 − n 0 λ

2

= n 2 − n 0 λ

3

= n 3 − n 0 F

1

=

*m 1 g F*

2

=

*m 2 g F*

3

*= m 3 g m*

m

m

N

N

N

Kontroliniai klausimai 1. Paaiškinkite 1 pav. grafiką. 2. Kokia Huko dėsnio ir Jungo modulio fizikinė prasmė? 3. Paaiškinkite panaudotų prietaisų matavimo metodiką.

Literatūra 1. Tamašauskas A., Vosylius J. Fizika. - Vilnius: Mokslas, 1987. - T.1. - P. 212 - 216. 2. Javorskis B., Detlafas A. Fizikos kursas. - Vilnius: Mintis, 1975. - T.3. - P. 101 - 108.

**KIETOJO KŪNO TEMPERATŪRINIO ILGĖJIMO KOEFICIENTO NUSTATYMAS**

**Darbo užduotis**

Susipažinti su kūnų šiluminio plėtimosi dėsningumais, nustatyti metalinio vamzdelio vidutinį ilgėjimo

koeficientą.

**Teorinio pasirengimo klausimai**

Molekulinės jėgos, molekulių sąveikos potencinė energija, gardelės struktūrinių dalelių judėjimo pobūdis

kietajame kūne, temperatūrinis kietojo kūno plėtimasis.

**Teorinė dalis**

Šiluminio plėtimosi mechanizmą aiškinimas remiasi prielaida, kad kūną

sudarančios dalelės yra sujungtos sąveikos jėgomis, priklausančiomis nuo

atstumo tarp dalelių. Todėl vienų dalelių šiluminiai virpesiai perduodami

kitoms. Pavyzdžiui, tamprūs dalelių virpesiai kristalinėje gardelėje, kurią galima

schemiškai atvaizduoti spyruoklėmis surištomis dalelėmis (1 (a) pav.), bus

perduodami gretimoms dalelėms. Kietąjį kūną sudarančios dalelės (molekulės ar

atomai) veikia viena kitą potencialinėmis traukos ir stūmos jėgomis. Taigi

sąveikaujančios dalelės turi potencinės energijos W

*p*

. Jos priklausomybė nuo

atstumo r tarp gretimų dalelių centrų pavaizduota 1 (b) paveiksle. Kai šis

atstumas lygus r

*0*

, energija W

*p*

yra mažiausia. Klasikinės fizikos požiūriu kietojo kūno dalelės tokiu atstumu būtų nutolę 0 K temperatūroje. 1 pav.

Kvantinė fizika įrodė, kad net labai žemose temperatūrose kietojo kūno dalelės virpa apie pusiausvyros

padėtį. Vidutinė virpamojo judėjimo energija <W

*k*

> tiesiogiai proporcinga absoliutinei temperatūrai

T.Virpančios dalelės pilnutinė energija W yra momentinės kinetinės energijos W

*k*

ir momentinės potencinės

energijos W

*p*

suma W = W

*k*

+ W

*p*

. Kadangi dalelių sąveikos jėgos yra konservatyvios, tai, dalelei virpant, jos

pilnutinė mechaninė energija nekinta ir 1 (b) paveiksle ji pavaizduota skirtingas temperatūras atitinkančiomis

horizontaliomis atkarpomis. Kambario temperatūroje virpesių amplitudė sudaro apie 10% tarpatominio atstumo, t.y. 0,1 ÷ 0,2 Å (1 Å = 10-10 m ). Kaip matome 1 paveiksle, dalelių sąveikos potencialo duobė yra

nesimetriška, todėl dalelės maksimalus poslinkis nuo pusiausvyros padėties yra didesnis joms tolstant negu

artėjant, t.y. virpesiai neharmoniniai. Dėl to galima teigti, kad keliant temperatūrą vidutiniai nuotoliai tarp

dalelių padidėja. Tai ypač pastebima, kai yra didesnė virpėjimo kinetinė energija, t.y. aukštesnėse

temperatūrose. Tokie kietieji kūnai šildomi plečiasi, tačiau kietajame kūne vykstant faziniams virsmams, jie

gali ir trauktis. Pavyzdžiui, taip elgiasi kai kurių rūšių ketus – vėsinant skystą ketų ir jam pradėjus

kristalizuotis, jis plečiasi.

Laboratorinio darbo metu bus tiriamas plonas vienalytis izotropinis kūnas, kurio visų taškų temperatūra

yra vienoda. Dažnai tokiems kūnams praktinės reikšmės turi tik jo ilgio L priklausomybė nuo temperatūros t,

t.y. jo linijinis ilgėjimas. Bendruoju atveju priklausomybė L = f (t) yra netiesiška ir apytiksliai

aproksimuojama laipsnine eilute:

⌉ L = L ⌈ │

+ a ⎛ │ ⎝

t - t ⎞ │ ⎠

+ a ⎛ │ ⎝

t - t ⎞ │ ⎠

+ a ⎛ │ ⎝

t - t ⎞ │ ⎠

+ (1)

čia L

0

0 │ ⌊

1

│ │ ⌋

– bandinio ilgis pradinėje temperatūroje t

0

, o koeficientams galioja nelygybė a

1

>> a

2

>> a

3

ir t.t. Kūno

ilgio priklausomybę nuo temperatūros kiekybiškai apibūdina temperatūrinis ilgėjimo koeficientas α, kurį

nusakome pagal temperatūrą išdiferencijavę (1) lygybę:

α = L 1

0

⎛ │ ⎝

*dL dt*

⎞ │ ⎠

= a

1

+ 2

a 2

⎛ │ ⎝

t - t 0 ⎞ │ ⎠

+ 3

a 3

⎛ │ ⎝

t - t 0 ⎞ │ ⎠

2

+ ...

(2)

Bendruoju atveju temperatūrinis ilgėjimo koeficientas α = f (t). Tačiau kai temperatūros pokytis t – t

0

yra

nedidelis, tuomet dėl koeficientų a

2

, a

3

ir t.t. mažumo (1) lygybėje atitinkami eilutės nariai atmetami, ir kūno

ilgio priklausomybė nuo temperatūros apytiksliai aprašoma tiesės lygtimi:

L ≈ L ⌈ │ ⌊

+ α ⎛ │ ⎝

*t - t 0*

⎞ │ ⎠

⌉

;

(3)

čia 1 .

0

1

│ ⌋

α ≈ a 2 pav.

3 pav.

Šiame darbe bus skaičiuojamas baigtinį temperatūros intervalą

*t*

1

– t

0

atitinkantis baigtinis pailgėjimas

∆ L ≈ L 1

- L 0 , todėl iš (3)

lygties išreiškiamas vidutinis ilgėjimo koeficientas:

α v

≅

α = L

1

-

*L*

0

L 0 ⎛ │ ⎝

t 1 -

t 0 ⎞ │ ⎠

=

*L*

0 ⎛ │ ⎝

t ∆ 1 L -

t 0 ⎞ │ ⎠

.

(4)

Jis skaitine verte lygus santykiniam pailgėjimui (ΔL/L

*0*

)

temperatūrą pakėlus vienu laipsniu (2 pav.).

Dėl matavimų paklaidos tik iš dviejų matavimų apskaičiuota

dydžio vertė yra mažai patikima. Todėl α

v

vertė nustatoma

panaudojant eksperimentinę pailgėjimo ∆

*L*

= f ⎛ │ ⎝

*t - t 0*

⎞ │ ⎠

priklausomybę (3 pav.) Grafike pasirinkę galimai ilgesnę tiesinę

atkarpą, nustatome ją atitinkančius dydžius ΔL

*1*

bei (t

1

– t

0

) ir

apskaičiuojame α

*v*

.

Iš formulės

1

0 ⎞ ∆

α α

*v*

=

∆

*L*

0 L

0

+

∆

*L*

*L*

1

1

+

∆

⎛ │ ⎝

t 1

- t 0 │ ⎠ t

-

t (5)

įvertiname ribinę ilgėjimo koeficiento santykinę paklaidą.

2

0 2 0 1

3

0 3

; ...

**Darbo aprašymas**

Matavimo aparatūrą (4 pav.) sudaro: 1 – vonelė su

vandeniu; 2 – termostatas su vandens siurbliu; 3 –

termometras, kuriuo matuojame pratekančio vandens

temperatūrą; 4 – žinomo ilgio tiriamos medžiagos

vamzdelis, kuris šildomas juo pratekančiu skysčiu; 5 –

mikrometras.

*Darbo eiga:*

1. Užsirašome pradinį vamzdelio ilgį L

*0*

=(600 ± 1)mm.

Atžymime pradinę vandens temperatūrą t

0

.

2. Išsiaiškiname mikrometrinio indikatoriaus 5

veikimą. Pasukame mikrometro kompensatorių 6 taip,

kad ilgoji rodyklė sutaptų su apvalios skalės nuliu.

4 pav.

3. Įjungiame termostato maitinimą, paspausdami jungiklį 7. Temperatūros reguliavimo rankenėlę 8

pastatome ties 30 oC padala ir laukiame kol termometro 3 rodmenys nebekinta (apytikriai po 10 min).

4. Kai temperatūra nusistovi, atžymime mikrometrinio indikatoriaus rodmenį n (n = ΔL). Duomenys

surašomi į rezultatų lentelę.

5. Toliau didinam termostato temperatūrą (kas 5 °C iki 70 °C, t.y. kai termostato temperatūros reguliavimo

rankenėlė bus padėtyse 35 oC, 40 oC, 45 oC, 50 oC, 55 oC, 60 oC, 65 oC ir 70 oC). Kiekvieną kartą,

nusistovėjus temperatūrai, užsirašome termometro ir mikrometro parodymus.

6. Baigę matavimus, termostato temperatūros reguliavimo rankenėlę grąžiname į nulinę padėtį, išjungiame

termostatą.

7. Nubraižome medžiagos pailgėjimo nuo temperatūros ΔL = f (t – t

*0*

) priklausomybės grafiką.

8. Iš grafiko pasirinktam temperatūros pokyčiui randame ΔL ir pagal (4) formulę apskaičiuojame vidutinį

ilgėjimo koeficientą α

*v*

. Pagal (5) formulę įvertiname ribinę ilgėjimo koeficiento santykinę paklaidą Δα/α

v

.

9. Visi matavimų ir skaičiavimų duomenys surašomi į laboratorinio darbo rezultatų lentelę.

**Kontroliniai klausimai**

1. Ką parodo vidutinis ilgėjimo koeficientas?

2. Kodėl dauguma kietųjų kūnų šildomi plečiasi?

3. Kodėl vidutinį ilgėjimo koeficientą tikslinga nustatyti iš ΔL = f (t – t

*0*

) grafiko tiesinės dalies?

**Literatūra**

1. Tamašauskas A., Joneliūnas S. Fizikos laboratoriniai darbai. Kaunas: Technologija, 2005. 1 dalis P 59. 2. Javorskis B., Detlafas A. Fizikos kursas. Vilnius: Mintis, 1970. T1. P 327.

3. Tamašauskas A., Joneliūnas S. Fizikos laboratoriniai darbai. Kaunas: Technologija, 2005. 1 dalis P 59.

**KIETOJO KŪNO TEMPERATŪRINIO ILGĖJIMO KOEFICIENTO NUSTATYMAS**

***Eksperimento rezultatų duomenų lapas***

Studento vardas, pavardė: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Grupė:\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Data:\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Dėstytojas: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Parašas:\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**1 Lentelė.**

*L*

*0*

=..................................... mm; t

*0*

= ........................ °C

*t, °C t – t*

*0*

, °C ΔL, mm

**Skaičiavimai**

ΔL=....................................;

*t*

*1*

*– t*

*0*

= ...............................;

α

*v*

=

*L*

0

∆ ⎛ │ ⎝ t 1 L -

t 0 ⎞ │ ⎠

=

.........................................

....................................... (K-1)

∆

α

*v*

=

∆

*L*

0 L

0

*L*

+

∆

⎛ │ ⎝

*t*

- t -

⎞ │ +

= ∆

*L*

1

⎠

1

1 0 α

t 1

t 0 .......................

..........................................

*ΔL = f (t – t*

*0*

)

**SKYSČIO PAVIRŠIAUS ĮTEMPTIES KOEFICIENTO PRIKLAUSOMYBĖS NUO TEMPERATŪROS TYRIMAS**

Darbo užduotis. Ištirti, kaip priklauso vandens paviršiaus įtempties koeficientas nuo temperatūros.

Teorinio pasirengimo klausimai. Molekulinės jėgos. Molekulės veikimo siekis. Paviršiaus energija. Paviršiaus įtempties koeficientas ir jo priklausomybė nuo temperatūros.

Teorinė dalis. Skysčio molekulės traukia viena kitą tam tikra jėga. Skysčio viduje esančią molekulę gretimos molekulės veikia iš visų pusių vienodai, todėl šių traukos jėgų veikimas atsisveria. Paviršiaus sluoksnio molekulės yra kitokiame būvyje: jas veikia tik gretimos šoninės ir apatinės molekulės. Taigi visas skysčio paviršiaus molekules veikia skysčio vidun nukreiptos traukos jėgos. Šios jėgos tepasireiškia tik labai ploname skysčio paviršiaus sluoksnyje, kurio storis lygus molekulės veikimo sferos spinduliui. Perkeldami molekulę iš skysčio vidaus į jo paviršių, turime nugalėti tas traukos jėgas, taigi turime atlikti darbą. Dėl to skysčio paviršius turi tam tikrą potencinę energiją, proporcingą paviršiaus plotui. Šią energiją vadiname paviršiaus 1 pav.

energija. Jeigu, perkeliant į paviršių vieną molekulę, reikia atlikti darbą w, o paviršiaus ploto vienete yra n molekulių, tai paviršiaus ploto elemen

te ∆S bus sukaupta energija ∆ SwnW = ∆⋅ = σ ∆⋅ S . Dydį wn

*= σ vadiname paviršiaus įtempties koeficientu; σ*

= ∆ ∆

*W S*

**,**

*J m*

2

. (1)

Paviršiaus įtempties koeficientas išreiškia darbą, kurį reikia atlikti, norint padidinti skysčio paviršių vienu ploto vienetu.

Apskritai, bet kuri termodinaminė sistema yra pastovioje pusiausvyroje, kai jos energija yra mažiausia. Todėl skystis, išorinių jėgų neveikiamas, įgauna tokią formą, kad jo paviršius būtų mažiausias. Iš visų geometrinių kūnų, esant tam pačiam tūriui, mažiausią paviršių turi rutulys, todėl skysčio masė visada stengiasi įgauti rutulio formą. Toks molekulių jėgų veikimas, dėl kurio skystis įgauna rutulio formą, yra panašus į jėgas, kurios veiktų, jeigu skysčio paviršius būtų įtempta plėvelė, B

C

besistengianti susitraukti. Todėl visus reiškinius, kuriuos sukelia ypatingas skysčio paviršiuje esančių molekulių būvis, galima paaiškinti, nagrinėjant tokios įtemptos

G

A plėvelės veikimą. Išnagrinėkime tokį pavyzdį. Sulenkę

∆h

plonos vielos rėmelį BCHG, uždedame ploną ilgio l slankiojamą vielelę GH (2 pav.). Pamirkę vielelių D

keturkampį muilo tirpale, rėmelį pakabinkime už kilpelės. F 2 pav.

Norint ištemptą plėvelę išlaikyti pusiausvyroje, jos ribos liniją GH reikia veikti tam tikrą jėga F paviršiaus liestinės kryptimi. Ji atsvers jėgas, kurios stengiasi mažinti plėvelės paviršių. Pastarosios vadinamos paviršiaus įtempties jėgomis. Suraskime darbą, kurį reikia atlikti plėvelės plotui padidinti ∆S. Tuo tikslu, veikdami jėga F, paslinkime vielelę GH nuotoliu ∆h. Atliktasis darbas

hFA = ∆⋅ . Pasinaudoję lygtimi (1), turėsime:

σ ∆⋅ hFS = ∆⋅ ,

H

nes WA = ∆ . Kadangi ∆ S = 2

lGH ∆⋅ , tai iš pastarosios lygties surandame σ: σ =

2

*GH F*

*= F l*

*, N m*

. (2)

*Taigi paviršiaus įtempties koeficientą galime nusakyti ir taip: paviršiaus įtempties koeficientas išreiškia jėgą, veikiančią paviršiaus ilgio vienetą paviršiaus liestinės kryptimi.*

Paviršiaus įtempties koeficientas priklauso nuo temperatūros: temperatūrai kylant, jis mažėja. Skysčio temperatūrai artėjant prie krizinės, paviršiaus įtempties koeficientas artėja prie nulio.

Paviršiaus įtempties koeficientas taip pat priklauso ir nuo priemaišų. Sumaišius du skysčius, mišinio paviršiuje yra daugiau molekulių to skysčio, kurio paviršiaus įtempties koeficientas mažesnis, nes tuomet mišinio paviršiaus energija yra mažiausia.

Kūnų drėkinimas priklauso nuo jėgų, kurios veikia tarp paties skysčio molekulių ir skysčio bei kietųjų kūnų molekulių. Jei skysčio tarpmolekulinės sąveikos jėgos yra didesnės, negu skysčio ir kietojo kūno molekulių sąveikos jėgos, tai skystis šio kūno nedrėkina. Ir atvirkščiai, jei skysčio

F

2

A

F

2

F

Θ

F

1

3 pav.

tarpmolekulinės sąveikos jėgos yra mažesnės, negu skysčio ir kietojo kūno molekulių sąveikos jėgos, tai skystis kūną drėkina.

Panagrinėsime jėgas, kurios veikia skysčio molekulę, esančią ties kietojo kūno paviršiumi. Kūną drėkinančio skysčio molekulę aplinkinės skysčio molekulės veikia atstojamąja jėga (3 pav.), nukreipta skysčio vidų. Kietojo kūno molekulių atstojamoji traukos jėga veikia statmenai kietojo kūno paviršiui ir yra didesnė už . Atstojamoji jėga F veikia skysčio molekulę kietojo kūno kryptimi. Kadangi skysčio paviršius visada yra statmenas atstojamajai jėgai, tai riboje su kietuoju kūnu jis yra truputį pakilęs.

*F*

2

1

d

*F*

*F*

1

D

F F

F

F Tuo atveju, kai skystis kūno nedrėkina, jėga FF 1

>

2 ir atstojamoji jėga F yra nukreipta į skysčio vidų. Skysčio paviršius riboje su kietuoju

4 pav.

kūnu yra truputį nusileidęs.

Apie drėkinimą ir nedrėkinimą galima spręsti iš kampo Θ, kurį sudaro kūno paviršius su skysčio paviršiaus liestine AB, išvesta iš skysčio kūno lietimosi taško A. Šis kampas vadinamas kraštiniu kampu. Jei Θ<90°, tai skystis kūną drėkina, o jei Θ>90° -nedrėkina.

Jeigu vandens paviršių liečia žiedelis, tai lietimosi linijos ilgis bus lygus (πD+πD

1

)

), čia D išorinis diametras ir D

1

vidinis diametras.

*D*

*1*

=D-2d, (3) čia d žiedo storis. Taigi skysčio paviršinės įtempties koeficientas apskaičiuojamas taip:

σ

=

F 2

π

(

*dD −*

. (4)

B

A

Θ

F

F

1

B

Darbo aprašymas. Darbe naudojamas

10

įrenginys, pavaizduotas 5 pav. Indas 2 su vandeniu pastatytas ant krosnelės 1. Vandens temperatūrą matuojame

11

5

termometru 3. Siūlas 4 su žiedeliu 5 pakabintas ant jautraus dinamometro 5 . Į indą su vandeniu patalpintas magnetinis maišiklis, kurį įjungiame jungikliu 6 ir sukimosi dažnį reguliuojame rankenėle 7. Krosnelę į tinklą įjungiame jungikliu 8 ir 4

temperatūrą reguliuojame rankenėle 9.

3

5

Atliekant matavimą, maišiklio sukimosi 12

dažnį sumažiname iki nulio ir palaukiame, kol nusistovės lygus vandens paviršius.

2

Darbo eiga. 1. Pradžioje išmatuojame kambario

8

6

1

temperatūros vandens įtempties koeficientą. Sukdami rankenėlę dinamometro rodyklę 11 7

pastatome į nulinę padėtį. Lėtai ir

9

nenaudodami jėgos pasukame kompensatorių 10 dinamometro užpakalinėje pusėje ir išlyginame pusiausvyrą. Sukdami rankenėlę 12 leidžiame siūlelį 5 žemyn ir

5 pav.

nustatome, kad žiedelis vos liestų skysčio paviršių. Iš lėto sukame dinamometro rodyklę 11 kol žiedelis atitruks nuo skysčio. Randame jėgą F ir pagal (4) formulę paskaičiuojame σ. 2. Įjungiame elektros krosnelę, paspausdami mygtuką 8, ir rankenėlę 9 pasukame iki 40°C. Dinamometro rodyklę pasukame į nulinę padėtį, išlyginame pusiausvyrą (10 rankenėlė) ir išmatuojame jėgas anksčiau aprašytu metodu esant 30°C, 40°C, 50°C, 60°C. Paskaičiuojame paviršiaus grafiką σ

= įtempties tf ( )

. Matavimo koeficientą bei skaičiavimo (4 formulė), esant skirtingoms temperatūroms ir brėžiame

rezultatus surašome į lentelę.

t

i

, C° 30 40 50 60 70 σ, J/m

2

Duomenys skaičiavimui: D=20 mm d=0,5 mm Kontroliniai klausima 1. Skysčio paviršiaus įtempties koeficiento fizikine prasmė. 2. Kada skystis kietąjį kūną drėkina, o kada ne? 3. Kam lygus krizinės temperatūros skysčio paviršiaus įtempties koeficientas? 4. Kaip priklauso skysčio paviršiaus įtempties koeficientas nuo temperatūros.

Literatūra 1. Tamašauskas A., Vosylius J. Fizika. - Vilnius: Mokslas, 1989. - T.2. - P.142 - 148. 2. Javorskis B., Detlafas A. Fizikos kursas. - Vilnius: Mintis, 1975. - T.3. - P. 101 - 108.

VANDENS TANKIO ρ PRIKLAUSOMYBĖS NUO TEMPERATŪROS LENTELĖ

t, °C 8 9 10 11 12 13 14

ρ, kg/m

3 999,88 999,81 999,73 999,63 999,52 999,40 999,27

t, °C 15 16 17 18 19 20 21

ρ, kg/m

3 999,13 998,97 998,80 998,62 998,43 998,23 998,02

t, °C 22 23 24 25 26 27 28

ρ, kg/m

3 997,80 997,56 997,32 997,07 996,81 996,54 996,26

22. SKYSTŲ TIRPALŲ PAVIRŠINĖS ĮTEMPTIES KOEFICIENTO

PRIKLAUSOMYBĖS NUO KONCENTRACIJOS TYRIMAS

Darbo užduotis. Ištirti, kaip priklauso vandens paviršinės įtempties koeficientas nuo jame

ištirpinto alkoholio koncentracijos.

Teorinio pasirengimo klausimai. Molekulinės jėgos. Molekulės veikimo spindulys. Paviršinė

energija. Paviršinės įtempties koeficientas. Laplaso formulė. Kapiliariniai reiškiniai.

Teorinė dalis. Skysčio molekulės yra arti viena kitos, todėl tarp jų veikia gana didelės

molekulinės jėgos. Didėjant atstumui, molekulinės jėgos sparčiai mažėja. Kai šis atstumas didesnis

už vadinamąjį molekulinio veikimo sferos spindulį m, į jas jau nekreipiama dėmesio.

Kiekviena skysčio molekulė, kuri nutolusi nuo laisvojo paviršiaus atstumu, didesniu už R (1 pav.),

yra iš visų pusių maždaug vienodai apsupta kitų to skysčio molekulių, ir todėl ją veikianti tų

molekulių atstojamoji jėga

*R*

≈ 10

−

9

f о

*a*

=

0 (molekulė A). Kitaip yra molekulei B, esančiai nuo skysčio

paviršiaus atstumu, mažesniu už R. Kai virš skysčio paviršiaus yra oras, tuomet ją veikianti jėga

о

*a*

yra nukreipta į skysčio vidų. Kaip tik dėl to kiekviena skysčio molekulė, pereidama iš skysčio

gilumos į jo paviršių, atlieka darbą. Šį darbą atlikti gali tik molekulė, turinti pakankamą kinetinės

energijos kiekį. Atlikto darbo didumu padidėja molekulės potencinė energija. Todėl kiekviena

paviršinio skysčio sluoksnio molekulė, giluminių atžvilgiu, turi potencinės energijos perteklių. Šią

paviršinio sluoksnio perteklinę energiją W

*p*

*f*

vadiname paviršine. Ji tiesiog proporcinga skysčio

paviršiaus plotui S, t.y.

*W*

*p*

= σ S . (1) Kaip žinome, kiekvieno kūno pastoviąją būseną atitinka minimali potencinė energija, todėl skysčio

laisvajame paviršiuje veikia jam lygiagrečios jėgos, kurios stengiasi sumažinti paviršiaus plotą S,

taip pat ir paviršinę energiją W

*p*

*. Šios jėgos vadinamos paviršinės įtempties jėgomis. Dydis*

σ = W S

*p*

*,*

m J

2

(1a)

*vadinamas paviršinės įtempties koeficientu. Jis skaitine*

*verte lygus paviršiaus ploto vieneto paviršinei*

energijai ir priklauso nuo skysčio prigimties,

temperatūros bei ištirpintų medžiagų. Alkoholis, eteris,

muilas ir daugelis kitų organinių medžiagų vandens

paviršinę įtemptį mažina, o ištirpinta valgomoji druska

– didina. Dėl molekulinių sąveikos jėgų (1 pav.), be

*R*

A

1 pav.

B f

*a*

2

paviršinės įtempties, dar turime skysčio

*paviršiaus slėgį p*

*m*

, kuriuo paviršiaus sluoksnis

slegia visą skystį. Šis slėgis priklauso nuo skysčio

prigimties ir jo paviršiaus kreivumo. Iš patirties

žinome, kad kapiliarą nedrėkinančio skysčio

meniskas išgaubtas (2 pav., a), o drėkinančio –

įgaubtas (2 pav., c). 2 paveiksle dydžiu p

pažymėtas skysčio paviršiaus bendras slėgis.

Laplasas įrodė, kad, dėl skysčio paviršinės įtempties jėgų kreivas skysčio paviršiaus sluoksnis,

plokščiojo atžvilgiu, skystį veikia papildomu slėgiu ∆p, kuris nukreiptas paviršiaus kreivumo centro

link (2 pav.). Pagal Laplasą, spindulio R skysčio sferinio paviršiaus papildomas slėgis (3 pav.)

išreiškiamas taip:

Papildomas slėgis labai svarbus kapiliariniams reiškiniams.

Skysčiui kapiliarą drėkinant, susidaro įgaubtas meniskas, ir po

juo slėgis dydžiu ∆

p sumažėja. Dėl to skystis kapiliaru pakyla

tiek, kad susidariusio skysčio stulpelio hidrostatinis slėgis ρgh

kompensuotų papildomąjį slėgį, t.y.

ρ

*hg*

= 2

*R*

σ

. (3)

Kai skystis kapiliarą gerai drėkina, jo menisko kreivumo spindulys R yra lygus kapiliaro spinduliui

r. Tuomet šią lygtį patogu naudoti skysčio paviršinės įtempties koeficientui nustatyti.

Darbo aprašymas. Darbe nagrinėjamas įrenginys pavaizduotas 4 paveiksle. Į inde 1 įpiltą

tiriamąjį skystį įleidus kapiliarą 2, guminiu vamzdeliu sujungtą su manometru 3, drėkinantis skystis

kapiliaru pakyla aukštyn. Į vandenį panardinus gaubtą 4, susidaro slėgis, kuris veikia kapiliarą ir

skysčio manometrą. Kai kapiliaro galas yra skysčio paviršiniame sluoksnyje, šį slėgį didiname,

nardindami gaubtą tol, kol pasirodo burbuliukai, priešingu atveju gaubtą nardiname tol, kol

meniskas kapiliare nuslūgsta iki skysčio paviršiaus lygio inde 1. Taip susidaręs slėgis išmatuojamas

manometru ir išreiškiamas taip:

*hgp =*

ρ 11

; (3a)

čia ρ

1

– manometrinio skysčio tankis ir h

1

– skysčio lygių manometro šakose skirtumas. Šis slėgis

kompensuoja kapiliare susidariusį Laplaso slėgį, t.y. ρ 11

hg = 2

σ r . Iš čia išplaukia

σ = 50 hrg, ρ 1

⋅ 1 . (4)

*- p = p m*

*+ ∆ p*

*p = p*

*m*

*p = p m*

∆ p

∆ p

∆ p

a b

c

2 pav.

∆

*p*

= 2

*R*

σ

. (2)

*R*

*h*

*p = p*

*m*

3 pav.

3

1. Matavimus pradedame su distiliuotu

vandeniu. Į jį panardinę kapiliarą ir

aprašytu būdu sudarę kompensuojantį slėgį,

išmatuojame h

1

. Matavimą pakartoję keletą

kartų, apskaičiuojame dydžio h

1

aritmetinį

vidurkį < h

1

> bei įvertiname jo nustatymo

2

3

h 4 z, % 0 10 ... z

*x*

< h > ...

σ, J/m2 ...

3. Pasirinktai tirpalo koncentracijai įvertiname ribinę dydžio σ nustatymo paklaidą

⎟

1

ribinę paklaidą ∆ h

1

. Iš lentelių nustatę

kambario temperatūros manometrinio

1 skysčio tankį ρ

1

, apskaičiuojame σ.

2. Aprašytu būdu nustatome alkoholio įvairių

4 pav. koncentracijų tirpalų σ, brėžiame grafiką

σ

*= zf ( )*

ir iš jo nustatome nežinomą tirpalo koncentraciją z

*x*

. Matavimų ir skaičiavimų

rezultatus patogu surašyti lentelėje. Prieš nardinant kapiliarą į tirpalą, jį reikia nusausinti, o

panardinus – praplauti tiriamajame tirpale (t.y. panardinus jį į tirpalą, gaubtą 4 nardinti tol, kol

iš kapiliaro pradės veržtis oro burbuliukai).

σ∆

= ± σ ⎛ ⎜

∆ r

*r*

+

∆

*h*

*h*

1

+

ρ∆ ρ

1

+

∆

*g*

*g*

⎞

.

**Kontroliniai klausimai**

1. Kam lygus skysčio paviršinės įtempties koeficientas kritinėje temperatūroje ?

2. Kada skystis kietą kūną drėkina, o kada ne ?

3. Kokia skysčio elgsena kapiliaruose, kurių paviršiaus jis nedrėkina ?

4. Ar kapiliarais vadinami tik siauri apvalūs vamzdeliai ?

5. Kodėl stulpelio aukštį h

*i*

⎜

1 ⎝

1

⎟ ⎠

matuojame keletą kartų ir skaičiuojame aritmetinį vidurkį ?

SKYSČIŲ TANKIO MATAVIMAS

Darbo užduotis. Svėrimo būdu nustatyti tirpalų tūrinį tankį.

Teorinio pasirengimo klausimai. Kūno masė. Kūno sunkis. Kūno svoris. Archimedo

jėga ir jos įtaka svėrimo rezultatui.

Teorinė dalis. Kūno masė nusako jo savybę – inertiškumą slenkamajame judėjime ir yra

*kūno inertiškumo bei kūnų gravitacinės sąveikos matas. SI masės vienetas kilogramas (kg).*

Makroskopinių kūnų masė tiesiogiai susieta su kūno medžiagos kiekiu, kuris priklauso nuo

kūną sudarančių molekulių skaičiaus. SI medžiagos vienetas yra molis (mol).

Kūno sunkis tiksliai apibrėžtoje atskaitos sistemoje yra jėga, kuri, veikdama kūną, suteiks

jam pagreitį, lygų vietiniam laisvojo kritimo pagreičiui toje atskaitos sistemoje. SI sunkio

vienetas yra niutonas (N). Jėga, kuria kūnas dėl Žemės traukos veikia atramą ar pakabą,

vadinama kūno svoriu. SI svorio vienetas yra niutonas (N). Kūnui esant reliatyvioje rimtyje ar

judant tiesiai ir tolygiai jo svoris moduliu ir kryptimi sutampa su sunkiu, skiriasi tik šių jėgų

pridėties taškas. Sunkio jėgos veikiamas laisvai krintantis kūnas neturi nei atramos, nei

pakabos, todėl yra besvoris.

Kai kūno tūryje dV esančios medžiagos masė dm, tuomet masės tankiu (toliau tankis)

vadiname dydį

ρ = d d

*m V*

. (1)

Vienalyčio kietojo, skysto ar dujinio kūno tankis užrašomas taip:

ρ = d d

*m V*

. (2)

Tūrio V ir tankio ρ kietojo kūno sunkis kai gravitacinis laukas laikytinas vienalyčiu

mgF = = ρ Vg ; (3)

čia m – to kūno masė. Šį kūną panardinus į tankio ρ′ skystį ar dujas, pagal Archimedo dėsnį jį

veiks aukštyn nukreipta Archimedo jėga F

*A*

. Ji lygi išstumto skysčio ar išstumtų garų sunkiui:

*gmF*

*A*

= ′ = ρ′ Vg ; (4)

čia V – išstumto skysčio ar dujų tūris sutampa su išstumiančio kūno tūriu. Archimedo jėgos ir

sunkio santykis

*F A F*

=

ρ′ ρ

. (5)

2

Skysčių ρ′ yra tos pačios eilės dydis, kaip ir kietųjų kūnų tankis ρ, o atmosferiniame slėgyje

esančių dujų – ρ′ << ρ, todėl kietąjį kūną nardinant į skystį visada būtina atsižvelgti į

Archimedo jėgą. Į tai, kad sveriant atmosferoje kūnas yra „panardintas” į dujas, ne itin

tiksliuose skaičiavimuose neatsižvelgiama. Skysčio tankį matuosime specialiomis Moro

svarstyklėmis. Tai svirtinės svarstyklės (1 pav.).

*F*

*F*

i i A

1 pav.

Ant ilgio i

1

1

1

2

*F*

2

kairiojo peties pakabinamas sunkio F

1

etaloninis kūnas (jo tūrį ir masę

žinome). Jis panardinamas į tiriamąjį skystį. Šį pasvarą žemyn veikia jėgų atstojamoji

*A*

. (6)

Svarstyklės bus pusiausvyroje, jei ant dešiniojo peties pakabinsime tokį svarelį, kurio sunkis

*F*

2

*FFF =*

1 − atsvers atstojamosios F veikimą. Pusiausvyros atveju

F ⋅ i 1

= F 22 ⋅ i , (7)

arba, atsižvelgiant į (6) ir (4),

*( F 1*

− ρ ′ Vg )

i 1 = F 22 i . (8)

Šioje lygtyje nežinomasis yra tik tiriamojo skysčio tankis ρ′. Dydžiai F

1

, i

1

, V ir ant dešiniojo

peties uždėtas F

2

sunkio svarelis yra prietaiso pastoviosios. Svarstyklių pusiausvyrą atstatome

tik tinkamai parinkdami sunkio jėgos F

2

petį i

2

. Esant skirtingoms tiriamojo skysčio tankio ρ′

vertėms Archimedo jėga skirtingo didumo, todėl pusiausvyrą atitiks skirtingos i

2

vertės.

Todėl svarstyklių svirties skalę patogu sugraduoti ne ilgio, o tankio vienetais (g/cm3). Kad

matavimai būtų tikslesni, darbe naudojamos svarstyklės su dviem svareliais. Pusiausvyrą

gausime tinkamai parinkdami kiekvieno jų sunkio jėgos petį. Tuomet tiriamojo skysčio tankis

lygus jų rodmenų sumai.

Darbo aprašymas. Darbe naudojamos Moro svarstyklės pavaizduotos 2 paveiksle. Ant

stovo 1 taške e remiasi svirtis 2. Ant kairiojo jos peties pakabintas etaloninis pasvaras 3, kuris

3

panardinamas į tiriamąjį skystį 4. Ant dešiniojo svarstyklių svirties peties yra du slankūs

svareliai, kurių padėtis svirtyje esančių skalių atžvilgiu nusako tiriamojo skysčio tankį: 5-ojo

svarelio padėties sąlygojama vertė tankio skalėje 0,00÷1,00 g/cm

3

, 6-ojo – 0,0000÷0,010 g/cm3. Kai matuojamas skysčio tankis mažesnis už 1 g/cm3, ant šio peties pakabinamas

papildomas svarelis 7. Svarstyklių pusiausvyra fiksuojama pagal rodyklių 8 sutapimą. Prieš

bandymą, esant sausam pasvarui 3, svarstyklių pusiausvyra nustatoma naudojant balanso

korektorių 9 bei reguliatorių 10. Laboratorijoje svarstyklės pastatytos ant keičiamo aukščio

staliuko. Jas pakėlus galima pakeisti indą su tiriamuoju skysčiu.

e

2 pav.

1. Nustatome svarstyklių pusiausvyros padėtį. Tam pakabiname švarų ir sausą pasvarą

(prireikus nusausinamas sugeriamuoju popieriumi). Slankius svarelius 5 ir 6 perstumiame į

nulines padėtis. Ant svirties pakabiname svarelį 7. Sukdami svarstyklių balanso korektorių 9,

pasiekiame rodyklių 8 vienodą aukštį (pusiausvyros padėtį).

2. Išmatuojame distiliuoto vandens tankį. Tam pakėlę stalelį, ant kurio stovi svarstyklės, į

viršutinę padėtį po pasvaru 3 pastatome indą su distiliuotu vandeniu. Sukdami staliuko po

svarstyklėmis aukščio reguliatorių pasvarą visiškai panardiname vandenyje. Tai darydami

žiūrime, kad paniręs pasvaras neliestų indo sienelių ir ant jo paviršiaus neliktų prikibusių oro

burbuliukų. Tiksliai matuojant temperatūra svėrimo metu turi ženkliai nepakisti.

3. Esant svareliams 5 ir 6 ties nulinėmis padalomis nuo svirties atsargiai nukabiname

papildomą svarelį 7. Jei svirties rodyklė 8 kyla aukštyn, svarelį grąžiname į pradinę padėtį, jei

rodyklė krypsta žemyn, šį svarelį paliekame nukabintą.

9

10

2

4

3

5 6

7

8

1

4

4. Pradžioje slankiodami svarelį 5, o po to 6, pasiekiame svarstyklių pusiausvyrą.

Svarelius 5 ir 6 kreipiančiosiose esančiose skalėse atskaitome tankį gramais kubiniame

centimetre ir atskaitytas vertes sumuojame. Jei svarelis 7 buvo nukabintas, prie gautojo rezultato dar pridedame 1 g/cm3. Aprašytu būdu nustatytą distiliuoto vandens tankį

sugretiname su šio aprašymo pabaigoje pateiktoje lentelėje nurodytu tankiu, atitinkančiu

eksperimento temperatūrą. Jei išmatuotas tankis skiriasi nuo teorinio, tai skirtumą ρ

*teor*

– ρ

eksp su algebriniu jo ženklu pridedame prie išmatuotų tankio verčių.

5. Iš vandens iškėlę pasvarą atsargiai nusausiname sugeriamuoju popieriumi, po pasvaru

pastatome stiklinę su tiriamuoju skysčiu ir 4 punkte nurodytu būdu išmatuojame jo tankį.

6. Tokius pat matavimus atliekame su visais kitais skirtingos koncentracijos tirpalais.

Pastabos. 1) Po kiekvieno matavimo pasvarą nusausiname. 2). Rekomenduojama matuoti

tirpalo koncentracijos didėjimo tvarka.

7. Brėžiame tirpalo tankio priklausomybės nuo koncentracijos grafiką.

8. Baigę sverti svarelius 5 ir 6 paliekame ties „0” padalomis.

**Kontroliniai klausimai**

1. Paaiškinkite masės, sunkio, svorio, medžiagos kiekio sąvokas ir kuo šie dydžiai susiję.

2. Ką vadiname kūno tankiu?

3. Suformuluokite Archimedo dėsnį.

4. Kodėl nekreipiame dėmesio į Archimedo jėgą, veikiančią svarelius ant dešinės (2 pav.)

svarstyklių svirties?

5. Ar veiks Archimedo jėga skystyje panardintą kūną, besvorės būsenos sąlygomis?

6. Kodėl ir kaip kūno tankis priklauso nuo temperatūros ?

1 priedas Distiliuoto vandens tankio priklausomybė nuo temperatūros

t, °C ρ, g/cm

3 t, °C ρ, g/cm

3

15 0,999099 23 0,997540

16 0,998943 24 0,997299

17 0,998775 25 0,997047

18 0,998596 26 0,996785

19 0,998406 27 0,996515

20 0,998205 28 0,996235

21 0,997994 29 0,995946

22 0,997772 30 0,995649

DUJŲ TANKIO NUSTATYMAS

Darbo užduotis. Susipažinti su oro (dujų) molio masės ir tankio vienu iš nustatymo

būdų.

Teorinio pasirengimo klausimai. Atominės masės vienetas. Molekulinė masė. Molio

masė. Masės tūrinis tankis. Klapeirono lygtis. Archimedo jėga.

Teorinė dalis. Daugumos dujų atomo (molekulės) masė yra 10-27 g eilės. Tokį mažą dydį

patogu išreikšti atominiais masės vienetais. Vienas atominės masės vienetas yra lygus

1,660540·10

-27

kg. Juo vadiname anglies izotopo 12

6

C atomo 1/12 masės dalį. Šių vienetų

kiekiu išreikšta atomo (molekulės) masė vadinama santykine atomine (molekuline) mase arba

dar atominiu (molekuliniu) svoriu. Tai yra bevardis dydis, lygus molekulės vidutinės masės ir 12C atomo masės 1/12 dalies santykiui.

Molis – SI pagrindinis medžiagos kiekio vienetas. Jį sudaro 6,022⋅1023 vienodų dalelių

(molekulių, jonų, atomų) skaičius (N

*A*

= 6,022⋅1023 – Avogadro skaičius).

Molio masė yra cheminio elemento ar junginio 1 molio masė, išreikšta gramais.

Skaitmeniškai ji lygi santykinei molekulinei masei. Pavyzdžiui, deguonies (O

2

) santykinė

molekulinė masė yra ≈32, todėl jo molinė masė M = 32 g/mol.

Žemutiniame oro sluoksnyje yra apie 78% azoto N

2

(M = 28 g/mol), 21% deguonies O

2

(M = 32 g/mol). Be to, ore yra anglies dioksido, vandens garų, inertinių dujų. Kitų

komponentų yra labai nedaug (mažiau kaip 5⋅10

-4

%). Taigi mes nustatinėsime dujų mišinio

efektinę (ekvivalentinę) molio masę, kuria apibūdintume įsivaizduojamas vienarūšes dujas,

kad mūsų eksperimento rezultatai būtų tokie kaip ir su oro dujomis.

Kai kūno tūryje dV esančios medžiagos masė yra dm, tuomet jo masės tankiu vadiname

dydį

*ρ = dm dV*

. (1)

Vienalyčio kūno masės tankio formulė (1) baigtiniams dydžiams m ir V užrašoma taip:

ρ = V m

. (2)

Žinant vienalyčių dujų pusiausvyrinę būseną aprašančius termodinaminius parametrus,

nesunku apskaičiuoti dujų tankį. Tam Klapeirono lygtį

*pV = M m*

*RT*

(3)

2

perrašome taip:

*V m*

*= ρ = pM RT*

; (4)

čia m – dujų masė, M – jų molio masė, R – universalioji dujų konstanta (R=8,314 J/(mol·K)),

V – užimamas tūris, p – slėgis, T – absoliutinė temperatūra.

Taigi, žinodami dujų slėgį, temperatūrą ir molio masę, galime apskaičiuoti ir jų tankį.

Oro molio masei nustatyti nagrinėsime indo su dujomis svėrimą svirtinėmis

svarstyklėmis, kurių pečiai yra vienodi (1 pav.). Nors eksperimentuosime su kiek kitokiomis

svarstyklėmis, joms čia atlikta analizė pakankamai gerai tiks.

*F*

*A*

*m i*

*g*

*m s*

*g*

*m i*

*g +m 0*

*g*

1 pav.

Svirtis (1 pav.) bus pusiausvyroje, kai kiekvieną jos petį žemyn veiks vienodo dydžio

jėgų atstojamoji. Kairįjį petį žemyn veiks masės m

*i*

indo sunkis gm

*i*

о

ir masės m

0

inde esančio

oro sunkis gm

0 . Šias jėgas mažins indą aukštyn veikianti Archimedo jėga . Ji savo

moduliu lygi indo išstumto oro sunkiui. Dešinįjį petį žemyn veiks masės m

о

F о

*A*

*s*

svarelių sunkis

*gm s*

о

. Dėl svarelių didelio tankio lyginant su oro tankiu juos veikianti Archimedo jėga yra

maža, todėl į ją nekreipsime dėmesio. Taigi svirties pusiausvyros atveju galioja lygybė

*gmFgmgm*

*i*

A s . (5)

Indo sunkio ir Archimedo jėgos eliminavimui bandymą atliksime esant dviem

skirtingoms oro slėgio p

1

+

0 − = ir p

2

vertėms tai pačiai oro temperatūrai T. Svirties pusiausvyrai

gauname lygčių sistemą

*gmFgmgm*

*i +*

*01 − A = s 1 gmFgmgm*

i + 02

− A = s 2 ; (6)

3

čia m

01

ir m

02

– oro masė inde esant slėgiui atitinkamai p

1

ir p

2

; m

*s1*

ir m

*s2*

– pusiausvyrą

palaikančių svarelių masės.

Lygtis atimdami vieną iš kitos gauname

*mmmm 01 − 02 = s*

1 − s 2 . (7)

Slėgiams p

1

ir p

2

sudarius Klapeirono (3) lygčių sistemą, ją išsprendę dujų masės

atžvilgiu ir atsižvelgę į (7), gauname:

( pp 1 − 2 )

*VM RT*

*= mm*

*s*

1 − s 2 . (8)

Tuomet oro molio masė

*M = ( RTmm*

*( s*

*Vpp 1*

1

−

−

s 2 2 ) )

. (9)

Nustatę oro molio masę M ir atmosferos slėgį p

1

, pagal (4) apskaičiuojame oro tankį ρ

1

.

Darbo aprašymas. Darbo stendą sudaro 10 mg tikslumo svarstyklės, kurių bendras

vaizdas pateiktas 2 paveiksle; sferinis indas dujoms su dviem sklendėmis uždaromais čiaupais

ir oro siurblys su slėgmačiu. Siurblys lanksčiu plastmasiniu vamzdeliu sujungiamas su vienu

indo čiaupu. Siurblį naudosime oro slėgiui inde sumažinti. Slėgmačio skalė sugraduota

milibarais (1 mbar ≈ 100 Pa) taip, kad jos 0 atitinka atmosferinį slėgį, o ( – 1000) mbar

atitinka absoliutų vakuumą (p = 0 Pa). Taigi šis prietaisas rodo slėgio vakuumuojamame inde

ir atmosferos slėgio skirtumą. Prijungdami siurblį prie oro indo atsargiai ant jo čiaupo

užmauname, o atjungdami taip pat atsargiai numauname plastmasinį vamzdelį. Oro indą ant

stalo ir ant svarstyklių dedame tik kartu su kamštiniu padėklu.

Svarstyklių pusiausvyra pasiekiama perstumiant keturis svarelius kreipiančiosiomis 2. Iš

pradžių parenkama didžiausio svarelio padėtis taip, kad svirtį minimaliai nusvertų sveriamas

objektas. Po to taip pat parenkamos kitų svarelių padėtys jų mažėjimo tvarka. Svarelių suminę

masę gauname sumuodami kreipiančiosiose nurodytas ties svarelių padėtimis mases.

2 4 3 2 pav. Svarstyklės. 1 – lėkštelė sveriamam indui; 2 – slankūs svareliai 0,0000÷1,0 g, 1÷10 g, 10÷100 g ir 100÷200 g; 3 – svarstyklių pusiausvyros atskaitos vieta; 4 – tuščių svarstyklių balansavimo varžtas 1. Patikriname tuščių svarstyklių (2 pav.) justuotę (subalansavimą). Esant visiems slankiems

svareliams ties nulinėmis padalomis svirties pusiausvyros atskaitos linija 3 turi būti ties

„0” brūkšniu. Jei taip nėra, svarstyklių pusiausvyrą pasiekiame balansuojančiu varžtu 4 (2

pav.).

2. Padėję padėklą su indu dujoms ant stalo, atsargiai prijungiame prie vieno jo čiaupo oro

siurblį. Šį čiaupą atidarę (kitas čiaupas turi būti uždarytas) spaudydami dujų siurblio

rankenėlę retiname orą ir pasiekiame, kad skirtumas tarp atmosferinio slėgio ir slėgio inde

*p*

1

1

– p

2

sudarytų apie 400÷500 mbarų. Palaukę 5 minutes, kad temperatūra inde prilygtų

kambario temperatūrai, kiek galima tiksliau užrašome slėgmačio rodomą slėgių skirtumo

vertę. Uždarę indo čiaupą numauname nuo jo galo vamzdelį.

3. Užkeliame ant svarstyklių lėkštelės indą su kamštiniu padėklu ir kiek galima geriau

centruojame. Sverdami nustatome svarstyklių pusiausvyrą atitinkančią svarelių masę m

*s2*

.

4. Atsargiai atidarome vieną iš indo sklendžių taip sulygindami oro slėgį inde su

atmosferiniu slėgiu p

1

ir laukiame 5 minutes, kol nusistovės pusiausvyrinė temperatūra T.

5. Vėl svarstyklių kreipiančiosiomis stumdydami svarelius atstatome svarstyklių pusiausvyrą

ir atskaitome ją atitinkančią svarelių masę m

*s*

1

.

6. Apskaičiuojame oro molio masę M. Indo tūris V = 1000 ml.

7. Apskaičiuojame bandymo sąlygomis esantį atmosferos tankį. Jį sugretiname su lentelės

duomenimis. Atmosferos slėgį ir temperatūrą matuojame laboratorijoje esančiais

barometru ir termometru.

8. Baigę matavimus indą kartu su kamštiniu padėklu atsargiai nukeliame nuo svarstyklių.

Vieną jo sklendžių paliekame atvirą. Svarstyklių slankiuosius svarelius perstumiame į

nulines padėtis.

4

5

**Kontroliniai klausimai**

1. Ką vadiname dujų molio mase?

2. Ką vadiname masės tankiu?

3. Suformuluokite Archimedo dėsnį.

4. Esant kokiam sveriamo kūno ir svarelių masių tankių santykiui Archimedo jėga

pastebimai neveikia svėrimo rezultatų.

5. Kodėl pakeitus slėgį inde prieš jį matuojant rekomenduojama kelias minutes palaukti?

6. Kodėl, nors simetrinės svirtinės svarstyklės (1pav.) yra jėgų sulyginimo prietaisas,

sverdami nustatome mases?

**DUJŲ TANKIO NUSTATYMAS**

Darbo užduotis. Susipaţinti su oro (dujų) molio masės ir tankio vienu iš nustatymo

būdų.

Teorinio pasirengimo klausimai. Atominės masės vienetas. Molekulinė masė. Molio

masė. Masės tūrinis tankis. Klapeirono lygtis. Archimedo jėga.

Teorinė dalis. Daugumos dujų atomo (molekulės) masė yra 10-27 g eilės. Tokį maţą dydį

patogu išreikšti atominiais masės vienetais. Vienas atominės masės vienetas lygus

1,660540·10

-27

kg. Juo vadiname anglies izotopo 12

6

C atomo 1/12 masės dalį. Šių vienetų

kiekiu išreikšta atomo (molekulės) masė vadinama atomine (molekuline) mase. Tai yra bevardis, dydis lygus molekulės vidutinės masės ir 12C atomo masės 1/12 dalies santykiui.

Molis – SI pagrindinis medžiagos kiekio vienetas. Jį sudaro 6,022∙10

23

vienodų dalelių

(molekulių, jonų, atomų) skaičius (N

*A*

= 6,022∙10

23

– Avogadro skaičius).

Molio masė yra cheminio elemento ar junginio 1 molio masė, išreikšta gramais.

Skaitmeniškai ji lygi santykinei molekulinei masei. Pavyzdţiui, deguonies (O

2

) santykinė

molekulinė masė yra ≈32, todėl jo molinė masė M = 32 g/mol.

Ţemutiniame oro sluoksnyje yra apie 78 % azoto (N

2

) (M = 28 g/mol), 21 % deguonies

(O

2

) (M = 32 g/mol). Be to, ore yra anglies dioksido, vandens garų, inertinių dujų. Kitų

komponentų yra labai nedaug (maţiau kaip 5∙10-4 %). Taigi mes nustatysime dujų mišinio

efektinę (ekvivalentinę) molio masę, kuria apibūdintume įsivaizduojamas vienarūšes dujas,

kad mūsų eksperimento rezultatai būtų tokie, kaip ir su oro dujomis.

Kai kūno tūryje dV esančios medţiagos masė yra dm, tuomet jo masės tankiu vadiname

dydį

*ρ = dV dm*

. (1)

Vienalyčio kūno masės tankio (1) formulė baigtiniams dydţiams m ir V uţrašoma taip:

*ρ = V m*

. (2)

Ţinant vienalyčių dujų pusiausvyrąją būseną aprašančius termodinaminius parametrus,

nesunku apskaičiuoti dujų tankį. Tam Klapeirono lygtį

*pV = M m*

*RT*

(3)

perrašome taip:

*ρ = pM RT*

; (4)

2 čia m – dujų masė; M – jų molio masė; R – universalioji dujų konstanta; R=8,314 J/(mol·K);

V – dujų uţimamas tūris; p – slėgis; T – absoliutinė temperatūra ( T=(273+t) K ).

Sverdami tūrio V indo su oru mases m

*s1*

ir m

*s2*

, atitinkančias ţinomus skirtingus slėgius

inde p

*1*

ir p

*2*

, galime sudaryti Klapeirono (3) lygčių sistemą šiems rezultatams. Ją išsprendę,

kai T=const, gauname:

*M = ( RTmm*

*( s*

*Vpp*

1

-

s 2 ) )

; (5)

čia m

*s1*

1

2 -

ir m

*s2*

– svarstyklių pusiausvyrą atitinkančios indo su dujomis masės, nustatytos esant

slėgiams atitinkamai p

*1*

ir p

*2*

. Nustatę oro molio masę M, atmosferos slėgį p

1

ir temperatūrą,

pagal (4) lygtį apskaičiuojame oro tankį ρ.

Darbo aprašas. Darbo stendą sudaro 10 mg tikslumo svarstyklės, kurių bendras vaizdas

pateiktas 1 paveiksle, sferinis indas dujoms su sklende, uţdaromas čiaupu, ir oro siurblys su

slėgmačiu. Siurblys lanksčiu plastmasiniu vamzdeliu sujungiamas su vienu indo čiaupu.

Siurblį naudosime oro slėgiui inde sumaţinti. Slėgmačio skalė sugraduota milibarais (1 mbar

≈ 100 Pa) taip, kad jos 0 atitinka atmosferos slėgį, o 1000 mbar atitinka absoliutų vakuumą (p

= 0 Pa). Taigi šis prietaisas rodo slėgio vakuumuojamame inde ir atmosferos slėgio skirtumą.

Prijungdami siurblį prie oro indo, atsargiai uţmauname ant jo čiaupo, o siurblį atjungdami,

taip pat atsargiai numauname plastmasinį vamzdelį. Oro indą ant stalo ir ant svarstyklių

dedame tik kartu su kamštiniu padėklu.

Svarstyklių pusiausvyra pasiekiama perstumiant keturis svarelius kreipiančiosiomis 2. Iš

pradţių parenkama didţiausio svarelio padėtis taip, kad svirtį minimaliai nusvertų sveriamasis

objektas. Po to taip pat parenkamos kitų svarelių padėtys jų maţėjimo tvarka. Svarelių suminę

masę gauname sumuodami kreipiančiosiose nurodytas ties svarelių padėtimis mases.

*Darbo eiga:*

1. Patikriname tuščių svarstyklių (1 pav.) justiruotę (subalansavimą). Esant visiems

slankiems svareliams ties nulinėmis padalomis, svirties pusiausvyros atskaitos linija 3 turi

būti ties „0“ brūkšniu. Jei taip nėra, svarstyklių pusiausvyrą pasiekiame balansuojančiuoju

varţtu 4 (1 pav.).

2. Padėję padėklą su indu dujoms ant stalo, atsargiai prijungiame prie vieno jo čiaupo oro

siurblį. Šį čiaupą atidarę, spaudydami dujų siurblio rankenėlę, retiname orą ir pasiekiame,

kad skirtumas tarp atmosferos slėgio ir slėgio inde p

1

– p

2

sudarytų apie 400–500 mbar.

Palaukę 5 minutes, kad temperatūra inde prilygtų kambario temperatūrai, kiek galima

tiksliau uţrašome slėgmačio rodomą slėgių skirtumo vertę. Uţdarę indo čiaupą,

numauname nuo jo galo vamzdelį.

3 3. Uţkeliame ant svarstyklių lėkštelės indą su kamštiniu padėklu ir kiek galima geriau

centruojame. Sverdami nustatome svarstyklių pusiausvyrą atitinkančią svarelių masę m

*s2*

.

4. Atsargiai atidarome indo sklendę, taip sulygindami oro slėgį inde su atmosferos slėgiu p

1

,

ir laukiame 5 minutes, kol nusistovės pusiausvyroji temperatūra T.

5. Vėl svarstyklių kreipiančiosiomis stumdydami svarelius, atkuriame svarstyklių

pusiausvyrą ir nuskaitome ją atitinkančią svarelių masę m

*s1*

. 6. Apskaičiuojame oro molio masę M. Indo tūris V = 1000 ml (1 m3 = 1000 l). Matavimus

kartojame 4–5 kartus. Randame molio masės M aritmetinį vidurkį.

7. Apskaičiuojame bandymo sąlygomis esantį atmosferos tankį. Jį sugretiname su lentelės

duomenimis. Atmosferos slėgį ir temperatūrą matuojame laboratorijoje esančiais

barometru ir termometru (1 mmHg ≈ 133,3 Pa).

8. Baigę matavimus, indą kartu su kamštiniu padėklu atsargiai nukeliame nuo svarstyklių.

Vieną jo sklendţių paliekame atvirą. Svarstyklių slankiuosius svarelius perstumiame į

nulines padėtis.

2 4 3 1 pav. Svarstyklės: 1 – lėkštelė sveriamajam indui; 2 – slankūs svareliai, 0,0000–1,0 g, 1–10 g, 10–100

g ir 100–200 g; 3 – svarstyklių pusiausvyros atskaitos vieta; 4 – tuščių svarstyklių balansavimo varţtas

**Kontroliniai klausimai**

1. Ką vadiname dujų molio mase?

2. Ką vadiname masės tankiu?

3. Kodėl, pakeitus slėgį inde, prieš jį matuojant rekomenduojama kelias minutes palaukti?

4. Kodėl, nors simetrinės svirtinės svarstyklės yra jėgų sulyginimo prietaisas, sverdami

nustatome mases?

1

/C ORO MOLINIŲ ŠILUMŲ SANTYKIO C

*P*

*V*

NUSTATYMAS

Darbo užduotis. Klemano ir Dezormo būdu nustatyti oro molinių šilumų C

*P*

santykį su C

*V*

ir

apskaičiuoti jo molekulės laisvės laipsnių skaičių.

Teorinio pasirengimo klausimai. Molekulės laisvės laipsnių samprata. Idealiųjų dujų vidinė

energija. Molinė šiluma. Idealiųjų dujų molinės šilumos C

*P*

, C

*V*

ir jų santykis γ. Adiabatinis

procesas ir jo lygtis.

*Teorinė dalis. Kūno laisvės laipsnių skaičius yra lygus nepriklausomų koordinačių, visiškai*

apibūdinančių jo padėtį erdvėje, skaičiui. Vienatomė molekulė yra panaši į materialųjį tašką. Jo

padėčiai nusakyti reikia trijų koordinačių. Jis gali tik slinkti, todėl turi tris slenkamojo judėjimo

laisvės laipsnius.

Dviatomės kietojo ryšio molekulės padėtį erdvėje nusakome penkiomis koordinatėmis: trijų

reikia masių centrui, o dviejų kampų – molekulės ašies erdvinei orientacijai nusakyti. Molekulei

sukantis, kampai kinta, todėl tokia molekulė turi tris slenkamojo judėjimo ir du sukamojo judėjimo

laisvės laipsnius. Jei dviatomės molekulės tarpatominis ryšys yra tamprus, tuomet aukštoje

temperatūroje T atomai ima virpėti ir molekulė turi dar šeštąjį – virpamojo judėjimo laisvės laipsnį.

*Molekulinėje fizikoje įrodoma, kad kiekvienam laisvės laipsniui vidutiniškai tenka 1⁄2 kT kinetinės*

energijos. Tačiau virpėjimo laisvės laipsnis dar vidutiniškai turi tiek pat ( 1⁄2 kT ) potencinės

energijos, todėl jam vidutiniškai tenka energija kT. Iš čia daugiaatomės molekulės vidutinė energija

〈

*w*

〉 = ( 3 + nn s

+ 2 v

)

1 2

*kT = i*

*2 kT*

; (1)

čia n

*s*

– molekulės sukamojo, o n

*v*

– virpamojo judėjimo laisvės laipsnių skaičius, k – Bolcmano

konstanta. Kietojo ryšio (n

*v*

= 0) dviatomei molekulei i = 5.

Idealiųjų dujų vieno molio vidinė energija

*U*

*m*

= 〈 Nw 〉 ∙ A = i 2

*TR*

, (2)

*nes NkTN*

*A*

∙ = A N

*R*

*A*

*TRT*

= ,

čia R – molinė dujų konstanta.

Kai vienam medžiagos moliui suteikus δQ šilumos kiekį, jo temperatūra pakinta dT laipsnių, tai

moline šiluma vadiname dydį

*C*

= δ d

*T Q*

. (3)

2

Dujoms ypač svarbi izochorinė (pastovaus tūrio) molinė šiluma

*C V*

=

⎛δ │ ⎝

d

*T Q*

V ⎞ │ ⎠

(4)

*ir izobarinė (pastovaus slėgio) molinė šiluma*

*C P*

=

⎛ │ ⎝

*Q*

P δ d

*T*

⎞ │ ⎠

. (5)

Dujas šildant izochoriškai, jos nesiplečia, todėl darbo neatlieka ir pagal pirmąjį termodinamikos

dėsnį suteiktas elementarus šilumos kiekis δQ lygus vidinės energijos pokyčiui dU

*m*

. Tuomet iš (2)

ir (4) išplaukia, kad

*C*

*V*

= d

d U

*T*

*m*

= i

2 R

. (6)

Izobariškai šildomos dujos ( p = const ) laisvai plečiasi. Šiuo atveju dėl gaunamos šilumos δQ

didėja dujų vidinė energija dydžiu dU

*m*

ir, be to, atliekamas darbas δA. Įrodyta, kad vieno molio

idealiųjų dujų temperatūrai izobariškai pakelti vienu laipsniu reikia sunaudoti verte R didesnį

šilumos kiekį, negu tai darant izochoriškai ( δA = R ), todėl

*RCC*

*P*

= V + = i

+ 2 2

*R*

. (7)

Tuomet šių molinių šilumų santykis

γ = C C

*V P*

= i

+ 2 i

(8)

priklauso nuo dydžio i, kuris susietas su molekulės laisvės laipsniais. Taigi eksperimentiškai nustatę

dydį γ, galime spręsti apie tą dujų molekulės laisvės laipsnių skaičių, tuo pačiu ir apie molekulės

sandarą.

Darbo aprašymas. Darbe oro molinių šilumų santykio γ nustatymui naudojamas Klemano ir

Dezormo būdas. Jis remiasi adiabatinio proceso dėsningumais. Termodinaminėje sistemoje

vykstantys procesai, kai nėra šilumos mainų su aplinka (δQ = 0 ), vadinami adiabatiniais. Tokie

procesai vyksta termodinaminėse sistemose, apgaubtose šilumai nelaidžiu apvalkalu, arba, kai

procesas rutuliojasi labai greitai ir nespėja įvykti šilumos mainai. Laboratoriniame darbe turėsime

pastarąjį atvejį. Adiabatinio proceso metu dujų tūrį V ir slėgį p sieja Puasono lygtis:

*Vp*

γ

= const . (9) Klemano ir Dezormo įrenginį sudaro didelis V talpos stiklinis indas 1 (1 pav.), kompresorius ir

vandens manometras 2. Kompresoriumi slegiame inde orą tol, kol vandens lygių skirtumas

manometro šakose bus lygus 20 cm ar daugiau. Tada užsukame čiaupą 3. Suslegiant orą, jis įšyla,

todėl laukiame kokias 5 min, kol jo temperatūra susivienodina su aplinkos temperatūra T

1

. Tuomet

3

manometriniame vamzdelyje nusistovi

skysčio lygių skirtumas h

1

. Šiuo atveju oro

3

slėgis inde

*hgpp 1*

= 0 ρ+ 1 ; čia p

0

–

atmosferos slėgis, ρ - skysčio tankis.

4

*h*

*1 h*

2

Sakykime, kad V tūrio inde oro masė m.

Trumpam atsukame čiaupą 4, kad iš indo

išeitų masės ∆m oro kiekis ir slėgis inde

susilygintų su atmosferos slėgiu p

0

arba 2

*,VpVp*

11

γ = 0 γ ( VpVhgp 0 ρ+ 11 ) γ = 0 γ 1

. Dabar

inde likusios dujos, kurių masė

, užima visą tūrį V, prieš tai

jos užėmė mažesnį tūrį V

1

1 pav.

*mmm 1*

=

- ∆ , vadinasi, jos išsiplėtė. Plėtimasis vyko greitai, galima sakyti,

adiabatiškai. Dėl to inde likusioms dujoms galime taikyti Puasono lygtį

arba . (10)

Adiabatiškai besiplėsdamas oras atšąla, todėl palaukus 5 min, jo temperatūra vėl susivienodina su

aplinkos temperatūra T

1

. Inde orui įšilus, jo slėgis padidėja, ir manometre susidaro skysčio lygių

skirtumas h

2

. Dabar oro slėgis inde

*hgpp 2*

= 0 ρ+ 2 . Kadangi masės m

1

oro pradinės būsenos

parametrai yra TVp

111

, galutinės būsenos – TVp

12

, tai galime taikyti Boilio ir Marioto dėsnį

*,VpVp*

11

= 2 arba ( VhgpVhgp 0 ρ+ 11 ) = ( 0 + ρ 2 )

. (11)

Spręsdami (10) ir (11) lygčių sistemą, gauname

γ ≈ hh

21

h -

1

. (12)

1. Suslėgę inde orą ir palaukę, manometru išmatuojame h

1

. Trumpam atsukę čiaupą 4, leidžiame

dujoms išsiplėsti. Uždarę čiaupą ir vėl palaukę, išmatuojame h

2

. Apskaičiuojame γ.

2. Bandymą pakartoję dar 4 kartus, apskaičiuojame dydžio γ aritmetinį vidurkį < γ >. Matavimų ir

skaičiavimų rezultatus surašome į lentelę.

Nr. h

*1 j*

, mm h

*2 j*

, mm γ

*j*

< γ >

3. Pagal gautą < γ > apskaičiuojame toms dujoms i ir bandome nustatyti tikėtiną orą sudarančių

dujų laisvės laipsnių skaičių.

4

**Kontroliniai klausimai**

1. Kodėl visuomet C

*p*

yra daugiau už C

*V*

?

2. Ar į formules (1), (2), (6), (7) ir (8) įeinantis dydis i visada lygus molekulės laisvės laipsnių

skaičiui ?

3. Ar pasirinktų dujų molekulės laisvės laipsnių skaičius bet kokiomis sąlygomis yra tas pats ?

4. Kodėl, suslėgus orą ar jam išsiplėtus, prieš atskaitant manometro parodymus, reikia kokias 5

minutes palaukti ?

5. Kodėl matavimus kartojame keletą kartų ir skaičiuojame aritmetinį vidurkį ?

23. ENTROPIJOS POKYČIO NUSTATYMAS KAITINANT IR IŠLYDANT KRISTALINĮ KŪNĄ

Darbo užduotis. Nubrėžti metalo temperatūros priklausomybės nuo šildymo laiko grafiką,

nustatyti lydymosi temperatūrą ir apskaičiuoti atitinkamus entropijos pokyčius.

Teorinio pasirengimo klausimai. Grįžtamojo proceso samprata. Termodinaminė entropijos

samprata. Statistikinė entropijos samprata. Entropijos pokyčiai kristalinį kūną šildant ir jam

lydantis. Temperatūros matavimas termoelementu.

Teorinė dalis. Entropija S, kaip ir vidinė energija, laisvoji energija, entalpija, yra

termodinaminės sistemos būsenos funkcija. Ji tam tikru būdu priklauso nuo termodinaminės

sistemos būsenos parametrų. Kintant sistemos būsenai, kinta ir entropija, tačiau proceso pobūdis

neturi įtakos jos pilnutiniam pokyčiui ∆S.

*Skiriami grįžtamieji ir negrįžtamieji procesai. Mechaninį arba termodinaminį procesą*

*vadiname grįžtamuoju, jeigu, jam pasibaigus, sistemą galima atvirkščia tvarka, per tas pačias*

*tarpines būsenas, grąžinti į pradinę būseną, ir pokyčių aplinkoje nelieka. Termodinamikoje*

įrodoma, kad elementaraus grįžtamojo proceso metu termodinaminei sistemai „gavus” elementarųjį

šilumos kiekį δQ, jos entropija pakinta elementariuoju dydžiu

d S

= δ

*T*

*Q*

. (1)

Entropijos pokyčio ženklas sutampa su dydžio δQ ženklu. Sistemai šilumos kiekį suteikiant

(δQ > 0), jos entropija didėja (dS > 0), atimant („gautas” neigiamas šilumos kiekis, t.y. δQ < 0) –

*mažėja (dS < 0). Dydis δQ/T vadinamas elementariuoju redukuotuoju šilumos kiekiu. Iš to, kas*

pasakyta išplaukia toks termodinaminis entropijos apibrėžimas: termodinaminės sistemos entropija

*yra tokia sistemos būsenos funkcija, kurios elementarusis pokytis lygus grįžtamojo proceso*

*elementariajam redukuotajam šilumos kiekiui. Integruodami (1) lygybę, apskaičiuojame*

termodinaminės sistemos entropijos pilnutinį pokytį, kai ji grįžtamai pereina iš pradinės būsenos 1 į

galutinę 2:

∆

SSS = - ( 2 ) = ( 1 ∫ )

δ

*Q*

; (2)

čia S

1

12

*T*

ir S

2

– termodinaminės sistemos entropijos vertės atitinkamai pradinėje ir galutinėje būsenose.

Statistikinė fizika įrodo, kad termodinaminės sistemos entropija S vienareikšmiškai susieta su

netvarkos dydžiu sistemoje ir yra termodinaminės sistemos netvarkos matas. Pavyzdžiui,

kristaliniame kūne mažiausia netvarka, o tuo pačiu ir entropija, kai jo temperatūra artima 0 K

2

laipsnių. Šildant tokį kūną, didėja jo struktūrinių dalelių chaotiškas judėjimas, kai kurios dalelės net

palieka gardelės mazgus ir dėl to kristale netvarka, o tuo pačiu ir entropija, didėja. Juolab sistemoje

netvarka, o tuo pačiu ir entropija, žymiai padidėja kristalui lydantis.

Šiame laboratoriniame darbe termodinaminė sistema yra žinomos masės m ir žinomos

savitosios šiluminės talpos c kristalinis kūnas – metalas. Jis šildomas tol, kol išsilydo. Kūno

entropijos pokyčiui apskaičiuoti šildymo procesą suskaidome į du etapus: 1) kūno šildymo iki jo

lydymosi temperatūros T

i

ir 2) lydymosi. Dėl to (2) formule nusakomą pilnutinį entropijos pokytį

∆S išreiškiame dviejų dėmenų suma. Pirmajame (pašildymo) proceso etape entropija pakinta dydžiu

∆ S

*= T ∫ i T*

δ

*Q T*

=

*T ∫ i T*

*Tmc*

d T

*= mc*

ln

*T*

; 0

(3)

čia T

0

1

0

0 T

i

– kūno pradinė temperatūra. Antrajame (lydymosi) etape entropija pakinta dydžiu

∆

*S*

2

= ∫ δ T

*Q*

i

=

*mq*

i ; (4)

čia q – metalo savitoji lydymosi šiluma, o – jo lydymosi šiluma. Taigi pilnutinis

entropijos pokytis

*T*

∫ δ mqQ = ∆

SS = ∆ + ∆ mcS = ln T T

0 i

*+ mq T*

i

. (5)

**Darbo aprašymas. Darbo įrenginys**

parodytas 1 paveiksle. Mėgintuvėlyje 1

yra cinkas arba alavas, kurio masė m

žinoma. Ši medžiaga šildoma elektrine

krosnele 2. Pastovią krosnelės maitinimo

įtampą palaiko autotransformatorius 3.

Kaitinamos medžiagos temperatūrą

matuosime termoelementu 4. Vienas jo

kontaktas yra skysčio pripiltame inde 5. Jo

temperatūra t

0

1

2 6

mV

7

4

1

2

5

~

1 pav.

3

matuojama termometru 6 ir darbo metu išlieka artima kambario temperatūrai.

Antrasis termoelemento kontaktas yra mėgintuvėlyje su šildoma medžiaga. Šildant jo temperatūra t

kinta. Galvanometro 7 parodymai proporcingi termoelemento grandinėje susidariusiai

termoelektrovaros jėgai, kuri savo ruožtu proporcinga kontaktų temperatūrų skirtumui ∆t = t – t

0

.

Kai galvanometro skalė sugraduota tik padalomis, tai temperatūrų skirtumą ∆t Celsijaus laipsniais

randame iš gradavimo grafiko n = f (∆t). Tuomet šildomo metalo temperatūra t = (t

0

+ ∆t) °C, arba

T = (273 + t

0

+ ∆t) K.

3

1. Įjungę elektrinę krosnelę, kas minutę žymime galvanometro 7 rodmenis n ir laiką τ . Tai darome

tol, kol medžiaga išsilydo (lydymosi metu keletą minučių temperatūra nekinta, o išsilydžius vėl

ima aiškiai didėti).

2. Iš gradavimo grafiko kiekvienam n radę ∆t, apskaičiuojame kūno absoliutinę temperatūrą T ir

brėžiame grafiką T = f (τ). Iš grafiko nustatę metalo lydymosi temperatūrą T

i

, apskaičiuojame

entropijos pilnutinį pokytį.

Matavimo bei skaičiavimų rezultatus surašome į lentelę.

*t*

0

= .............. °C ; m = .................. kg ; c = ................ J/(kg∙K) ; q = ................. J/kg

τ , min n , padal. ∆ t , °C T, K

*T*

i

, K

∆ S

1

, J/K ∆ S

2

, J/K ∆ S , J/K

**Kontroliniai klausimai**

1. Koks procesas vadinamas grįžtamuoju ?

2. Termodinaminis entropijos apibrėžimas.

3. Statistikinis entropijos apibrėžimas.

4. Kaip apskaičiuojamas entropijos pokytis kūną šildant bei kristalinį kūną išlydant ?

DUJŲ ADIABATĖS RODIKLIO NUSTATYMAS

Darbo užduotis. Nustačius oro stulpo rezonansinį dažnį, apskaičiuoti oro adiabatės rodiklį.

Teorinio pasirengimo klausimai. Adiabatinis procesas. Adiabatės lygtis. Molinės šilumos C

*V*

,

*C*

*p*

ir jų santykis

γ = CC Vp

. Molekulės laisvės laipsnių skaičius. Molekulės energija.

Teorinė dalis. Procesai, vykstantys termodinaminėje sistemoje be šilumos mainų su aplinka,

vadinami adiabatiniais. Artimi jiems procesai vyksta arba šilumos atžvilgiu gerai izoliuotose

termodinaminėse sistemose, arba kai jie vyksta taip greitai, kad galima nepaisyti šilumos mainų su

aplinka. Adiabatiniame procese kinta dujų temperatūra, todėl negalioja Boilio ir Marioto dėsnis

Vp = const ; (1)

čia p – dujų slėgis, V – dujų užimamas tūris. Adiabatiniam procesui galioja Puasono lygtis

Vp γ = const ; (2) čia

γ = CC Vp

*vadinamas adiabatės rodikliu. Dydis C*

*V*

– izochorinė (pastovaus tūrio) molio

šiluma. Ji lygi šilumos kiekiui, kurį suteikus vienam moliui dujų, neleidžiant joms plėstis (V =

const), jų temperatūra pakyla vienu kelvinu. Taip suteikta šiluma padidina dujų vidinę energiją.

Dydis C

*p*

– izobarinė (pastovaus slėgio) molinė šiluma. Ji lygi šilumos kiekiui, kurį suteikus vienam

moliui dujų, joms laisvai plečiantis (p = const), jų temperatūra pakyla vienu kelvinu. Taip teikiama

šiluma didina jų vidinę energiją ir dar naudojama plėtimosi darbui, todėl šilumos C

*p*

> C

*V*

.

(1) ir (2) lygtys tiksliai tinka tik pusiausvyriesiems procesams. Pusiausvyruoju galima laikyti

tik labai lėtai vykstantį procesą, kai kiekvienu laiko momentu kiekviename termodinaminės

sistemos taške kiekvienas makroskopinis parametras (slėgis p, temperatūra T, dujų tankis ρ ir kt.)

turi tas pačias vertes.

Molekulės energija susieta su ją sudarančių atomų skaičiumi ir apibūdinimu, dujų temperatūra,

molekulės laisvės laipsnių skaičiumi. Pastarasis lygus koordinačių, reikalingų nusakyti molekulės

padėtį erdvėje, skaičiui. Vienatomės molekulės, kaip ir materialiojo taško, padėtį nusakome trimis

erdvinėmis koordinatėmis (pvz., x, y, z). Jos kinta molekulei slenkant, todėl vienatomė molekulė

turi 3 slenkamojo judėjimo laisvės laipsnius. Dviatomės kietojo ryšio molekulės erdvinė padėtis

nusakoma 5 koordinatėmis: trys (x, y, x) nusako molekulės centro padėtį ir du kampai (α ir β) –

molekulės ašies erdvinę orientaciją. Pastaroji kinta molekulei sukantis, todėl tokia molekulė turi 2

sukamojo ir 3 slenkamojo judėjimo laisvės laipsnius. Kai ryšys tarp atomų tamprus, dviatomė

molekulė gali turėti dar 1 virpamojo judėjimo laisvės laipsnį. Atomai molekulėje virpa tik

aukštesnėse negu kambario temperatūrose.

2

Molekulinėje fizikoje įrodoma, kad kiekvienam laisvės laipsniui vidutiniškai tenka 1⁄2 kT

kinetinės energijos, be to, vienam virpėjimo laisvės laipsniui vidutiniškai dar tenka 1⁄2 kT potencinės

energijos. Todėl bendruoju atveju vienai molekulei vidutiniškai tenka energija

*W*

= ( 3

*+ n suk*

*+ 2 n virp )*

1 2

*kT = kTi*

2 ; (3)

čia n

*suk*

– molekulės sukamojo, o n

*virp*

– virpamojo judėjimo laisvės laipsnių skaičius.

Įrodoma, kad

*C*

*V*

= i 2

*CR*

, p = i

+

2 2

*R*

, todėl γ

= i

+ i

2

; (4)

čia R – universalioji dujų konstanta. Taigi dydis γ priklauso nuo i, kuris susietas su molekulės

laisvės laipsniais. Eksperimentiškai nustatę γ ir žinodami temperatūrą galime spręsti apie tų dujų

molekulės laisvės laipsnių skaičių, o kartu ir apie molekulės sandarą.

Šiame darbe oro molinių šilumų santykį γ nustatysime išmatuodami

rezonansinį dažnį oro stulpo, kuris skaidriame vamzdyje uždarytas ploto S

slankiu stūmokliu (1 pav.) su jame įmontuotu nuolatiniu magnetu. Stūmoklį

virpinsime išoriniu, periodiškai kintančiu magnetiniu lauku. Šie virpesiai sukelia

periodinių oro tankio padidėjimų ir sumažėjimų sklidimą oro stulpu.

Sutankėjimo vietoje temperatūra pakyla, praretėjimo – sumažėja. Dėl mažo oro

šilumos laidumo garsinio dažnio oro virpesiai artimi adiabatiniams.

Tačiau ši prielaida teisinga tik pakankamai didelio dažnio oro virpesiams.

Kai virpinančios išorinės jėgos dažnis priartėja prie virpėjimo sistemos

(stūmoklis su oro stulpu) savojo dažnio ν

0

1 pav.

, virpesių amplitudė padidėja – gauname rezonansą.

Virpesius laikant adiabatiniais ir išsprendus virpesių diferencialinę lygtį, buvo gauta tokia

nagrinėjamos sistemos savojo dažnio išraiška:

ν

0

= 2 S π

*p Vm γ*

; (5)

čia 2rS = π – stūmoklio skerspjūvio plotas. Panaudoto vamzdelio vidinis spindulys

r = 007 , + 050 , mm, stūmoklio skersmuo 13,97

-0,01

mm. Stūmoklio su magnetu masė (8,8±0,26)·10

-3

kg. V – dujų

tūris po stūmokliu, p – dujų slėgis. Eksperimentiškai nustatę rezonansinį dažnį ν

0

, dujų slėgį p ir

dujų stulpo po stūmokliu tūrį V, apskaičiuojame molinių šilumų santykį:

γ = 4 Vm

*pr*

4 ν

0 2

. (6)

3

Darbo aprašymas. Darbo įrenginys parodytas 2 paveiksle. Jį sudaro kubiniais centimetrais

graduotas stiklinis vamzdelis 1, kuriame yra slankus stūmoklis su magnetu 2. Vamzdelio išorėje

įtaisyta ritė 3, kuria tekanti kintamoji srovė kuria kintamąjį magnetinį lauką. Šis laukas srovės

dažniu virpins stūmoklį. Vamzdžio 1 galuose įtaisyti čiaupai 4 ir 5. Rite 3 tekančią elektros srovę

generuoja keičiamo dažnio srovės generatorius 6. Srovės dažnį matuoja dažniamatis 7. Jei reikia,

grandinėje gali būti įtaisytas kintamos srovės stiprį matuojantis ampermetras 8. Orą į vamzdelį

pumpuosime prie čiaupo 5 prijungta gumine pompa 9 su specialia veržle 10. Kai veržlė iki galo

prisukta pagal laikrodžio rodyklę, oras patenka (jei atidarytas čiaupas 5) į vamzdelį; pasukus veržlę

priešinga kryptimi, oras iš pompos išleidžiamas.

*f*

E

**Hz**

**GATE**

**START STOP 0**

A

E

F OUT

2 pav.

1. Srovės generatorių ir dažniamatį paruošiame darbui. Tam prietaisų maitinimo blokus įjungiame

į srovės tinklą. Generatoriaus rankenėles ~ \/\ ⎦⎤⎦ perjungiame į padėtį ~ (sinusinė),

generatoriaus rankenėle U/V

S

išėjimo įtampą nustatome artimą didžiausiai. Generatoriaus dažnį

tolydžiai keičiame jo valdymo skydo kairiąja rankenėle. Generatoriaus dažnio daugiklio

rankenėlę f/Hz perjungiame į padėtį 10. Spaudydami dažniamačio mygtuką „Mode”, virš

simbolio f

E

uždegame šviesos diodą. Kartu turi šviesti šviesos diodai, esantys virš mygtuko

„Start” ir ties simboliu „Hz”. Darbui paruoštas dažniamatis veikia automatiškai ir dažnį rodo

hercais.

2. Pasirenkame pradinį dujų stulpo tūrį V

1

. Tam, atidarę čiaupus 4 ir 5, orą pumpuojame tol, kol stūmoklio 2 apatinis galas pakyla iki 3 cm3 žymės. Tuomet oro stulpo tūris V

1

= 3 cm3. Jei

stūmoklį pakėlėme per aukštai, truputį atleidę pompos veržlę palaukiame, kol stūmoklis nusileis

**MODE**

4

1

2

3

A

7

6

8

1A~

109

~~

5

4

iki reikiamos žymės, tada veržlę vėl užsukame. Uždarome čiaupą 5 (čiaupas 4 visą laiką lieka

atviras). Atpalaidavę ritės 3 tvirtinimo varžtą, ją nuleidžiame tiek, kad jos karkaso apatinė riba

būtų apie 2÷5 mm aukščiau stūmoklio apatinio galo. Tokioje padėtyje magnetinė jėga geriausiai

virpins stūmoklį.

3. Matuojame rezonansinį dažnį. Tam, lėtai keisdami generatoriaus dažnį nuo maksimalaus (apie

10 Hz), stebime stūmoklio virpesius. Kai generatoriaus srovės dažnis atitiks sistemos

rezonansinį dažnį, stūmoklio virpesių amplitudė pasidarys didžiausia. Užrašome rezonansinio

dažnio ν

01

vertę. 4. 2-me punkte aprašytu būdu, vis po 3 cm3 padidindami oro stulpo tūrį, dar trimis atvejais

atliekame rezonansinio dažnio ν

01

matavimus. Didėjant oro stulpo tūriui, virpančios sistemos

rezonansinis dažnis mažėja. Matavimų rezultatus surašome į lentelę.

5. Apskaičiuojame eksperimentines adiabatės rodiklio vertes γ

*i*

ir jų vidutiniąją 〈γ〉. Skaičiavimams

reikalingą oro stulpo slėgį prilyginame atmosferos slėgiui, nes stūmoklio sukeliama jėga jį

menkai tepadidina. Jei barometras graduotas gyvsidabrio stulpelio milimetrais, juos

perskaičiuojame į paskalius. 1 mm aukščio Hg stulpelis atitinka apie 133 Pa slėgį.

p = .............. Pa ; r = 7,0⋅10-3 m ; m = 8,8⋅10-3 kg Nr.

*V i*

, m

3

ν

01

, Hz γ

*i*

〈γ〉 γ

0

6. Orą sudarančių dujų molekules kambario temperatūroje laikydami dviatomėmis kieto ryšio

molekulėmis, pagal (4) apskaičiuojame oro molinių šilumų santykį γ.

7. Gretindami γ

*i*

vieną su kitu ir su γ

0

, darome išvadas dėl procesų adiabatiškumo bei

pusiausvyrumo laipsnio.

**Kontroliniai klausimai**

1. Kokius procesus vadiname adiabatiniais?

2. Kuo adiabatės lygtis skiriasi nuo Boilio ir Marioto dėsnio ir kodėl skiriasi?

3. Ką apibūdina molekulės laisvės laipsniai?

4. Kokiais laisvės laipsniais apibūdinama dviatomė molekulė?

5. Kaip išreiškiama idealiųjų dujų molekulės vidutinė energija?

6. Paaiškinkite molines šilumas C

*p*

, C

*V*

ir jų santykį γ .

**ELEKTROSTATINIO LAUKO TYRIMAS**

Darbo užduotis. Elektrolitinės vonelės metodu ištirti įvairios formos elektrodų kuriamą

elektrostatinį lauką.

Teorinio pasirengimo klausimai. Elektrostatinio lauko stipris ir potencialas.

Ekvipotencialiniai paviršiai. Lauko stipris ir potencialo sąryšis.

Teorinė dalis. Elektrinis laukas, kurį kuria nejudantis įelektrintas kūnas, vadinamas

elektrostatiniu. Elektrinis laukas taškinį krūvį q

0



.

Pasirinktame elektrinio lauko taške santykis

*q*

*const*

E (įelektrintą materialųjį tašką) veikia jėga F F 

=

= 

(1)

0

nepriklauso nuo veikiamo krūvio q

0

didumo, būdingas elektrinio lauko taškui ir vadinamas

*elektrinio lauko stipriu tame taške.*

Elektrostatinės jėgos yra potencialinės, todėl jų veikiamas įelektrintas materialusis taškas turi

potencinės energijos W

*p*

. Pasirinktame elektrinio lauko taške santykis

*W*

*p q*

0

*= const*

= φ (2)

nepriklauso nuo krūvio q

0

didumo, būdingas elektrinio lauko taškui ir vadinamas to taško

potencialu. Taigi kiekvieną elektrostatinio lauko tašką galima apibūdinti jėginiu dydžiu – lauko

stipriu arba energiniu dydžiu – potencialu. Tarp šių dydžių yra matematinis sąryšis: potencialo

*neigiama išvestinė bet kuria kryptimi  yra lygi toje kryptyje elektrostatinio lauko stiprio*

*projekcijai, t.y.*

E  = - dφ

d

 . (3)

Potencialo išvestinė jo sparčiausio kitimo kryptimi vadinama potencialo gradientu (grad φ).

Dekarto koordinačių sistemoje

grad φ

= i 

φ∂ ∂

*x*

+

 j

φ∂ ∂

*y*

+

k  φ∂ ∂

*z*

. (4)

Šis vektorius nukreiptas potencialo didėjimo link. Iš (3) ir (4) išplaukia, kad elektrostatinio lauko

stipris

E 

-= ⎛ │ │ ⎝

i  φ∂ ∂

*x*

+

 j

φ∂ ∂

*y*

+

k  φ∂ ∂

*z*

│

-= φ ⎞ │ ⎠

grad

. (5)

2

Įsivaizduojamas paviršius, kurio visų taškų potencialas vienodas, vadinamas ekvipotencialiniu

paviršiumi. Kadangi kiekviename tokio paviršiaus taške φ = const, todėl išvestinė φ∂ ∂ bet

kokios jo liestinės kryptyje lygi 0. Taigi pagal (3) ir lauko stiprio projekcija šioje kryptyje E 

=

0 .

Tai rodo, kad lauko stiprio vektorius E 

kiekviename to paviršiaus taške lygiagretus jo normalei,

kitaip sakant, lauko jėgų linijos kiekviename taške statmenos ekvipotencialiniam paviršiui.

Darbo aprašymas. Šis darbas remiasi tuo, kad mažo laidumo elektrolite potencialas pasiskirsto

taip pat kaip ir izotropiniame dielektrike.

V

10

R

II

1

III

1 pav.

P

J

Darbo įrenginį sudaro transformatorius T su dviem antrinėmis apvijomis II ir III (1 pav.),

varžinis įtampos daliklis, elektrolitinė vonelė EV su keičiamais elektrodais, pantografas PG su

potencialo zondu Z ir pieštuku P, oscilografinis įtampos indikatorius I. Įtampos daliklį sudaro 10

vienodų nuosekliai sujungtų varžų R, kurių kiekviena lygi 100 Ω. Prie daliklio galų ir prie vonelės

elektrodų prijungta įtampa U

0

9

Z

EV

PG

3

T

R

2

R

~

R

*U*

*n*

I

0

X

Y

, kurią matuojame voltmetru V. Nulinio taško atžvilgiu jungiklio J

potencialas priklauso nuo jo padėties varžiniame daliklyje. Atitinkamai tarp šių taškų įtampa

3

*U*

*n*

= U

10

0 ∙ n

( n = 0

, 1 , 2 , 10 )

; (6)

čia U

0

– įtampa transformatoriaus apvijoje II. Prie oscilografo horizontaliojo įėjimo X gnybtų

prijungta transformatoriaus apvijos III įtampa U

*x*

. Ji elektronų pluoštelį skleidžia horizontaliai. Prie

oscilografo vertikaliai skleidžiančių plokštelių (gnybtai Y) prijungta to paties dažnio įtampa U

*y*

,

esanti tarp jungiklio J ir zondo Z galo. Joms veikiant vienu metu elektronų pluoštelis juda elipse.

Tačiau, kai zondo potencialas pasidaro lygus jungiklio J potencialui, įtampa , ir elipsė virsta,

tiesia horizontalia atkarpa. To taško potencialas (nulinio taško atžvilgiu)

*U*

*y*

= 0 φ n

=

U 10

0 ∙ n

. (6a)

Taip nustatomas atskirų elektrolito taškų potencialas.

1. Į elektrolitinę vonelę įdedami pasirinkti elektrodai. Pantografe įtvirtinamas A4 formato

popieriaus lapas. Pantografą sudaro keletas judamai sujungtų pečių. Jo pieštuku P popieriuje

pažymėsime elektrolitinės vonelės vienodo potencialo taškų padėtį.

2. Liesdami vonelėje įdėtus elektrodus zondu, pantografo pieštuku pažymime jų padėtį popieriuje.

3. Į tinklą įjungiame transformatorių ir oscilografinį indikatorių I. Darbą rekomenduojama pradėti

įtampos daliklio jungiklį J pasukus į pirmą padėtį. Slankiodami zondą prie vonelės krašto

kryptimi, statmena elektrodų paviršiui, randame tokią zondo padėtį, kurioje oscilografo ekrane

matomos kreivės aukštis būtų minimalus, padėtis horizontaliausia. Šį tašką, priklausantį vienai

ekvipotencialinei linijai, pažymime popieriuje. Kitus šios linijos taškus raskite pastumdami

zondą po 2 cm. i priekį tol, kol zondu pasiekiame vonelės sienelę. Taip skersai vonelės

nustatome tą patį potencialą turinčių kitų 2-9 taškų padėtį. Užrašome jų potencialo

φ n

vertę ir

koordinatę.

Tokias pačias operacijas atliekame kiekvienai daliklio jungiklio padėčiai, išskyrus 0 ir 10

padėtis. Pastarosiose padėtyse ekvipotencialinės linijos sutaptų su elektrodais vonelėje. Per

vienodo potencialo taškus brėžiame ekvipotencialines

linijas. ∆φ

4. Brėžiame ekvipotencialinėms linijoms statmenas elektrinio

lauko stiprio linijas.

5. Lauko stiprio skaičiavimui brėžiame potencialo

pasiskirstymo kreivę

*A φ = f ( l )*

.

∆φ 6. Iš grafiko randame ∆φ ir ∆l ir dėstytojo nurodytame taške

0 pagal (3) apskaičiuojame elektrinio lauko stiprį.

7. Dėstytojo nuožiūra bandymą galima kartoti su kitokiais elektrodais.

*l ∆l*

4

8. Į vonelę įdedame ištisinius metalinį ir po to plasmasinį žiedus ir nustatome kam lygus

potencialas viduje (lygus ar nelygus nuliui).

**Kontroliniai klausimai**

1. Kokia elektrinio lauko stiprio bei potencialo fizikinė prasmė ?

2. Koks yra potencialo ir lauko stiprio sąryšis ?

3. Parodykite, kaip gaunama (5) formulė.

4. Paaiškinkite (5) formulės minuso ženklo fizikinę prasmę.

5. Paaiškinkite, kaip darbe nustatomi vienodo potencialo taškai.

Literatūra 1. Tamašauskas A., Vosylius J. Fizika. – Vilnius: Mokslas, 1989. – 2 d. – 9-15 p. 2. Ambrasas V., Jasilionis B. Fizika. Elektromagnetizmas. – Kaunas: Technologija, 2008.-5-35 p.

**ELEKTROSTATINIO LAUKO TYRIMAS**

Darbo užduotis. Ištirti elektrodų kuriamą elektrostatinį lauką.

Teorinio pasirengimo klausimai. Elektrostatinio lauko stipris ir potencialas.

Ekvipotencialiniai paviršiai. Lauko stiprio ir potencialo sąryšis.

Teorinė dalis. Elektrinis laukas, kurį kuria nejudantis įelektrintas kūnas, vadinamas

elektrostatiniu. Elektrinis laukas taškinį krūvį q

0

о

.

Pasirinktame elektrinio lauko taške santykis

*q*

*const*

E (įelektrintą materialųjį tašką) veikia jėga F F о

=

= о

(1)

0

nepriklauso nuo veikiamo krūvio q

0

didumo, būdingas elektrinio lauko taškui ir vadinamas

*elektrinio lauko stipriu tame taške.*

Elektrostatinės jėgos yra potencialinės, todėl jų veikiamas įelektrintas materialusis taškas turi

potencinės energijos W

*p*

. Pasirinktame elektrinio lauko taške santykis

*W*

*p q*

0

*= const*

= φ (2)

nepriklauso nuo krūvio q

0

didumo, būdingas elektrinio lauko taškui ir vadinamas to taško

potencialu. Taigi kiekvieną elektrostatinio lauko tašką galima apibūdinti jėginiu dydžiu – lauko

stipriu arba energiniu dydžiu – potencialu. Tarp šių dydžių yra matematinis sąryšis: potencialo

*neigiama išvestinė bet kuria kryptimi i yra lygi toje kryptyje elektrostatinio lauko stiprio*

*projekcijai, t.y.*

E i = − dφ

d

i . (3)

Potencialo išvestinė jo sparčiausio kitimo kryptimi vadinama potencialo gradientu (grad φ).

Dekarto koordinačių sistemoje

grad φ

= i о

φ∂ ∂

*x*

+

о j

φ∂ ∂

*y*

+

k о φ∂ ∂

*z*

. (4)

Šis vektorius nukreiptas potencialo didėjimo link. Iš (3) ir (4) išplaukia, kad elektrostatinio lauko

stipris

E о

−=    

i о φ∂ ∂

*x*

+

о j

φ∂ ∂

*y*

+

k о φ∂ ∂

*z*



−= φ   

grad

. (5)

Įsivaizduojamas paviršius, kurio visų taškų potencialas vienodas, vadinamas ekvipotencialiniu

paviršiumi. Kadangi kiekviename tokio paviršiaus taške φ = const, todėl išvestinė φ∂ i∂ bet

2

kokios jo liestinės kryptyje lygi 0. Taigi pagal (3) ir lauko stiprio projekcija šioje kryptyje E i

=

0 .

Tai rodo, kad lauko stiprio vektorius E о

kiekviename to paviršiaus taške lygiagretus jo normalei,

kitaip sakant, lauko jėgų linijos kiekviename taške statmenos ekvipotencialiniam paviršiui 1 pav.

1 pav.

Darbo aprašymas. Darbo eksperimentinė įranga ekvipotencialinėms linijoms surasti

pavaizduota 2 pav.

2 pav.

3

1

2

Prie specialaus laikiklio 1 pritvirtinti elektrodai prispaudžiami prie anglinio popieriaus. Po

angliniu popieriumi yra polikarbonato plokštelė, atliekanti izoliuojančio pagrindo funkciją. Smailas

zondas 2, prijungtas prie didelės įėjimo varžos skaitmeninio indikatoriaus 3(R

IN

=10 MΩ),

naudojamas ekvipotencialiniams taškams rasti.

Darbo eiga. 1. Įjungiame srovės šaltinį į tinklą. Srovės šaltinio jungiklis yra užpakalinėje šio

prietaiso sienelėje. Įjungiame skaitmeninį indikatorių (multimetrą). Patartina naudoti 200 V

matavimo ribą. Srovės stiprio reguliavimo rankenėlę nustatome į 1 A ribą, o U-į 10 V ribą.

3

2. Priliečiame zondą prie anglinio popieriaus 1 cm. atstumu nuo kairiojo elektrodo ties jo

viduriu. Užsirašome potencialą ir pažymime koordinatę dėstytojo išduotame lape. Po to 1 cm

žingsniu traukiame zondą link saves ir vis atžymime koordinatę (potencialas turi pasilikti pastovus).

Vėliau grįžtame į pradinę padėtį ir tuo pačiu žingsniu zondą toliname nuo saves iki anglinio

popieriaus krašto.

3. Tas pačias operacijas atliekame zondą pastumdami

į dešinę po vieną centimetrą.

φ

4. Sujunge ekvipotencialinius taškus, brėžiame

ekvipotencialines linijas.

5. Brėžiame lauko stiprio linijas.

A

6. Lauko stiprio skaičiavimui brėžiame potencialo

∆φ

pasiskyrstymo kreivę φ = f(l).

0

l 7. Iš grafiko paimame ∆φ ir ∆l ir dėstytojo

∆l

nurodytame taške pagal (3) apskaičiuojame elektrinio

3 pav.

lauko stiprį.

**Kontroliniai klausimai**

1. Kokia elektrinio lauko stiprio bei potencialo fizikinė prasmė ?

2. Koks yra potencialo ir lauko stiprio sąryšis ?

3. Parodykite, kaip gaunama (5) formulė.

4. Paaiškinkite (5) formulės minuso ženklo fizikinę prasmę.

5. Paaiškinkite, kaip darbe nustatomi vienodo potencialo taškai.

**Literatūra**

1. Tamašauskas A., Vosylius J. Fizika. – Vilnius: Mokslas, 1989. – T.2. P. 8–15.

2. Ambrasas V., Jasiulionis B. Fizika. Elektromagnetizmas. – Kaunas: Technologija, 2007. – P.

12–37.

3. Javorskis B., Detlafas A. Fizikos kursas. – Vilnius: Mintis, 1970. – T. 2. – P. 16–41.

36. ELEKTROS KRŪVIO TVERMĖS DĖSNIO TIKRINIMAS

Darbo užduotis. Patikrinti elektros krūvio tvermės dėsnį.

Teorinio pasirengimo klausimai. Elektros krūvio samprata. Elektros krūvio tvermės dėsnis.

Kondensatoriaus talpa.

Teorinė dalis. Elektros krūvio sąvoka įvesta tam, kad galėtume matematiškai įvertinti kūnus

*veikiančias elektros jėgas. Elektros krūvis yra dalelių arba kūnų abipusės elektromagnetinės*

sąveikos intensyvumo matas. XVIII a. pradžioje nustatyta, kad esama dviejų rūšių elektros krūvių,

kurie sąlygiškai pavadinti teigiamais ir neigiamais. Elektros krūviui galioja adityvumo principas:

sudėtingų medžiagos dalelių (kūnų) elektros krūvis lygus jį sudarančių elektringųjų mikrodalelių

krūvių algebrinei sumai.

Visi kūnai sudaryti iš atomų. Atomai normaliomis sąlygomis yra elektriškai neutralūs, nes jų

branduolio teigiamą krūvį kompensuoja neigiamas elektronų krūvis. Todėl normaliomis sąlygomis

*visi kūnai taip pat yra elektriškai neutralūs. Tačiau, jeigu iš kūno dalį elektronų pašalinsime (liks*

nekompensuotas branduolių krūvis), kūnas įsielektrins teigiamai. Jeigu kūnui suteiksime elektronų

perteklių, jis įsielektrins neigiamai. Vienodo ženklo krūviais įelektrinti kūnai vieni kitus stumia,

priešingais – traukia. SI krūvio vienetas yra kulonas (1 C).

XX a. pradžioje eksperimentiškai įrodyta, kad visi makrokrūviai yra tam tikro krūvio, pavadinto elementariuoju, kartotiniai. Elementaraus krūvio dydis e = 1,6021892(46)⋅10-19 C. Mūsų

darbe imsime e ≈ 1,6⋅10

-19

*C. Protonas turi teigiamą elementarų krūvį, elektronas – neigiamą.*

Makroskopiniuose reiškiniuose dalyvauja labai daug mikrodalelių skaičius, todėl galima kalbėti

apie tolydinį krūvio kitimą, nes makroskopiškai labai mažą elektros krūvį dq sudaro vis dėlto

didelis elementariųjų krūvių e skaičius.

Vienas iš fundamentaliųjų gamtos dėsnių yra elektros krūvio tvermės dėsnis. Jis

*formuluojamas taip: kad ir kokie procesai vyktų elektriškai izoliuotoje sistemoje, jos krūvių*

*algebrinė suma laikui bėgant nekinta. Elektriškai izoliuota sistema vadiname tokią sistemą, kurioje*

nevyksta krūvių kaita su aplinka. Taigi elektros krūvis nesukuriamas ir neišnyksta (kalbame ne apie

elektringųjų dalelių skaičių, o apie krūvių algebrinę sumą), o tik gali būti perduodamas vieno kūno

kitam arba judėti pačiame kūne.

Tikrindami elektros krūvio tvermės dėsnį, apskaičiuojame ir palyginame krūvius, kurie

prateka grandine įelektrinant kondensatorių ir jį išelektrinant. Įelektrinto kondensatoriaus elektrodų

krūvių moduliai visuomet lygūs, o jų ženklai priešingi, todėl kondensatoriaus krūviu vadinamas

*vieno elektrodo krūvio modulis q.*

Krūviu q įelektrinus kondensatorių, tarp elektrodų susidaro potencialų skirtumas φ

1

φ− 2 = φ∆ . Santykis

2

q φ∆

=

*C*

(1)

vadinamas kondensatoriaus talpa. Ji rodo kondensatoriaus savybę kaupti elektros krūvį.

Kondensatorius įelektrinamas naudojant 1 2

3

paveiksle pavaizduotą schemą. Čia 1 – įtampos šaltinis, kurio elektrovaros jėga E ; 2 –

ampermetras; 3 – varžos R varžas; 4 – talpos C 1

4 kondensatorius.

Iš Omo dėsnio uždarajai grandinei

1 pav.

gauname

IR = E − ∆φ .

Srovės stiprumas I lygus per grandinės skerspjūvį pernešamo krūvio q kitimo greičiui:

*I*

= d

q d

*t*

. (3)

Į (2) įrašę φ∆

= q / C išraišką ir abi lygties puses išdiferencijavę laiko atžvilgiu bei

atsižvelgę, kad dE / dt = 0 (nes elektrovaros jėga išlieka pastovi), o

d q / d t = I , gauname

*R*

d d

*I t*

= − C 1

*I*

. (4)

Šios diferencialinės lygties sprendinys

*I = I 0*

e − t / RC ; (5) I 0

čia e = 2,72 – natūrinio logaritmo pagrindas, I

0

= E /R

– elektros srovės stiprumas pradiniu laiko momentu. Gautoji

*I*

1

*I*

2

*t*

1

*d t t I ( t )*

priklausomybė pavaizduota 2 paveiksle.

Jame matome, kad per laiką dt pratekėjusio krūvio

I (t)

dydis

*d q = I ( t )*

d t lygus užbrūkšniuoto elementaraus

stačiakampio plotui. Visas pratekėjęs krūvis q = ∫ I ( t ) d t lygus plotui figūros, kurią riboja kreivė

*t*

2

*I ( t )*

ir ašys I bei t. Norint rasti pratekėjusio krūvio

dydį reikia apskaičiuoti šios figūros plotą. Jį 2 pav.

apskaičiuojame minėtą figūrą sudalę vienodais

langeliais ir suskaičiavę jų skaičių N. Vieno langelio plotas atitiks krūvį q i

=

i I m I i t m t ; čia i

*I*

ir i

*t*

– langelio kraštinių ilgiai, m

*I*

ir m

*t*

– srovės stiprumo

ir laiko masteliai. Visas pratekėjęs krūvis

*q*

= q i

⋅ N = m I m t i I i t ⋅ N . (6)

Dviem pasirinktiems laiko momentams t

1

ir t

2

, pagal (5), atitiks srovės stiprumai

3

*I 1*

=

I 0 e − t 1 / RC (7) ir

*I 2*

=

I 0 e − t 2 / RC . (8) Padalinę (7) iš (8) ir gautą santykį išlogaritmavę pagrindu e, gauname

*I I*

2

= t

2

*− t 1 RC*

. (9)

Jeigu laiko momentus t

1

ln 1 ir t 2

pasirinksime taip, kad santykis , tuomet

ir

*I 1*

/ I 2 = e

= 2 , 72 ln

*I*

1

*/ I 2 = 1 RC = t 2*

− t 1 . (10) Taigi, žinodami R ir t

2

– t

1

, iš (10) galime apskaičiuoti kondensatoriaus talpą

*C = t*

2

R −

t 1 . (11)

2

Kondensatorių išelektriname 3 paveiksle pavaizduotą

schema, kurioje viskas pažymėta kaip 1 paveiksle. Įvertinę, kad φ∆ = q / C ir pritaikę Omo dėsnį, gauname

4 3

q / C = RI . (12) Išdiferencijavę (12) laiko atžvilgiu, gauname

3 pav.

− C 1

d q d

*t*

= R

d

I d

*t*

; (13)

čia ženklą „−“ rašome todėl, kad kondensatorių išelektrinant krūvis mažėja ir jo pokytis dq yra

neigiamas. Gautoji (13) lygtis analogiška (4), todėl ją tenkins sprendinys (5).

Jeigu toje pačioje koordinačių sistemoje nubrėžus kondensatoriaus įelektrinimo ir išelektrinimo srovių grafikus jie, paklaidų ribose, sutampa, vadinasi, elektros krūvio tvermės

*dėsnis galioja.*

*I*

( t )

Darbo aprašymas. Principinė elektrinė darbo schema pavaizduota 4 paveiksle.

1. Prieš pradedant kondensatoriaus

įelektrinimo tyrimą pirmiausia reikia jį

išelektrinti. Tam perjungiklį P jungiame

į padėtį 2 ir laukiame, kol srovės

stiprumas taps artimas nuliui. Tuomet

perjungiklį P jungiame į padėtį 1 ir

nuspaudžiame mygtuką M. Taip

užtrumpiname kondensatorių ir jį pilnai

išelektriname. Užtrumpinus kondensatorių, atžymime grandine tekančios elektros srovės stiprumą,

kuris yra lygus I

0

P

R

1

M

2

2

4 pav.

1

~

A =

C

. Atleidę mygtuką, matuojame kondensatoriaus įelektrinimo srovės stiprumo I

priklausomybę nuo laiko t. I

*i*

ir t

*i*

vertes atsižymime srovės stiprumui keičiantis kas 5 μA.

4

Matuojame tol, kol srovės stiprumas pasidaro praktiškai lygus nuliui. Tuomet kondensatorius visiškai įelektrintas ir jo potencialų skirtumas φ∆ lygus elektrovaros jėgai E , kurios vertę

apskaičiuojame E = I

0

R. Čia R = 114 kΩ.

2. Perjungiklį P perjungiame į padėtį 2 ir 1 punkte aprašytu būdu matuojame kondensatoriaus

išelektrinimo srovės stiprumo priklausomybę nuo laiko.

3. Vienoje koordinačių sistemoje brėžiame abiejų srovių grafikus. Išelektrinimo srovės

pradiniai rodmenys bus neteisingi, nes, perjungus perjungiklį, dėl ampermetro rodyklės

inertiškumo, ji nespėja atsilenkti reikiamu didžiausiu kampu. Brėžiamo grafiko pradžią

patiksliname ekstrapoliuodami: naudodami lekalą, pagal vėlesnes išmatuotas vertes kreivę tolydžiai

pratęsiame iki susikirtimo su srovės ašimi.

Pagal nubrėžtų grafikų sutapimą sprendžiame, ar elektros krūvio tvermės dėsnis galioja. 4. Iš grafiko apskaičiuojame kondensatoriaus talpą. Tam laisvai pasirenkame srovės stiprumo vertę I

*I*

( t )

1

ir apskaičiuojame I

2

= I 1 / e . Iš grafiko randame šias srovių stiprumo vertes

atitinkančius laikus t

1

bei t

2

ir iš (11) apskaičiuojame kondensatoriaus talpą. 5. Pagal kreivės I

( t )

ir ašių ribojamą plotą apskaičiuojame pernešto krūvio dydį.

6. Iš kondensatoriaus talpos formulės, imdami ∆φ = E = I

0

R, taip pat apskaičiuojame

kondensatoriaus elektros krūvį ir jį palyginame su 5 punkte gautąja verte. Jų sutapimas bylos apie

elektros krūvio tvermės dėsnį.

Kontroliniai klausimai 1. Elektros krūvio samprata.

2. Elektros krūvio tvermės dėsnis.

3. Kondensatorius ir jo talpa.

4. Paaiškinti (4) lygties sprendinį.

5. Paaiškinti pernešto elektros krūvio skaičiavimą.

6. Paaiškinti kondensatoriaus išelektrinimo srovės grafiko pradinės dalies tikslinimo priežastis.

Literatūra 1. Tamašauskas A., Vosylius J. Fizika. – V., 1989. – T.2, p. 5-6, 44, 48-49.

Darbo aprašymą paruošė ir maketą pagamino lektorius S. Civinskas

**LAIDININKO SAVITOSIOS VARŽOS NUSTATYMAS**

Darbo užduotis. Nustatyti tiriamojo laidininko savitąją varžą ir patikrinti Omo dėsnį.

Teorinio pasirengimo klausimai. Varža, savitoji varža, Omo dėsnis.

Teorinė dalis. Laidininko aktyvioji (ominė) varža (toliau – varža) apibūdina šio laidininko

pasipriešinimą pastoviosios elektros srovės tekėjimui. Kietojo laidininko varža R priklauso nuo

jo medžiagos cheminės sudėties, kristalinės struktūros, matmenų, formos ir temperatūros. Ją gali

pakeisti ir išoriniai poveikiai: deformuojančios laidininką jėgos ar įtempiai, magnetiniai laukai ir

kt. Darbe nagrinėsime pastovaus skerspjūvio S, ilgio l, vienodos temperatūros vienalyčio

laidininko varžą. Jo aktyviosios varžos didumą galima nustatyti išmatavus laidininku tekančios

srovės stiprį I, esant tarp laidininko galų žinomam potencialų skirtumui φ

*1*

*– φ*

*2*

. Pagal Omo dėsnį

nesant laidininke elektrovaros, t. y. vadinamajai vienalytei grandinės daliai, galioja lygybė:

*φ*

*1*

*– φ*

*2*

= IR = U, (1)

čia U – įtampa tarp grandinės (mūsų atveju – tarp laidininko) galų.

Iš čia

*R = U I*

. (2)

Tačiau dažnai yra naudojamas kitas praktiškai svarbus laidininko varžą apibūdinantis, bet

nuo jo išmatavimų ir geometrijos nepriklausantis dydis – savitoji varža ρ. Mūsų nagrinėtojo

vienalyčio pastovaus skerspjūvio laidininko atveju

ρ = R∙

*S l*

. (3)

Savitoji varža mūsų atveju apibrėžiama kaip vienetinio ilgio ir vienetinio skerspjūvio

ploto vienalyčio laidininko varža. Pagal valstybinį standartą (LST ISO 31-9) savitoji varža

apibrėžiama kaip proporcingumo koeficientas Omo dėsnio diferencialine forma:

E →

= ρ → j ; (4)

čia

E →

– elektrinio lauko stipris laidininke;

→

j – juo tekančios srovės tankis.

Darbo aprašas. Darbe naudojamas

įrenginys (1 pav.) susideda iš stendo su

elektriniais matavimo prietaisais ir mechaninio

stovo. Prie mechaninio stovo pritvirtinta

milimetrinė liniuotė, slankiklis ir įtemptas

laidas. Stende sumontuotas maitinimo šaltinis,

srovės stiprio reguliatorius R

*g*

1 pav. Darbe naudojamas įrenginys: 1, 2 – slankikliai; , srovės per

*R*

*x*

tiriamąjį laidą, kurio varža R

*x,*

– laidininko varža; R

*g*

– srovės stiprio reguliatorius;

matuoklis –

V – voltmetras; mA – miliampermetras

miliampermetras ir įtampos tarp slankiklio ir laido apatinio galo matuoklis – voltmetras.

Norint nustatyti laido savitąją varžą, reikia išmatuoti tarp laidininko galų tekančios srovės

stiprį bei įtampą. Iš Omo dėsnio apskaičiuojama laido varža. Žinant varžą, laido ilgį bei

skerspjūvio plotą galima apskaičiuoti savitąją varžą.

*Darbo eiga:*

**Omo dėsnio tikrinimas ir savitosios varžos nustatymas**

1. Patikriname Omo dėsnį. Tam slankiklį 1 pakeliame į viršutinę padėtį ir keisdami

slankikliu 2 srovės stiprį matuojame įtampą (5–7 matavimai). Matavimo rezultatus pateikiame

lentelėje. Pasinaudodami Omo dėsniu (2), apskaičiuojame varžą ir rezultatus taip pat įrašome į

lentelę.

Matavimo

numeris

1 2 3 4 5 6 7

Srovės stipris,

*mA*

Įtampa, V

Varža, Ω

Apskaičiuojame vidutinę laidininko varžą: <R>= ........ Ω.

Brėžiame srovės stiprio priklausomybės nuo įtampos grafiką. Kuo tiksliau gauta

priklausomybė atitinka tiesinę, tuo geriau grandinei tinka Omo dėsnis.

2. Nustatome laidininko savitąją varžą. Tam išmatuojame laido skersmenį d mikrometru ir

ilgį i nuo apačios iki slankiklio apatinės dalies ant stovo esančia milimetrine liniuote:

*d =......... mm, i = ........ mm.*

Laidininko skerspjūvio plotą apskaičiuojame pagal formulę:

*S π= 2r ;*

čia r – laidininko spindulys.

Pagal (3) formulę apskaičiuojame laidininko savitąją varžą (skaičiuodami naudojame

vidutinę varžos vertę):

ρ = <

*R l*

> S .

Pasinaudodami laidininkų savitųjų varžų lentele, esančia darbo aprašo priede, nustatome

medžiagą, iš kurios pagamintas laidas.

**Laidininko varžos priklausomybės tyrimas nuo jo ilgio**

3. Nustatome laidininko varžos priklausomybę nuo jo ilgio. Tam, nekeisdami srovės stiprio

grandinėje, matuojame įtampą tarp laido pradžios ir slankiklio. Matavimą atliekame 5–7 kartus

esant skirtingiems laido ilgiams (kiekvieno kito matavimo metu laido ilgį pakeičiame 4–7 cm).

Matavimų rezultatus surašome į lentelę. Kiekvienam atvejui apskaičiuojame laido varžą.

Srovės stipris I = ...... mA

Laido ilgis,

*mm*

Įtampa, V

Varža, Ω

Brėžiame varžos priklausomybės nuo laido ilgio grafiką.

**Kontroliniai klausimai**

1. Ką vadiname varža?

2. Ką vadiname savitąja varža?

3. Suformuluokite Omo dėsnį grandinės daliai.

4. Kaip patikrinti, ar grandinės daliai taikytinas Omo dėsnis?

5. Kodėl žinynuose pateikiamos įvairios cheminės sudėties laidininkų savitosios varžos, o ne

varžų reikšmės?

6. Ar keičiasi savitoji varža keičiant slankikliu tiriamojo laidininko ilgį?

Laidininkas Savitoji varža ρ, Ω∙m

Aliuminis

Voframas

Geležis

Auksas

Varis

Sidabras

Platina

Konstantanas

Nichromas

2,7 10-8

5,5 10

-8

1,0 10-7

2,2 10

-8

1,72 10-8

1,6 10

-8

1,07 10-7

5,0 10

-7

1,12 10-6

**METALŲ VARŽOS PRIKLAUSOMYBĖS NUO TEMPERATŪROS**

**TYRIMAS**

Darbo užduotis. Ištirti laidininko varžos priklausomybę nuo temperatūros.

Teorinio pasirengimo klausimai. Klasikinės elektroninės metalų elektrinio laidumo teorijos

pagrindai. Laidininko ominė varža. Savitoji varža. Laidininko varžos priklausomybė nuo

temperatūros.

Teorinė dalis. Metalai yra geri elektros ir šilumos laidininkai. Tyrimai rodo, kad laidumo

elektros srovę ir didžiąją dalį šiluminio laidumo būdu perduodamos šiluminės energijos juose

perneša laisvieji elektronai. Kristaliniuose metaluose kiekvieno iš atomų vienas ar keli valentiniai

elektronai dėl kvantine kietojo kūno teorija paaiškinamų priežasčių nesurišti su konkrečiu atomu ir

dalyvauja chaotiškame šiluminiame judėjime po visą metalo tūrį. Klasikinės fizikos požiūriu šio

chaotiško elektronų judėjimo greičio modulio vidutinė vertė < v > yra proporcinga šakniai iš

absoliutinės temperatūros T, t. y. < v > ~ T . Kambario temperatūroje pagal klasikinę metalų

laidumo teoriją <v > turėtų būti 100 km/s eilės, o kryptingo laisvųjų elektronų judėjimo vidutinio

greičio modulis daugeliu praktinių atvejų neviršija 10-4 m/s. Laidumo elektronų koncentracija yra

tos pačios eilės kaip atomų koncentracija kristaliniame metale ir plačiame temperatūrų intervale yra

pastovi. Nors klasikinė metalų laidumo teorija gerai paaiškina Omo dėsnį (pagal ją varža

nepriklauso nuo tekančios srovės stiprio), tačiau iš šios teorijos išplaukia, kad, jeigu < v > ~ T ,

tai ir TR ~ . Tai prieštarautų eksperimentiniams rezultatams.

Elektros srovei metaluose gerai tinka Omo dėsnis: vienalytei grandinės daliai srovės stipris I

*tiesiog proporcingas tos dalies įtampai U ir atvirkščiai proporcingas tos dalies ominei (aktyviajai)*

*varžai R, t. y.*

*I = U R*

. (1)

Taigi laidininko elektrinė varža (toliau – varža) yra lygi įtampos tame laidininke ir juo

tekančios srovės stiprio santykiui. Ji apibūdina laidininko pasipriešinimą elektros srovės tekėjimui.

Laidininko varža priklauso nuo jo matmenų, medžiagos rūšies ir būsenos bei temperatūros.

Vienalyčio vienodo skerspjūvio ploto S ir l ilgio laidininko varža skaičiuojama pagal šią

formulę:

= ρ S 

; (2)

čia ρ – laidininko savitoji varža, priklausanti nuo medžiagos rūšies, būsenos ir temperatūros, bet

nepriklausanti nuo laidininko geometrinių matmenų ir formos.

Metalų savitoji varža, didinant temperatūrą, didėja (čia nenagrinėsime labai žemų – kriogeninių

– temperatūrų atvejo).

*R*

2 Nelabai aukštų temperatūrų kambario temperatūros atžvilgiu daugumos metalų

eksperimentinė priklausomybė

ρ = Tf ( )

yra artima tiesinei ir aprašoma lygtimi:

ρ ≈ ρ 0

[ 1

+ α ( TT - 0 ) ] = ρ 0 ( 1 + α t )

; (3)

*čia α = const – temperatūrinis savitosios varžos koeficientas; T 0*

= 273

K – temperatūra, atitinkanti

0



C Celsijaus temperatūros skalėje; ρ

0

– savitoji metalo varža 0



C temperatūroje. T ir t –

atitinkamai laidininko absoliutinė ir Celsijaus temperatūros; ρ – laidininko varža temperatūroje t.

Taikydami (2) formulę ir laikydami, kad

 S

nepriklauso nuo temperatūros (tai mūsų atveju dėl

laidininko šiluminio plėtimosi nėra absoliučiai teisinga, bet šis artinys nedaug pakeičia analizės

rezultatus), gausime:

 S

*R*

[ ( RTT ) ] ( t )

; (4)

čia R

0

R = ρ ≈ 0

1 + α - 0 = 0 1 + α – laidininko varža 0 

*C*

temperatūroje; ρ – laidininko varža temperatūroje t.

Išdiferencijavę (4) lygybę temperatūros atžvilgiu, gausime

∂

R ∂

*t*

=

*R*

0

α

; (5)

Iš čia

α =

1 R 0

∂

R ∂

*t*

. (6)

Taigi, jeigu α = const, turėtume gauti ir ∂

R ∂

*t*

=

*const*

, t. y. varža turėtų tiesiškai priklausyti nuo

temperatūros.

O dabar aiškinsimės varžos priklausomybę nuo temperatūros mikroskopiniu lygiu. Įrodyta, kad

metaluose elektros krūvį perneša laisvieji (t. y. nesurišti su konkrečiu atomu) elektronai. Jie

sąlygoja ir daugumai metalų didesnį, palyginti su dielektrikais, šilumos laidumą.

Eksperimentų, tiriančių metalų varžos priklausomybę nuo temperatūros, rezultatus gerai

pavyko paaiškinti tik pritaikius laidumo elektronams (tai yra mikropasaulio dalelės) tinkamus

kvantinės mechanikos dėsnius. Jais remiantis elektronų laisvasis lėkis, kartu ir medžiagos elektrinis

laidumas (bei varža) siejamas su minėtų elektronų sklaida. Jei metalo kristalas būtų tobulas

(begalinis monokristalas, neturintis jokių periodiškumo sutrikimų, t. y. defektų), tai, remiantis

kvantine teorija, jo laisvųjų elektronų laisvasis lėkis λ → ∞, kartu ρ → 0. Deja, realiame kristale yra

daugybė defektų. Jie skirstomi į statinius ir dinaminius. Realus metalo kristalas sudarytas iš mažų

chaotiškai išdėstytų kristalitų, juose daug tuščių gardelės mazgų, daug dalelių tarpmazgiuose, yra

priemaišų (svetimų atomų) ir pan. Visa tai – statiniai defektai. Be to, visos kristalo struktūrinės

dalelės virpa, kai T > 0 K. Dėl to nuotolis tarp jų kinta – sutrinka kristalo periodiškumas. Tai

3 dinaminiai defektai. Aukštesnėse nei kambario temperatūrose dinaminių ir dalies statinių

defektų koncentracija proporcinga T, todėl elektronų laisvasis lėkis

< λ ~> T 1

, o savitoji varža ρ ~

T.

Darbo aprašas. Principinį matavimų įrenginį (1 pav.) sudaro elektrinė krosnelė 1, jos viduje

įtvirtintas tiriamasis varinis arba NiCr laidininkas 2, jo varžos matuoklis 3 ir termometras 4.

Temperatūrą galima matuoti ir kitu įtaisu 5: termoelementu, termovarža ir pan. Temperatūrinio

varžos koeficientui α nustatyti (iš tiesinės arba artimos tiesinei priklausomybės

*R = f ( t )*

) reikia (3)

lygybėje eliminuoti dydį R

0

, t. y. laidininko varžą 273 K (0 °C) temperatūroje. Tam reikia išmatuoti

to laidininko

varžą temperatūroje t

1

ir t

2

:

*R R*

1

2

= =

R R 0 0 ( ( 1 1

+ + α α

t t 1 2 ) ) , . Išsprendę šią lygčių sistemą α atžvilgiu, gauname

α = R

- R 1 2 -

2 1 . (7)

*Darbo eiga:*

1. Varžos matuokliu išmatuojame dėstytojo nurodyto

laidininko varžą kambario temperatūroje.

Įjungę krosnelę, kas 2–4 laipsniai registruojame kylančią

temperatūrą t

*i*

2 1 R

t R t 1 pav. Principinė matavimo įrenginio

schema: 1 – elektrinė krosnelė; 2 –

bei ją atitinkančią laidininko varžą R i

.

varinis arba NiCr laidininkas; 3 –

laidininko varžos matuoklis; 4 – Matavimų rezultatus surašome į lentelę. Matuojame, kol

termometras; 5 – gali būti kitas temperatūra krosnelėje pasieks 40–60 ̊C, po to krosnelę

temperatūrą matuojantis įtaisas: išjungiame.

termoelementas, termorezistorius

2. Brėžiame grafiką

*R = f ( t )*

. Iš jo tiesinės dalies pasirinktoms temperatūroms t

1

, nustatę

varžas R

1

ir t

2

ir R

2

, apskaičiuojame α .

3. Matavimų ir skaičiavimo rezultatus surašome į lentelę.

l = ............. m ; S = .................. m2

*t*

*i*

, °C R

*i*

, Ω t

1

, °C R

1

, Ω t

2

, °C R

2

, Ω α , K-

1

**Kontroliniai klausimai**

1. Kokie svarbiausi klasikinės elektroninės metalų elektrinio laidumo teorijos teiginiai?

2. Kuo skiriasi ominė varža nuo savitosios varžos?

3. Kokia bendroji vienalyčio pastovaus skerspjūvio laidininko ominės varžos formulė?

4. Kodėl α apskaičiuoti reikalingus dydžius tikslingiau imti iš grafiko

*R = f ( t )*

, o ne naudoti

pavienių matavimų duomenis?

**VARŽOS MATAVIMAS VITSTONO TILTELIU**

Darbo užduotis. Rasti nežinomų varžų dydžius, kai turime žinomą varžą ir patikrinti nuoseklaus ir lygiagretaus varžų jungimo dėsningumus.

Teorinio pasirengimo klausimai. Kokias jėgas vadiname pašalinėmis? Paaiškinkite elektrovaros įtampos ir potencialų skirtumo fizikinę prasmę. Paaiškinkite Omo dėsnį grandinės daliai, uždarai grandinei. Pasakykite Kirchofo taisykles. Kuo jos pagrįstos?

Darbo principas ir aparatūra. Išsišakojusiai elektros srovės grandinei galioja du Kirchofo dėsniai.

1) į išsišakojusios grandinės mazgą įtekančių ir ištekančių elektros srovių stiprių algebrinė suma lygi nuliui:

*∑ i*

=

*n I*

=

0

(1)

*i*

=

1 2) išsišakojusios elektros srovės grandinės bet kurio uždaro kontūro šakomis tekančių elektros srovių stiprių I

i

*i*

ir atitinkamų varžų R

i

sandaugų algebrinė suma yra lygi tame kontūre veikiančių elektrovarų E i

C algebrinei sumai:

*∑ i*

=

*n E i*

=

*∑ i =*

*n I i*

*R i*

(2)

*i*

=

1

*i*

= 1 Nežinomai laidininko varžai matuoti sudaroma 1

I

1

R

x

**G**

R

ž

I

1

pav. parodyta išsišakojusi grandinė, vadinama Vitstono tilteliu. Ant milimetrais sužymėtos skalės ištempta viela, kurios ilgis AB yra l = l

*1*

I

*2 l +l*

*2*

. Vielos atkarpos l

1

D

K A

*1 r*

1

*l*

*2 r*

2

B

varžą pažymėkime R

1

ir atkarpos l

2

– R

2

. E – srovės šaltinis, K – jungiklis, R

x

– nežinoma varža, R

ž

– žinoma varža. Tarp taškų C ir D įjungiamas

E galvanometras. Kontaktas D yra šliaužiantysis.

3) įjungiame į išsišakojusią grandinę srovės šaltinį. Šakoje AB tekančio srovės stipris I

2

1 pav.

1

2 1 0

, o potencialas krinta nuo φ

A

iki φ

B

. Šakoje ACB srovės stipris I

1

ir potencialas taip pat krinta nuo φ

A

iki φ

B

, kai tarpine šaka CD neteka srovė. Stumdydami šliaužiojantį kontaktą D pasiekiame, kad taškuose C ir D potencialas būtų lygus: φ

C

= φ

D

,tuomet šia šaka srovė neteka. Remdamiesi antruoju Kirchofo dėsniu, kai srovė neteka, rašome kontūrams ACD ir CBD šias lygtis:

*I*

*R x − I R = I 1*

*R ž*

− I 2 R 2 = 0 Pertvarkę lygtis ir padaliję, gauname:

*R*

*x R*

*ž*

=

*R*

*1 R*

2

ir

*R*

*x*

=

*R ž R*

*1 R*

2

(3)

Viela AB vienodo radiuso ir homogeniška, todėl

⎛ ⎜ ⎝

*R =*

ρ

*S l*

⎞ ⎟ ⎠

jos atskirų dalių varžų santykis lygus

ilgių santykiui:

*R*

*1 R*

2

=

*l*

*1 l*

2

. Įstatę (3) lygtyje vietoje varžų vielos ilgius, gauname:

*R*

*x*

=

*R ž l*

*1 l*

2

. (4)

Vielos AB varža nėra didelė, todėl šio tipo tiltelis tinka tik nedidelėms varžoms matuoti. Galima įrodyti, kad matavimo paklaida bus mažiausia, kai

*l 1*

=

*l 2*

, t.y., kai šliaužiantysis kontaktas yra ties

viduriu. Ties viduriu jis bus tuomet, kai dekadiniu varžynu parinksime R ž

≈

R x . Išmatuojame trijų laidininkų nežinomas varžas atskirai ir sujungę nuosekliai (2a pav.), išmatuojame jų atstojamąją varžą. Įsitikiname, kad

(5) R

*x*

=

*R 1*

**+ R 2 + R 3 ......**

R

1

R

2 Sujungę laidininkus lygiagrečiai (2b pav.), išmatuojame

a) atstojamąją varžą ir patikriname lygybę:

**..... 1**

2 3

R

3

1 1 1 1 R

*x*

*R R R =*

+ + + (6)

R

1

Darbo eiga. 1. Įjungiame maitinimo prietaisą į tinklą.

b)

R

2

Srovės šaltinis įjungiamas užpakalinėje prietaiso sienelėje

R

3 esančiu jungikliu.

2. Stumdami reostato kontaktą D pastatome maždaug ties liniuotės viduriu.

3. Matuojamų vielų varžos yra nedidelės (0,5 ÷ 5) Ω,

2 pav.

todėl paimame dekadiniame varžyne nedidelę varžą (0,5 ÷ 5) Ω.

4. Įjungiame multimetrą. 5. Stumdami kontaktą D bei keisdami dekadinio varžyno varžą randame tinkamą padėtį, kad multimetras rodytų nulį (φ

C

= φ

D

). Matavimų rezultatų tikslumas yra didžiausias tada, kai kontaktas D yra arti liniuotės vidurio, t.y. l

1

≈ l

2

. 6. Iš (4) lygties išskaičiuojame R

x

. 7. Panašiu būdu išmatuojame dar dvi nežinomas varžas. 8. Sujungiame varžas nuosekliai ir randame jų bendrą varžą. Patikriname skaičiavimu. 9. Sujungiame varžas lygiagrečiai ir randame jų bendrą varžą. Patikriname skaičiavimu. 10. Išskaičiuojame rezultato R

x

paklaidą. Pažymėję varžos ilgį – l, matome kad ir rezultato R paklaida bus

*l = l − l ⎟*

2 1 ∆

*R*

*x*

= ± R x ⎛

⎞ ⎜

∆

*R*

*ž R*

*ž*

+

*∆ l*

*1 l*

1

+

∆

*l*

+ ∆ l 1 l

−

l 1 Matavimo ir skaičiavimo rezultatus surašome į lenteles:

Eil. Nr.

⎜

⎟ ⎝

⎠

*l*

1

, m l

2

, m R, Ω R

x

, Ω

1 2 3

*l*

1

‘,m nuosek.

*l*

2

‘,m nuosek.

R, Ω R

x

, Ω eksp.

R, Ω teor.

*l*

1

“

,m nuosek.

*l*

2

“

,m nuosek.

R, Ω R

x

, Ω eksp.

R, Ω teor.

Kontroliniai klausimai 1. Ką vadiname elektros srove ir kokiomis sąlygomis ji atsiranda? 2. Paaiškinkite elektrovaros, įtampos ir potencialų skirtumo fizikinę prasmę. 3. Paaiškinkite Omo dėsnį grandinės daliai, uždarai grandinei. 4. Pasakykite Kirchofo taisykles. Kuo jos pagristos?

Literatūra 1. Tamašauskas A., Vosylius J. Fizika. - Vilnius: Mokslas, 1989. - T.2. - P.142 - 148. 2. Javorskis B., Detlafas A. Fizikos kursas. - Vilnius: Mintis, 1975. - T.3. - P. 101 - 108.

**DIELEKTRIKŲ ELEKTRINIŲ SAVYBIŲ TYRIMAS**

Darbo užduotis. Nustatyti įvairių dielektrikų santykinę dielektrinę skvarbą, dielektrinę jutą (jautrį) ir poliarizuotumą.

Teorinio pasirengimo klausimai. Poliniai ir nepoliniai dielektrikai. Poliarizuotumas. Dielektrinė skvarba ir dielektrinė juta. Kondensatoriai, kondensatorių talpa, talpos vienetas.

**Teorinė dalis.**

1. Plokščiojo kondensatoriaus talpa. Kondensatorius sudarytas iš dviejų lygiagrečių metalinių plokštelių, nutolusių viena nuo kitos atstumu d. (1 pav.) Kondensatoriaus elektrinė talpa apibrėžiama panašiai kaip ir pavienio laidininko: ji lygi vieno elektrodo krūvio ir potencialų skirtumo tarp elektrodų santykio moduliui. Modulis imamas dėl to, jog elektros krūvis gali būti tiek teigiamasis, tiek neigiamasis, o kondensatoriaus elektrinė talpa yra tik teigiamasis dydis:

*C*

*= U q*

;

(1)

čia C – elektrinė talpa, q – vieno elektrodo krūvis, U

– potencialų skirtumas tarp elektrodų. Skaitine verte kondensatoriaus talpa lygi krūviui, kurį reikia suteikti vienai iš plokščių, kad kondensatoriaus įtampa pakistų 1 V. Jeigu vienos iš kondensatoriaus plokštelių krūvis q , tai elektrinio lauko stipris tarp plokštelių

čia S

– 1 kondensatoriaus pav.

*E*

0

*= q Sε*

0

;

(2)

plokštelės plotas, ε 0

– elektrinė konstanta (SI ε 0

= 8 , 85 ∙ 10 - 12

F m ). Potencialų skirtumas tarp plokštelių

*U = x ∫ 2 E x 1*

*dx = q ∙*

*d S ε*

,

q = ε

0

*d S*

*U*

. (3)

Tuomet iš (2) ir (3) gauname:

0 0

0

0

*C*

=

ε

*d*

*S*

(tarp kondensatoriaus plokštelių vakuumas arba oras).

Talpos vienetas SI – faradas (F). Jis lygus talpai tokio kūno, kuriam suteikus vieno kulono krūvį, potencialas padidėja vienu voltu. (Tarp kondensatoriaus plokštelių vakuumas arba oras.)

Užpildykime tarpą tarp kondensatoriaus plokščių dielektriku, kurio santykinė dielektrinė skvarba ε . Jeigu krūvis q ant kondensatoriaus plokščių išlieka pastovus, potencialų skirtumas sumažės ε kartų

*U U*

1

=

ε .

Kondensatoriaus talpa padidės taip pat ε kartų (

*C 1 / C 0*

ε= ). Tada gauname

*q*

1 = εε 0

*d S*

U .

(4)

Iš (3) ir (4) randame,

*q 1 q*

ε= ,

(5)

о E

čia q

1

– krūvis ant kondensatoriaus plokštelių su dielektriku, q

– krūvis be dielektriko. 2. Dielektriko poliarizacija. Dielektrikas – medžiaga, nelaidi elektros srovei, nes neturi laisvųjųjų 0 2 pav.

elektros krūvių. Tačiau tai nereiškia, kad medžiagos

molekulės neturi elektrinių savybių. Dielektriką veikiant elektriniu lauku, surištieji krūviai (atomuose ir molekulėse) labai nežymiai paslen

Dielektrikai yra dviejų rūšių. Vienų molekulės dielektrikų vadinamos molekulės teigiamojo nepolinėmis. Dipolio ir neigiamojo momentas ( p о

krūvių = q ∙ о i

) centrai neveikiant sutampa. išoriniam Tokių elektriniam dielektrikų

laukui lygus nuliui. Paveikus tokius dielektrikus elektriniu lauku, atomai tampa dipoliais, kurių dipoliniai momentai orientuojasi lauko kryptimi.

Polinių dielektrikų atomai turi dipolinius momentus ir neveikiant išoriniam laukui. Todėl išorinis elektrinis laukas poliniame dielektrike tik orientuoja jo elektrinius dipolinius momentus lygiagrečiai lauko kryptčiai.

Sukūrus dielektrike elektrinį lauką, pastarasis veikia elektringąsias daleles. Dielektrikas poliarizuojasi. Dielektriko poliarizaciją apibūdina poliarizuotumas.

Elektriniu poliarizuotumu (elektrinės poliarizacijos vektoriumi) vadinama dielektriko bet kurio tūrio elektrinio momento ir to tūrio santykio riba, kai tūris artėja prie nulio:

P о

*e*

=

lim

⎛

1

о

*ei ; V → 0*

│ ⎝ V

*∑ n*

*i =*

n čia n

– dalelių skaičius dielektriko tūryje V, p p о

*ei*

⎞ │ ⎠ – i-tojo dipolio elektrinis momentas.

(6)

Kai vienalyčiame elektriniame P о

*e*

=

n lauke 0 p о e

; yra vienalytis dielektrikas, kurio molekulės nepolinės, tai

(7) čia n

0

– molekulių skaičius tūrio vienete. Toks rezultatas gaunamas todėl, kad visų elektrinio lauko dielektrike stiprio vektoriaus molekulių E

о

.

vektoriai

p о

*e*

nukreipti viena kryptimi – išilgai

Atomo dipolio momentas lygus

*P e*

= ε 0 α E ; (8) čia α = 4 π r 3 – daugiklis, proporcingas atomo tūriui ir vadinamas atomo elektriniu poliarizuotumu. Panaudoję (7) ir (8) formules turime:

о e

0 0 о

*0 e*

о

. (9) Koeficientas

*e*

0 P = n ε α E = ε χ E χ = n α vadinamas medžiagos dielektriniu jautriu. Jei vienalytis dielektrikas užpildo visą erdvę, kurioje egzistuoja elektrinis laukas, arba jo paviršiai yra ekvipotencialiniai, tai laukų kryptys būna priešingos (2 pav.) ir atstojamojo lauko dielektrike stipris

*E E ε*

; (10)

čia E

0

= 0

– lauko stipris vakuume. Dydis ε vadinamas santykine dielektrine skvarba ir išreiškiamas lygybe

ε = 1 + χ , (11)

7 6

5 3 8

**Aparatūra ir darbo 4**

eiga. Matavimo aparatūra parodyta 3 paveiksle. 1 – plokščiasis

3 pav.

kondensatorius d = 260 mm, 2 – plastmasinė plokštė (283x283) mm, 3 –

2

ka, o jis pats tampa elektrinio lauko šaltiniu (2 pav.).

t.y. 2

1

priklauso nuo dielektriko gebėjimo poliarizuotis.

Santykinė dielektrinė skvarba rodo kiek kartų dviejų taškinių elektros krūvių kuriamas elektrinio lauko stipris vakuume didesnis negu medžiagoje.

3 universalus matavimo stiprintuvas, 4 – voltmetras, 5 – aukštos įtampos srovės šaltinis, 6 – skalė su nonijusu, 7 – skalės galvutė. Universalus matavimo stiprintuvo 3 valdymo rankenėlės turi būti šioje padėtyje: R

e

≥1013Ω, stiprinimo koeficientas10′, lauko pastovioji lygi 0. Matavimo principinė schema parodyta 4 pav. Elektrostatinės indukcijos krūvį galime rasti išmatave įtampą U kondensatoriaus talpa 220 nF gnybtuose (8).

4 pav.

1. Sukdami mikrometrinės skalės galvutę (7), parinkite atstumą tarp kondensatoriaus C plokštelių lygų d = 1 mm. 2. Įjunkite aukštos įtampos šaltinį bei stiprintuvą 3. Sukdami aukštos įtampos potenciometrą, parinkite 1,5 kV

įtampą. 4. Pradedami matuoti pradinę voltmetro įtampą nustatykite paspausdami stiprintuvo mygtuką. 5. Sukite skalės galvutę (7) nuo 0,1 cm iki 1 cm tam tikru žingsniu (žingsnį parenkame tokį, kad būtų

apčiuopiamas įtampos pokytis) ir matuokite įtampą

*U 1*

(pasirinkite voltmetro matavimo ribas). 6. Pagal formulę

*q = CU 1 1*

apskaičiuokite kondensatoriaus krūvį, (C

1

=218 nF).

7. Brėžkite priklausomybę

q =

*f*

⎛ │ ⎝ d 1

⎞ │ ⎠

.

8. Aukštą įtampą sumažinkite iki nulio. 9. Patalpinkite dielektriko plokštelę tarp kondensatoriaus plokštelių ir išmatuokite d (sukdami

mikrometrinę galvutę nenaudokite jėgos). 10. Vėl pradinę voltmetro įtampą nustatykite paspausdami stiprintuvo mygtuką. 11. Didinkite aukštą įtampą kas 0,2 kV, matuokite įtampą

1

q . 12. Pašalinkite dielektriką (išlaikant tą patį atstumą tarp kondensatoriaus plokštelių) ir pakartokite 10 ir

11 punktų veiksmus. 13. Brėžkite priklausomybę 1

( ) ir

U ir paskaičiuokite krūvį

1

q = f U q = f ( U ) . 14. Iš formulių (5) bei (11) paskaičiuokite santykinę dielektrinę skvarbą ε bei medžiagos dielektrinę

jutą (jautrį) χ . 15. Tyrimo rezultatus surašykite į lenteles.

1. lentelė. U = 1,5 k V , C = 218 nF . U 1

, V d, cm 0,1 0,3 0,4 0,5 0,7 0,8 ........... 1/d, cm-1 q 1

, nC

2. lentelė U , kV 0,2 0,4 0,6 0,8 1,0 1,2 1,4 U 1

, V q, nC

3. lentelė U , kV 0,2 0,4 0,6 0,8 1,0 1,2 1,4 U 1

, V

*q 1*

, nC

ε = χ =

4 Kontroliniai klausimai 1. Polinių ir nepolinių dielektrikų samprata. 2. Ką vadiname poliarizuotumu? 3. Koks yra deformacinės bei orientacinės poliarizacijos mechanizmas? 4. Ką nusako santykinė dielektrinė skvarba?

Literatūra 1. Tamašauskas A., Vosylius J. Fizika. – Vilnius: Mokslas, 1989. - T.2. P.26. 2. Ambrasas V., Jasiulionis B. Fizika. Elektromagnetizmas. – Kaunas: Technologija, 2007.–P.38. 3. Javorskis B., Detlafas A. Fizikos kursas. – Vilnius: Mintis, 1970. - T.2. - P.62,76.

27. DIELEKTRIKŲ ELEKTRINIŲ SAVYBIŲ TYRIMAS

Darbo užduotis. Nustatyti įvairių dielektrikų plokštelių santykinę dielektrinę skvarbą,

dielektrinę jutą ir poliarizuotumą.

Teorinio pasirengimo klausimai. Poliniai ir nepoliniai dielektrikai. Poliarizuotumas.

Dielektrinė skvarba ir dielektrinė juta. Kondensatoriaus talpa.

Teorinė dalis. Dielektriko molekulė elektriškai yra neutrali, tačiau galimi du skirtingi atvejai:

1) molekulės teigiamojo ir neigiamojo krūvių centrai sutampa ;

2) tarp šių centrų nuotolis i.

Pirmieji vadinami nepoliniais, antrieji – poliniais dielektrikais. Pastarųjų dielektrikų molekulė

apibūdinama dipoliniu momentu i

о

– dipolio petys nukreiptas nuo neigiamų elektros

krūvių centro teigiamų krūvių centro link; q – vieno ženklo krūvio modulis. Nepolinės molekulės

i

p о

= q ⋅ о

; čia i

о

, o kartu ir p о , lygūs nuliui. Dielektrike išskirkime tūrį ∆V, kuriame yra labai daug molekulių. Visų jų atstojamasis dipolinis

momentas yra ∑

p о

*i*

*. Dielektriko poliarizuotumu P о*

*vadiname jo tūrio vieneto dipolinį momentą,*

t.y. dydį

P о

=

∑

p о

*i ∆*

*V*

. (1)

Kai dielektriko neveikia elektrinis laukas ( E о

= 0 ), dėl molekulių šiluminio judėjimo poliniam

dielektrikui geometrinė suma ∑

p о

*i*

, o kartu ir P о

lygūs 0. Tokį dielektriką vadiname

nepoliarizuotu. Neveikiant laukui ir nepolinis dielektrikas būna nepoliarizuotas ( P о

= 0), nes kiekvienos molekulės dipolinis momentas о

*i*

=

0 .

Nepolinį dielektriką veikiant E

p о

stiprio elektriniu lauku, jis kiekvieną molekulę deformuoja, (+)

ir (−) krūvių centrai prasiskiria – molekulė pasidaro dipoliu. Jo tūrio vieneto dipolinis momentas

(poliarizuotumas) proporcingas lauko stipriui:

P =

ε 0 χ E ; (2) čia χ – medžiagos dielektrinė juta.

Elektrinis laukas polinio dielektriko dipolinius momentus iš dalies orientuoja lauko kryptimi, ir

dielektrikas taip pat poliarizuojamas. Nelabai stipriuose elektriniuose laukuose šių vektorių

orientacijos tobulumas, tuo pačiu ir geometrinė suma ∑

*i*

о

išreiškiami taip

pat (2) lygtimi.

p о

bei poliarizuotumas P

2

Taigi išorinis elektrinis laukas poliarizuoja tiek polinį, tiek ir nepolinį dielektriką. Poliarizuotas

dielektrikas pats kuria elektrinį lauką. Pagal laukų superpozicijos principą kiekviename taške jų

stipriai geometriškai susideda. Jei vienalytis dielektrikas užpildo visą erdvę, kurioje egzistuoja

elektrinis laukas, arba jo paviršiai yra ekvipotencialiniai, tai šių laukų kryptys būna priešingos ir

atstojamojo lauko dielektrike stipris

*E E ε*

; (3)

čia E

0

= 0

– lauko stipris vakuume. Dydis ε vadinamas santykine dielektrine skvarba ir išreiškiamas

lygybe

ε = 1 + χ , (4)

t.y. priklauso nuo dielektriko gebėjimo poliarizuotis (dielektrinės jutos χ ).

Darbo aprašymas. Dielektrinę skvarbą ε ir kitus dydžius nustatysime naudodami plokščiojo

kondensatoriaus talpos priklausomybę nuo dielektriko, užpildančio tarpą tarp jo elektrodų, savybių.

Kaip žinome, plokščiojo kondensatoriaus talpa

*C*

= ε

0 ε S

*d*

; (5)

čia ε 0

= 8 , 85 ⋅ 10 − 12

F m – elektrinė konstanta, S – vieno elektrodo dengimosi su kitu elektrodu

plotas, d – nuotolis tarp jų. Išmatavę C ir žinodami S bei d išskaičiuojame ε.

Jei visą tarpą tarp elektrodų užpildo vienalytis dielektrikas, tai jame vienalyčio lauko stiprį

apskaičiuojame taip:

*E = U d*

; (6)

čia U – įtampa tarp kondensatoriaus elektrodų. Jei šis tarpas užpildytas d

1

storio oro sluoksniu ir d

2 storio dielektriko, kurio dielektrinė skvarba ε (1 pav.),

tai kondensatoriaus įtampai rašome lygybę

*U = E 1*

d 1 + E 2 d 2 . (7)

Elektrostatikoje įrodoma, kad šiuo atveju tinka lygybė

*d*

1

ε E

1

ε′

*E 1*

= ε E 2 ; (8)

*d*

2

ε ε

*E*

2

čia ε ́ – oro dielektrinė skvarba. Išsprendę (7) ir (8)

lygčių sistemą gauname

1 pav. E

= ε

1

2 ε

U + ε′ (9)

ir

1 d

*d*

3

*E*

2

= ε′

U ε

*d*

1

+ ε′ d 2 . (10)

Nagrinėjamu atveju (1 pav.) kondensatorių sudaro du nuosekliai sujungti kondensatoriai, kurių

talpos atskirai atitinkamai yra lygios

*C*

1

= ε

0 ε′ d 1

2 S

ir

*C*

2

=

ε

0

*ε S d*

.

Bendra talpa C skaičiuojama iš lygybės

C 1

=

C 1 + C 1 arba

C 1

= ε

*S d*

ε′ S

+

ε

0 d

ε . (11)

Iš čia dielektriko santykinė skvarba

0

1 2

0

1

1 2 ε = ε′

. (12)

Skaičiuojant ε′

orui laikome 1. Matavimo aparatūrą sudaro plokščiasis orinis kondensatorius ir talpos matavimo elektroninė

schema. Prietaisas suderintas taip, kad rodyklinio prietaiso skalėje atskaitome tiriamojo kondensatoriaus talpą pikofaradais ( 1 pF = 10-12 F ). Kondensatorius įelektrinamas iki įtampos

U = 9 V.

1. Tiriame plokščiąjį orinį kondensatorių. Oras yra nepolinis dielektrikas. Įjungę prietaisą į

elektros tinklą, išmatuojame kondensatoriaus talpą ir, pasinaudoję kondensatoriaus

geometriniais dydžiais, iš (5) apskaičiuojame oro santykinę dielektrinę skvarbą. Gautą vertę

sugretiname su žinynuose pateikta verte.

2. Pagal (4) apskaičiuojame oro dielektrinę jutą χ , pagal (6) – lauko stiprį E ir pagal (2) – oro

poliarizuotumą P. Tyrimo rezultatus surašome į lentelę.

d = .................... m, S = ................... m2

Medžiaga d

2

*dC*

2 ε

ε′ S − dC , m d 1

, m C, F ε χ E, V/m P, C/m2

3. Tiriame dielektrikų plokšteles. Jų storis mažesnis už tarpą tarp elektrodų, o plotas atitinka

elektrodo plotą S. Mikrometru paeiliui išmatuojame kiekvienos plokštelės storį ir po to

matuojame kombinuoto kondensatoriaus (1 pav.) talpą. Pagal (12) apskaičiavę kiekvienos

plokštelės ε, surandame jų dielektrinę jutą χ . Apskaičiavę lauko stiprį (10) dielektrike,

surandame jo poliarizuotumą P. Tyrimo rezultatus surašome į lentelę.

4

**Kontroliniai klausimai**

1. Polinių ir nepolinių dielektrikų samprata.

2. Ką vadiname poliarizuotumu ?

3. Koks yra deformacinės bei orientacinės poliarizacijos mechanizmas ?

4. Ką nusako santykinė dielektrinė skvarba ?

5. Kaip poliarizuotumas susietas su dielektrine juta ?

MEDŽIAGŲ DIELEKTRINĖ SKVARBA

Medžiaga Dielektrinė skvarba ε Oras 1,000594 Organinis stiklas 2,5-4 Getinaksas 2,5-6 Polichlorvinilas 3,1-4 Ftoroplastas 2,5-2,7 Stiklas 4-15 Kartonas 2-3

SEGNETOELEKTRIKŲ POLIARIZACIJOS TYRIMAS

Darbo užduotis. Gauti segnetoelektriko histerezės kilpą ir nustatyti jo liktinį poliarizuotumą bei koercinį elektrinio lauko stiprį.

Teorinio pasirengimo klausimai. Poliniai ir nepoliniai dielektrikai. Poliarizuotumas. Segnetoelektrikai. Jų domenai ir histerezės kilpa. Liktinis poliarizuotumas ir koercinis elektrinio lauko stipris.

Teorinė dalis. molekulė, net nebūdama Dielektrikai būna poliniai ir išoriniame elektriniame lauke, nepoliniai pasižymi elektriniu dielektrikai. dipoliniu Pirmųjų momentu

kiekviena

о

*i*

,

o antrųjų – ne. Tačiau pastarųjų molekulėje išorinis elektrinis laukas indukuoja elektrinį dipolinį momentą.

Dielektrike išskirkime tūrį ∆V, kuriame molekulių skaičius N >> 1 ir visų jų elektrinių dipolinių momentų geometrinė suma ∑

*i . Dielektriko tūrio vieneto dipolinis momentas p p о*

P о

=

∑

p о

*i ∆*

*V*

vadinamas jo elektriniu poliarizuotumu. Dielektriką vadiname poliarizuotu, kai dydis P о

≠ 0 .

(1)

p о

*i*

Išorinis elektrinis , proporcingą lauko laukas stipriui

P о

=

visas ε E о

0

nepolinio dielektriko molekules deformuoja ir jose indukuoja . χ Todėl E о . jo poliarizuotumas išreiškiamas (2)

lygybe

Šitokia poliarizacija vadinama deformacine. Nedimensinis dydis χ vadinamas medžiagos dielektrine juta (jautriu) ir šiems dielektrikams priklauso tik nuo jo prigimties. Priklausomybė

parodyta 1 paveiksle 1 kreive.

*P*

2 1 P =

*f ( E )*

molekulių Neveikiamų vektoriai

išorinio p о

*i*

elektrinio lauko polinio dielektriko

dėl E

įvairiausiai, todėl dydis

∑

p о

i , Dielektriko svarbiausi parametrai yra dielektrinė juta (jautris) χ ir santykinė dielektrinė skvarba . Didžiajai daugumai dielektrikų šie nedimensiniai dydžiai nepriklauso nuo

poliarizuojančio lauko stiprio, yra keleto vienetų, rečiau dešimčių, eilės. Be to, silpninant juos poliarizuojantį elektrinį lauką poliarizuotumas P mažėja tiksliai pagal stiprėjimo dėsnį, t.y. P yra vienareikšmė E funkcija. Tačiau yra ir kitokių kristalinių polinių dielektrikų, kurie temperatūroje, šiluminio o kartu lygūs 0. Išorinis elektrinis laukas vektorius

judėjimo ir poliarizuotumas nukreipti

P о

, p о

*i*

iš dalies orientuoja vektoriaus E о

1 pav.

kryptyje. Nekintant temperatūrai, bet stiprėjant elektriniam laukui dipolių orientacija tobulėja, o dydžių ∑

*i*

о

skaitinės vertės didėja. Todėl silpnuose laukuose ir poliniam dielektrikui tinka (2) lygtis. Tačiau neaukštoje temperatūroje labai stiprus elektrinis laukas vektorius

*i*

p о

ir P

Tuomet ∑

p о

*i*

ir P о

p о

nukreipia lygiagrečiai E о

.

įgauna didžiausias, nuo lauko stiprio beveik nepriklausančias, vertes –

gaunama poliarizuotumo sotis. Polinėse molekulėse taip pat indukuojamas papildomas dipolinis momentas, bet daugeliui dielektrikų jis nekreipiama dėmesio. Tuomet priklausomybė

labai mažas P = f ( E )

lyginant pavaizduojama su prigimtiniu ir į jį dažnai

1 paveikslo 2 kreive.

ε = 1

+ χ

2

žemesnėje už jiems būdingą Kiuri tašką T

*K*

, elgiasi kitaip. Jų santykinė dielektrinė skvarba labai priklauso P = f ( E )

nuo priklausomybė poliarizuojančio yra nevienareikšmė, lauko stiprio ir gali nes priklauso siekti keletą tūkstančių vienetų. Visų jų nuo dielektriko priešistorės. Jie išlaiko

poliarizuotumą ir išjungus elektrinį lauką. Tokius dielektrikus pavadino segnetoelektrikais. Už Kiuri tašką žemesnėje temperatūroje segnetoelektrikas savaime pasidalinęs į domenus (sritis). Kiekviename iš jų visų molekulių elektriniai dipoliniai momentai, veikiant molekulinėms jėgoms, orientuojasi lygiagrečiai.

Taigi kiekvienas domenas net neveikiant išoriniam E

*P*

D

A

B C

*P*

0

*E*

*k*

*E*

2 pav.

Darbo aprašymas. Laboratoriniame darbe naudojamo stendo principinė schema parodyta 4 paveiksle. Šaltinis 1 matavimo bloką 2 maitina sinusine 50 Hz dažnio įtampa, kurios efektinę vertę U potenciometru R galima tolydžiai keisti nuo 0 iki 28 V. Histerezės kilpą stebime, kai kompiuterinio oscilografo įėjime x įtampa U

*x*

O

о

3 pav. yra iki soties poliarizuotas, bet didesniame kristalo tūryje jie išsidėsto taip (2 pav.), kad jų sąveikos energija būtų pati mažiausia. Tai atitinka būseną, kurioje segnetoelektriko domenus iš dalies orientuoja. Be to, E

о

poliarizuotumas P = 0 . Išorinis elektrinis laukas kryptimi spontaniškai poliarizuoti domenai didėja tų, kurie poliarizavosi kitaip, sąskaita. Dėl to segnetoelektrikas poliarizuojamas (P > 0). Pradžioje poliarizuotumas didėja segnetoelektrikui būdinga kreive OA (3 pav.). poliarizuotumas įsotinamas (atkarpa BC lygiagreti OE ašiai) – Pakankamai visi domenai stipriame poliarizuoti lauke E о

kryptimi. Jei ženkli segnetoelektriko molekulių deformacinė poliarizacija, tuomet poliarizuotumas didėja pagal punktyrinę liniją. Lauką silpninant dėl tarpdomeninės „trinties” poliarizuotumas mažėja kreive BD, ir kai E = 0 , poliarizuotumas P = P 0

≠ 0

. Dydį P

0

*vadina liktiniu*

poliarizuotumu. Segnetoelektrikas visiškai depoliarizuojamas ( P = 0 ) tik sudarius E

*k*

stiprio, priešingai nukreiptą buvusiam, elektrinį lauką. Dydis E

*k*

vadinamas segnetoelektriko koerciniu (sulaikymo) lauko stipriu. Toliau stiprinant elektrinį lauką segnetoelektrikas vėl poliarizuojamas lauko kryptimi. atitinkanti P =

f Visą ( E )

elektrinio lauko keitimo ciklą, kreivė (3 pav.) vadinama segnetoelektriko pavyzdžiui, naudojant kintamąją įtampą, histerezės kilpa. Kai temperatūra

aukštesnė už Kiuri tašką T

*K*

, domenai suyra, ir segnetoelektrikas virsta paprastu poliniu dielektriku.

būna tiesiog proporcinga segnetoelektriką poliarizuojančio elektrinio lauko stipriui E

*x*

, o įėjime y įtampa U

*y*

– tiesiog proporcinga poliarizuotumui P. Įtampa U

*x*

susidaro įtampos daliklio rezistoriuje R

2

, todėl, kaip išplaukia iš Omo dėsnio,

3

*U*

*x*

*= R 2 I = R*

2 R

1

+

*R 2 U*

. (3)

1

2

R

1

C

2

C

3

C

4

*U*

*y*

J

1

2 3 4

R Kompiuterinis

*U*

R

2

Ce

*U*

*x*

X - Y oscilografas

4 pav.

Šaltinio 1 įtampa U per didelės talpos etaloninį kondensatorių C

e

ir jungiklį J taip pat prijungiama prie tyrimui pasirenkamo kondensatoriaus (vieno iš C

1

-C

4

). C

1

ir C

2

elektrodai atskirti segnetoelektriniais dielektrikais, C

3

, C

4

ir C

e

– paprastu dielektriku. Pastarojo talpa C

*e*

daug didesnė negu bet kurio iš tiriamųjų, todėl jo reaktyvioji varža santykinai maža, ir praktiškai visa šaltinio įtampa U prijungiama prie tiriamojo kondensatoriaus. Tuomet jo dielektriką poliarizuojančio lauko stipris

*E ≈ U d*

; (4)

čia d – tiriamojo kondensatoriaus dielektriko sluoksnio storis. Taigi iš (3) ir (4) išplaukia, kad įtampa U

*x*

tiesiog proporcinga poliarizuojančio lauko stipriui

*E*

= R

1

*+ R 2 R*

2

*d U*

*x*

. (5)

Taigi kompiuterinio oscilografo horizontaliojo įėjimo x įtampa U

*x*

yra tiesiog proporcinga elektrinio lauko stipriui E tiriamajame dielektrike.

Prie oscilografo vertikaliojo įėjimo y prijungta kondensatoriaus C

e

įtampa

*U y*

= q c C e . Šis kondensatorius nuosekliai sujungtas su tiriamuoju, todėl juose sukauptų krūvių q

*c*

ir q moduliai yra vienodi ir galima rašyti

*U y*

*= C q*

*e*

. (6)

Tiriamojo kondensatoriaus laisvasis krūvis q = σ S ; čia σ − jo laisvojo krūvio paviršinis tankis,

S – elektrodo plotas. Šiame darbe tirsime plokščiąjį kondensatorių su segnetoelektriku. Galima parodyti, kad šio kondensatoriaus laisvojo krūvio tankis σ su dielektriko surištojo krūvio paviršiniu tankiu σ′ susieti lygybe

σ = σ′ ε

ε 1− . (7) Segnetoelektrikui ε >> 1, todėl tokiam kondensatoriui σ ≈ σ′. Savo ruožtu plokščiajam kondensatoriui σ′

= P , čia P – dielektriko poliarizuotumas. Atsižvelgę į tai gauname

4

q = σ S ≈ σ′ S = P S . (8)

(8) įrašę į (6) gauname

*U*

*y*

*= C S*

*e*

*P*

. (9)

Taigi vertikaliąja Oy kryptimi kreipiančioji įtampa U

*y*

tiesiog proporcinga segnetoelektriko poliarizuotumui P. Dėl stebėsime kreivę P =

f ( E to )

. įtampai U kintant harmoningai kompiuterinio oscilografo ekrane Proporcingumo koeficientai lygtyse (5) ir (9) automatiškai įvertinami

parenkant ekrane vaizdo mastelį.

1. Atitinkamais jungikliais įjungiame matavimo stendo, kompiuterio ir kompiuterinio oscilografo įėjimo bloko maitinimą. Potenciometro R rankenėlę (4 pav.) sukame į dešinę iki galo. Kompiuteriui pasikrovus atsidariusiame lange aktyviname piktogramą „Histerezė”. Ekrane atsidaro langas „Histerezės kilpa ir jos ploto skaičiavimas”. Jame suformuotas mastelinis tinklelis, kurio abscisių ašyje bus atidedamas elektrinio lauko stipris E, ordinačių ašyje – poliarizuotumas P. Lango apačioje yra trys mygtukai: „Įsiminti max”, „Printeris” ir „Pabaiga”, virš jų – užrašas „Plotas ... J/m3”. Jungikliu J (4 pav.) įjungiame dėstytojo nurodytą kondensatorių (1-ąjį arba 2-ąjį). Tirsime jo segnetoelektriko histerezės kilpą. Jos dydį galima keisti potenciometru keičiant įtampą U. 2. Pasirinkę tiriamą kondensatorių potenciometru R nedideliu žingsniu (rekomenduojama kas 10 % maksimalios vertės) keičiame kintamo elektrinio lauko kitimo ribas. Po kiekvieno pakeitimo pele aktyviname mygtuką „Įsiminti max”. Taip kompiuterio atmintyje užfiksuojame histerezės kilpos viršutinės viršūnės koordinates, o šio taško padėtis ekrane pažymima raudonu tašku. Po to, atskaitę koordinatiniame tinklelyje, užsirašome viršutinės kilpos viršūnės tašką atitinkantį elektrinio lauko stiprį ir histerezės kilpos plotą, indikuojamą lauke „Plotas ... J/m3”. Pakartojame šią operaciją 10÷12 potenciometro R padėčių. Kompiuterinis oscilografas sujungia visus užfiksuotus histerezės kilpos viršūnių taškus linija (ekrane ji rodoma raudona). Tai – segnetoelektriko poliarizavimo kreivė. Histerezės kilpos plotas pasirinktame mastelyje yra proporcingas 1 m3 segnetoelektriko perpoliarizavimo uždaru ciklu elektros energijos nuostoliams. 3. Potenciometru R pasiekę maksimalų histerezės kilpos dydį ir stebėdami ją kartu su poliarizavimo kreive atspausdiname šį vaizdą. Tam paprašome dėstytoją įjungti spausdintuvą ir pelės kairiuoju mygtuku aktyviname piktogramą „Printeris”. 4. Palyginimui stebime paprasto dielektriko poliarizavimo kreivę. Tam jungiklį J perjungiame į padėtį 3 arba 4. Aprašome šios priklausomybės esminius skirtumas lyginant su segnetoelektriko histerezės kreive. 5. Išjungiame programą. Tam pele aktyvuojame apatiniame kairiajame ekrano kampe esantį mygtuką „Pabaiga”. Po to aktyvuojame mygtuką „Start” ir, pasirodžius komandai „Shut down”, aktyvuojame mygtuką „OK”. Ekrane pasirodžius užsklandai „It’s safe to turn of your computer” (dabar galite saugiai išjungti kompiuterį) išjungiame kompiuterio ir kitų stendo prietaisų maitinimą.

5

6. 7. Nubraižome histerezės kilpos ploto priklausomybę Braižydami liestines įelektrinimo kreivei

P = f ( nuo E )

poliarizuojančio trijuose lauko stiprio.

taškuose, kuriuos parenkame

pradinėje, vidurinėje ir baigiamojoje kreivės dalyje, atitinkamai apskaičiuojame tirto segnetoelektriko dielektrines skvarbas, atitinkančias šių taškų elektrinio lauko stiprius..

**Kontroliniai klausimai**

1. Ką vadiname poliniais ir nepoliniais dielektrikais ? 2. Ką vadiname dielektriko poliarizuotumu ? 3. Kaip nuo lauko stiprio priklauso polinio ir nepolinio dielektriko poliarizuotumas ? 4. Kokie svarbiausi segnetoelektriko skirtingumai nuo paprasto dielektriko ? 5. Paaiškinkite segnetoelektrinių savybių prigimtį.

AMPERO JĖGOS MATAVIMAS

Darbo užduotis. Išmatuoti jėgos, kuria vienalytis magnetinis laikas veikia laidą su srove,

priklausomybę nuo srovės stiprio bei nuo kampo tarp magnetinės indukcijos B о

ir srovės tekėjimo

krypties.

Teorinio pasirengimo klausimai. Lorenco jėga. Ampero jėga. Magnetinė indukcija.

Teorinė dalis. Kiekvieno judančio krūvininko sukurtas elektrinis laukas kinta bėgant laikui, dėl

to atsiranda ir magnetinis laukas. Todėl greičiu v

о

išorinis

magnetinis laukas veikia magnetine jėga (Lorenco jėga)

*BqF*

*L*

о

judantį krūvininką indukcijos B

о

= v о

× о

; (1)

čia q – dalelės krūvis. Ši jėga statmena per vektorius v

о

nubrėţtai plokštumai. Jos kryptį

nusakome arba vektorinės sandaugos taisykle, arba kairiosios rankos taisykle (1 pav.).

*v*

о

ir B

*B*

*B*

*B*

*F*

*L*

*v*

*F*

*F*

*L*

α

*I*

1 pav. 2 pav.

Jeigu kairiąją ranką ištiesime taip, kad magnetinio lauko vektorius

būtų nukreiptas į

delną, o ištiesti keturi pirštai rodytų srovės laide kryptį, tai atlenktas stačiu kampu nykštys rodys

Ampero jėgos kryptį.

Indukcijos B vienalyčiame lauke esančiu ilgio l tiesiu laidu tekant I stiprio srovei, kiekvieną

kryptingai judantį elektroną veiks Lorenco jėga. Jų atstojamoji F persiduoda laidui. Šią jėgą

vadiname Ampero jėga. Jėgos kryptis nusakoma kairiosios rankos taisykle (2 pav.). Jos modulis

BIF = i sin α ; (2)

čia α – kampas tarp srovės tekėjimo ir magnetinės indukcijos B о

krypčių. Ampero jėga yra

didţiausia, kai laidas statmenas ( α = π 2 ) indukcijos linijoms. Tuomet

B =

*F I*

i∙

. (3)

2

Iš (3) nusakome magnetinės indukcijos prasmę ir jos vienetą teslą. Magnetinė indukcija skaitine

*verte lygi jėgai, su kuria vienalytis magnetinis laukas veikia 1 m ilgio tiesaus laido atkarpą, kuri*

*statmena magnetinės indukcijos linijoms, kai ja teka 1 A stiprio elektros srovė.*

Iš (3)

1 S I B

=

1

mA

1

∙ N

1 =

1

T

,

t.y. magnetinė indukcija lygi 1 teslai, jei minėtoji jėga lygi 1 N.

Darbo aprašymas. Darbo aparatūros schema pavaizduota 3 paveiksle. Artimą vienalyčiam

magnetinį lauką kuria ant staliuko 1 esantis pasaginis magnetas 2. Prie nuolatinės srovės šaltinio 3

prijungtas stačiakampis laidus rėmelis 4. Jis pritvirtintas prie jėgos jutiklio 5. Jo lenkiamame

elemente įtaisytos tenzorezistyvinės matavimo juostelės, kurių elektrinė varţa priklauso nuo

įtempties dydţio. Varţos pokyčius matuoja ir perskaičiuotus jėgos vienetais parodo niutonmetras 6.

Niutonmetras parodo jėgos projekciją vertikaliai ţemyn nukreiptoje ašyje, dėl to aukštyn nukreiptos

jėgos projekcija yra neigiama.

6

3 pav.

Dėmesio! Niutonmetras jautrus mechaniniams poveikiams, todėl matuodami venkite vibracijas

sukeliančių poveikių (smūgių ir pan.) bei didesnių kaip 2 N statinių jėgų. Rėmeliu tekant elektros

srovei matuosime jėgą, kuri veikia šio rėmelio apatinę horizontaliąją atkarpą. Vertikaliąsias

atkarpas veikiančios jėgos viena kitą atsveria. Magnetinio lauko kryptį horizontalioje plokštumoje,

tuo pačiu ir kampą α, keisime sukdami staliuką 1.

3

5

4

2

1

3

**I. Ampero jėgos priklausomybės nuo elektros srovės stiprio tyrimas**

1.1. Įjungiame uţpakaliniame skyde esantį niutonmetro tinklo jungiklį ir laukiame 15 min, kol

nusistovės prietaiso darbo reţimas. Per tą laiką matavimo ribos perjungiklį nustatome padėtyje

200, jungiklį FAST SLOW (lėti-greiti matavimai) – padėtyje SLOW. Įjungę srovės šaltinį 3,

rankenėlę U

**max**

nustatome vidurinėje padėtyje, rankenėlę I

**max**

– kraštinėje kairėje padėtyje.

Abiejose srovės šaltinio skalėse turi šviesti skaičiai 0.0.

1.2. Laidininko horizontaliąją atkarpą patalpiname magneto staliuko centre, pusės magneto pločio

aukštyje. Staliuką pasukame taip, kad šis laidas būtų statmenas magnetinės indukcijos linijoms.

1.3. Paruošiame darbui niutonmetrą. Tam į padėtį SET (nustatymas) nuspaustą klavišą laikome tol,

kol prietaiso parodymo absoliutinė vertė pasidarys maţesnė uţ 0,3 mN. Šiuo veiksmu iš

prietaiso parodymų išeliminuojamas laidininko su laikikliu sunkis.

1.4. Srovės šaltinio rankenėle I

**max**

2 A ţingsniu didiname laidininku tekančios elektros srovės stiprį

iki 16 A. Kiekvienai srovės stiprio vertei lentelėje uţrašome niutonmetro parodymus. Šie

parodymai gaunami teigiami, kai Ampero jėga veikianti horizontalų laidininką, nukreipta

ţemyn, neigiami – kai ji nukreipta aukštyn. Tai atlikus ir srovės stiprį sumaţinus iki 0,

niutonmetro parodymų absoliutinė vertė neturėtų viršyti 0,4 mN. Jei ji didesnė, matuojant buvo

ţenklūs trikdţiai, ir bandymą gali tekti nuo 3 punkto pakartoti.

Apskaičiuojame magnetinės indukcijos vertes B

*i*

ir aritmetinį vidurkį 〈 B 〉.

Matavimo Nr.

Laidininko horizontalios atkarpos ilgis l = 4,0∙10-2 m

*I*

*i*

, A F

*i*

, mN B

*i*

, T 〈 B 〉 , T

Braiţome grafiką

*F i*

= f ( I i )

.

1.5. Taikydami kairiosios rankos taisyklę, nustatome, kokia spalva nudaţytas šiaurinis ir kokia –

pietinis magneto poliai.

1.6. Jeigu baigėme darbą, išjungiame aparatūrą ir sutvarkome darbo vietą.

**II. Ampero jėgos priklausomybė nuo kampo tarp srovės tekėjimo krypties ir magnetinės indukcijos vektoriaus**

2.1. Pasukame laidininką išilgai magnetinio lauko linijų. Parenkame juo tekančios srovės stiprį

(8÷14) A ribose ir daugiau jo nekeičiame. 30° ţingsniu pasukame magnetą laido atţvilgiu.

4

Kartojame jėgos matavimus iki pasiekiame 360° kampą. Baigę matavimus, laidu tekančios

srovės stiprį sumaţiname iki 0 A. Jei tuomet niutonmetro parodymai ţenkliai viršija ±0,4 mN,

bandymą reikia pakartoti, prieš tai įvykdţius 1.3 punkto reikalavimus. Matavimo rezultatus

surašome į lentelę.

I = ....................... A, l = ........................ m

α, laipsniais F, N F′ = F

*max*

sin α

2.5. Atsiţvelgę į srovės kryptį laidininke ir jėgos F projekcijos vertikalioje ašyje ţenklą, nustatome,

kokia spalva nudaţytas šiaurinis ir kokia – pietinis magneto poliai.

3.5. Didţiausią išmatuotą jėgos vertę F

*max*

daugindami iš atitinkamos sinα vertės, teoriškai

apskaičiuojame F′ priklausomybę nuo kampo α. Toje pačioje koordinačių sistemoje brėţiame F(α)

ir F′(α) grafikus. Darome išvadas.

4.5. Išjungiame aparatūrą ir sutvarkome darbo vietą.

**Kontroliniai klausimai**

1. Paaiškinkite Lorenco ir Ampero jėgų prigimtį ir nuo ko jos priklauso.

2. Kaip nusakoma Lorenco bei Ampero jėgos kryptis?

3. Kodėl darbe nagrinėjame tik horizontaliąją laido atkarpą veikiančią Ampero jėgą?

4. Kodėl neatsiţvelgiame į Ţemės magnetinio lauko įtaką matavimo rezultatams?

**BIO IR SAVARO DĖSNIO TAIKYMAS MATUOJANT ŽEMĖS MAGNETINIO LAUKO HORIZONTALIĄJĄ KOMPONENTĘ**

Darbo užduotis. Ištirti apskritiminės srovės kuriamą magnetinį lauką ir išmatuoti Žemės magnetinio lauko horizontaliąją komponentę.

Teorinio pasirengimo klausimai. Magnetinės indukcijos samprata. Bio ir Savaro dėsnis. Žemės magnetinio lauko hipotezė.

Teorinė dalis. Svarbiausia magnetinio lauko charakteristika yra magnetinė indukcija B о

*. Jos modulis B skaitine verte lygus jėgai, kuria vienalytis statmeną vieno metro ilgio laido atkarpą, kai ja teka 1 A magnetinis stiprio elektros laukas srovė. veikia Vektorius indukcijos B*

о

linijoms nukreiptas taip, kaip jėga, kuria magnetinis laukas veikia magneto šiaurinį polių.

z

A

y

*d B*

*j x r*

α I di

*j*

1 pav.

to r о

kuriamas Laidininku magnetinis tekant elektros laukas. Bio srovei, ir Savaras kiekvieno nustatė, judančio kad srovės krūvininko elementas elektrinis о i

laukas kinta laike ir dėl nutolusiame taške A kuria magnetinį lauką, I d (1 pav.) nuo jo dydžiu

о

= μ

π μ kurio о

i

×

о

3

indukcija

; (1)

čia μ

0

d

*B*

0

*I*

d 4

*r*

r о о j

= 4π∙10-7 H/m – magnetinė konstanta. Srovės elemento I d i

vektorius nukreiptas srovės tankio kryptimi. Dydis μ nusako aplinkos magnetines savybes ir vadinamas magnetine skvarba. Srovės elemento kuriamo magnetinio lauko indukcijos modulis

d

*B*

= μ

4 0

π

μ I

d

i r

2

sin

α

tiesiog proporcingas laidu tekančios srovės stipriui, laido elemento ilgiui, kampo

α = ∠ о

, о (2)

sinusui ir atvirkščiai proporcingas atstumo nuo laido elemento iki nagrinėjamo taško kvadratui. Be to, jis priklauso nuo aplinkos, kurioje kuriamas magnetinis laukas, savybių.

Pagal laukų superpozicijos principą baigtinio ilgio i laido su srove kuriamo magnetinio lauko indukcija

=

∫ . (3) i

( j

r )

B о

d B о Remiantis magnetinio (1) lauko ir (3) indukcija įrodoma, B

о

kad yra elektros srovei statmena vijos tekant R spindulio plokštumai ir lygi

apskritu laidu, vijos centre kuriamo

*B*

= μ

0 2

*μ I R*

. (4)

2

H о

Kartais magnetinį lauką . Šie dydžiai susieti taip:

patogiau apibūdinti ne magnetine indukcija B о

H о

=

μ

B о

0

*μ . , o magnetinio lauko stipriu*

(5)

Taigi apskritos vijos centre srovės I kuriamo magnetinio lauko stipris

*H*

= 2

*I*

*R*

. (6)

Kaip matome iš formulės (6), magnetinio lauko stipris apibūdina tik srovės kuriamą magnetinį lauką ir neatsižvelgia į erdvę užpildančio magnetiko įtaką kuriamam magnetiniam laukui.

Žemės magnetinio lauko kilmę aiškina įvairios hipotezės. Viena jų teigia, kad elektrai laidžiame ir skystame Žemės branduolyje vykstantis intensyvus ir sudėtingas medžiagos judėjimas kuria magnetinį lauką. Jam įtaką daro ir Žemės jonosferoje vykstantys procesai. Pabrėžtina, kad Žemės magnetiniai poliai nesutampa su jos geografiniais poliais, kad Žemės magnetinį lauką kuriantys procesai yra nestacionarūs. Dėl jų nepastovumo Žemės magnetinių polių padėtis, lauko stiprio modulis ir kryptis nėra visiškai pastovūs. Žemės magnetinio lauko paviršiaus liestinę) ir vertikalųjį

stiprį

H о

*v*

, H о kuris ž

išskaidykime į horizontalųjį H о

*h*

(nukreiptą pagal Žemės

nukreiptas į Žemės centrą. Darbe naudosime magnetinę rodyklę, komponentė kuri H

sukasi о

*h*

, kurią tiktai tik apie ir galėsime vertikalią nustatyti.

ašį. Ją horizontalioje plokštumoje veiks ir suks tik horizontalioji

Darbo aprašymas. 4 paveiksle pavaizduota aparatūra. Naudosime prietaisą, kurį sudaro dvi Helmholco nuosekliai sujungtos ritės (1), kurių kiekvienos spindulys R=0,2 m. ir bendras vijų skaičius N=200. Ričių centre ant vertikalios ašies užmauta magnetinė rodyklė (2). Toks prietaisas vadinamas tangentiniu galvanometru (TG). Jis įjungiamas į nuolatinės srovės šaltinio 3 maitinamo grandinę (2 pav.).

3

*H*

*h*

H 1 ~

TG 4

β

2

*H*

*c*

2 pav.

3 pav.

Grandine tekančios srovės stiprį reguliuojame varžynu 4, (4 pav.)ir srovės stiprio parodymus atskaitome skaitmeniniame indikatoriuje (multimetre). Grandine netekant orientuojasi Žemės magnetinio lauko horizontaliosios komponentės

elektros о

*h*

srovei magnetinė rodyklė kryptimi. Išilgai šios krypties orientavę ritės plokštumą (sutapdinę su Žemės magnetinio meridiano plokštuma), rite paleidžiame I stiprio elektros srovę. Ji ritės centre kuria stiprio

*R*

*H*

*H*

c I magnetinį lauką. Vektorius H

о

*c*

= N

∙ 2 statmenas (7)

ritės plokštumai ir vektoriui

H о

*h*

. Dabar magnetinė rodyklė orientuosis šių vektorių atstojamosios

о

= о h

+ о c (8) kryptimi (3 pav.), t.y. atsilenks kampu β. Didinant srovės stiprumą, pagal lygtį (7), didės srovės magnetinio lauko stipris

*H H H H о*

*c*

, o tuo pačiu ir magnetinės rodyklės atsilenkimo kampas. Kaip matome 3 paveiksle, šio kampo tangentas

3 tg β = H

*c H*

*h*

. (9)

Iš (7) ir (9) Žemės magnetinio lauko horizontalioji komponentė

*H*

*h*

=

∙ 2

*R*

tg β N

I . (10)

Taigi išmatavę I ir β, apskaičiuojame H

*h*

.

3

3. Įjungiame srovės šaltinį (srovės šaltinio jungiklis yra užpakalinėje prietaiso sienelėje) ir multimetrą. 4 pav.

Pasirenkame 200 mA matavimo ribą. 4. Įjungiame komutatorių ir laukiame kol nusistovės magnetinės rodyklės pusiausvyra. (Patartina pradėti matavimą esant 300 kampui.) Srovės stiprio ir kampo β′ vertes surašome į lentelę. Nekeisdami srovės stiprio, jos kryptį komutatorium pakeičiame į priešingą ir magnetiniai rodyklei atsilenkus į kitą pusę, išmatuojame kampą β′′.

Nr. I, A

β′ β′′ < β > tg < β > H

*c*

, A/m H

*h*

, A/m <H

*h >*

, A/m

5. Tokius matavimus atliekame dar 4 kartus, vis didindami srovės stiprį tiek, kad magnetinės rodyklės

atsilenkimo 〉β〈 = ( β′ + β′′ )

kampas 2 , didėtų tg 〉β〈 , 10°. Kiekvienam atsilenkimo H

*c*

, H

*h*

. Apskaičiuojame Žemės kampui magnetinio apskaičiuojame vidurkį lauko horizontaliosios 6. komponentės vidurkį 〈

H h 〉 Brėžiame grafiką tg 〉β〈 = f .

*( H c*

)

ir darome išvadą dėl Bio ir Savaro dėsnio galiojimo.

Kontroliniai klausimai 1. 2. Nusakykite Paaiškinkite magnetinės magnetinio indukcijos lauko stiprio modulio H

о

sąryšį prasmę su magnetine ir paaiškinkite indukcija vektoriaus B

о

.

B о

kryptį.

3. Paaiškinkite Žemės magnetinio lauko kilmės hipotezę. 4. Kodėl darbe išmatuojame tik Žemės magnetinio lauko horizontaliąją komponentę ? 5. 6. Paaiškinkite Bio ir Savaro dėsnį elementariai Paaiškinkite, kaip darbe nukreipti laukų

H srovei о

*h*

ir

ir H

baigtinio о

*c*

ilgio laidui su srove. vektoriai ir kuria kryptimi orientuojasi magnetinė rodyklė.

Literatūra 1. Tamašauskas A., Vosylius J. Fizika. – Vilnius: Mokslas, 1989. - T.2. P.73-76. 2. Ambrasas V., Jasiulionis B. Fizika. Elektromagnetizmas. – Kaunas: Technologija, 2007.–P.99-101. 3. Javorskis B., Detlafas A. Fizikos kursas. – Vilnius: Mintis, 1970. - T.2. - P.202-216.

Darbo eiga. 1. Grandine netekant srovei, TG ričių 1

plokštumos sutapdinamos su magnetinio meridiano kryptimi tada magnetinės rodyklės polių

4

2

galai sutaps su 0° padala (pasukant ričių stovą). 2. Srovės stiprio (4 pav.) reguliavimo rankenėlę nustatome ties trečia padala, o U-ties pirma padala. Varžyno šliaužiklį (4 pav.) nustumiame į kraštinę padėtį (pasirenkame didžiausią varžą).

ELEKTROMAGNETINĖS INDUKCIJOS REIŠKINIO TYRIMAS

Darbo užduotis. Ištirti judančiame laidininke indukuoto potencialų skirtumo priklausomybę

nuo laidininko slinkimo greičio ir laidininko ilgio.

Teorinio pasirengimo klausimai. Magnetinis srautas. Faradėjaus dėsnis. Lorenco jėga.

Teorinė dalis. Indukcijos B о

magnetiniame lauke, įsivaizduojamame paviršiuje, išskiriame

elementarųjį plotelį dS. Plotelio erdvinę orientaciją nusako jam išbrėžtas normalės ortas n о

.

Sandaugą nd

о

S patogu užrašyti d S о

. Skaliarinę sandaugą

d Φ = B о

⋅ d S о (1)

vadiname elementariuoju magnetiniu srautu. Magnetinis srautas pro baigtinio ploto S paviršių yra

lygus paviršiniam integralui

Φ

= ∫ ⋅ S

B о

d S о . (2)

Kai magnetinis laukas yra vienalytis (visuose paviršiaus taškuose B о

= const.), o paviršius –

plokščias, tuomet iš (2) išplaukia, kad

Φ = B S cos α ; (2a)

čia

α = ∠ ( n о

, B о

)

. Magnetinės indukcijos SI vienetas yra tesla (T).

M. Faradėjus atrado elektromagnetinės indukcijos reiškinį: kai kinta laidžiojo kontūro ribojamą

plotą veriantis magnetinis srautas, jame suindukuojama elektrovaros jėga. Pastarosios didumas E

*i*

nepriklauso nuo magnetinio srauto kitimo priežasties, o priklauso tik nuo jo kitimo greičio, t.y.

E i = − dΦ

d

t . (3)

Tai Faradėjaus elektromagnetinės indukcijos dėsnis.

Darbe tirsime šio reiškinio atvejį. Indukcijos B о

vienalyčiame magnetiniame lauke, statmenai

indukcijos linijoms, greičiu v о

slenka tiesus ilgio l laidas (1 pav.). Magnetinės indukcijos linijos

sminga statmenai brėžinio plokštumai. Kiekvieną greičiu v о

laido velkamą laidumo elektroną veiks

ta pačia kryptimi nukreipta Lorenco jėga

F о

*L*

= e v о

× B о

. (4)

Jos modulis

*F*

*L*

= e v B . (5)

2

Lorenco jėga laide perskirstys laisvuosius

elektronus – viename jo gale sudarys elektronų

perteklių (–), kitame – stygių (+). Dėl to tarp laido

galų susidarys potencialų skirtumas, o laide –

elektrostatinis laukas. E

*F*

*L n о*

stiprio elektrostatinis laukas

kiekvieną elektroną veiks jėga

*F*

*e*

β

F о

*e*

= Ee о , (6) kuri nukreipta priešingai Lorenco jėgai. Kai šių jėgų

moduliai pasidarys lygūs –

1 pav.

e v B = e E , arba v B = E , (7)

tuomet tarp laido galų nusistovės pastovus potencialų skirtumas

φ

1

φ− 2 = U = E ⋅ i v= B i . (8)

Kai juda tiesus, kampu β pasviręs laidas (1 pav.), tuomet (8) lygtyje imamas paveiksle punktyrais

pažymėtas jo efektyvusis ilgis i = i 1

cos

β .

Darbo aprašymas. Matavimo aparatūros schema pavaizduota 2 paveiksle. Ant pavažėlių 1,

galinčių slysti kreipiančiosiomis 2, kietai įtaisyti trys laidūs rėmeliai. Du jų yra stačiakampiai (3

pav., a), su skirtingo ilgio kraštine l, vienas – trapecinis (3 pav. b), kurio kraštinės pasvirimo

kampas β = 45°. Todėl jo kraštinės efektyvusis ilgis i = i 1

cos 45

°.

3 7

8

9

11

2 pav.

Specialiu kištukiniu perjungikliu 3 (2 pav.) ir lanksčiu kabeliu 4 rėmelis prijungiamas prie

matavimo bloko 5. Pavažėlių su rėmeliais šuoliškam slinkimo greičio pakeitimui ant elektros

variklio ašies įtaisyti trys skirtingo skersmens skriemuliai 6. Jų skersmenų santykis su mažiausiojo

skersmeniu yra 1; 2,5 ir 7,16. Todėl esant vienodam variklio ašies sukimosi dažniui, pakeitus

6 2 1 10

5

4

*l v*

*v*

12

β

l

1

3

skriemulį, ant kurio vyniojasi rėmelį velkantis siūlas, rėmelio greitis pakinta tiek kartų, kiek kartų

pakito skersmuo. Ši pavara valdoma pultu 7. Rankenėle 8 keičiame skriemulio sukimosi kryptį.

Rankenėle 9 tolydžiai keičiame skriemulio sukimosi dažnį.

Magnetinę sistemą 10, kurios plyšiu slenka rėmeliai,

sudaro magnetolaidis su taisyklingai išdėstytais cilindriškais

nuolatiniais magnetais. Taip sudaromas pakankamai

vienalytis vertikalios krypties B

a)

V

*v*

о

magnetinis laukas.

b)

*v*

1

l

Indukuotą potencialų skirtumą matuosime

mikrovoltmetru 5. Įtampos stiprinimo perjungiklis 11 (Gain) nustatomas padėtyje 104, jungiklis 12 – padėtyje

V

„V”. Tuomet prietaiso parodymai voltais yra x,yz·10-4 V.

3 pav.

**I. potencialų skirtumo priklausomybės nuo laido greičio nustatymas**

1. Išmatuojame ir užrašome visų rėmelių galinės kraštinės ilgį. Vieną rėmelį jungikliu 3 ir kabeliu

4 prijungiame prie matavimo bloko 5 (jo baltąjį laidą – prie raudonojo gnybto, o rudąjį – prie

mėlynojo). Rėmelius įstumiame į magnetinį lauką. Įsitikinę, kad jungikliai 11 ir 12 nustatyti

teisingose padėtyse (atitinkamai ties 10

β

l

4

ir „V”), įjungiame užpakaliniame skyde esantį elektros

tinklo jungiklį.

2. Atstūmę rėmelį į magnetinę sistemą iki galo, jį tempiantį siūlą vija prie vijos 3 kartus už-

vyniojame ant mažiausio skersmens skriemulio taip, kad siūlas būtų jo viršuje. Patikrinę bloko 7

rankenėlių 8 ir 9 pradines padėtis (8 – kairėje, 9 – prisukta prieš laikrodžio rodyklės judėjimo

kryptį), bloką įjungiame į tinklą. Trumpai spustelėję matavimo bloko 5 mygtuką Autocomp

(Nulio poslinkio kompensacija), prietaisą paruošiame darbui.

3. Lėtai sukame bloko 7 rankenėlę 9, t.y. tolydžiai didiname skriemulio sukimosi dažnį, iki

indukuosis apie (0,2÷0,3)10

-4

V potencialų skirtumas. Pavažėlei dar nepasiekus kreipiančiosios

galo, visais atvejais jos slinkimą būtina sustabdyti 8 rankenėlę pasukant vertikaliai, kitaip

pavažėlė nutrauks siūlą! Užrašome potencialų skirtumą

φ∆ 1

. Nuo šio momento rankenėlės 9

padėties negalima keisti tol, kol baigsite darbą.

4. Rankenėlę 8 perjungiame į dešinę padėtį. Siūlui nusivyniojus, nuspaudžiame pavažėlės 1

svirtelę, ranka rėmelį įstumiame į magnetinį lauką ir po to rankenėle 8 variklį išjungiame. 2

4

punkte aprašytu būdu siūlą perkėlę ant kito skriemulio, rankenėlę 8 perjungę į kairiąją padėtį,

išmatuojame φ∆

2

.

5. Aprašytu būdu išmatuojame φ∆

3

, gautą siūlui vyniojantis ant trečio skriemulio. Išmatuotas ir

apskaičiuotas dydžių vertes surašome 1-oje lentelėje ir brėžiame grafiką

φ∆ = f ( 1

)

.

Antroje grafoje įrašome laido efektyvųjį ilgį.

1 lentelė

Rėmelio Nr.

*vv*

*i*

l, cm Skriemulio

*N*

*0i*

*D*

*i*

, cm

*D*

*i D*

1

=

*v*

i 1 φ∆ , V

∆

φ i

∆ φ 1

**II. Indukuotojo potencialų skirtumo priklausomybės nuo laidininko efektyvaus ilgio tyrimas**

1. Esant pasirinktam rėmelio slinkimo greičiui, nustatysime kituose dviejuose rėmeliuose

indukuotą potencialų skirtumą. Tam kiekvieną jų paeiliui kabeliu prijungsime prie matavimo

bloko. Skriemulį nurodo dėstytojas. Matavimus atliekame anksčiau aprašytu būdu. Išmatuotas ir

apskaičiuotas dydžių vertes surašome 2-oje lentelėje ir brėžiame grafiką . 1-ojo

rėmelio vertes perrašome iš 1-osios lentelės.

*i v*

φ∆

= f ( i )

2 lentelė

Skriemulio N

0

Rėmelio

*N*

*0i*

*l i*

, cm

∆ φ i

, V

Iš grafikų darome išvadas.

**Kontroliniai klausimai**

1. Paaiškinkite magnetinį srautą.

2. Paaiškinkite Faradėjaus dėsnį.

3. Paaiškinkite Lorenco jėgos kilmę, jos didumą ir kryptį.

4. Kodėl magnetiniame lauke judančio laido galuose susidaro potencialų skirtumas?

5. Paaiškinkite, kaip gaunama (8) lygybė.

ELEKTRONO SAVITOJO KRŪVIO NUSTATYMAS MAGNETRONU

Darbo užduotis. Naudojant magnetroną išmatuoti elektrono savitąjį krūvį e m .

Teorinio pasirengimo klausimai. Dalelių savitojo krūvio samprata. Lorenco jėga. Savitojo

krūvio magnetronu matavimo idėjos samprata.

Teorinė dalis. Elektringos dalelės krūvio q santykį su jos mase m, t.y. dydį q/m, vadiname

dalelės savituoju krūviu. Šis dydis svarbus konstruojant elektringų dalelių greitintuvus bei masės

spektrografus. Elektronas turi neigiamą elementarųjį krūvį, kurio modulis e ≈ 61

, ∙ 10 -

19 C . Jo

savitasis krūvis yra e m .

Šiame darbe elektrono savitojo krūvio nustatymui

panaudota dviejų elektrodų elektroninė lempa, vadinama

*magnetiniu diodu arba magnetronu. Supaprastinta jos*

elektrodų schema parodyta 1 paveiksle. Magnetrono

anodas yra spindulio R

*a*

*E*

1 pav.

ly B

1

2

*B*

*R*

*a*

laidus cilindras 1. Jo simetrijos

*B*

ašyje yra elektronų šaltinis – katodas 2. Magnetrono

elektrodai įrengti stikliniame korpuse, kuriame yra

vakuumas. Magnetronas talpinamas į ilgą solenoidą. giagretų magnetrono simetrijos ašiai vienalytį

о

Juo tekanti I

*S*

stiprio elektros srovė kuria

indukcijos magnetinį lauką. Solenoido viduje jos

modulis

B =

μ 0

*μ In S*

; (1)

čia n – solenoido vijų tankis (vijų skaičius ilgio vienete), μ

0

= 4π∙10-7 H/m – mag netin

ė konstanta, μ

– solenoidą užpildančios medžiagos santykinė magnetinė skvarba (mūsų atveju μ 1≈ ). Tarp katodo

ir anodo sudarytas elektrinis laukas E о

yra statmenas magnetiniam laukui. Be to, nagrinėjamoje

elektrodų sistemoje elektrinis laukas nevienalytis – jo stipris didžiausias prie katodo paviršiaus.

Nagrinėdami elektro nų j

udėjimą magnetrone, išlekiančių iš katodo elektronų pradinį greitį

laikysime labai mažu ( v ≈ 0 ). Juos anodo link greitina anodinės įtampos U

*a*

laukas. Jų greičio

modulį v

*m*

prie anodo paviršiaus galime apskaičiuoti, sulyginę anod inės įtampos kuriamo lauko

atliktą elektrono greitinimo darbą

*e ∙ U a*

su jo įgyta kinetine energija

*e*

∙ U a

= m

*v*

*m 2*

2

; (2)

2

č ia m

– elektrono masė.

Judanti elektringa dalelė kuria laike kintantį elek t

rinį lauką, o šis, savo ruožtu,kuria magnetinį

lauką. Tod

ėl greičiu v о

judantį elektroną indukcijos B о

solenoido magnetinis laukas veikia Lorenco

jėga:

F о

*L*

= e v о

× B о

. (3)

Ši jėga statmena greičio vektoriui

∙

v о

(ji yra normalinė jėga), todėl keičia tik jud imo kryptį, bet

*nekeičia greičio*

ėj

modulio. Magnetrone elektrono greitis v

о

, todėl Lorenco

jėgos mod

ulis F

*L*

*e B о*

yra statmenas vektoriui B

= v . (3a)

Tokį elektroną veikiančios normalinės jėgos mechaninė išraiška

*F*

*n*

= m

*R v*

2

; (4)

čia R – elektrono j udėjimo trajektorijos kreivumo spindulys taške, kur

iame jo greitis v . Iš (3a) ir (4)

lygčių tapatumo ( F L

=

F n ) gauname, kad elektrono specifinis krūvis

*e m*

*= RB v*

. (5)

J am apskaičiuoti reikia pasirinktajam trajektorijos taškui žinoti dydžius B, v ir R.

Darbo aprašymas. Darbo įrenginio supaprastinta schema pavaizduota 2 paveiksle. Jį sudaro

solenoide 1 esantis magnetronas 2, katodo kaitinimo srovės šaltinis 3, anodinės įtampos šaltinis 4 su

jame įmontuotu voltmetru V, anodinės srovės stiprį I

*a*

matu

ojantis mikroampermetras 5, solenoido

s

rovės šaltinis 6 ir jos stiprį I

*S*

A

matuojantis ampermetras 7.

4 ~

+

*I*

*a*

5 μA

S A

2

K

6 7

1

~

S

2 pav.

Kai solenoidu srovė I

*S*

3 V

*I*

S ~

neteka (B = 0), katodo emituojami elektronai, anodinės įtampos U

a greitinami, juda tiesiai anodo link (3a pav.) ir magnetrono anodinė grandine teka stiprio I

*a*

anodinė

srovė. Solenoide sukūrus magnetinį lauką, kiekvieną elektroną papildomai veikia magnetinė

3

Lorenco jėga, o elektrono trajektorija yra kreivė (3b pav.). Didinant solenoidu tekančios srovės

stiprį I

*S*

, didėja (1) lygtimi aprašoma jos kuriamo magnetinio lauko indukcija B. Taip pat atitinkamai

d idėja Lorenco jėga ir trajektorijos kreivis 1/R. R k

a b c d

3 pav.

Kai I

*S*

padidėja iki I

*Sk*

, gaunama tokia magnetinės indukcijos vertė B

*k*

, kad maksimaliu greičiu v

k judančių elektronų trajektorija vos liečia anodą (3c pav.). Šiai krizinei vertei B

*k*

liet e

trajektorijos kreivumo spindulys R

*k*

imosi tašk

artimas cilindrinio anodo spindulio R

*a*

pusei, t.y.

*R k*

≈ R

*a*

2

.

Šiam atvejui pritaikę (1), (2) ir (5) lygtis, gauname tokią elektrono specifinio krūvio išraišką:

*e*

= 2

2 U 2 2 . (6) 0 Sk

a rtė, kuriai esant staigiausiai silpnėja

nodinė srovė I

*a*

8

*a m*

μ

n I R Toliau didinant solenoidu tekančios srovės stiprį (

*I S*

> I Sk ), magnetinio lauko indukcija B tampa

didesnė už krizinę vertę B

*k*

, ir trajektorijos kreivis dar padidėja. Tuomet elektronai jau nepasiekia

anodo (3d pav.), ir magnetrono anodinės srovės stipris I

*a*

staigiai mažėja. Jei iš tikrųjų visų katodo

spinduliuojamų elektronų pradinis greitis būtų lygus 0, tuomet esant pastoviai anodinei įtampai U

*a*

,

anodinės srovės I

*a*

priklausomybę nuo solenoido srovės

stiprio I

*S*

(nes B ~ I

*S*

) vaizduotų paveikslo 4 punktyrinė

*I*

*a*

kreivė. Tikrovėje iš kaitinimo katodo išlėkę elektronai

turi nedidelius, bet įvairius pradinius greičius, be to,

solenoidas nėra be galo ilgas, ir jo kuriamas magnetinis

laukas nėra idealiai vienalytis. Šito pasekmė yra ta, kad

anodinės srovės vertė ties I

*Sk*

*I*

*Sk*

4 pav.

a

1. Gerai susipažįstame su 2 paveiksle pavaizduota darbo aparatūra.

*P*

verte mažėja ne staigiai, o

*I*

*S*

tolydžiai pagal ištisinę 4 paveikslo kreivę. Šiuo atveju

kriziniu solenoido srovės stipriu I

*Sk*

laikoma ta srovės ve

. Tai atitinka kreivės I

*a*

= f (I

*S*

) persilenkimo tašką P.

4

2. Įjungiame magnetrono katodo kaitinimo srovę, anodinę įtampą ir nustatome pirmąją dėstytojo

nurodytos anodinės įtampos U

*a1*

vertę. Įjungiame solenoido srovės šaltinį. Pasirinktu žingsniu

keisdami srovės stiprį I

*S*

gnetrono anodinės srovės I

*a*

stiprį. Taip išmatuojame

8-10 taškų. Pasiekę anodinės srovės ženklesnį mažėjimą, matavimo žingsnį irgi sumažiname.

atavimų duom lę.

*U*

*a1*

, matuojame ma

M enis surašome į lente

Eil. Nr.

*I*

*S*

= ...............V U

*a2*

= ...............V

, A I

*a*

, μA I

*S*

, A I

*a*

, μA

3. Brėžiame grafiką I

*a*

= f (I

*S*

). Iš grafiko surandame krizinę srovės stiprio vertę I

*S1*

ir

apskaičiuojame elektrono savitąjį krūvį.

4

. Matavimus ir skaičiavimus pakartoję kitai dėstytojo nurodytai anodinės įtampos vertei U

a2 , randame vidutinę e m vertę.

**Kontroliniai klausimai**

1. Nuo ko priklauso anodą pasiekiančių elektronų greičio modulis? Pabandykite jį apskaičiuoti. 2. Paaiškinkite elektronų judėjimą vienalyčiame magnetiniame lauke ir (5) lygties gavimą. 3. Kaip sudarytas darbe naudojamas magnetronas? Kada ir kokiomis trajektorijomis jame judėtų

elektronai? 4. Kodėl eksperimentinėje kreivėje I

*a*

= f (I S ) anodinė srovė, didinant I S

, mažėja ne šuoliu o tolygiai? 5.

Kuria darbo aprašymo lygtimi paaiškinama tai, kad, didinant anodinę įtampą, didėja ir krizinė magnetinio lauko indukcijos vertė?

Elektros srovės, kurią sudaro elektrono judėjimas orbita, magnetinis momentas p

*m*

vadinamas orbitiniu elektrono magnetiniu momentu. Elektrono orbitinio magnetinio momento skaitinė reikšmė lygi:

p о

*m*

= IS n о ; (1) Antra vertus, kiekvienas elektronas, tolygiai besisukdamas e

orbita, turi mechaninį impulso L

о

*e*

momentą = r × m e v ; (2) Abiejų momentų ryšys:

2

;

о о о

= - о

= - о . (3)

čia

*m*

*p*

*m*

*e m*

*e*

*L*

*e Lg e g*

= 2

e Elektronui – giromagnetinis santykis.

būdingas ir savasis magnetinis momentas о

*ms*

,

kurį lemia jo sukinys:

*ms*

B p p = s ( s + )1 μ∙ ,

čia μ

B = eħ

2

*m*

*e*

.

savųjų

Todėl p

о

*ms*

atomo ar molekulės magnetinis magnetinių momentų sumai:

momentas lygus jų elektronų orbitinių momentų

p о

*mo*

ir

p о

*m*

=

*∑ n*

*p о mo ,*

*i + ∑ n*

*p о ms*

, i . (4) i

i Medžiagos įsimagnetinimui apibūdinti įvedamas fizikinis dydis, vadinamas įmagnetėjimu

J о

= lim

→

0

⎛ │ ⎝

V 1

*∑ n*

*i V*

p о

*mi*

.

(5)

Vadinasi, tolygiai įmagnetinto kūno įmagnetėjimas skaitine verte yra lygus medžiagos tūrio vieneto magnetiniam momentui.

Įmagnetėjimą galime išreikšti ir taip:

*J*

*m*

H ⎞ │ ⎠

о

= χ ∙ о . (6) Dydis

χ m

vadinamas medžiagos magnetiniu jautriu. Medžiagos, kurioms diamagnetizmas yra vienintelis įmagnetinimo mechanizmas, vadinamas diamagnetikais. Diamagnetikai yra inertinės dujos, kai kurie skysčiai ir daugelis kietųjų medžiagų (cinkas, varis, auksas, bismutas, stiklas). Diamagnetikų magnetinis jautris yra neigiamas dydis, jo

χ ~ 10 - 5 ir todėl magnetinė skvarba

μ = 1 + χ ≈ .1 (7) Be to, diamagnetikų χ nepriklauso nuo medžiagos temperatūros.

**1 FEROMAGNETIKŲ TYRIMAS**

Darbo užduotis. Ištirti feromagnetikų histerezės kilpą, nustatyti liktinį įmagnetėjimą ir koercityviąją jėgą.

Teorinio pasirengimo klausimai. Magnetinė indukcija, magnetinis srautas ir magnetinio lauko stipris. Atomų magnetiniai momentai, įmagnetėjimas ir magnetinis jautris. Magnetinis laukas medžiagoje.

Teorinė dalis. Išnagrinėkime izoliuotą atomą, kurio neveikia išorinis magnetinis laukas. Klasikinės fizikos požiūriu, elektronai atomuose juda tam tikromis uždaromis orbitomis. Toks kiekvieno elektrono judėjimas yra ekvivalentiškas uždaram srovės kontūrui – savotiškam srovės „siūleliui“.

2 Kita magnetikų grupė yra nelygų nuliui magnetinį momentą

medžiagos, p

о

*m*

. sudarytos iš atomų ir molekulių, kurių kiekviena turi Jį sudaro elektrono orbitinis ir sukininis magnetiniai momentai. Kai nėra išorinio magnetinio lauko, dalelių magnetiniai momentai išsidėstę chaotiškai ir medžiaga nėra įmagnetinta. Išoriniame magnetiniame lauke elementarių magnetėlių magnetiniai momentai orientuojasi išilgai lauko linijų. Įmagnetinimą, kurį sukelia dalelių magnetinių momentų orientavimas magnetiniame lauke, vadiname paramagnetizmu, o tokiomis magnetinėmis savybėmis pasižyminčias medžiagas – paramagnetikais.

Paramagnetikų magnetinis jautris yra teigiamas dydis ir priklauso nuo temperatūros:

χ ~ 1 T

.

Diamagnetikų ir paramagnetikų magnetinė skvarba nepriklauso nuo magnetinio lauko, kuriame jos yra, stiprio.

Trečią magnetikų grupę sudaro feromagnetikai. Tai yra magnetiškai tvarkingos medžiagos. Šiai grupei priklauso geležis, nikelis, kobaltas ir daugelis šių metalų lydinių. Feromagnetinėmis savybėmis gali pasižymėti lydiniai tokių elementų, kurie patys nėra feromagnetikai, taip pat nemetalinės medžiagos, pavyzdžiui, feritai.

Feromagnetikų magnetizmą sąlygoja magnetinių momentų orientavimas lauke. Todėl jų magnetinis jautris yra teigiamas dydis, tačiau jo skaitinė vertė yra didelė – , o tai reiškia, kad tiek kartų bus didesnė jų magnetinė indukcija magnetiniame lauke. Feromagnetikai priskiriami stiprių magnetikų klasei ir jų

χ ~ 10 6 μ = 1 + χ ≈ χ . (8)

*J*

Svarbus feromagnetikų ypatumas tas, kad jų į

magnetėjimo kreivė (J priklausomybė nuo stiprio H) n

ėra tiesė (2 pav.); esant tam tikrai magnetinio lauko s

tiprio vertei, J pasiekia sotį. N

etiesinė J ir H priklausomybė reiškia, kad f

eromagnetikų χ m B p P t T išmagnetinant medžiagą, t. y. pradedant mažinti m v

*savaisiais magnetiniais momentais. Daugiaelek*

yra nepastovus ir priklauso nuo agnetinio lauko (magnetinė skvarba priklauso nuo H). e to, feromagnetikų įmagnetėjimas dar priklauso nuo rieš tai buvusio medžiagos įmagnetinimo būvio. avyzdžiui, jeigu bandinys buvo visiškai išmagnetintas, ada jo įmagnetinimą vaizduos 3 pav. 0–1.

ačiau, agnetinio lauko stiprį, įmagnetėjimas neįgyja tų pačių erčių (1–2 kreivė). Feromagnetikas lieka šiek tiek įmagnetintas. Dydis J

*r*

H 2 pav.

vadinamas liktiniu įmagnetėjimu. Kad feromagnetikas visiškai išsimagnetintų, jį reikia paveikti priešingos krypties stiprio H

*c*

magnetiniu lauku. Šio lauko vertė rodo koercityviąją (sulaikančią) jėgą. Dar didinant šio priešingos krypties magnetinio lauko stiprį,

I

atsiranda priešingo ženklo įmagnetėjimas, kol p

agaliau pasiekiama sotis (3–4 kreivė). Toliau

1

k

eičiant magnetinį lauką, išmagnetinimas ir į

magnetinimas vėl atsiliks ir vyks pagal apatinę 4–

2

I

r

5

–1 kreivę. Taigi feromagnetiką veikiant p

akankamo stiprio periodiškai kintamu magnetiniu l

auku, jo įmagnetėjimas kis pagal kreivę 1–2–3–4– 3

0 5

H

c

H

5

*–1. Ši kreivė vadinama magnetinės histerezės k*

ilpa. Šios kreivės plotas yra tiesiog proporcingas e

nergijai, reikalingai feromagnetiko

4

p

ermagnetinimo ciklui atlikti.

R

3 pav.

n t

emiantis kvantine mechanika, buvo sukurta uosekli kiekybinė domeninė feromagnetizmo eorija. Feromagnetizmas susijęs su elektronų troninių atomų elektronai pasiskirstę tam tikrais sluoksniais. Feromagnetikai yra tik tokios medžiagos, kurių atomų priešpaskutiniai elektronų sluoksniai yra ne visai užpildyti elektronų ir dėl to elektronų savieji magnetiniai momentai

3 nesikompensuoja. Tokiuose kristaluose tam tikros jėgos elektronų savuosius magnetinius momentus orientuoja lygiagrečiai. Taip medžiagoje susidaro savaiminio įmagnetėjimo sritys – domenai. Tos jėgos vadinamos pakaitinėmis jėgomis. Kiekvienas domenas spontaniškai įsimagnetinęs iki soties. Kai nėra išorinio magnetinio lauko, atskirų domenų magnetiniai momentai būna orientuoti erdvėje chaotiškai, todėl viso kūno atstojamasis magnetinis momentas lygus nuliui – neįsimagnetinęs. orientuojasi taip, kad Išoriniame p

о

*m*

II

.H о

magnetiniame lauke kiekvieno domeno magnetinis momentas

Feromagnetikai, kurių

*J*

*r*

ir H

*c*

vertės didelės, vadinami kietaisiais, kūnas

p о

m jų histerezės kilpa plati ir didelis liekamasis įmagnetėjimas.

Feromagnetikų įmagnetėjimas priklauso nuo temperatūros. Pasiekus temperatūrai T

c

vertę, kurią vadiname Kiuri (Ceurie) tašku, ir ją viršijus, bandinys staigiai praranda feromagnetines savybes ir tampa paramagnetiku. Atvėsintas iki žemesnės negu T

c

temperatūros bandinys vėl tampa feromagnetiku.

Darbo aprašas. Principinė darbo schema parodyta 4 paveiksle. Ją sudaro U formos plieninė šerdis, ant kurios užmauta 600 vijų ritė, maitinimo šaltinis 2, 10 Ω reostatas 3, tarp plieninės šerdies polių patalpintas Holo jutiklis 4, perjungiklis 5, ir Tesla matavimo modulis 6.

2

4 1

6 3

5

4 pav.

**Darbo eiga:**

Įjungiame maitinimo šaltinį, keitiklį „analogas – kodas“ ir kompiuterį. Įjungiame programą „Measure 4“. Nustatome programos parametrus taip kaip, parodyta 5 paveiksle.

5 pav.

4

Matuojame didindami įtampą nuo nulinės vertės iki 15 V 0,5V žingsniu. Padarę kiekvieną žingsnį, su pele paspaudžiame „Save value“ (6 pav.). Po to vėl tokiu pat būdu mažiname įtampą iki nulinės vertės, kurią pasiekę jungikliu keičiame srovės tekėjimo krytį į priešingą. Po to vėl siekiame maksimalios vertės ir vėl grįžtame į nulį. Pabaigę matavimus, spaudžiame „Close“.

6 pav.

Ant „dantytos“ kreivės du kartus spragtelime kairiu pelės klavišu. Gautame lange nustatome visus parametrus, kaip parodyta 7 paveiksle. Tokiu būdu gauname magnetinio lauko indukcijos priklausomybę nuo per apvijas tekančios srovės stiprio, pavaizduot

ą taškais.

7 pav.

Norėdami gauti magnetinio lauko indukcijos priklausomybę nuo magnetinio lauko stiprio darome taip: įeiname į programos meniu „Analysis“, po to „Channel modification“. Gautame meniu reikia viską nustatyti kaip, parodyta 8 paveiksle.

8 pav.

9 pav.

Kontroliniai klausimai. 1. Kaip veikia išorinis magnetinis laukas atomo elektrono orbitinį magnetinį momentą? 2. Kokios medžiagos vadinamos diamagnetikais ir paramagnetikais? Kas darosi diamagnetike

ir paramagnetike, kai jis patenka į magnetinį lauką? 3. Ką vadiname magnetinio poliarizuotumo vektoriumi (įmagnetėjimo vektoriumi), kaip jis

priklauso nuo magnetinio lauko stiprio? 4. Ką apibūdina medžiagos magnetinis jautris? 5. Kokiomis magnetinėmis savybėmis pasižymi feromagnetikai? 6. Paaiškinkite histerezės kilpą.

Literatūra 1. Tamašauskas A., Vosylius J. Fizika. - Vilnius: Mokslas, 1989. - T.2. - P. 110. 2. Ambrasas V., jasiulionis B. Fizika. Elektromagnetizmas. - Kaunas: Technologija, 2008. - P. 149.

5 Jei yra prijungtas spausdintuvas, abi kreives galima atspausdinti. Nesant spausdintuvo, reikiamus skaičius galima išsirašyti į duomenų surinkimo žurnalą rankiniu būdu. Norint gauti duomenis lentelės pavidalu, įeiname į programos meniu „Measurement“, po to spaudžiame „Data table“. Gauname duomenis lentelės forma, kurių pavyzdys yra 9 paveiksle.

LAIDININKO SU SROVE KURIAMO MAGNETINIO LAUKO TYRIMAS (apskritam laidininkui)

Darbo užduotis. Ištirti apskrita vija tekančios elektros srovės jos centre kuriamo magnetinio

lauko indukcijos priklausomybę nuo srovės stiprio ir vijos simetrijos ašyje kuriamo magnetinio

lauko indukcijos priklausomybę nuo atstumo iki vijos centro.

Teorinio pasirengimo klausimai. Magnetinės indukcijos apibrėžimas. Bio ir Savaro dėsnis.

Apskritos srovės kuriamo magnetinio lauko indukcija jos centre ir simetrijos ašyje.

Teorinė dalis. Svarbiausia magnetinio lauko charakteristika yra magnetinė indukcija. Ji

*skaitine verte lygi jėgai, su kuria vienalytis magnetinis laukas veikia 1 m ilgio tiesų laidą, statmeną*

*magnetinės indukcijos linijoms, kai juo teka 1 A stiprio srovė. Magnetinės indukcijos SI vienetas*

yra tesla (T).

Laidu ar vakuume kryptingai judančios elektringos dalelės kuriamas elektrinis laukas kinta

laike, ir dėl to elektros srovė kuria magnetinį lauką. Bio ir Savaras nustatė dėsnį, pagal kurį apskaičiuojama srovės elemento I d r l

taške A (1 pav.), esančiame atstumu r r

nuo srovės elemento,

sukurta magnetinio lauko indukcija

d B r

=

μ

π

μ I

d

r l

×

r r 3

; (1)

čia μ

0

0 4 r

= 4π⋅10-7 V⋅s/(A⋅m) – magnetinė konstanta, μ – aplinkos santykinė magnetinė skvarba

(vakuumui μ ≈ 1). Šis dėsnis teisingas tik kai dl << r, t.y. srovės elementą galima laikyti taškiniu.

Vektorius d B r

statmenas per vektorius I d r l

ir r r

išvestai plokštumai (1 pav. ji užbrūkšniuota).

Apskritos srovės kuriamo magnetinio lauko indukcija B r

, pagal superpozicijos principą, yra lygi

visų srovės elementų kuriamų laukų integralinei sumai, t.y. B r

= ∫ d B r . Vijos centre visi šie

elementarūs vektoriai yra vienos krypties, todėl jų geometrinę sumą galima pakeisti jų modulių

integraline suma

*B*

= μ

μ π

∫

*I*

*r*

d

l

sin

=

μ

4

π

μ 2

π

*I R*

; (2)

šiuo atveju r

0 4

2

90

o

0

r

modulis r lygus vijos spinduliui R = const. Kai magnetinis laukas kuriamas ore, dydis

μ ≈ 1.

Parodoma, kad tolstant nuo apskritos vijos centro (išilgai jos simetrijos ašies) srovės kuriamo

magnetinio lauko indukcijos vektorius B r

nukreiptas išilgai ašies Ox, o jo modulis mažėja dėsniu

2

*B*

= μ 4

0 π

μ 2

π

*I ( R*

*R*

2

2

+

*x 2 )*

3

2

; (3)

čia x yra nuotolis nuo vijos centro iki matavimo taško (2 pav.). Taškui, kuriam x

A

= 0, (3) virsta (2).

*I dl*

*I*

x

*R*

*I*

O

A

*r*

*dB*

*x*

1 pav. 2 pav.

Darbo aprašymas. Darbo aparatūros principinė schema pavaizduota 3 paveiksle. Ją sudaro

masyvaus stovo laikomas horizontalus optinis suolas 1 su paslankiais laikikliais. Pirmajame

laikiklyje tvirtinamas žinomo spindulio R apskritas laidininkas 2, kuris prijungiamas prie srovės

šaltinio 3. Prie laikiklio 4 pritaisytas magnetinio lauko indukciją matuojantis B-zondas 5, kuris

sujungtas su teslametru 6. Zonde panaudotas Holo jutiklis.

*B*

A

A α

A

2

3 pav. Magnetinį lauką kuriančios srovės stiprį galima keisti sukant srovės šaltinio rankenėlę I

*max*

.

Srovės stiprio rodmenys atskaitomi skaitmeniniame indikatoriuje. Srovės šaltinis įjungiamas

viršutiniame kairiajame jo priekinio skydelio kampe esančiu jungikliu. Tirsime palyginti silpną

5

1

3

4

6

7

3

magnetinį lauką, tad teslametro matavimo ribą keičiantis jungiklis nustatomas padėtyje 20 mT,

perjungiklis 7 padėtyje „–“. Teslametro tinklo jungiklis yra užpakalinėje šio prietaiso sienelėje.

*Dėmesio! Teslametro daviklis lengvai pažeidžiamas, tad elkitės su juo atsargiai! Jis matuoja ne*

magnetinio lauko indukciją, o jos projekciją į išilginę daviklio laikiklio ašį, todėl matuojant B-

zondą reikia atitinkamai orientuoti lauke (jo išilginė ašis turi būti lygiagreti magnetinio lauko linijos

liestinei matavimo taške).

**I. Magnetinio lauko indukcijos B apskritos vijos centre priklausomybės nuo srovės stiprio I tyrimas**

1. Gerai susipažįstame su aparatūra. Srovės šaltinio rankenėlę I

*max*

nustatome į kraštinę kairiąją, o

*U*

*max*

– į vidurinę padėtį. Militeslametro matavimo ribą keičiantis jungiklis nustatomas 20 mT.

Įjungiame prietaisų maitinimą. Srovės stiprio indikatorius turi rodyti 00,0 A.

2. Liniuote išmatuojame stende panaudotos apskritos vijos skersmenį ir apskaičiuojame jos

spindulį R.

3. B-zondo 5 išilginę ašį (3 pav.) orientuojame lygiagrečiai optinio suolo ašiai ir statmenai vijos

plokštumai. B-zondo padėtį fiksuojame laikikliu 4.

4. Atpalaidavę laikiklio su apskrita vija tvirtinimą, kuo tiksliau sutapdiname B-zondo galą su vijos

centru. Zondo padėtį tikriname liniuote.

5. Kompensuojame išorinių magnetinių laukų poveikį teslametrui. Tam nuspaudžiame jo klavišą

Compensation į padėtį Set ir palaikome 1-3 sekundes. Atleidus klavišą, prietaisas turi rodyti

(0,00 ± 0,03) mT. Jei parodymai didesni, šią operaciją kartojame.

6. Rankenėle I

*max*

, laidininku 2 tekančios elektros srovės stiprį nustatome lygų 10 A. Atsargiai,

horizontaliai kiek paslinkdami viją su srove išilgai optinio suolo, randame tokią jos padėtį,

kurioje teslametro parodymai yra maksimalūs. Tai atitinka B-zondo padėtį, kai magnetinio

lauko indukciją matuojantis kristalas yra vijos centre.

7. Vija tekančios srovės stiprį sumažiname iki 0 ir pakartojame penktame darbo eigos punkte

aprašytus veiksmus.

8. Rankenėle I

*max*

dviejų amperų žingsniu keisdami vija tekančios srovės stiprį nuo 0 iki 16 A,

kiekvienai srovės vertei išmatuojame magnetinio lauko indukciją B. Prietaisų rodmenis

surašome į 1 lentelę. Baigę matuoti, srovės stiprį sumažiname iki nulio.

1 lentelė

R = .............. m I, A

B, mT B t

, mT

4

9. Į tą pačią lentelę surašome pagal (2) formulę apskaičiuotas teorines B t

vertes.

10. Vienoje koordinačių sistemoje brėžiame priklausomybes

*B = f ( I )*

ir

*B*

*t*

*= f ( I )*

ir darome

išvadas.

**II. Apskritos srovės kuriamo magnetinio lauko indukcijos priklausomybės nuo atstumo x iki vijos centro tyrimas**

1. Esant B-zondui I darbo dalyje 4 punkte nustatytoje padėtyje, optinio suolo 1 milimetrinėje

skalėje atskaitome sutartinę vijos padėtį ties kairiuoju jos laikiklio kraštu n

0

.

2. Vija netekant srovei (I = 0), pakartojame I.5 darbo eigos punkte aprašytus veiksmus.

3. Rankenėle I

*max*

parenkame darbų vadovo nurodytą srovės stiprį (10÷15 A ribose).

4. Saugodami nuo pažeidimų B-zondą, viją su srove atsargiai toliname 5 mm žingsniu iki 50 mm

nuo B-zondo ir išmatuojame magnetinio lauko indukciją B. Atstumą x = n – n

0

atskaitome

optinio suolo 1 skalėje, čia n – vėlesnė laikiklio padėtis. Matavimų duomenis surašome į 2

lentelę.

2 lentelė

I = ........... A x, m

B, mT B t

, mT

5. Pagal formulę (3) apskaičiuojame teorines magnetinės indukcijos modulio reikšmes B t

ir

surašome jas į 2 lentelę.

6. Vienoje koordinačių sistemoje brėžiame priklausomybes

*B = f ( x )*

,

*B*

*t*

*= f ( x )*

ir darome

išvadas.

**Kontroliniai klausimai**

1. Kodėl elektros srovė kuria magnetinį lauką? 2. Paaiškinkite Bio ir Savaro dėsnį. 3. Pavaizduokite grafiškai apskrita vija tekančios srovės kuriamo magnetinio lauko indukcijos

linijas. 4. Kaip keistųsi magnetinio lauko indukcija vijos centre, jei, nekeisdami srovės stiprio, didintume

vijos spindulį? 5. Kaip pasikeistų formulė (2), jeigu apviją sudarytų ne viena, o N labai arti viena kitos esančių to

paties spindulio vijų?

LAIDININKO SU SROVE KURIAMO MAGNETINIO LAUKO TYRIMAS

(tiesiam laidininkui)

Darbo užduotis. Ištirti tiesiu laidu tekančios elektros srovės kuriamo magnetinio lauko

indukcijos B priklausomybę nuo srovės stiprio I ir nuo atstumo r iki laido ašies.

Teorinio pasirengimo klausimai. Magnetinės indukcijos apibrėžimas. Bio ir Savaro dėsnis.

Tiesiu baigtinio ilgio l bei begalinio ilgio laidais tekančios elektros srovės magnetinio lauko

indukcija ir jos linijos.

Teorinė dalis. Svarbiausia magnetinio lauko charakteristika yra magnetinė indukcija. Ji

*skaitine verte lygi jėgai, su kuria vienalytis magnetinis laukas veikia 1 m ilgio tiesų laidą, statmeną*

*magnetinės indukcijos linijoms, kai juo teka 1 A stiprio srovė. Magnetinės indukcijos SI vienetas*

yra tesla (T).

Laidu ar vakuume judančios elektringos dalelės kuriamas elektrinis laukas kinta laike, ir dėl to

laido aplinkoje srovė kuria magnetinį lauką. Bio ir Savaras nustatė dėsnį, pagal kurį apskaičiuojama srovės elemento I d о i

taške A (1 pav.), esančiame atstumu r о

nuo srovės elemento, sukurto

magnetinio lauko elementari indukcija

d B о

=

μ

π

μ I

d

о i

×

r о 3

; (1)

čia μ

0

0 4 r

= 4π⋅10-7 V⋅s/(A⋅m) – magnetinė konstanta, μ – aplinkos santykinė magnetinė skvarba (orui μ ≈ 1). Srovės elemento I d о i

kryptis sutampa su elektrinio lauko (srovės tekėjimo) kryptimi

laidininke. Šis dėsnis teisingas tik kai dl << r, t.y. kai srovės elementą galima laikyti taškiniu.

Vektorius d B о

statmenas per vektorius I d о i

ir r о

išvestai plokštumai (1 pav. užbrūkšniuota).

*I di*

α

2

A

*dB*

*I*

*r*

2

*r*

*a*

*B*

α

*B*

A

α

1

*r*

1

1 pav. 2 pav.

2

Baigtinio ilgio l tiesiu laidu tekanti I stiprio elektros srovė (2 pav.) kuria magnetinį lauką, kurio

magnetinė indukcija, apskaičiuota taikant (1) lygtį ir laukų superpozicijos principą, yra

B = μ

*μ I a*

( cos

1

cos 2 )

; (2)

čia a – atstumas nuo taško A, kuriame skaičiuojama magnetinė indukcija, iki tiesaus laido simetrijos

ašies, kampai α

1

0 4

π

α − α bei α

2

imami tarp srovės tekėjimo krypties ir spindulių vektorių

r о 1

bei

r о

2

(2 pav.),

išvestų į tašką A atitinkamai nuo laido pradžios ir pabaigos. Šie kampai priklauso tiek nuo laido

ilgio l, tiek nuo taško A atstumo a iki laido.

Begaliniam tiesiam laidui α

1

→ 0, o α

2

→ π ir jam (2) formulė užrašoma taip:

*B*

= μ 4 0

π

μ 2

*I a*

, (3)

t. y. magnetinė indukcija yra tiesiai proporcinga lauką kuriančios srovės stipriui ir tolstant nuo laido

mažėja hiperboliniu dėsniu. Šią formulę artutinai galima taikyti baigtinio ilgio l laido kuriamam

magnetiniam laukui taškuose, esančiuose ties laido viduriu, kurių atstumas a << l.

Tiesiu laidu tekančios srovės kuriamo magnetinio lauko indukcijos linijos yra koncentriški

apskritimai, esantys laidui statmenoje plokštumoje (2 pav.). Magnetinės indukcijos B о

kryptis yra

liestinėje magnetinės indukcijos linijai, einančioje per nagrinėjamą tašką. Ji nukreipta taip, kad

sutampa su dešininio sraigto sukimo kryptimi, kai jis slenka srovės tekėjimo kryptimi.

Darbo aprašymas. Darbo aparatūros principinė schema pavaizduota 3 paveiksle. Ją sudaro ant

specialaus stovo 1 pritvirtintas tiesus laidininkas 2, reguliuojamos elektros srovės šaltinis 3 (su jame

įtaisytu ampermetru ir voltmetru) ir magnetinio lauko indukciją matuojantis teslametras 4, kurio

Holo efektu pagrįstas B-zondas 5 (magnetinės indukcijos daviklis), įtvirtintas priešais laidininką ant

kreipiančiosios 6.

Magnetinį lauką kuriančios srovės stiprį galima keisti sukant srovės šaltinio rankenėlę I

*max*

.

Srovės stiprio rodmenys atskaitomi skaitmeniniame indikatoriuje. Srovės šaltinis įjungiamas

viršutiniame kairiajame jo priekinio skydelio kampe esančiu jungikliu. Tirsime palyginti silpną

nuolatinį magnetinį lauką, tad teslametro matavimo ribą keičiantis jungiklis turi būti padėtyje 20

mT, perjungiklis – 7 padėtyje – . Teslametro tinklo jungiklis yra užpakalinėje šio prietaiso sienelėje.

*Dėmesio! Teslametro daviklis lengvai pažeidžiamas, tad elkitės su juo atsargiai! Jis matuoja ne*

magnetinio lauko indukciją, o jos projekciją į išilginę daviklio laikiklio ašį, todėl matuojant B-

zondas turi būti atitinkamai orientuojamas lauko atžvilgiu.

= 5 mm

3 pav.

**I. Magnetinio lauko indukcijos priklausomybės nuo srovės stiprumo laidininke tyrimas**

1. Gerai susipažįstame su aparatūra. Srovės šaltinio rankenėlę I

*max*

nustatome į kraštinę kairiąją, o

*U*

*max*

– į vidurinę padėtį. Teslametro matavimo ribą keičiantis jungiklis nustatomas 20 mT.

Įjungiame prietaisų maitinimą. Srovės stiprio indikatorius turi rodyti 00,0 A.

2. Atpalaidavę laidininko laikiklio tvirtinimo varžtus, laidininką iš apačios atsargiai priglaudžiame

prie B-zondo. Šioje padėtyje atstumas a tarp laidininko ir B-zondo ašių yra 5 mm.

3. Kompensuojame išorinių magnetinių laukų poveikį teslametrui. Tam nuspaudžiame jo klavišą

Compensation į padėtį Set ir palaikome 1-3 sekundes. Atleidus klavišą prietaisas turi rodyti

(0,00 ± 0,03) mT. Jei parodymai didesni, šią operaciją kartojame.

4. Rankenėle I

*max*

, laidininku 2 tekančios elektros srovės stiprį nustatome lygų 10 A. Atsargiai,

horizontaliai kiek paslinkdami laidininką po zondu, pasiekiame maksimalius teslametro

parodymus. Jie stebimi, kai B-zondo centras yra virš laidininko ašies. Tai atlikę, laidininku

tekančios srovės stiprį vėl sumažiname iki 0 A.

5. Pakartojame 3 punkte aprašytus veiksmus.

6. Rankenėle I

*max*

dviejų amperų žingsniu keičiame laidu tekančios srovės stiprį nuo 0 iki 16 A,

matuodami magnetinio lauko indukciją B, atitinkančią kiekvieną srovės stiprio vertę. Prietaisų

rodmenis surašome į 1 lentelę. Baigę matuoti, srovės stiprį sumažiname iki nulio.

2

5

1

3

7

3

*a*

*a*

5

2

min

6

4

4

1 lentelė

I, A B, mT B t

, mT

7. Į tą pačią lentelę surašome pagal (3) formulę apskaičiuotas teorines B

*t*

vertes. Skaičiuojant

atstumą a

*min*

tarp laido ašies ir magnetinės indukcijos matavimo taško laikyti lygiu 5 mm.

8. Brėžiame priklausomybes

*B = f ( I )*

ir

*B t*

*= f ( I )*

ir darome išvadas.

**II. Magnetinės indukcijos priklausomybės nuo atstumo iki lauką kuriančio tiesaus laidininko**

**su srove tyrimas**

1. Nekeisdami grandinės pakartojame I.3 punktą.

2. Rankenėle I

*max*

nustatome 15 A srovės, tekančios laidu, stiprį.

3. Saugodami nuo pažeidimų B-zondą, atsargiai nuleidžiame jo atžvilgiu laidininką su srove

žemyn 5 mm žingsniu iki 20 mm, matuodami magnetinio lauko indukciją. Atstumą tarp laido

ašies ir B-zondo ašies atskaitome prie laido laikiklio pritvirtintoje liniuotėje. Duomenis

surašome į 2 lentelę. Baigę matuoti srovės stiprį sumažiname iki 0. Išjungiame aparatūros

maitinimą.

2 lentelė

I = 15 A a, m

B, mT B t

, mT

4. Pagal formulę (3) apskaičiuojame teorines magnetinės indukcijos reikšmes B t

. Surašome jas į 2

lentelę.

5. Toje pačioje koordinačių sistemoje brėžiame priklausomybes

*B = f ( a )*

ir

*B t*

*= f ( a )*

ir darome

išvadas.

**Kontroliniai klausimai**

1. Kodėl elektros srovė kuria magnetinį lauką? 2. Paaiškinkite Bio ir Savaro dėsnį. 3. Kodėl atliekant II eksperimento dalį zondas turi būti virš laido, o ne šalia jo? 4. Kodėl eksperimento rezultatus reikia gretinti su skaičiavimais atliktais pagal (3) formule, o ne

su (2) formulę? 5. Kaip išvengėme Žemės magnetinio lauko įtakos mūsų matavimų rezultatams?

**LAIDININKO SU SROVE KURIAMO MAGNETINIO LAUKO TYRIMAS**

(Solenoido magnetinis laukas)

Darbo užduotis. Ištirti solenoide tekančios elektros srovės kuriamo magnetinio lauko indukcijos B priklausomybę nuo srovės stiprio I ir nuo atstumo r išilgai ašies.

Teorinio pasirengimo klausimai. Magnetinės indukcijos apibrėžimas. Bio ir Savaro dėsnis. Įvairios formos laidais tekančios elektros srovės magnetinio lauko indukcija ir jos linijos.

Teorinė dalis. Svarbiausia magnetinio lauko charakteristika yra magnetinė indukcija. Ji skaitine verte lygi jėgai, su kuria vienalytis magnetinis laukas veikia 1 m ilgio tiesų laidą, statmeną magnetinės indukcijos linijoms, kai juo teka 1 A stiprio srovė. Magnetinės indukcijos SI vienetas yra tesla (T).

Laidu ar vakuume judančios elektringosios dalelės kuriamas elektrinis laukas kinta laike, ir dėl to laido srovės aplinkoje elemento srovė I d о i

kuria magnetinį taške A (1 pav.), lauką. esančiame Bio ir atstumu Savaras r о

nustatė nuo srovės dėsnį, elemento, pagal kurį sukurto apskaičiuojama magnetinio lauko elementarioji indukcija

о

о i

×

о

π

3

**d**

*B*

=

μμ

π

*I*

**d**

**i sin ( ld о**

, r о

) 2

(1)

čia μ

0

d B

=

μ

4 0

μ I

d

*r*

r ,

4 0

r 1). Srovės = 4π⋅10-7 elemento V⋅s/(A⋅m) I d о

i

– magnetinė konstanta, μ – aplinkos santykinė magnetinė skvarba (orui μ ≈ kryptis sutampa su elektrinio lauko (srovės tekėjimo) dėsnis teisingas tik kai statmenas per vektorius I dl d о

i

<< ir r о

r, išvestai t.y. kai srovės plokštumai elementą galima laikyti (1 pav. užbrūkšniuota).

taškiniu. kryptimi Vektorius laidininke. d

Šis B о

A

*dB*

Panagrinėkime magnetinio lauko indukciją solenoido ašyje. Solenoidu vadinama cilindrinė ritė, susidedanti iš daugybės vielos vijų, kurios

*r*

sudaro sraigtinę liniją. Jeigu vijos išdėstytos viena

α I di

S N 1 pav.

I

2 pav.

R

I

α

2

α

1 0

L/2

prie kitos arba labai mažais tarpeliais, tai į solenoidą galime žiūrėti kaip į nuosekliai sujungtų vienodo spindulio apskritiminių srovių, turinčių bendrą ašį, sistemą. Solenoidu tekančios srovės magnetinis laukas atvaizduotas 2 paveiksle.

dz

z

0

3 pav.

z -L/2

2

Magnetinio lauko indukciją solenoido ašyje galima gauti, sumuojant atskirų apskritiminių srovių indukcijas. Jei išskirsime mažą solenoido ilgio dalį dz (3 pav.), tai jai teks ndz vijų srovės stiprį kiekvienoje vijoje pažymėję I, solenoido dalį dz galime traktuoti kaip stiprio Indz apskritiminię srovę. Magnetinio lauko indukcija, kurią sukuria toji dalis kuriame nors solenoido ašies taške z

0

išreiškiama taip:

*dB =*

μμ

0

*In 2 ⋅ ( R*

2

+

*( z R − 2*

*z 0*

)

2

) 3

**/**

2 ⋅

*dz*

. (2)

Todėl magnetinės indukcijos B bet kuriame solenoido taške z

0

skaitine verte lygi:

)

(3)

Baigtiniame solenoide didžiausia magnetinės indukcijos vertė bus taške, vienodai nutolusiame nuo solenoido galų (4 pav.).

*B*

=

μμ 0 In (4) Taške, esančiame prie solenoido galo magnetinės indukcijos B vertę gausime pagal (3) formulę, jei joje vienas iš kampų,

pavyzdžiui,

α 2

= π 2

.

Darbo aprašas. 5 paveiksle pavaizduota aparatūra .

Ją sudaro ant stalelio 1 įtvirtinta ritė, reguliuojamas elektros srovės šaltinis 2, magnetinio lauko indukciją matuojantis teslamatis 3, kurio Holo efektu pagristas B- zondas 4 (magnetinės indukcijos daviklis), įtvirtintas priešais ritės centrą ant kreipiančiosios 5.

5

5 pav.

*Dėmesio ! Teslametro daviklis lengvai pažeidžiamas, todėl elkitės su juo atsargiai !*

**Darbo eiga.**

1. Gerai susipažįstame su aparatūra. Srovės šaltinio reguliavimo rankenėlę nustatome į kraštinę

kairiąją, o U

max

–į vidurinę padėtį. Teslametro matavimo ribą keičiantis jungiklis nustatomas 20 mT. Įjungiame prietaisų maitinimą. Srovės stiprio indikatorius turi rodyti 00,0 A. 2. B-zondo išilginę ašį orientuojame lygiagrečiai optinio suolo ašiai ir statmenai ritės plokštumai. 3. Atpalaidavę laikiklio su B-zondu tvirtinimą, kuo tiksliau sutapatiname B-zondo galą su ritės

centru. 4. Įjungiame srovės matavimo prietaisą ir pasirenkame 0,5 A matavimo ribą.

2

3

1

6

4 pav.

4

μμ B

= 2

0

**n ⋅ I ⋅ cos − cos**

Magnetinį lauką kuriančis srovės stiprį galima keisti sukant srovės šaltinio rankenėlę. Srovės stiprio rodmenys atskaitomi skaitmeniniame indikatoriuje (multimetre) 6. Teslametro ir srovės šaltinio jungikliai yra užpakalinėje šio prietaiso sienelėje.

(

α

2

α 1

3 5. Saugodami nuo pažeidimų B-zondą, jį 10 mm. žingsniu kišame į solenoido vidų ir

išmatuojame magnetinio lauko indukciją. Atstumą atskaitome suolo skalėje, čia n- vėlesnė laikiklio padėtis.

x = n − n 6. Tą padėtį pakartojame kitoms sroviems. (Patartina 1A ir 1,5A). 7. Matavimų duomenis surašome į lentelę. 8. Baigę matuoti įtampą, srovės stiprį sumažiname iki 0. Išjungiame aparatūros maitinimą. 9. Vienoje koordinačių sistemoje griežiame priklausomybes

0

*B i*

=

*f ( x i )*

lentelė

n,m x=n-n

0

, m

I

1

=0,5 A I

2

=1,0 A I

3 =1,5 A B, mT B, mT B, mT . . . . . . . .

. . . . . . . .

**Kontroliniai klausimai**

1. Kodėl elektros srovė kuria magnetinį lauką? 2. Paaiškinkite Bio ir Savaro dėsnį. 3. Pavaizduokite grafiškai apskrita vija ir solenoidu tekančios srovės kuriamo magnetinio lauko

indukcijos linijas. 4. Kaip keistųsi magnetinio lauko indukcija solenoido centre, jei, nekeisdami srovės stiprio,

didintume vijų skaičių?

**Literatūra**

1. Tamašauskas A., Vosylius J. Fizika. - Vilnius: Mokslas, 1989. - T.2. - P.76 - 80. 2. Javorskis B., Detlafas A. Fizikos kursas. - Vilnius: Mintis, 1975. - T.2. - P. 202 - 209.

4

1

30. TERMOELEKTRONINĖS EMISIJOS REIŠKINIO TYRIMAS

Darbo užduotis. Nubrėžti vakuuminio diodo voltamperinę charakteristiką ir apskaičiuoti

elektrono išlaisvinimo darbą.

Teorinio pasirengimo klausimai. Elektrono išlaisvinimo darbas. Termoelektroninė emisija.

Vakuuminio diodo voltamperinė charakteristika. Ričardsono ir Dašmano formulė.

Teorinė dalis. Metaluose apstu laisvųjų elektronų, tačiau jie laisvai juda tik metale. Elektronui

išlėkus į vakuumą, toje vietoje metale lieka teigiamojo krūvio perteklius, kuris traukia elektroną.

Išlėkus dideliam elektronų kiekiui, ties metalo paviršiumi susidaro labai plonas dvigubas elektrinis

sluoksnis. Jo storis lygus keliems tarpatominiams nuotoliams. Į jį patekusį elektroną veiks į metalo

vidų nukreipta elektrinė jėga. Elektronas, išsilaisvindamas

iš metalo, turi atlikti išlaisvinimo darbą

A = e φ∆∙ ; (1) čia e – elektrono krūvis, Δφ – potencialų skirtumas

**+ + + + + +**

∆ φ

dvigubame elektriniame sluoksnyje. Šis darbas visų pirma

priklauso nuo medžiagos prigimties ir nuo metalo

paviršiaus būsenos. Vienos paviršinės priemaišos jį

mažina, kitos, atvirkščiai, – didina. Pavyzdžiui, volframo

1 pav.

paviršių padengus žemės šarminių metalų (Ca, Sr, Ba)

oksidais, jis sumažėja nuo 4,454 eV iki 1,2÷2 eV.

Esant termodinaminei pusiausvyrai, metalo valentiniai elektronai yra pasiskirstę pagal energiją

tam tikru dėsniu. Kiekvienoje temperatūroje yra elektronų, kurių energija didesnė už elektrono

išlaisvinimo darbą. Kambario temperatūroje tokių elektronų koncentracija yra nykstamai maža,

tačiau ji pastebimai padidėja aukštesnėse temperatūrose. Elektronų spinduliavimas iš įkaitusių kūnų

vadinamas termoelektronine emisija. Ją patogu tirti naudojant dviejų elektrodų vakuuminę

elektroninę lempą (diodą), kurios vienas elektrodas (katodas), kaitinamas elektros srove I

*k*

,

spinduliuoja elektronus. Nekeičiant I

*k*

, per laiko vienetą iš katodo vidutiniškai išspinduliuojamas

vienodas elektronų skaičius. Tarp katodo ir antrojo elektrodo (anodo) sudarius elektronus

greitinančiąją įtampą U

*a*

, grandine teka anodinė srovė. Jos stipris I

*a*

priklauso nuo per 1 sekundę

anodą pasiekusių elektronų skaičiaus. Ši priklausomybė grafiškai pavaizduota 2 paveiksle. Kai

anodą pasiekia visi per vieną sekundę katodo išspinduliuoti elektronai, gauname anodinės srovės

įsotinimą (I

*as*

= const.). Ričardsonas ir Dašmanas, pritaikę kvantinę statistiką, gavo tokią soties

srovės stiprio išraišką:

2

*I*

*as*

*= C TS 2 exp ( - A Tk )*

; (2)

čia C – nuo katodo medžiagos ir jo paviršiaus būvio priklausanti konstanta, S – elektronus

spinduliuojančio katodo paviršiaus plotas, T – jo absoliutinė temperatūra, A – elektrono išlaisvinimo darbas, k = 1,38·10-23 J/K – Bolcmano konstanta.

Elektrono išlaisvinimo darbo nustatymui

dviem skirtingiems kaitinimo srovės stipriams I

k1 ir I

*k2*

*I*

*a*

, o tuo pačiu ir skirtingoms katodo

temperatūroms T

1

bei T

2

, išbrėžiame

voltamperines charakteristikas

*I a*

*= f ( U a )*

(2

*I as*

*= const*

pav.) ir nustatome soties srovių stiprius I

*as1*

bei

*I*

*as2*

:

*I*

*as*

1

=

*C TS 1 2*

exp

*( - A Tk 1*

)

*, U*

*a*

*I*

*as*

2

=

*C TS 2 2*

exp

*( - A Tk 2*

)

. 2 pav. Vieną lygtį padalinę iš kitos, gauname

*A*

=

*k T*

*T*

2

1 T 2 -

T 1 i n

⌈ │ │ ⌊

⌉

*│ I as I as*

⎛ │ │ ⎝

⎞

2

│ 2 T

1

│ ⎠

│ . ⌋

(3)

Iš katodo varžos temperatūrinės priklausomybės įvertiname jo temperatūrą °C

0

2

1

*T*

*t = R t*

- R α

; (4)

čia

deg

0 R

α = 0, 0046 1

– katodo medžiagos temperatūrinis varžos koeficientas. Darbe naudojamo

diodo 0°C temperatūros katodo varža R 0

= 80

, Ω . Įkaitusio katodo varžą R t

randame iš Omo dėsnio

*R t*

*= U I*

*k*

*k*

,

prieš tai išmatavę kaitinimo įtampą U

*k*

ir kaitinimo srovės stiprį I

*k*

. Katodo absoliutinė temperatūra

T =

( 273 + t )

K . (5)

Vis dėlto reikia pastebėti, kad dideliame temperatūrų intervale dydis α nėra pastovus, todėl

aprašytas temperatūrų, tuo pačiu ir dydžio A, nustatymo būdas nėra tikslus.

Darbo aprašymas. Principinė darbo schema parodyta 3 paveiksle. Vakuuminio diodo 1 katodą

2 kaitina įtampos šaltinis 3. Reikiamą kaitinimo įtampą U

*k*

bei srovės stiprį I

*k*

parenkame šaltinio

reostatu 4. Įtampą matuojame voltmetru V

1

, srovės stiprį – ampermetru A

1

. Anodinė įtampa

3

keičiama anodinio šaltinio 5 reguliatoriumi 6 ir matuojama šaltinio voltmetru V

2

. Anodinės srovės

stipris matuojamas mikroampermetru μA.

1 A

1

2

μA

3

4

V

1

V

2

5

3 pav.

1. Reostatu 4 nustatome dėstytojo nurodytos kaitinimo srovės stiprį I

*k1*

6

.

Dėstytojo nurodytu žingsniu keisdami anodinę įtampą U

*a*

ir išmatuojame įtampą U

k1 , matuojame anodinės srovės stiprį I

*a1*

.

Rezultatus surašome 1 lentelėje. Brėžiame priklausomybę

*a*

( a )

ir nustatome soties

srovės stiprį I

*as1*

*I 1*

= f U .

1 lentelė

*U*

*k1*

= ........ V ; I

*k1*

= ........ A ; R

*t 1*

= ......... Ω ; U

*k 2*

= ........ V ; I

*k 2*

= ........ A ; R

*t 2*

= ......... Ω

*U*

*ai*

, V I

*ai*

, A I

*as1*

, A U

*ai*

, V I

*ai*

, A I

*as 2*

, A

2. Dėstytojo nurodytu dydžiu padidiname kaitinimo srovės stiprį iki I

*k2*

, išmatuojame kaitinimo

įtampą U

*k2*

ir atliekame visus pirmame punkte nurodytus veiksmus.

3. Apskaičiuojame katodo temperatūras T

1

ir elektrono išlaisvinimo darbą A. Skaičiavimo

rezultatus surašome 2 lentelėje.

2 lentelė

*t*

1

bei T

2

, °C T

1

, K t

2

, °C T

2

, K A , J

**Kontroliniai klausimai**

1. Kaip susidaro dvigubas elektrinis sluoksnis ?

2. Nuo ko priklauso elektrono išlaisvinimo darbas ?

3. Nuo ko priklauso anodinės soties srovės stipris ?

4. Kaip šiame darbe nustatoma katodo temperatūra ?

5. Kur daroma didžiausia paklaida, nustatant A ?