TRISDEŠIMT
TARPTAUTINIŲ FIZIKOS
OLIMPIADŲ

Užduočių sąlygos

FIZIKOS OLIMPAS

Vilnius 1999

UDK 51(079)
Tr-155

Parengė Vilniaus universiteto docentas Vytautas Rinkevičius

Kalbos redaktorė Zita Kutraitė

Dėkojame p. Petrui Jonušui, kurio iniciatyva ir rūpesčiu buvo išleistas šis leidinėlis

ISBN 9986-778-14-X

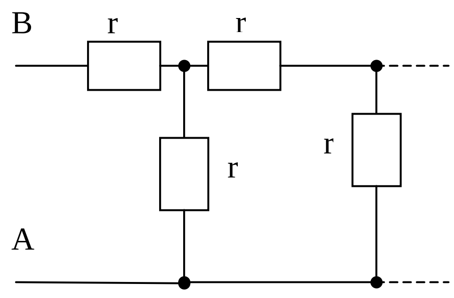
Turinys

UŽDUOČIŲ SĄLYGOS

I tarptautinė fizikos olimpiada, 1967 M. (Lenkija)

Teorinės užduotys

1. Ant h = 5 m aukščio atramos guli M = 200 g masės rutulys. v = 500 m/s greičiu horizontalia kryptimi lekianti m = 10 g masės kulka pramuša rutulį tiksliai per jo skersmenį. a) Kokiame nuotolyje L nukris ant žemės kulka, jei rutulys nukrinta ant žemės l = 20 m atstumu nuo atramos ? b) Kokia dalis α kinetinės kulkos energijos pavirsta vidine energija, kai kulka pramuša rutulį? Į oro pasipriešinimą neatsižvelkite.



1 pav.

2. Apskaičiuokite 1 pav. parodytos begalinės grandinės varžą tarp taškų A ir B, jei visų šios grandinės rezistorių varžos yra vienodos ir lygios r.

3. Du vienodi rutuliai yra tokios pat temperatūros. Vienas iš rutulių padėtas ant horizontalios plokštumos, kitas pakabintas ant siūlo. Abiem rutuliams suteikiamas vienodas šilumos kiekis juos šildant taip greitai, kad šilumos nuostolių dėl aplinkos ir arti esančių daiktų įšilimo nėra. Vienodos ar skirtingos bus rutulių temperatūros po šildymo? Atsakymą pagrįskite.

4. Uždarame V = 10 l tūrio inde yra sausas oras, kurio slėgis $p_0 \approx 10^5 Pa$ ir temperatūra $t_0 = 20\ {}^0C$. Į indą įpilama m = 3 g vandens, kuris įkaitinamas iki $t = 100\ {}^0C$ temperatūros. Koks pasidarys slėgis inde taip jį įkaitinus? Į indo šiluminę plėtrą neatsižvelkite.

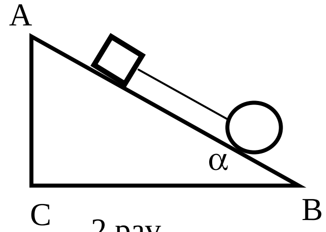
5. Nustatykite savitąją žibalo šilumą.

Priemonės: svarstyklės, šratai graduoti, kalorimetras, termometras, srovės šaltinis, kaitinimo spiralė, stiklinis indas, vanduo, žibalas, sekundometras, jungiamieji laidai, jungiklis. Vandens savitoji šiluma lygi 4200 J / (kg K).

II tarptautinė fizikos olimpiada, 1968 m. (Vengrija)

Teorinės užduotys

6. Ant nuožulnios plokštumos, kurios polinkio į horizontą kampas $\alpha = 30^0$, padėtas pilnaviduris vienalytis cilindras, kurio masė m_1=8 kg ir spindulys R=5 cm (2 pav.). Prie cilindro ašies siūlu pririštas m_2=4 kg masės kubas, esantis ant tos pačios nuožulnios plokštumos. Kokiu pagreičiu a juda abu šie kūnai? Trinties tarp kubo ir nuožulniosios plokštumos koeficientas μ=0,6. Į riedėjimo trintį ir ašies trintį neatsižvelkite.



2 pav.

7. Viename inde yra $V_1 = 3 \cdot 10^{-4} m^3$ tololo, kurio temperatūra $t_1 = 0\ ^0C$, o kitame $V_2 = 1{,}1 \cdot 10^{-4} m^3$ tololo, kurio temperatūra $t_2 = 100\ ^0C$. Kokį tūrį užims tololas abiejų indų turinį sumaišius, jei tololo tūrio plėtros koeficientas $\alpha = 0{,}001\ K^{-1}$? Į šilumos nuostolius neatsižvelkite.

8. Į stiklinio puscilindrio plokščiąjį paviršių šviesos spinduliai krinta $\alpha = 45^0$ kampu. Spinduliai yra plokštumoje, statmenoje puscilindrio ašiai. Iš kurios puscilindrio šoninio paviršiaus vietos išeis šviesos spinduliai? Stiklo lūžio rodiklis $n = \sqrt{2}$.

9. Kiekvienoje iš trijų nepermatomų dėžių yra po vieną iš šių elektrinių grandinių elementų: rezistorius, kondensatorius, ritė. Neatidarydami dėžių ištirkite, koks elementas yra kurioje dėžėje, ir nustatykite jo elektrinius parametrus.

Priemonės: du universalieji matavimo prietaisai – avometrai, ν=50 Hz dažnio kintamosios įtampos šaltinis, nuolatinės įtampos šaltinis. Matavimų prietaisų įvairių diapazonų vidinės varžos žinomos. Prietaisų paklaidos matuojant nuolatinės įtampos grandinėse – 2 %, kintamosios įtampos grandinėse – 3 %.

III tarptautinė fizikos olimpiada, 1969 m. (Čekoslovakija)

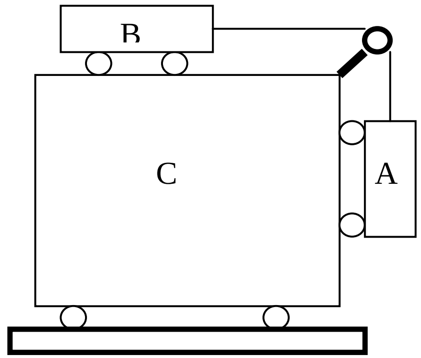
Teorinės užduotys

10. 3 pav. pavaizduota kūnų sistema susideda iš trijų vežimėlių A, B ir C, kurių masės atitinkamai lygios m_A = 0,3 kg, m_B = 0,2 kg ir m_C = 1,5 kg. Vežimėlį C veikia tokia horizontalios krypties jėga $\vec{F}$, kad vežimėliai A ir B nejuda vežimėlio C atžvilgiu.

1) Apskaičiuokite: a) įtempimo jėgą, veikiančią siūlą, jungiantį vežimėlius A ir B, b) jėgą F.

2) Tarę, kad vežimėlis C nejuda, apskaičiuokite: a) vežimėlių A ir B pagreičius, b) siūlo įtempimo jėgą.

Į oro pasipriešinimą, trintį, skriemulio ir ratų inercijos momentus ir siūlo masę neatsižvelkite.



3 pav.

11. Varinio m_1 masės kalorimetro ir jame esančio m_2 masės vandens temperatūra T_1. Į kalorimetrą įdedama ledo, kurio masė m_3 ir temperatūra T_2. a) Apskaičiuokite ledo masę ir temperatūrą, nusistovėjus šiluminei pusiausvyrai esant bet kokioms m_1, m_2, m_3, T_1 ir T_2 vertėms. Užrašykite sistemos šilumos balanso lygtį. b) apskaičiuokite vandens ir ledo masę ir temperatūrą nusistovėjus šiluminei pusiausvyrai, kai m_1 = 1 kg, m_2 = 1 kg, m_3 = 2 kg, T_1 = 283 K, T_2 = 253 K.

Į energijos nuostolius neatsižvelkite. Atmosferos slėgis normalus, vario savitoji šiluma c_1 = 0,39 kJ / (kg K), vandens c_2 = 4,2 kJ / (kg K), ledo c_3 = 2,1 kJ / (kg K), ledo savitoji lydymosi šiluma λ = 330 kJ / kg.

12. m masės rutuliukas, įelektrintas elektros krūviu q, pritvirtintas prie vieno galo nelaidaus siūlo. Kitas to siūlo galas pririštas prie vertikalioje plokštumoje esančio R spindulio žiedo, padaryto iš standžios vielos. Tas žiedas įelektrintas to paties ženklo, kaip ir rutuliukas, krūviu Q. Apskaičiuokite, kokiam siūlo ilgiui l esant atsilenkęs rutuliukas atsidurs statmenoje žiedo plokštumai jo ašyje.

Iš pradžių išspręskite uždavinį bendrai, o paskui esant šioms skaitinėms vertėms: $Q=q=9\cdot10^{-8}\,C$, $R=5\,cm$, $m=1\,g$, $\varepsilon_0=8{,}9\cdot10^{-12}\,F/m$. Į žiedo vielos storį ir siūlo masę neatsižvelkite.

13. Ant nušlifuoto stiklinio kubo, kurio briauna lygi 2 cm, padėta nušlifuota stiklinė plokštelė. Tarp plokštelės ir kubo yra plonas oro sluoksnis. Iš viršaus stačiu kampu apšviečiant plokštelę šviesa, kurios bangos ilgiai yra tarp 400 ir 1500 nm (šiame bangų ilgių intervale plokštelė yra skaidri), atsispindėjusioje šviesoje maksimumo sąlyga esti patenkinama dviem bangų ilgiam: λ_0 = 400 nm ir dar kitam. Apskaičiuokite tą kitą bangos ilgį. Taip pat apskaičiuokite, kiek reikia padidinti kubo temperatūrą, kad jis liestų plokštelę. Stiklo ilginis šiluminės plėtros koeficientas $\alpha=8\cdot10^{-6}\,K^{-1}$, oro lūžio rodiklis n = 1. atstumas nuo kubo apačios iki plokštelės kaitinant nekinta.

Eksperimentinės užduotys

14. Išnagrinėkite uždarą grandinę, susidedančią iš: a) dviejų nuosekliai sujungtų akumuliatorių, varžyno ir reochordo, b) nuosekliai sujungtų sausojo elemento ir galvanometro su apsaugine varža. Pasiūlykite ir pagrįskite tokį b) šakos jungimo prie a) grandinės būdą, kad būtų galima keičiant reochordo slankiklio padėtį pasiekti, jog srovė grandinėje pasidarytų lygi nuliui.

Sujunkite grandinę pagal pasiūlytąją schemą ir matuodami nustatykite: 1) dviejų nuosekliai sujungtų akumuliatorių gnybtų įtampos ir sausojo elemento elektrovaros santykį (manykite, kad abiejų akumuliatorių gnybtų įtampos yra pastovios), 2) nežinomąją varžą R_x.

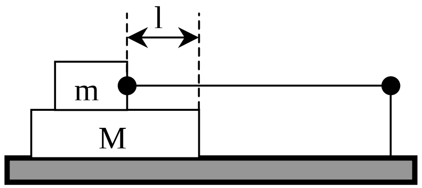
Nustatykite, kokiai varžyno varžai R esant uždavinys turi sprendinį.

Priemonės: du geležies ir nikelio akumuliatoriai, vienas sausasis elementas, reochordas (vienalytis nežinomos varžos R_x laidas su slankiu kontaktu, ištemptas išilgai milimetrinės liniuotės), varžynas, galvanometras (su skalės viduryje esančia nuline padala) ir apsauginis rezistorius.

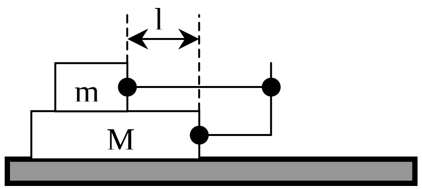
IV tarptautinė fizikos olimpiada, 1970 m. (Sovietų Sąjunga)

Teorinės užduotys

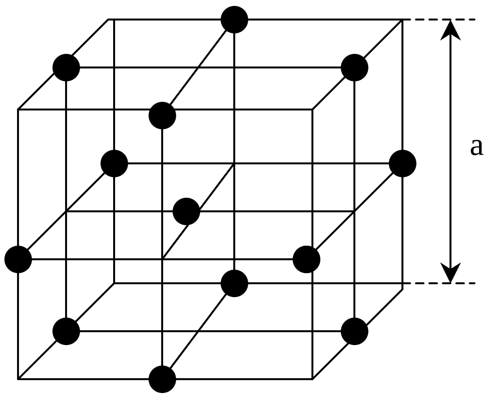
15. Ilgas M = 1 kg masės tašelis yra ant glotnaus horizontalaus stalo ir gali be trinties slankioti jo paviršiumi. Viršutine horizontaliąja tašelio siena gali judėti m = 0,1 kg masės vežimėlis su varikliu. Trinties koeficientas tarp vežimėlio ir tašelio $\mu=0{,}02$. Variklis pastoviu v_0 = 0,1 m/s greičiu vynioja ant veleno siūlą. Kitas siūlo galas vienu atveju pririštas prie gana toli esančios nejudančios atramos (4 pav., a), kitu atveju – prie į tašelį įkalto kuolo (4 pav., b). Iš pradžių tašelis palaikomas, kad nejudėtų, vežimėliui leidžiama judėti v_0 greičiu, o paskui tašelis paleidžiamas. Tašelio paleidimo metu vežimėlio priekis esti l = 0,5 m atstumu nuo tašelio priekinio krašto. Abiem atvejais nustatykite tašelio ir vežimėlio judėjimo dėsnius ir laiką, per kurį vežimėlis pasieks priekinį tašelio kraštą.



4 pav., a



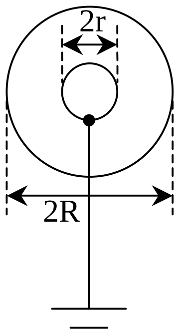
4 pav., b



5 pav.

16. Natrio chlorido (valgomosios druskos – NaCl) kristalo elementarusis narvelis yra kubas, kurio briaunos ilgis a = $5{,}6\cdot10^{-10}$ m, (5 pav.). Paveiksle juodais rutuliukais pavaizduoti natrio atomai, baltais – chloro. Visas valgomosios druskos kristalas gaunamas erdvėje kartojant tokius elementariuosius narvelius. Natrio santykinė atominė masė lygi 23, chloro – 35,5. Valgomosios druskos tankis $\rho = 2{,}22\cdot10^3$ kg / m^3. Apskaičiuokite vandenilio atomo masę.

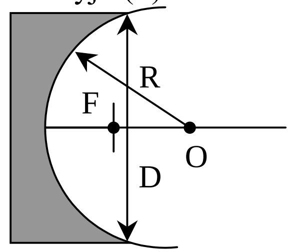
17. R = 20 cm spindulio plonasienės metalinės sferos viduje yra bendracentris r = 10 cm spindulio metalinis rutulys. Sferoje yra skylutė, per kurią rutulys labai ilgu laidu sujungtas su žeme (6 pav.). Sfera įelektrinta Q = 10^{-8} C krūviu. Apskaičiuokite tos sferos potencialą, sistemos elektrinę talpą ir nubraižykite lygiavertę elektrinę schemą.



6 pav.

18. Teleskope įrengtas sferinis veidrodis, kurio skersmuo D = 0,5 m ir kreivumo spindulys R = 2 m. Veidrodžio židinyje (F) statmenai optinei ašiai įtaisytas apskrito disko formos spinduliuotės imtuvas (7 pav.). Koks turi būti mažiausias imtuvo disko spindulys r, kad į jį patektų visa veidrodžio atspindima spinduliuotė? Kiek kartų sumažėtų į imtuvą patenkančios spinduliuotės srautas, jei jo matmenis sumažintume 8 kartus?

Nurodymai: 1) Esant mažoms α vertėms (α<< 1), galima $\sqrt{1-\alpha}$ keisti į 1-α/2, 2) į difrakciją neatsižvelkite.



7 pav.

Eksperimentinės užduotys

19. Nustatykite lęšių židinių nuotolius.

Priemonės: trys įvairūs lęšiai su stovais, ekranas su geometrinės figūros atvaizdu, prie stovo pritvirtinta vertikali viela, tieslė.

V tarptautinė fizikos olimpiada, 1971 m. (Bulgarija)

Teorinės užduotys

20. Glotnaus M masės pleišto, esančio ant idealiai glotnaus horizontalaus paviršiaus, skerspjūvis yra trikampis, kurio kampai prie pagrindo α_1 ir α_2. Ant pleišto yra du glotnūs kroviniai, kurių masės m_1 ir m_2, surišti vienas su kitu netampriu siūlu, uždėtu ant mažo skridinio, pritvirtinto prie pleišto viršūnės. Iš pradžių visa ši sistema yra rimties būsenos. Kokiu pagreičiu $\vec{a}_0$ šliauš pleištas? Krovinių pagreitį pleišto atžvilgiu išreikškite per pleišto pagreitį. Kokiam krovinių masių m_1 ir m_2 santykiui esant pleištas nejudės, o kroviniai šliauš juo? Į siūlo ir skridinio mases neatsižvelkite.

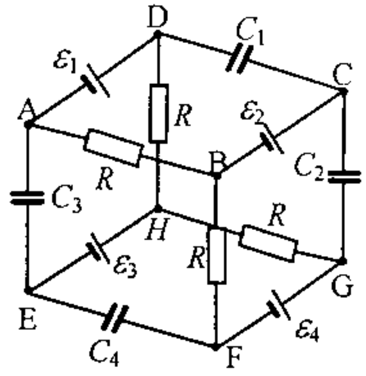
21. Užlydytu galu $S = 1\ cm^2$ skerspjūvio ploto stiklinis vamzdelis pripildytas vandenilio ir vertikaliai laikomas užlydytu galu į viršų, atvirąjį galą panardinus į indą su gyvsidabriu. Visas šis įrenginys įdėtas į hermetišką kamerą, pripildytą oro, kurio temperatūra $T_0 = 273$ K ir slėgis $P_0 = 1{,}334\cdot10^5$ Pa. Po tam tikro laiko gyvsidabris vamzdelyje pakilo per $h_0 = 0{,}7$ m virš jo lygio inde. Paslinkus vieną iš kameros sienų oro slėgis izotermiškai sumažinamas iki $P_1 = 8\cdot10^4$ Pa, ir gyvsidabrio stulpelio aukštis dėl to sumažėja iki $h_1 = 0{,}4$ m. Toliau esant pastoviam tūriui kamera įšildoma iki temperatūros T_2, dėl to gyvsidabrio stulpelio aukštis padidėja iki $h_2 = 0{,}5$ m. Pagaliau orui kameroje izobariškai plečiantis gyvsidabrio aukštis tampa $h_3 = 0{,}45$ m. Manydami, kad sistema visą laiką išlaiko termodinaminę pusiausvyrą, apskaičiuokite: vandenilio masę m, paskutinės būsenos temperatūrą T_2 ir slėgį P.

Gyvsidabrio tankis temperatūroje T_0 yra $\rho_0 = 1{,}36\cdot10^4$ kg / m^3, gyvsidabrio tūrinės šiluminės plėtros koeficientas $\beta = 1{,}84\cdot10^{-4}\ K^{-1}$, universalioji dujų konstanta R = 8,31 J / (mol K). Į stiklo šiluminę plėtrą ir į gyvsidabrio aukščio inde kitimus neatsižvelkite.

Nurodymas: Tarkime, kad ΔT – maksimalus temperatūrų skirtumas tarp sistemos būsenų. Kadangi $\beta\cdot\Delta T = x << 1$, pasinaudokite apytiksliu sąryšiu $\frac{1}{1+x} \approx 1 - x$.

22. Apskaičiuokite suminę energiją W, sukauptą kondensatoriuose, įjungtuose į 8 pav. parodytą schemą.

Jų talpos yra C_1, C_2, C_3, C_4. Nuolatinės įtampos šaltiniai: ε_1, ε_2, ε_3, ε_4. Į vidines varžas neatsižvelkite. Visų grandinės rezistorių varžos vienodos. Koks būtų kondensatoriaus C_2 krūvis q_2, jei taškus H ir B sujungtume trumpai? Skaitines vertes apskaičiuokite, kai $\varepsilon_1 = 4$ V, $\varepsilon_2 = 8$ V, $\varepsilon_3 = 12$ V, $\varepsilon_4 = 16$ V, $C_1 = C_2 = = C_3 = C_4 = 1$ μF.



8 pav.

23. Prieš vertikalų plokščiąjį veidrodį yra iš plono stiklo padarytas pilnas vandens rutulio formos akvariumas. Akvariumo spindulys R, atstumas tarp jo centro ir veidrodžio 3R. Toli nuo akvariumo ir veidrodžio esantis stebėtojas žiūri statmenai veidrodžiui per akvariumo centrą einančia kryptimi. Visiškai priešingame stebėtojui akvariumo taške yra maža žuvytė, kuri ima judėti palei akvariumo sienelę greičiu v. Kokiu santykiniu greičiu v_{sant} sklaidosi stebėtojo matomas žuvytės atvaizdas? Vandens lūžio rodiklis n = 4/3.

Eksperimentinės užduotys

24. Sudarykite grandinę, skirtą šaltinio tiekiamos reostatui naudingosios galios priklausomybės nuo srovės stiprio grafikui eksperimentiškai gauti.

Pasinaudodami gautuoju grafiku:

1) nustatykite šaltinio vidinę varžą,
2) nustatykite šaltinio elektrovarą,
3) nubraižykite naudingosios galios priklausomybės nuo išorinės varžos grafiką,
4) nubraižykite suminės galios priklausomybės nuo išorinės varžos grafiką,

5) nubraižykite šaltinio naudingumo koeficiento priklausomybės nuo išorinės varžos grafiką.

Priemonės: nuolatinės ev šaltinis, ampermetras, voltmetras, reostatas, jungiamieji laidai.

VI tarptautinė fizikos olimpiada, 1972 m. (Rumunija)

Teorinės užduotys

25. Trys vienodų masių, ilgių ir išorinių spindulių cilindrai padėti ant nuožulniosios plokštumos. Iš pradžių jie nejudėjo. Šliaužimo nuožulniąja plokštuma trinties koeficientas μ žinomas ir yra vienodas visiems cilindrams.

Pirmasis cilindras tuščiaviduris (vamzdžio pavidalo), antrasis – vienalytis pilnaviduris, o trečiajame yra tokia pat ertmė, kaip ir pirmajame, tik ji pripilta tokio pat tankio, kaip ir sienelės, skysčio ir galuose uždaryta labai mažos masės dangteliais. Į trintį tarp skysčio ir sienelių atsižvelgti nereikia.

Pirmojo cilindro medžiagos tankis yra n kartų didesnis negu antrojo ar trečiojo cilindro. Apskaičiuokite:

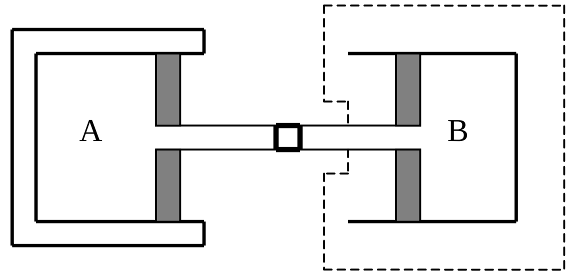
1) Cilindrų ašių linijinius pagreičius tuo atveju, kai jie neslysta. Palyginkite šiuos pagreičius.

2) Kokiam nuožulniosios plokštumos polinkio kampui α esant neslys nė vienas cilindras?

3) Visų cilindrų kampinių pagreičių tarpusavio santykius, kai jie visi rieda slysdami. Palyginkite šiuos pagreičius.

4) Sąveikos tarp trečiojo cilindro skysčio ir sienelių jėgą, kai tas cilindras slysta. Skysčio masė m yra žinoma.

26. Du vienodų skersmenų cilindrai A ir B turi mažos masės galinčius laisvai slankioti stūmoklius, sujungtus trumpu vamzdeliu su čiaupu. Iš pradžių čiaupas buvo uždarytas. Cilindras A kartu su stūmokliu yra termiškai izoliuotas, o cilindras B įdėtas termostatą, kurio temperatūra $t = 27\ ^0C$ (9 pav.).



9 pav.

Pradiniu momentu cilindro A stūmoklis buvo pritvirtintas, o cilindro viduje buvo $m = 32$ kg argono, kurio slėgis didesnis už atmosferinį. Cilindre B, kurio tūris $V_B =$
$= 5{,}54\ m^3$, yra tam tikras kiekis deguonies.

Atleidus cilindro A stūmoklį, jis juda lėtai (kvazinuostoviai). Pasiekus pusiausvyrą argono tūris padidėjo 8 kartus, o cilindre B deguonies tankis padidėjo 2 kartus. Be to, yra žinoma, kad termostatui buvo perduotas $Q = 747{,}9\cdot10^4$ J šilumos kiekis. Argono molio masė $M = 40\cdot10^{-3}$ kg/mol.

1) Remdamiesi kinetine dujų teorija ir atsižvelgdami į tamprius molekulių smūgius į stūmoklį įrodykite, kad cilindre A procesas aprašomas lygtimi $TV^{2/3} = const$.

2) Apskaičiuokite argono parametrus P, V ir T esant pradinei ir galinei būsenai.

3) Apskaičiuokite dujų mišinio galinį slėgį, kuris susidarė atsukus cilindrus jungiantį čiaupą.

27. Įelektrintas plokščiasis kondensatorius, kurio plokštelės stačiakampės, įtaisytas vertikaliai. Jo plokštelės liečia dielektrinį skystį. Atstumas tarp plokštelių yra daug mažesnis už jų matmenis. Duota: pradinis lauko stipris kondensatoriuje E, skysčio tankis ρ, skysčio dielektrinė skvarba ε, kondensatoriaus plokštelių aukštis H.

Apskaičiuokite skysčio tarp plokštelių pakilimo aukštį ir paaiškinkite reiškinį. Į kapiliarumą neatsižvelkite.

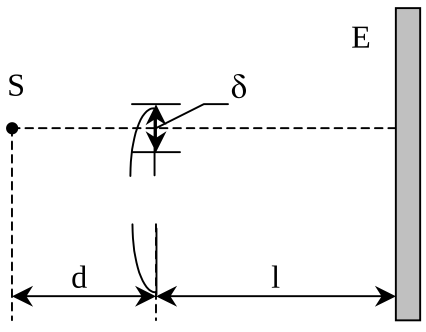
28. Plokščiai iškilojo lęšio, kurio skersmuo 2r, kreivumo spindulys R, lūžio rodiklis n_0, kairėje pusėje yra oras ($n_1 = 1$), o dešinėje –

skaidri aplinka, kurios lūžio rodiklis $n_2 \neq 1$ (oras yra prie iškilosios pusės). Ore atstumu d nuo lęšio pagrindinėje optinėje ašyje yra taškinis monochromatorinės šviesos šaltinis.

1) Apsiribodami gretaašio pluošto artutinumu įrodykite, kad

$$\frac{F_1}{d} + \frac{F_2}{f} = 1,$$

jei f – atstumas tarp šaltinio atvaizdo ir lęšio, F_1 ir F_2 – lęšio židinio nuotoliai atitinkamai ore ir esant iš vienos pusės yra aplinkai, kurios lūžio rodiklis n_2.



10 pav.

2) Statmenai plokščiajam paviršiui lęšis perpjaunamas į dvi vienodas dalis, kurios po to atitolinamos iki atstumo $\delta \ll r$ (Bijė bilęšis). Šios sistemos simetrijos ašyje $d > F_1$ atstumu nuo lęšio (žr. 10 pav.) yra taškinis šaltinis S. Dešinėje l nuotoliu nuo lęšio esančiame lygiagrečiame su lęšiu ekrane E atsiranda N interferencijos juostų (į dešinę nuo lęšio irgi esant orui).

Nustatykite interferencijos juostų skaičiaus N priklausomybę nuo bangos ilgio λ.

Nurodymas: Visi lūžio rodikliai yra absoliutinai.

Eksperimentinės užduotys

29. Eksperimentiškai nustatykite ir teoriškai pagrįskite:
1) santykinį kūnų tankį (vandens atžvilgiu),
2) cilindro formos ertmės spindulį,
3) atstumą tarp ašies ir cilindro formos kūno ašies.

Nurodykite matavimo paklaidų šaltinius ir įvertinkite, kurie iš jų daro didžiausią įtaką rezultatams.

Pabandykite nustatyti paklaidas (pavyzdžiui, vidutines kvadratines) kiekybiškai.

Aprašykite visus jūsų sugalvotus uždavinio sprendimo variantus naudodamiesi tik jums duotomis priemonėmis.

Priemonės: du cilindro formos kūnai (iš akies ir pagal formą vienodi), pagaminti iš tos pačios medžiagos, bet vienas jų yra vienalytis, o kito viduje yra ertmė, kurios forma cilindrinė, ašis lygiagreti su kūno ašimi, ertmės ilgis praktiškai lygus kūno ilgiui, taip pat liniuotė su padalomis, medinis tašelis, indas su vandeniu.

VII tarptautinė fizikos olimpiada, 1974 m. (Lenkija)

Teorinės užduotys

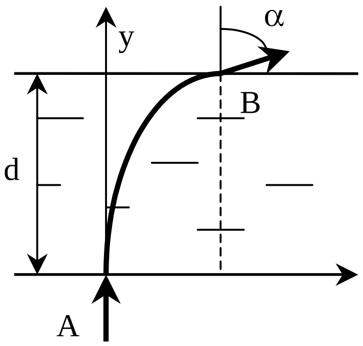
30. Į nejudantį vandenilio atomą, kurio energinė būsena yra pagrindinė, smogia toks pat kitas vandenilio atomas, judantis greičiu v. Pasinaudodami Boro modeliu ir žinodami, kad vandenilio atomo jonizacijos energija lygi E_j, o masė m, apskaičiuokite ribinį greitį v_0, žemiau kurio atomų susidūrimas esti tamprusis.

Kai atomai pasiekia greitį v_0, jų susidūrimai gali būti netamprūs ir atsirasti spinduliuotė. Apskaičiuokite spinduliuotės, išspinduliuojamos smogiančiojo atomo judėjimo kryptimi ir priešinga kryptimi, dažnių skirtumo procentinį santykį su šių dažnių aritmetiniu vidurkiu. E_j = 13,6 eV = $2{,}18 \cdot 10^{-18}$ J, m = $1{,}67 \cdot 10^{-27}$ kg.

31. Į gretasienis plokštelės (11 pav.) tašką A, kurio koordinatė x = 0, statmenai šitai plokštelei krinta siauras šviesos pluoštelis. Plokštelės medžiagos lūžio rodiklis kinta taip:

$$n_x = \frac{n_0}{1 - x/R},$$

čia n_0 ir R – pastovūs dydžiai. Pluoštelis išeina iš plokšteles taške B, nukrypęs nuo kritimo krypties kampu α.



11 pav.

1) Apskaičiuokite lūžio rodiklį taške B n_B.
2) Apskaičiuokite taško B koordinatę x_B.
3) Apskaičiuokite plokštelės storį d.

Imkite šias skaitines vertes: n_0 = 1,2, R = 13 cm, α = 30^0.

32. Mokslinė ekspedicija, dirbdama negyvenamoje saloje, išeikvojo visus turimus energijos šaltinius. Šioje saloje nesti vėjų, neteka upės, dangus aptrauktas storu debesų sluoksniu, atmosferos slėgis pastovus, o oro ir apskritai ramaus salą skalaujančio vandenyno vandens temperatūra esti pastovi dieną ir naktį. Saloje buvo aptiktas chemiškai neutralių dujų telkinys. Dujos eina iš urvo pastoviu greičiu esant atmosferos slėgiui ir aplinkos temperatūrai. Ekspedicijos dalyviai turi dvi pusiau pralaidžias plėveles. Viena iš jų gerai praleidžia aptiktas dujas, bet visai nepraleidžia oro, o kita – atvirkščiai, praleidžia orą, bet nepraleidžia dujų. Be to, ekspedicijos dalyviai turi galimybę pasidaryti paprastus mechaninius įrenginius, pavyzdžiui, cilindrus su stūmokliais ir ventiliais, tad buvo nuspręsta pasidaryti variklį.

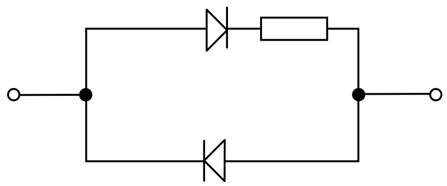
Įrodykite, kad galima padaryti tokį idealų šias dujas naudojantį variklį ir kad teoriškai šio variklio galia nėra ribojama.

Eksperimentinės užduotys

33. Uždaroje „juodoje dėžėje“ yra du vienodi puslaidininkiniai diodai ir rezistorius, nežinomu būdu sujungti į du išvadus turinčią grandinę. Nustatykite rezistoriaus varžą.

Priemonės: „juodoji dėžė“, du universalūs srovės stiprio ir įtampos matavimo prietaisai, akumuliatorių baterija, reostatas, laidai, milimetrinis popierius.

Pastaba: Dėžėje buvo elektros grandinė, kurios schema parodyta 12 pav.



12 pav.

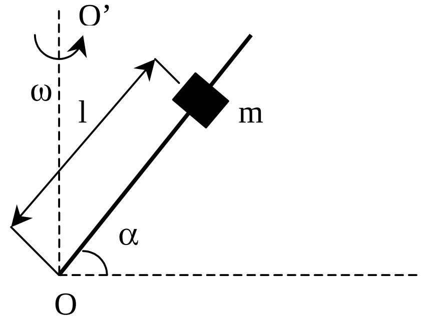
VIII tarptautinė fizikos olimpiada, 1975 m. (Vokietija)

Teorinės užduotys

34. Strypas pritvirtintas π/2 - α kampu su vertikalia ašimi OO’ (13 pav.).Šis įrenginys gali kampiniu greičiu ω suktis apie tą ašį. Ant strypo užmautas galintis su trintimi slankioti m masės kūnas, kurio rimties trinties koeficientas lygus μ.

a) Kokiems kampams α esant kūnas nejuda ir kokiems juda, kai ω = 0?

b) Kokioms sąlygoms esant kūnas nejudės, įrenginiui sukantis pastoviu kampiniu greičiu ω? Sukantis įrenginiui kampas α nekinta.



13 pav.

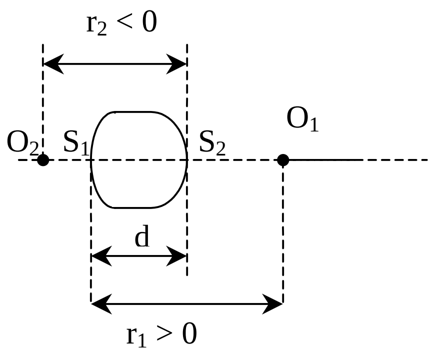
35. Storas stiklinis lęšis, kurio kreivumo spinduliai r_1 ir r_2 ir storis d (14 pav.), yra ore. Jo židinio nuotolis išreiškiamas formule

$$F = \frac{n r_1 r_2}{(n-1)[n(r_2 - r_1) + d(n-1)]}.$$

Čia n – lūžio rodiklis (oras – stiklas).

Nurodymas. $r_i > 0$ reiškia, kad kreivumo centras O_i yra dešinėje nuo taško S_i, $r_i < 0$ reiškia, kad kreivumo centras O_i yra kairėje nuo taško S_i (i = 1, 2).

Kartais pageidautina, kad židinio nuotolis nepriklausytų nuo bangos ilgio λ.



14 pav.

a) Keliams skirtingiems bangų ilgiams galima pasiekti, kad židinio nuotolis būtų toks pat?

b) Suraskite sąryšį tarp r_i, d ir lūžio rodiklių, kai židinio nuotolis nepriklauso nuo šviesos bangos ilgio (žr. a) klausimą), ir aptarkite jį. Nupieškite galimas lęšių formas. Nurodykite kreivumo centrų O_1 ir O_2 padėtis.

c) Įrodykite, kad lęčiui esant plokščiai iškilam norimą židinio nuotolį galima gauti tik vienam šviesos bangos ilgiui.

d) Nurodykite, kokiais dar atvejais norimą židinio nuotolį tik vienam šviesos bangos ilgiui galima gauti esant tikriems storo lęšio parametrams.

36. Iš taško Q vienoje ir toje pačioje plokštumoje sklinda vienakrūvių teigiamų +e krūvio vienodos pastovios masės m jonų pluoštelis. Pagreitinti įtampa U jonai atlenkiami vienalyčiu magnetiniu lauku, statmenu jonų sklidimo plokštumai. Magnetinio lauko srauto tankis lygus $\vec{B}$. Magnetinio lauko srities ribos turi būti tokios, kad visi pluoštelio jonai eitų per vieną tašką A (QA = 2a). Jonų trajektorijos

turi būti simetriškos linijos, statmenos atkarpai QA ir einančios per jos vidurį, atžvilgiu. Iš galimų magnetinio lauko sričių ribų pasirinkti tokias, kurios yra linijos, statmenos QA viduriui, aplinkoje, bet neapima taškų Q ir A. Sritis turi būti vientisa, t.y. be skylių ir trūkių.

a) Dalelių trajektorijų magnetiniame lauke kreivumo spindulį išreikškite kaip įtampos U ir magnetinio lauko srauto tankio B funkciją.

b) Nurodykite dalelių trajektorijų tokiame įrenginyje būdingąsias savybes.

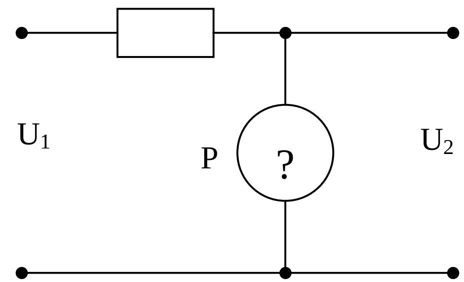
c) Geometrinės braižybos būdu nustatykite magnetinio lauko sričių ribas šiais atvejais: R < a, R = a, R > a.

d) Suraskite magnetinio lauko sričių ribų matematines išraiškas.

<u>Eksperimentinės užduotys</u>

37. a) Sudarykite elektros grandinę puslaidininkinio prietaiso voltamperinei charakteristikai matuoti. Matuojant didžiausia galia niekada neturi viršyti didžiausios leistinos galios, kuri lygi 250 W.

Matavimo rezultatus surašykite į lentelę ir nubraižykite voltamperinę charakteristiką. Prieš pradėdami matuoti pagalvokite, kaip galima patikimai apsaugoti puslaidininkinį prietaisą nuo perkrovų, ir savo samprotavimus aprašykite. Nubraižykite matavimo grandinės elektrinę schemą ir išnagrinėkite sistemines paklaidas, atsirandančias matuojant pagal schemą.



15 pav.

b) Apskaičiuokite puslaidininkinio prietaiso vidines varžas (dinamines varžas) tekant 25 mA stiprio srovėms.

c) Pasinaudodami 15 pav. parodyta schema ištirkite išėjimo įtampos U_2 priklausomybę nuo įėjimo įtampos U_1. Rezultatus pateikite lentelėje ir grafike. Įėjimo įtampą U_1 keiskite nuo 0 iki 9 V. Matuojant puslaidininkinis prietaisas turi būti įjungtas taip, kad U_2 vertės būtų kiek galima didesnės. Nubraižykite prietaisų sujungimo išsamią schemą ir aptarkite matavimų rezultatus.

d) Kokio tipo puslaidininkiniams prietaisams priklauso eksperimente naudojamas prietaisas? Pateikite 15 pav. parodytos schemos praktinio pritaikymo pavyzdį.

Priemonės: puslaidininkinis prietaisas, reostatas (140 Ω), rezistorius (300Ω), įtampos šaltinis (0 – 9 V), du universalieji elektrinių matavimų prietaisai (be ometro), jungiamieji laidai.

Pastaba. Šiame darbe naudotas puslaidininkinis prietaisas – stabilitronas.

IX tarptautinė fizikos olimpiada, 1976 m. (Vengrija)

Teorinės užduotys

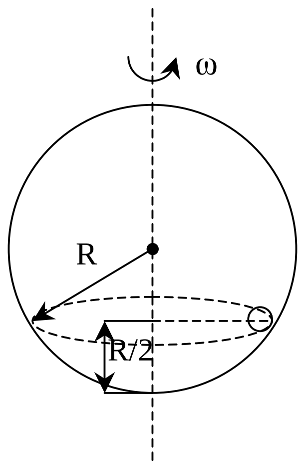
38. R = 0,5 m spindulio sfera pastoviu ω=5 rad/s kampiniu greičiu sukasi apie savo vertikalų skersmenį (16 pav.).

Kartu su sfera prie jos vidinio paviršiaus sukasi nedidelis kūnas, esantis pusės sferos spindulio aukštyje.

1) Apskaičiuokite, kokiam mažiausiam trinties koeficientui esant galima tokia būsena.

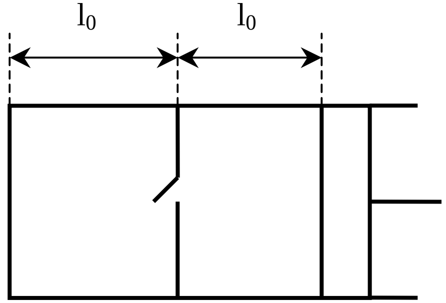
2) Apskaičiuokite mažiausio trinties koeficiento vertę, jei sferos kampinis greitis ω = 8 rad/s.

3) Išnagrinėkite sistemos būsenos pastovumą esant ankščiau paskaičiuotoms trinties koeficiento vertėms, jei: a) sferos sukimosi greitis neženkliai pakistų, b) neženkliai pakistų kūno padėtis.



16 pav.

39. Cilindro sienelės, stūmoklis ir vidinė 1 dm^2 ploto pertvara pagaminti iš šilumos izoliatoriaus (17 pav.). Pertvaros sklendė atsidaro tada, kai slėgis dešinėje jos pusėje esti didesnis negu kairėje.



17 pav.

Iš pradžių kairiojoje cilindro l_0=11,2 dm ilgio dalyje yra 12 g helio, dešiniojoje tokio pat ilgio dalyje – 12 g helio, temperatūra abiejose dalyse lygi 0^0C. Slėgis išorėje lygus 10^5 Pa. Savitoji helio šiluma esant pastoviam tūriui $c_v = 3{,}15\cdot10^3$ J/(kg·K), o esant pastoviam slėgiui $c_p = 5{,}25\cdot10^3$ J/(kg·K).

Lėtai stumiame stūmoklį pertvaros link (trumpam stabtelėdami sklendės atidarymo momentu), kol pamažu ją pasiekiame. Kam lygus mūsų atliktas darbas?

40. Stikliniame rutulyje yra nedidelis oro burbuliukas. Sugalvokite, kokiais būdais būtų galima išmatuoti to burbuliuko skersmenį, ir kiek galima smulkiau aprašykite tuos būdus. Rutulys turi išlikti nepažeistas.

Eksperimentinės užduotys

41. Ištirkite medžiagos X šilumines savybes kintant temperatūrai nuo kambario iki 80^0C ir nustatykite jos būdingąsias šilumines konstantas. Matavimų rezultatus pateikite lentelėse ir grafikuose.

Priemonės: laikrodis, termometras, 12 V kaitinimo elementas, du mėgintuvėliai su skysčiu. Kurio savitoji šiluma $c_0 = 2{,}1\cdot10^3$ J/(kg·K), tiriamoji kristalinė medžiaga X. Skysčio kiekis mėgintuvėliuose, taip pat medžiagos X masė yra žinomi. Medžiaga X skystyje netirpsta.

Pastaba: Skystis buvo žibalas, o kristalinė medžiaga – naftalinas.

X tarptautinė fizikos olimpiada, 1977 m. (Čekoslovakija)

Teorinės užduotys

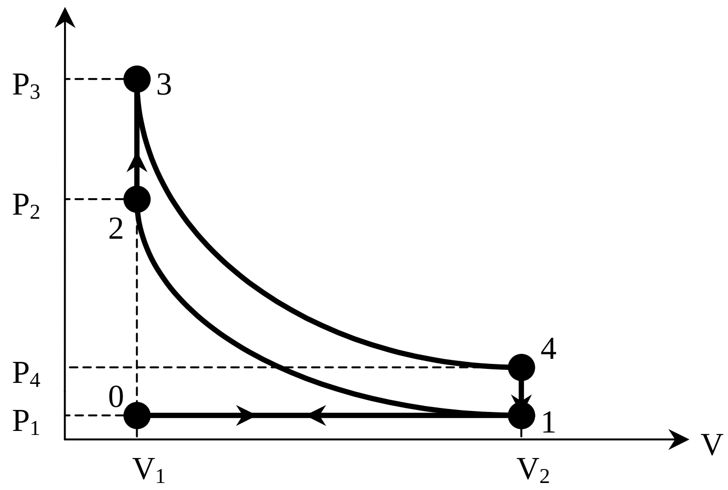
42. Keturtakčio variklio cilindro didžiausio ir mažiausio tūrių santykis $\varepsilon = 9{,}5$. Variklio darbo PV diagrama parodyta 18 pav. Išorės oras į variklį patenka esant $t_1 = {=}27^0\text{C}$ temperatūrai ir $P_1 = 10^5$ Pa slėgiui. Degaus mišinio užsidegimo momentu slėgis cilindre padidėja du kartus.

a) Kokie procesai vyksta dujose tarp taškų 0 – 1, 2 – 3, 4 – 1 ir 1 – 0 ? Procesai 1 – 2 ir 3 – 4 – adiabatiniai.

b) Nustatykite dujų parametrus P ir T taškuose 1, 2, 3 ir 4.

c) Apskaičiuokite variklio ciklo naudingumo koeficientą.

d) Įvertinkite, kiek realūs gautieji rezultatai.



18 pav.

43. Stačiakampis vielinis rėmelis, kurio kraštinės $a = 0{,}020$ m ir $b = 0{,}30$ m, įmerkiamas į muiluotą vandenį, ir jame susidaro muilo plėvelė. Stebint atspindžio šviesoje, kai kritimo kampas $\alpha = 30^0$, plėvelė atrodo žalia ($\lambda_0 = 500$ nm).

1) Ar galima nustatyti šios plėvelės masę svarstyklėmis, kurių jautris 0,1 mg ? Muilo tirpalo tankis $\rho = 10^3$ kg / m^3, plėvelės lūžio rodiklis $n = 1{,}33$.

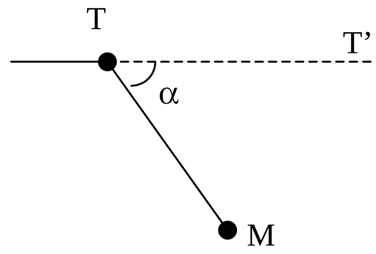
2) Kokios spalvos atrodytų pati ploniausia plėvelė, tenkinanti uždavimo sąlygą, jei į ją kristų šviesa, kuri paskui atsispindėtų statmenai plėvelei ?

44. Elektronų prožektoriuje elektronai pagreitinami $U = 10^3$ V įtampa. Išlėkę iš prožektoriaus taške T elektronai juda tiese TT’ (19 pav.). Taške M $d = 5{,}0$ cm nuotoliu nuo taško T yra taikinys. Kampas tarp TM ir TT’ $\alpha = 60^0$.

1) Kokio srauto tankio $\vec{B}$ turi būti vienalytis statmenas brėžinio plokštumai magnetinis laukas, kad išlėkę iš prožektoriaus elektronai patektų į taikinį?

2) Kokio srauto tankio $\vec{B}_1$ turi būti vienalytis lygiagretus su TM magnetinis laukas, kad elektronai patektų į taikinį?

Manykite, kad $\vec{B}$ ir $\vec{B}_1$ vektorių moduliai neviršija 0,03 T.

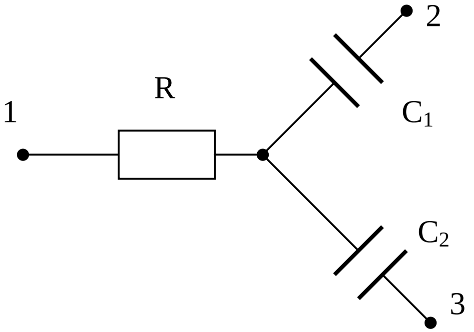


19 pav.

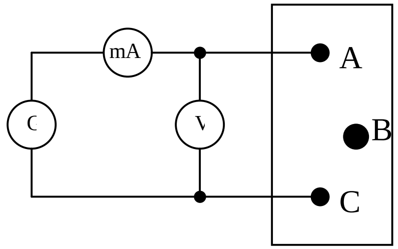
Eksperimentinės užduotys

45. Atskleiskite „juodosios dėžės“ su trimis išvadais A, B ir C paslaptį. Dėžėje yra du kondensatoriai ir vienas rezistorius, sujungti žvaigžde (20 pav.).

1) Pagal 21 pav. schemą sujunkite grandinę, susidedančią iš harmoninių virpesių generatoriaus (G), srovės stiprio ir įtampos matavimo prietaisų ir „juodosios dėžės“ ABC. Atlikite reikalingus matavimus ir pagal jų rezultatus apskaičiuokite impedansus Z_{AB}, Z_{AC} ir Z_{BC} dažnių intervale nuo 0,1 iki 10 kHz.



20 pav.



21 pav.

2) Logaritminiame popieriuje nubraižykite impedansų priklausomybės nuo dažnio grafikus.

3) Teoriškai įrodykite, kad žinant impedansus ir dažnius galima nustatyti rezistoriaus varžą R ir kondensatorių talpas C_1 ir C_2.

4) Remdamiesi gautais rezultatais nustatykite, prie kurių gnybtų prijungtas rezistorius ir prie kurių – kondensatoriai.

5) Apskaičiuokite varžą R ir talpas C_1 ir C_2, naudodamiesi impedansų, išmatuotų esant 1 kHz ir 10 kHz dažniams, vertėmis.

6) Nurodykite, koks bus poveikis matavimo tikslumui, jei neatsižvelgsime į srovę, kuri teka voltmetru.

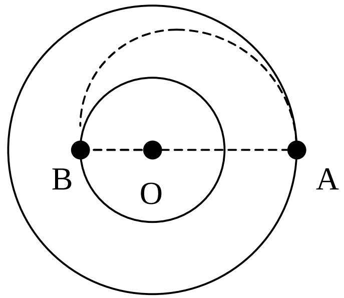
Priemonės: harmoninių virpesių generatorius, du matavimo prietaisai (kintamosios srovės ampermetras ir voltmetras) ir „juodoji dėžė“.

XI tarptautinė fizikos olimpiada, 1979 m. (Sovietų Sąjunga)

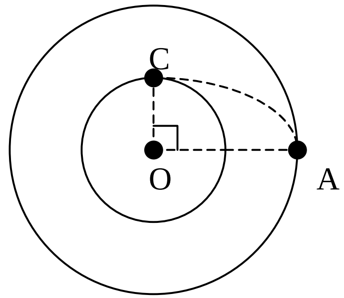
Teorinės užduotys

46. M = 12 t masės kosminis laivas h = 100 km aukštyje apskrita orbita skrieja aplink Mėnulį. Ruošiantis nusileisti ant Mėnulio trumpam įjungiamas variklis. Iš raketos tūtos išlekiančių dujų greitis u =

10^4 m/s. Mėnulio spindulys R_M = 1,7·10^3km, laisvojo kritimo pagreitis Mėnulio paviršiuje g_M = 1,7 m/s^2.



22 pav.



23 pav.

1) Kiek kuro reikia sunaudoti, kad įjungus stabdymo variklį taške A laivas nusileistų ant Mėnulio taške B (22 pav.)?

2) Kitame nusileidimo ant Mėnulio variante taške A laivui suteikiamas impulsas, nukreiptas į Mėnulio centrą, ir laivas pervedamas į orbitą, liečiančią Mėnulį taške C (23 pav.). Kiek kuro reikia sunaudoti šiuo atveju?

47. Aliumininė detalė sveriama analizinėmis svarstyklėmis, naudojant žalvarinius svarelius. Vieną kartą sveriama sausame ore, kitą kartą – drėgname, esant vandens garų slėgiui P_v = 2·10^3 Pa. Suminis atmosferos slėgis (P = 10^5 Pa) ir temperatūra (t== 20^0C) abiem atvejais vienodi.

Kokiai detalės masei esant galima pastebėti svarstyklių parodymų skirtumą, jei jų jautris m_0 = 0,1 mg? Aliuminio tankis ρ_1 = 2700 kg/m^3, žalvario - ρ_2 = 8500 kg/m^3.

48. Sovietų Sąjungos ir Prancūzijos atliktame Mėnulio optinės lokacijos eksperimente λ = 0,69 μm bangos ilgio rubino lazerio spinduliuotės impulsai buvo nukreipiami į Mėnulio paviršių, panaudojant D = 2,6 m skersmens teleskopo veidrodį. Mėnulyje buvo įrengtas atšvaitas, veikiantis kaip idealus d = 20 cm skersmens veidrodis, kuris atspindėdavo šviesą tiksliai atgal. Atspindėta šviesa patekdavo į tą patį teleskopą ir būdavo fokusuojama į imtuvą.

1) Kokiu tikslumu turėjo būti nustatyta optinė teleskopo ašis šiame eksperimente?

2) Neatsižvelgdami į šviesos nuostolius Žemės atmosferoje ir teleskope įvertinkite, kokią nuo Mėnulio atsispindėjusią lazerio šviesos energijos dalį registruodavo imtuvas.

3) Ar galima atsispindėjusį šviesos impulsą matyti plika akimi, jei akies slenkstinis jautris būtų n = 100 šviesos kvantų, o vieno impulso metu išspinduliuojama energija E = 1 J?

4) Įvertinkite, kokią naudą duoda atšvaitas. Manykite, kad Mėnulio paviršius tolygiai išsklaido α = 10% krintančios šviesos 2π sr erdviniame kampe.

Atstumas tarp Žemės ir Mėnulio L=380000 km. Akies lęšiuko skersmuo d_1= 5 mm. Planko konstanta $h = 6{,}62\cdot10^{-34}$ J·s.

Eksperimentinės užduotys

49. Nubraižykite „juodosios dėžės“ elektrinės grandinės schemą ir nustatykite jos elementų parametrus.

Priemonės: „juodoji dėžė“, 4,5 V nuolatinės įtampos šaltinis, 50 Hz 30 V kintamosios įtampos šaltinis, du universalieji nuolatinės ir kintamosios srovės stiprio ir įtampos matavimo prietaisai, reguliuojamasis rezistorius, jungiamieji laidai.

Pastaba: „Juodojoje dėžėje“ buvo transformatorius.

XII tarptautinė fizikos olimpiada, 1981 m. (Bulgarija)

Teorinės užduotys

50. M masės mėgintuvėlis yra vakuume. Labai plona m masės pertvara mėgintuvėlio tūrį dalija į dvi lygias dalis. Uždarojoje mėgin-

tuvėlio dalyje yra n moliu vienatomių dujų, kurių molio masė M_0 ir temperatūra T. Pertvara paleidžiama ir judėdama be trinties išlekia iš mėgintuvėlio. Paskui išeina ir dujos. Koks mėgintuvėlio galinis greitis, jei pertvaros judėjimo pradžios momentu mėgintuvėlis nejudėjo?

Dujų konstanta R yra žinoma. Į dujų impulsą iki išlekiant pertvarai, taip pat į šilumos mainus tarp dujų ir mėgintuvėlio su pertvara galima neatsižvelgti. Taip pat nepaisykite dujų temperatūros pokyčio išlėkus pertvarai ir Žemės traukos.

51. R_0 = 2 Ω varžos U_0 = 4,5 V vardinės įtampos lemputė maitinama iš ε = 6 V ev akumuliatoriaus, į kurio vidinę varžą galima neatsižvelgti.

1) Tarkite, kad vardinė įtampa sudaroma panaudojant reostatą, įjungtą kaip potenciometras. Kokia turi būti reostato varža R ir kokiai didžiausiai srovei I_{max} jis turi būti apskaičiuotas, kad sistemos naudingumo koeficientas būtų ne mažesnis kaip η_0 = 0,6 ?

2) Kam lygus didžiausias galimas grandinės „lemputė – akumuliatorius“ naudingumo koeficientas esant vardinei lemputės įtampai ir kaip tą grandinę reikia sujungti panaudojant reostatą?

52. Radioastronomijos observatorijos radijo bangų imtuvas įrengtas ant jūros kranto h = 2 m aukštyje virš jūros lygio. Patekėjus žvaigždei, spinduliuojančiai λ = 21 cm ilgio elektromagnetines bangas, imtuvas registruoja besikaitaliojančius signalo maksimumus ir minimumus. Registruojamasis signalas tiesiogiai proporcingas į imtuvą krintančių elektromagnetinių bangų, kurių elektrinis vektorius lygiagretus su vandens paviršiumi, intensyvumui.

1) Nustatykite dangaus sferos kampais išreikštus žvaigždės aukščius virš horizonto, kuriems esant registruojami maksimumai ir minimumai.

2) Didėja ar mažėja signalas ką tik patekėjus žvaigždei?

3) Apskaičiuokite signalų santykį esant pirmajam maksimumui ir po jo einančiam minimumui. Atsispindėjusios nuo vandens elektromagnetinės bangos elektrinio vektoriaus (E_a) ir kritusios (E_k) santykis išreiškiamas taip:

$$\frac{E_a}{E_k} = \frac{n - \cos\varphi}{n + \cos\varphi}.$$

Čia n – lūžio rodiklis, φ - elektromagnetinės bangos kritimo kampas. Kai $\lambda = 21$ cm, aplinkų „oras – vanduo“ ribai n = 9.

4) Mažės ar didės maksimumų ir gretimų po jų einančių minimumų signalų santykis žvaigždei kylant aukštyn virš horizonto?

Nurodymas. Spręsdami šį uždavinį manykite, kad jūros vandens paviršius lygus.

Eksperimentinės užduotys

53. Atlikite tokius tyrimus:

1) Guminį raištį apkraudami svareliais, kurių masės yra nuo 15 iki 105 g, ištirkite pailgėjimo Δl priklausomybę nuo įtempimo jėgos F. Matavimų rezultatus surašykite į lentelę ir parinkę tinkamą mastelį pavaizduokite grafiškai Δl priklausomybę nuo F.

2) Panaudodami matavimų rezultatus apskaičiuokite ir į lentelę surašykite raiščio tūrius, esant apkrovoms nuo 35 iki 95 g. Skaičiuokite nuosekliai imdami kiekvienas dvi gretimas apkrovos vertes iš ankščiau nurodyto intervalo. Užrašykite, kokiomis formulėmis naudojotės skaičiuodami. Jūsų padarytą prielaidą dėl tūrio priklausomybės nuo apkrovos išreikškite formule.

Tarkite, kad Jungo modulis yra pastovus ir lygus $E = 2\cdot10^6$ Pa. Aptariant rezultatus reikia atsižvelgti į faktą, kad gumai, esant anksčiau nurodytoms apkrovoms, Huko dėsnis $\Delta l / l = F / (ES)$ tinka tik apytikriai, todėl nukrypimai nuo jo gali siekti 10 %.

3) Nustatykite guminio raiščio tūrį naudodamiesi sekundometru ir padėję ant svarsčių lėkštelės 60 g svarelį. Nurodykite skaičiavimams panaudotas formules.

Priemonės: ant stovo vertikaliai pakabintas guminis raištis (jo pradinis ilgis l_0=150 mm, svarsčių masė 5 g), svarelių nuo 10 iki

100g rinkinys, sekundometras, liniuotė, lekalas ir milimetrinis popierius.

Nurodymas. Laisvojo kritimo pagreitį tarkite esant lygų 10 m/s^2. Į raiščio masę neatsižvelkite.

XIII tarptautinė fizikos olimpiada, 1982 m. (Vokietija)

Teorinės užduotys

54. Liuminescencinė lempa įjungta pagal 24 pav. schemą. Kintamosios įtampos dažnis 50 Hz. Buvo išmatuoti šie dydžiai: tinklo įtampa U = 228,5 V, srovės stipris I = 0,60 A, lempos įtampa U’ = 84 V, droselio aktyvioji varža R_d = 26,3 Ω. Manydami, kad liuminescencinės lempos varža yra aktyvioji, apskaičiuokite:

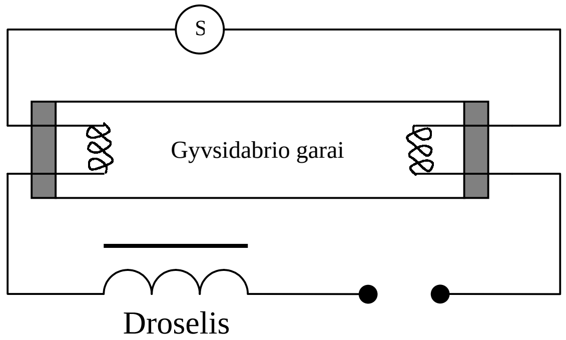
a) Droselio induktyvumą L.

b) Fazių skirtumą tarp įtampos ir srovės φ.

c) Grandinės aktyviąją galią P.

d) Be srovės ribojimo droselis atlieka dar vieną svarbią funkciją. Paaiškinkite kokią.

Nurodymas. Starteryje S yra kontaktas, kuris, įjungus jungiklį, tuoj sujungiamas, paskui atjungiamas ir toliau lieka atjungtas.



24 pav.

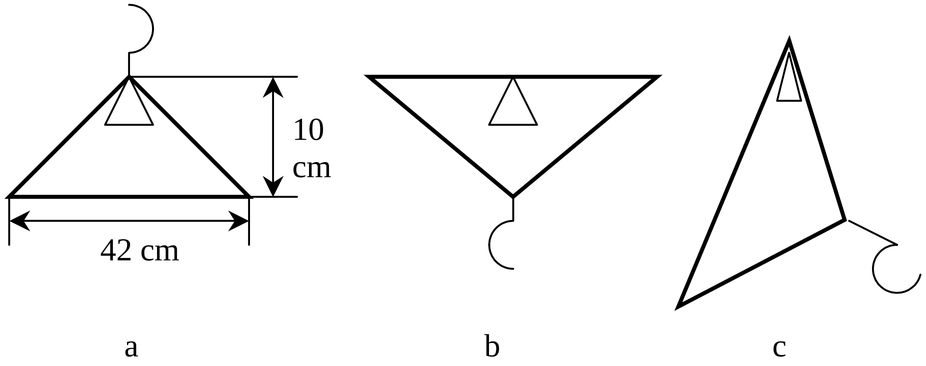
e) Nubraižykite lempos spinduliuojamos šviesos srauto priklausomybės nuo laiko grafiką (laiko skalė kiekybinė).

f) Kodėl lempa dega visą laiką, nors jos įtampa tam tikrais laiko momentais būna lygi nuliui?

g) Naudojant šio tipo liuminescencines lempas nuosekliai su droseliu gali būti įjungiamas apie 4,7 μF talpos kondensatorius. Kokia būtų jo įtaka lempos veikimui ir kokiam tikslui jis kartais esti jungiamas?

h) Pro spektroskopą pažvelkite į abi įrengtos demonstracinės lempos puses. Paaiškinkite abiejų pusių spektrų skirtumus.

55. Vielinė pakaba maža amplitude svyruoja brėžinio plokštumoje apie pusiausvyros padėtis (25 pav.). A ir b atvejais ilgoji kraštinė yra horizontali. Kitos dvi kraštinės yra lygios viena kitai. Visais trimis atvejais (a – c) svyravimų periodai vienodi. Kur yra masių centras ir koks svyravimo periodas?



25 pav.

56. Oro baliono tūris pastovus ir lygus V = 1,10 m^3. Apvalkalo masė m_0 = 0,187 kg. (Į apvalkalo tūrį neatsižvelkite). Balionas turi startuoti esant aplinkos oro temperatūrai t_1 = 20^{0}C ir normaliam atmosferos slėgiui $P_0 = 1{,}013 \cdot 10^5$ Pa. Oro tankis šiomis sąlygomis ρ_1 = 1,2 kg/m^3.

a) Apskaičiuokite, kokia turi būti baliono viduje esančio oro temperatūra t_2, kad balionas būtų laisvai pakibęs ore.

b) Esant lynu pririštam balionui oras jo viduje įkaitinamas iki t_3=110^{0}C. Apskaičiuokite lyną veikiančią jėgą.

c) Tarkime, kad baliono apačioje esanti skylė užrišta (tada oro tankis balione išlieka pastovus). Balionas, kurio viduje esančio oro temperatūra pastovi ir lygi t_3=110^{0}C, kyla esant pastoviai 20^{0}C aplinkinio oro temperatūrai ir slėgiui prie žemės paviršiaus P_0=1,013·10^5 Pa. Kokį aukštį h balionas pasiektų šiomis sąlygomis?

d) h aukštyje esantis balionas (žr. klausimą c) pakeliamas iš pusiausvyros padėties į viršų maždaug per Δh = 10 m, o paskui paleidžiamas. Kokybiškai aprašykite, kaip jis po to judės.

<u>Eksperimentinės užduotys</u>

57. 1) Nustatykite lęšio židinio nuotolį. Paklaida neturi viršyti ± 1%.

2) Nustatykite stiklo, iš kurio padarytas lęšis, lūžio rodiklį. Vandens lūžio rodiklis n_v = 1,33.

Ore esančio plono lęšio židinio nuotoliui F tinka formulė

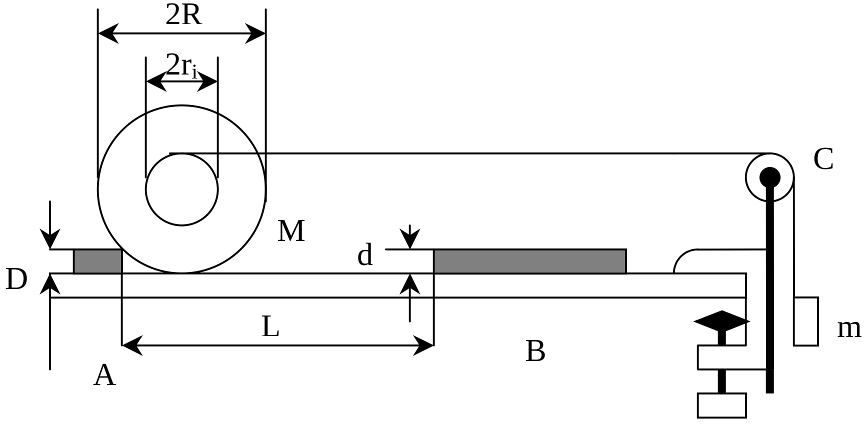
$$\frac{1}{F} = (n-1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right).$$

Čia n – stiklo, iš kurio padarytas lęšis, lūžio rodiklis, r_1 ir r_2 – abiejų laužiančiųjų paviršių kreivumo spinduliai.

Simetriškam abipus iškilam lęšiui $r_1 = - r_2 = r$, o simetriškam abipus įgaubtam lęšiui $r_1 = - r_2 = - r$.

Priemonės: simetriškas abipus iškilas lęšis, plokščiasis veidrodis, liniuotė, pieštukas ir stovas su mova.

58. Riedančio cilindro judėjimas susideda iš sukimosi apie ašį ir horizontalaus slenkamojo judėjimo. Šiame bandyme nustatomas tik slenkamojo judėjimo pagreitis ir jį sąlygojančios jėgos. R spindulio M masės ant horizontalaus paviršiaus gulinčio cilindro tašką, nutolusį nuo ašies atstumu r_i (i = 1,...,6) veikia jėga (žr. 26 pav.). Paleistas cilindras rieda pastoviu greičiu.



26 pav.

Prieš bandymą padėję kartono lakštus pasiekite, kad plokščiasis paviršius būtų horizontalus. Šiam bandymui pakanka, kad nuokrypis nuo horizontalumo neviršytų ± 1 mm vienam ilgio metrui.

a) Eksperimentiškai išmatuokite linijinius cilindro ašies pagreičius a_i ($i = 1,...,6$).

b) Panaudodami išmatuotus pagreičius a_i, apskaičiuokite horizontaliąsias reakcijos jėgas F_i, veikiančias tarp cilindro ir horizontalaus paviršiaus.

c) Grafiškai pavaizduokite F_i priklausomybę nuo r_i. Aptarkite gautuosius rezultatus.

d) Kokią įtaką turėtų paviršiaus, kuriuo rieda cilindras, nehorizontalumas?

e) Aprašykite, kaip būtų galima nustatyti pagalbinius dydžius ir kaip būtų galima papildomai sureguliuoti įrenginį. Nurodykite, kokią įtaką tie dydžiai galėtų daryti eksperimento rezultatams.

Duotos šios vertės:

$R = 5{,}00$ cm, $M = 3{,}275$ kg, $m = 2\times 50{,}0$ g, $D = 1{,}50$ cm, $d = 0{,}10$ mm, $r_1 = 0{,}75$ cm, $r_2 = 1{,}50$ cm, $r_3 = 2{,}25$ cm, $r_4 = 3{,}00$ cm, $r_5 = 3{,}74$ cm, $r_6 = 4{,}50$ cm.

Skaičiuodami neatsižvelkite į trintį ir skridinėlio masę. Trosai su mazgais galuose tvirtinami cilindro išdrožose. Juos reikia įstumti į

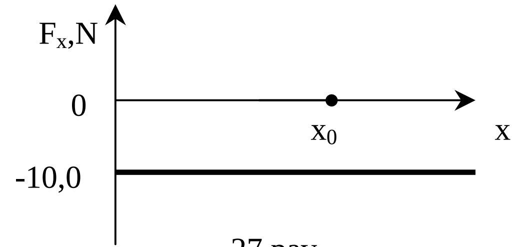
skyles kiek galima giliau. Tam panaudokite kanceliarines sąvaržėles. Atstumai matuojami liniuote, laikas – elektroniniu sekundometru.

XIV tarptautinė fizikos olimpiada, 1983 m. (Rumunija)

Teorinės užduotys

59. dalelė juda išilgai teigiamos pusašis Ox veikiama jėgos $\vec{F}$, kurios projekcija F_x į ašį Ox pateikta 27 pav. ($F_y = F_z = 0$).

Kartu dalelę veikia trinties jėga, kurios modulis $F_{tr}=1{,}00$ N. Koordinačių pradžioje yra idealiai atspindinti sienelė, statmena ašiai Ox. Dalelė startuoja iš taško $x_0=1{,}00$ m turėdama $E_k=10{,}0$ J kinetinės energijos.



27 pav.

1) Apskaičiuokite dalelės nueitą kelią iki visiško jos sustojimo.

2) Grafiškai pavaizduokite dalelės potencinės energijos priklausomybę nuo koordinatės x jėgos lauke F_x.

3) Nubraižykite kokybinį greičio projekcijos v_x priklausomybės nuo koordinatės x grafiką.

60. Kintamosios srovės grandinė (28 pav.) susideda iš idealių $L_1 = 10$ mH ir $L_2 = = 20$ mH induktyvumo ričių, $C_1 = 10$ nF ir $C_2 = 5$ nF talpos kondensatorių ir $R = 100$ kΩ varžos rezistoriaus. Kai grandinė esti sujungta, kintamosios srovės stiprio amplitudė nekinta keičiant minusinės įtampos generatoriaus dažnį (pastovios srovės amplitudės generatorius).

Nustatykite:

a) dažnio ν_m, kuriam esant: grandinėje išsiskirianti aktyvioji galia P_{max} yra didžiausia, santykį su skirtumu dažnių $\Delta\nu = \nu_+ - \nu_-$, kuriems esant aktyvioji galia lygi pusei didžiausios galios P_{max}.

Grandinė išjungiama. Žinoma, kad praėjus laikui t_0 po išjungimo srovės stipriai ritėse L_1 ir L_2 esti lygūs $i_{01} = 0,1$ A ir $i_{02} = 0,2$ A (žr. 28 pav., kuriame parodytos srovių kryptys), o kondensatoriaus C_1 įtampa $U_0 = 40$ V.

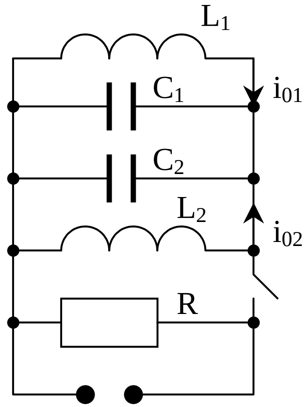
Nustatykite:

b) laisvųjų elektromagnetinių virpesių $L_1C_1C_2L_2$ grandinėje dažnį,

c) srovės stiprį kontūro dalyje AB,

d) virpesių srovės stiprio ritėje L_1 amplitudę.

Nurodymas. Į ričių L_1 ir L_2 abipusį induktyvumą neatsižvelkite.



28 pav.

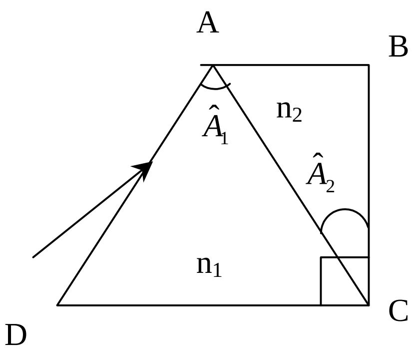
61. Dvi prizmės, kurių laužiamieji kampai $\hat{A}_1 = 60^0, \hat{A}_2 = 30^0$, suklijuotos taip, kaip parodyta 29 pav. (kampas $C = 90^0$).

Prizmių lūžio rodikliai išreiškiami taip:

$$n_1 = a_1 + \frac{b_1}{\lambda^2},$$

$$n_2 = a_2 + \frac{b_2}{\lambda^2}.$$

Čia $a_1 = 1,1$, $b_1 = 10^5$ nm^2, $a_2 = 1,3$, $b_2 = 5\cdot10^4$ nm^2.



29 pav.

1) Koks šviesos bangos ilgis turi būti, kad spinduliai ribą AC pereitų nelūždami esant bet kokiam jų kritimo į sieną AD kampui? Taip pat nustatykite lūžio rodiklių n_1 ir n_2 vertes tam bangos ilgiui.

2) Nubraižykite spindulių eigą prizmių sistemoje trijų bangų ilgių atvejais: $\lambda_r >> \lambda_0$, λ_0 ir $\lambda_v < \lambda_0$, jei kritimo į sieną AD kampas visais atvejais yra toks pat.

3) Apskaičiuokite sistemos mažiausio nuokrypio kampą esant šviesos bangos ilgiui λ_0.

4) Kokiam bangos ilgiui esant spindulys, krintantis į prizmių sistemą lygiagrečiai su pagrindu DC, išeis iš sistemos taip pat lygiagrečiai su pagrindu DC?

62. Fotonas, kurio bangos ilgis λ_i, buvo išsklaidytas judančio elektrono. Po šio akto elektronas sustojo, o fotonas, kurio bangos ilgis λ_0, nukrypo nuo ankstesnio fotono judėjimo krypties kampu $\Theta = 60^0$ kampu. Išsklaidytasis fotonas, susidūręs su kitu nejudančiu elektronu, dar kartą buvo išsklaidytas. Po šio sklaidos akto fotonas, kurio bangos ilgis $\lambda_f = 1,25\cdot10^{-10}$ m, nukrypo nuo fotono su bangos ilgiu λ_0 judėjimo krypties irgi $\Theta = 60^0$ kampu.

Apskaičiuokite pirmojo elektrono de Broilio bangos ilgį. Žinomi dydžiai: Planko konstanta $h = 6,6\cdot10^{-34}$ J·s, elektrono rimties masė $m = 9,31\cdot10^{-31}$ kg, šviesos greitis $c=3,0\cdot10^8$ m/s.

Eksperimentinės užduotys

63. a) Naudodami kiek galint mažiau elektrinių schemų dviem voltmetrais (be varžyno) nustatykite srovės šaltinio elektrovarą (ev).

b) Pasinaudodami voltmetru ir varžynu nustatykite srovės šaltinio ev, jo vidinę varžą ir voltmetro varžą. Patartina tam tikslui pagal eksperimento duomenis nubrėžti du grafikus, atitinkančius teorines tiesines lygtis, ir iš tų grafikų nustatyti ieškomus dydžius.

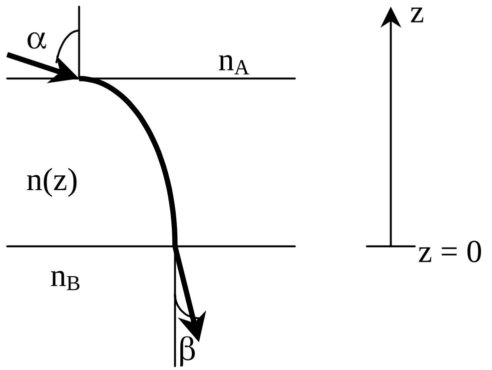
c) Nurodykite matavimo paklaidų šaltinius. Kurie iš jų turi didžiausios įtakos rezultatų tikslumui?

Priemonės: nuolatinės srovės šaltinis, du voltmetrai ir varžynas.

XV tarptautinė fizikos olimpiada, 1984 m. (Švedija)

Teorinės užduotys

64. a) 30 pav. parodyta šviesos spindulio eiga skaidrioje gretasienyje plokštelėje, kurios lūžio rodiklis keičiasi kintant atstumui z. Įrodykite, kad $n_A \sin\alpha = n_B \sin\beta$.



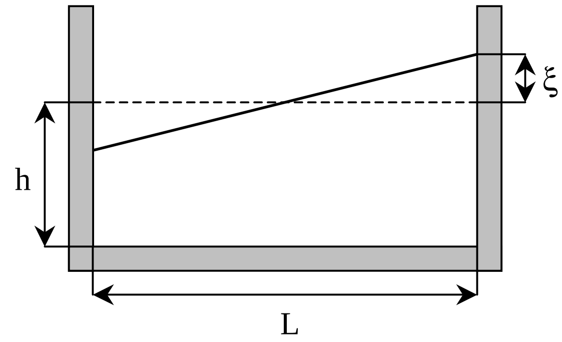
30 pav.

b) Įsivaizduokite, kad jūs stovite didelės plokščios dykumos viduryje. Tolumoje matote kažką panašaus į vandens paviršių. Tačiau kai artinatės prie šio „vandens“, jis vis tolsta nuo jūsų, o atstumas iki „jo“ lieka 250 m. Paaiškinkite šį nepaprastą reiškinį!

c) Apskaičiuokite temperatūrą prie žemės paviršiaus T b) atveju, tarę, kad jūsų galva yra 1,6 m aukštyje virš to paviršiaus. Žinoma, kad oro lūžio rodiklis n_0 esant temperatūrai $T_0 = 15^0$C ir normaliam atmosferos slėgiui lygus 1,000276. Manykite, kad didesniame negu 1 m aukštyje oro temperatūra yra pastovi ir lygi $T_1 = 30^0$C. Slėgis normalus ir lygus 0,1013 MPa. Tarkite, kad (n – 1) yra proporcingas dujų dalelių skaičiaus tankiui.

65. Kai kuriuose (dažniausiai ilguose ir siauruose) ežeruose kartais pastebimas gana neįprastas reiškinys, vadinamas seiša (stovinčiąja banga). Vanduo juose svyruoja lyg arbata stiklinėje, kai ją nešate savo svečiui, esančiam kitame kambario gale.

Seišai sumodeliuoti panaudojama stačiakampė vonelė. Vandens sluoksnio vonelėje aukštis lygus h. Horizontalus vonelės ilgis L. Tarkite, kad iš pradžių vandens paviršius su horizontalia plokštuma sudaro nedidelį kampą. Tada vanduo ims svyruoti, t. y. vandens paviršius išlieka lygus, bet jis svyruoja horizontalaus paviršiaus atžvilgiu. Sumodeliuokite skysčio judėjimą ir išveskite geišos svyravimų periodo išraišką. Pradinės sąlygos duotos 31 pav.



31 pav.

Manykite, kad ξ<< h. Žemiau esančiose lentelėse pateikti vandens svyravimo periodai esant įvairiems jo sluoksnio storiams dviejose skirtingų ilgių vonelėse. Kokiu nors būdu išsiaiškinkite, kiek jūsų išvesta formulė dera su eksperimento duomenimis, ir įvertinkite savo modeliavimo tinkamumą.

32 a, b pav. pateiktos vandens paviršiaus aukščio kitimo priklausomybės nuo laiko t diagramos, išmatuotos dviejose gyvenvietėse, kurios yra priešinguose (pagal ilgį) Vatterno ežero, esančio Švedijoje, krantuose. Ežero ilgis 123km, vidutinis gylis 50 m.
Diagramose nustatykite laiko ašies mastelį ir apskaičiuokite vandens svyravimų periodą.

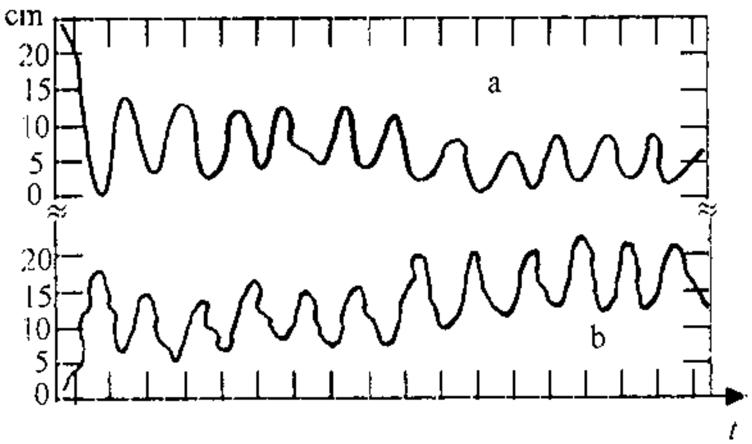
Eksperimento su vonelėmis rezultatai

L = 479 mm

h, mm	30	50	69	88	107	124	142
T, s	1,78	1,40	1,18	1,08	1,00	0,91	0,82

L = 143 mm

h, mm	31	38	58	67	124
T, s	0,52	0,48	0,43	0,35	0,28

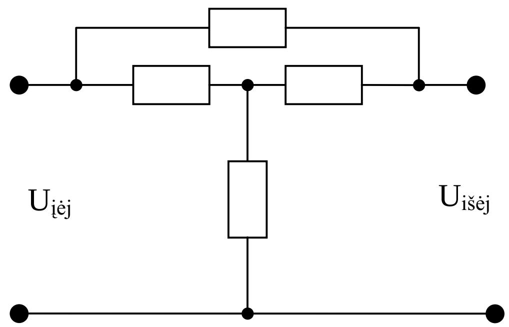


32 pav.

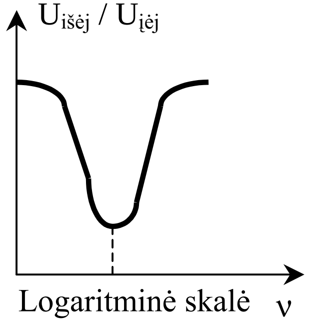
66. Elektrinis filtras turi susidėti iš keturių detalių, sujungtų taip, kaip parodyta 33 pav. Į įtampos šaltinio impedansą galima neatsižvelgti, o apkrovos varžą tarti esant begaline. Filtras turi būti toks, kad santykis $U_{išėj}$ / $U_{įėj}$ nuo srovės dažnio priklausytų taip, kaip parodyta 34 pav. grafike. Esant dažniui ν_0 fazių skirtumas tarp $U_{išėj}$ ir $U_{įėj}$ turi būti lygus nuliui.

Konstruodami filtrą galite pasirinkti keturias iš šių detalių: du 100 kΩ varžos rezistoriai, du 10 nF talpos kondensatoriai, dvi 160 mH induktyvumo ritės (be geležinių šerdžių, o į jų aktyviąsias varžas galima neatsižvelgti).

Nustatykite dažnį ν_0 ir santykį $U_{išėj}$ / $U_{įėj}$ esant šiam dažniui visoms galimoms detalių kombinacijoms.



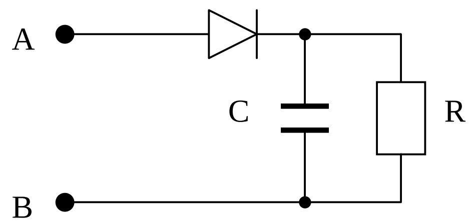
33 pav.



34 pav.

Eksperimentinės užduotys

67. Sumontuokite elektros grandinę pagal 35 pav. schemą.



35 pav.

Eksperimentiškai nustatykite rezistoriuje R išsiskiriančią vidutinę galią, kai prie taškų A ir B prijungtas 0,20 kHz dažnio 2,0 V amplitudinės įtampos (t.y. 4,0 V tarp minimumo ir maksimumo) kintamosios srovės generatorius.

Priemonės: 0,20 kHz dažniui suderintas sinusinių virpesių generatorius, dviejų spindulių oscilografas, milimetrinis popierius, diodas, 0,10 μF talpos kondensatorius, nežinomos varžo rezistorius, montavimo plokštė su gnybtais, jungiamieji laidai.

68. Neoninės lempos spektro geltonoje – oranžinėje – raudonoje srityje matyti keletas linijų. Viena geltona linija yra ypač ryški. Nustatykite šios linijos bangos ilgį. Įvertinkite savo skaičiavimo paklaidą.

Priemonės: neoninė lempa, prijungta prie 220 V kintamosios įtampos šaltinio, lazeris (kurio bangos ilgis nežinomas), difrakcinė gardelė (kurios konstanta nežinoma), optinis mikrometras (stiklinė plokštelė su 1 mm ilgio skale centre, padalyta į 100 dalių), medinė metrinė liniuotė, stovas, spaustukai.

XVI tarptautinė fizikos olimpiada, 1985 m. (Jugoslavija)

Teorinės užduotys

69. Jaunasis radijo mėgėjas palaiko ryšį su dviem merginomis, gyvenančiomis skirtinguose miestuose A ir B. Jis nori įsirengti tokią sistemą, kad galėtų kalbėtis su viena iš tų merginų (pvz., gyvenančia mieste B) ir kad pokalbio negalėtų girdėti antroji mergina (gyvenanti mieste A), ir atvirkščiai. Ta antenų sistema turi susidėti iš dviejų vertikalių antenų, vienodų intensyvumu spinduliuojančių visomis horizontaliomis kryptimis.

Nustatykite, koks turi būti atstumas tarp antenų r, kampas ψ_0 tarp plokštumos, einančios per abi antenas, ir šiaurės krypties, taip pat fazių skirtumas $\Delta\varphi$ tarp antenų spinduliuojamų elektromagnetinių signalų. Atstumas tarp antenų turi būti kiek galima mažesnis.

Skaitinę vertę apskaičiuokite tarę, kad jaunuolio radijo siųstuvo dažnis ν = 27 MHz, o jo antenų sistema bus Portorože. Pagal žemėlapį jaunuolis nustatė, kad kampas tarp krypties į miestą A (Koperį) ir šiaurės krypties $\psi_1 = 72^0$, o tarp krypties į miestą B (Bunę) ir šiaurės krypties $\psi_2 = 157^0$.

70. Iš InSb puslaidininkio padarytas stačiakampio gretasienio formos ilgas strypelis (a > b >> c), kuriuo a briaunos kryptimi teka srovė I. Strypelis yra magnetiniame lauke, kurio srauto tankio vektorius $\vec{B}$ nukreiptas c briaunos kryptimi. InSb krūvininkai yra elektronai, $\vec{E}$ stiprio elektriniame lauke judantys vidutiniu $v = u\,E$ greičiu (u – elektronų jautris). Esant magnetiniam laukui dar reikia atsižvelgti į elektronus veikiančią Lorenco jėgą, todėl šiuo atveju elektrinio lauko stiprio vektoriaus kryptis nėra lygiagreti srovės tekėjimo krypčiai. Šis reiškinys vadinamas Holo efektu.

a) Nustatykite elektrinio lauko stiprio vektoriaus strypelyje modulį ir kryptį.

b) Apskaičiuokite potencialų skirtumą tarp strypelio priešingų sienų briaunos b kryptimi.

c) Išveskite b) punkte nustatyto potencialų skirtumo nuolatinės dedamosios analizinę išraišką, jei srovės stipris ir magnetinio srauto tankis kinta taip: $I = I_0 \sin\omega t,\ B = B_0 \sin(\omega t + \varphi)$.

d) Suprojektuokite (ir paaiškinkite) elektros grandinę, su kuria, panaudojant c) punkte gautą rezultatą, būtų galima išmatuoti į kintamosios srovės grandinę įjungto prietaiso naudojamą galią.

Pasinaudokite šiais duomenimis: InSb elektronų judris u = 7,8 m^2 / (V·s), elektronų skaičiaus tankis n = 2,5·10^{22} m^{-3}, I = 1A, B = 0,1T, b = 1,0cm, c = 1 mm.

71. Kosminio laivo pasiuntimo už Saulės sistemos ribų projekte buvo svarstomos dvi galimybės:

1. Pakankamu ištrūkti iš Saulės sistemos greičiu kosminis laivas paleidžiamas tiesiog iš Žemės orbitos.

2. Kosminis laivas iš pradžių priartėja prie vienos iš tolimesnių nuo Saulės planetų, tos planetos veikiamas pakeičia savo judėjimo kryptį ir įgyja greitį, reikalingą Saulės sistemai palikti.

Galima tarti, kad visais atvejais kosminis laivas juda veikiamas tik saulės arba tik planetos gravitacinio lauko, žiūrint, kuris iš tų laukų yra stipresnis tame taške.

a) Apskaičiuokite mažiausią kosminio laivo greitį v_a ir jo kryptį Žemės orbitinio greičio atžvilgiu, jei būtų įgyvendinamas 1 projektas.

b) Tarkite, kad kosminis laivas buvo paleistas tokia kryptimi, kokia apskaičiuota punkte a), bet kitu greičiu v_b Žemės atžvilgiu. Apskaičiuokite kosminio laivo greitį(t. y. lygiagrečiąją ir statmenąją Marso orbitai dedamąsias) tuo metu, kai jis kirs Marso orbitą. Skaičiuodami manykite, kad tuo metu Marsas yra toli nuo kosminio laivo.

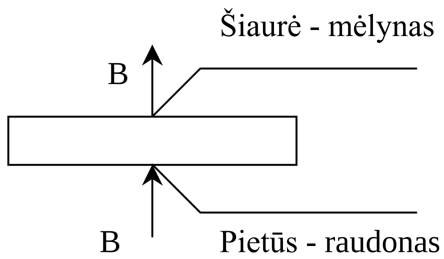
c) Tarkite, kad kosminis laivas pateko į Marso gravitacinį lauką. Apskaičiuokite mažiausią laivo starto iš Žemės orbitos greitį v_c, būtiną, kad laivas išeitų iš Saulės sistemos ribų, prieš tai pabuvojęs Marso gravitaciniame lauke. (Jūsų neturi dominti tiksli Marso padėtis jo sąveikos su laivu metu). *Užuomina:* iš punkto a) rezultatų žinote optimalų greičio dydį ir kryptį, būtinus, kad laivas išeitų iš Saulės sistemos. Paieškokite sąryšio tarp šio greičio ir jo dedamųjų iki laivui patenkant į Marso gravitacijos lauką, ,t. y. dedamųjų, jūsų nustatytų punkte b). Ar išliks nepakitusi kosminio laivo energija?

d) Apskaičiuokite, kokį didžiausią energijos kiekį galima sutaupyti vykdant 2 projektą vietoj 1.

Pastabos: 1) Galima manyti, kad visos planetos skrieja aplink saulę ta pačia kryptimi apskritomis orbitomis, esančiomis vienoje plokštumoje. Į oro pasipriešinimą, Žemės sukimąsi apie savo ašį ir energiją, sunaudojamą išeinant iš Žemės gravitacinio lauko, neatsižvelkite. 2) Žinomos šios skaitinės vertės: Žemės skriejimo aplink Saulę greitis v_0 = 30 km/s, santykis atstumų „Žemė – Saulė“ ir „Marsas – Saulė“ lygus 2/3.

Eksperimentinės užduotys

72. Nustatykite magnetų, paslėptų „juodojoje dėžėje“, centrų padėtį ir orientaciją. Magnetas pavaizduotas 36 pav.



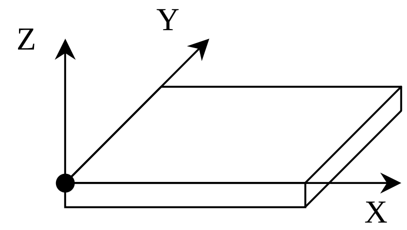
36 pav.

Jo koordinates x, y, z reikia matuoti nuo viršūnės, 37 pav. pažymėtos juodu tašku. Naudodamiesi prieš tai sukalibruota matavimo sistema nustatykite magnetinio srauto tankio vektoriaus $\vec{B}$ dedamąją, esančią XY plokštumoje. Nustatykite didžiausią jūsų magneto sukuriamo magnetinio srauto tankio vertę.

Priemonės: nuolatinis magnetas (toks pat, kaip ir paslėptieji dėžėje), įtampos šaltinis (0 – 24 V), matavimo ritė (1400 vijų, R = 230

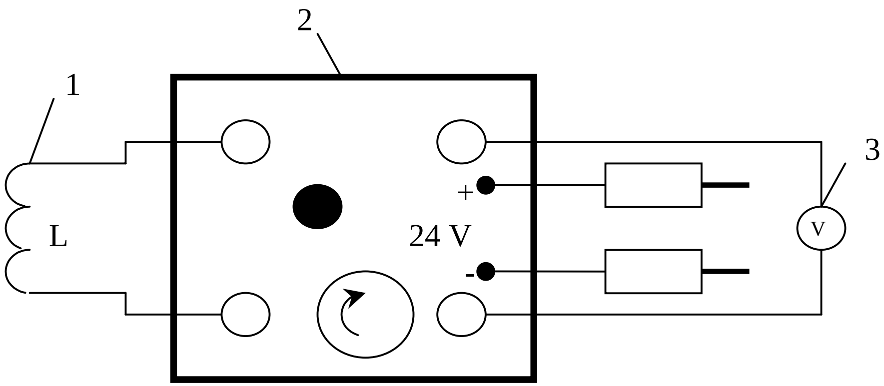
Ω), „juodoji dėžė“ su magnetais, dvi ritės magnetiniam laukui sukurti (8800 vijų kiekvienoje, R = 990 Ω), voltmetras (rekomenduojama naudotis 1 V, 3 V ir 10 V skalėmis), elektroninė schema, ampermetras, kintamoji varža (R_{max} = 3,3 kΩ), jungiamieji laidai, plokštelė su skylėmis ritėms įtvirtinti, guminiai įvairios paskirties žiedai, (pvz., ritėms pritvirtinti), medinės lazdelės (tiems patiems reikalams), liniuotė, siūlai.

Nurodymai. Tyrimams galima naudoti bet kokius magnetams nekenksmingus metodus. Galutiniame atsakyme turi būti pateikti matavimų rezultatai, formulė, grafikai ir piešiniai (pastaruosius galima naudoti vietoj komentarų, kur tai yra tikslinga).



37 pav.

Kaip teisingai naudotis matavimo sistema, parodyta 38 pav. Ritei 1 esant prijungtai per elektroninę schemą 2 prie voltmetro 3, didžiausias voltmetro rodyklės nuokrypis yra proporcingas ritę kertančio magnetinio lauko srauto pokyčiui.



38 pav.

73. Ištirkite kintamosios srovės variklio sukamo varinio disko greitėjimo ir lėtėjimo procesus. Matuodami disko pusės apsisukimo trukmę nustatykite posūkio kampo, kampinio greičio ir kampinio pagreičio priklausomybes nuo laiko. Nustatykite sukamųjų jėgų momento ir variklio galios priklausomybes nuo kampinio greičio.

Priemonės: kintamosios srovės variklis su jungikliu ir variniu disku, indukcinis keitiklis, daugiakanalis sekundometras su kompiuteriu.

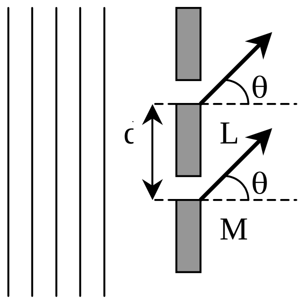
Nurodymai. Indukcinis keitiklis registruoja diske esančių dviejų geležinių strypų judėjimą. Kai tie strypai atsiduria arčiau kaip per 0,5 mm nuo keitiklio, į sekundometrą pasiunčiamas signalas. Sekundometras prijungtas prie kompiuterio, registruojančio ir įsimenančio geležinių strypų priartėjimo prie keitiklio laiką. Norint įjungti sekundometrą reikia paeiliui nuspausti „5“ ir „6“ mygtukus, esančius kompiuterio valdymo pulte.

Kompiuteris pateikia rezultatus grafiškai. Vertikaliojoje ašyje pateikiami laiko intervalai tarp dviejų gretimų geležinio strypo registracijų, horizontalioje – intervalų numeriai.

Paspaudus „7“ mygtuką kompiuteris pateikia matavimo rezultatų lentelę. Pirmajame stulpelyje pateikiamas matavimo numeris, antrajame – laikas, praėjęs nuo matavimo pradžios, trečiajame – laiko intervalai tarp dviejų gretimų geležinio strypo registracijų.

XVII tarptautinė fizikos olimpiada, 1986 m. (Didžioji Britanija)

Teorinės užduotys



39 pav.

74. Plokščioji monochromatinė šviesos banga, kurios bangos ilgis λ ir dažnis ν, statmenai krinta į du vienodus siaurus plyšius L ir M, atstumas tarp kurių d (39 pav.).

Šviesos bangos, išeinančios iš kiekvieno plyšio kampu θ su statmeniu, nuotolyje x >> d laiko momentu t aprašomos lygtimi

$$y = a\cos[2\pi(\nu t - x/\lambda)].$$

Čia a – amplitudė (vienoda abiem bangoms).

1) Įrodykite, kad dviejų bangų, nukrypusių nuo statmens kampu θ, atstojamąją amplitudę A galima apskaičiuoti sudėjus du vektorius, kurių kiekvieno modulis lygus a, o kryptis priklauso nuo šviesos bangos fazės. Pagal vektorių diagramą geometriškai įsitikinkite, kad

$$A = 2a\cos\beta, \text{ čia } \beta = \frac{\pi d \sin\theta}{\lambda}.$$

2) Du plyšiai pakeičiami difrakcine gardele, turinčia N vienodų plyšių, atstumas tarp kurių d. Amplitudžių vektorinės sudėties metodu parodykite, kad kiekvieno vektoriaus pradžia ir galas yra ant apskritimo, kurio spindulys R išreiškiamas lygtimi

$$R = \frac{a}{2\sin\beta}.$$

Čia a – kiekvieno vektoriaus modulis. Įrodykite, kad atstojamoji amplitudė lygi

$$a\frac{\sin N\beta}{\sin\beta},$$

ir apskaičiuokite fazių skirtumą tarp atstojamosios bangos ir į gardelę krintančios bangos.

3) Tame pačiame brėžinyje nubraižykite sinNβ ir 1/sinβ priklausomybių nuo β grafikus. Atskirame grafike parodykite, kaip atstojamosios bangos intensyvumas priklauso nuo β.

4) Apskaičiuokite pagrindinių maksimumų intensyvumą.

5) Įrodykite, kad pagrindinių maksimumų skaičius negali viršyti (2d/λ) + 1.

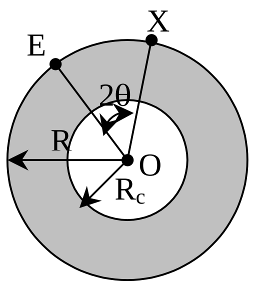
6) Įrodykite, kad dvi bangos, kurių ilgiai λ ir λ + Δλ (čia Δλ << λ), duoda pagrindinius maksimumus, esančius kampiniais atstumais

$$\Delta\theta = \frac{n\Delta\lambda}{d\cos\theta},$$

čia n = $0, \pm 1, \pm 2, ...$

Apskaičiuokite šį kampinį atstumą natrio linijoms, kurių bangų ilgiai λ = 589,0nm, ir λ + Δλ = 589,6 nm, d = $1{,}2\cdot 10^{-6}$ m.

75. Pagal šio amžiaus pradžioje pasiūlytą Žemės modelį Žemė yra R spindulio rutulys, sudarytas iš vienalyčio izotopinio kieto apvalkalo ir skysto R_c spindulio branduolio (40 pav.).



40 pav.

Seisminių išilginių ir skersinių bangų (vadinamų dar p ir S bangomis) greičiai v_p ir v_S apvalkale yra pastovūs. Branduolyje išilginės bangos sklinda greičiu v_{cp}, o skersinės iš viso nesklinda. Žemės drebėjimas, įvykęs Žemės paviršiaus taške E, sukelia seismines bangas, kurios sklinda Žeme ir gali būti užregistruotos stebėtojo, įrengusio savo seismografą bet kuriame Žemės paviršiaus taške X. Kampinis atstumas tarp taškų E ir X EO X = 2θ (čia 0 – Žemės centras).

1) Įrodykite, kad seisminės bangos, tiesiai sklindančios tik apvalkale, tašką X pasieks per laiką t, išreiškiamą formule

$$t = \frac{2R\sin\theta}{v},\ kai\ \theta \le \arccos\frac{R_c}{R}.$$

Čia v = v_p p bangoms ir v = v_S S bangoms.

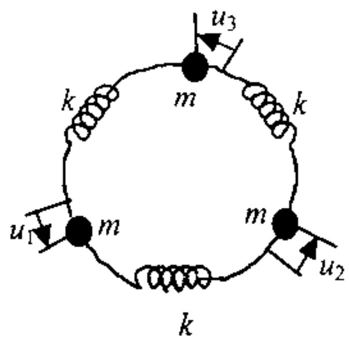
2) Jei taško X padėtis tokia, kad $\theta > \arccos\frac{R_c}{R}$, tai seismines bangos pasieks stebėtoją du kartus lūžusios apvalkalo ir branduolio riboje. Nubraižykite tokios bangos sklidimo trajektoriją. Išveskite sąryšį tarp kampo θ ir p bangos kritimo į apvalkalo ir branduolio ribą kampo i.

3) Pasinaudodami duomenimis: R = 6370 km, R_c = 3470 km, v_p=10,85 km/s, v_S=6,31 km/s, v_{cp}=9,02 km/s ir 2) punkte gautais rezultatais nubraižykite θ priklausomybės nuo i kokybinį grafiką. Aptarkite šios priklausomybės fizikinius darinius įvairiuose Žemės paviršiaus taškuose esantiems stebėtojams. Nubraižykite p ir S bangų sklidimo tarp taškų E ir X trukmės priklausomybės nuo kampo θ grafikus, kai $0 \le \theta < 90^0$.

4) Įvykus Žemės drebėjimui stebėtojas nustatė, kad S banga jį pasiekė 2 min 11s vėliau negu p banga. Pasinaudodami 3) punkto rezultatais nustatykite Žemės centro atžvilgiu išmatuotą kampinį atstumą tarp Žemės drebėjimo taško ir stebėtojo.

5) Stebėtojas, atlikęs 4) punkte aprašytą stebėjimą, nustatė, kad praėjus tam tikram laikui po to, kai jį pasiekė p ir S bangos, jo seismografe atsirado dar du įrašai, kuriuos vieną nuo kito skiria 6 min 37 s laiko intervalas. Paaiškinkite šį rezultatą ir patikrinkite, ar iš tikrųjų tai susiję su 4) punkte nustatytu kampiniu atstumu.

76. Trys m masės dalelės, viena su kita sujungtos tampriomis neįtemptomis spyruoklėmis, kurių kiekvienos standumas k, yra pusiausvyros padėtyse (41 pav.). Dalelės gali judėti tik apskritimu.



41 pav.

1) Kiekviena dalelė iš pusiausvyros padėties atlenkiama nedideliais atstumais u_1, u_2 ir u_3. Užrašykite kiekvienos dalelės judėjimo lygtis. Į spyruoklės masę neatsižvelkite.

2) Įrodykite, kad sistemoje galimi harmoniniai svyravimai, aprašomi lyg-

timi

$$u = a_n \cos\omega t \ (n = 1, 2 \text{ ir } 3).$$

Čia a_n – pastovios amplitudės. Taip pat įrodykite, kad svyruojančių dalelių pagreičiai lygūs - ω^2 u, o kampinio dažnio ω galimos dvi vertės: 0 ir $\omega_0\sqrt{3}$. Čia $\omega_0^2 = k/m$.

3) Sistemos dalelių ir spyruoklių skaičius padidinamas iki N. Kiekviena dalelė išlieka sujungta spyruoklėmis su dviem kaimynėmis. Iš pradžių spyruoklės neįtemptos, dalelės pusiausviros. Užrašykite n – tosios dalelės judėjimo lygtį (n = 1, 2, 3,..., N), į kurią įeitų n – tosios dalelės ir kaimyninių dalelių poslinkiai iš pusiausvyros padėčių. Įrodykite, kad sprendinys

$$u_n(t) = a_s \sin(2ns\pi / N + \varphi)\cos\omega_s t$$

(čia s = 1, 2,..., N, n = 1, 2,..., n, φ - neapibrėžta fazė) tenkina judėjimo lygtį, jei kampinis dažnis yra

$$\omega_s = 2\omega_0 \sin(s\pi / N).$$

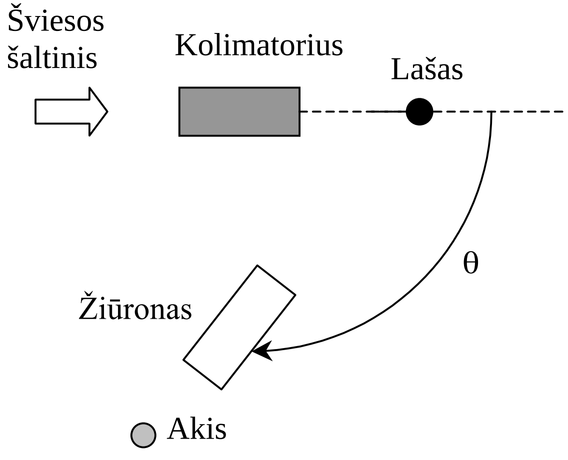
Čia a_s (s = 1, 2,..., N) – pastovios, nepriklausančios nuo n, amplitudės. Nurodykite galimų dažnių intervalą, jei grandinėje būtų be galo daug dalelių.

4) Nustatykite u_n / u_{n+1} santykį esant dideliems N šiais dviem atvejais: a) mažų dažnių sprendiniai, b) $\omega = \omega_{max}$, čia ω_{max} – didžiausio dažnio sprendinys. Grafiškai pavaizduokite dalelių išsidėstymą grandinėje laiko momentu t a) ir b) atvejais.

5) Viena iš dalelių pakeičiama kita, kurios masė m’ << m. Įvertinkite, kokių esminių pokyčių dėl to reikia laukti kampinių dažnių pasiskirstyme. Kokybiškai aprašykite dažnių spektro pobūdį, jei grandinė būtų sudaryta iš pakaitomis einančių m ir m’ masių dalelių.

77. Patyrinėkite vandens pirmos, antros ir penktos eilių vaivorykštes ir skysčių A ir B pirmos ir antros eilių vaivorykštes. Nustatykite šių vaivorykščių raudonųjų ribų kampus θ (42 pav.).

Apskaičiuokite nuokrypio kampus φ, kuriais pasisuka krintantis šviesos spindulys, kai jis du kartus lūžta ir k kartų atsispindi nuo vandens lašo vidinių paviršių, imdami k = 1, 2, 5 (k – vaivorykštės eilė). Nubraižykite φ(k) priklausomybės grafiką. Nustatykite skysčių A ir B antros eilės vaivorykščių φ. Nubraižykite visų trijų skysčių cos(φ/6) priklausomybės nuo 1/n grafikus. Įdėkite papildomą tašką, kai n = 1. Per tačkus išveskite kiek galima tikslesnę tiesę, išmatuokite jos polinkį ir dydį φ, kai n=2. Skysčių lūžio rodikliai žinomi: n_{vand}=1,333, n_A=1,467, n_B=1,534.



42 pav.

Priemonės: spektroskopas, trys švirkštai, indas su vandeniu ir du mėgintuvėliai su skysčiais A ir B, trys indai skysčiam surinkti, šviesos šaltinis, juodas kartonas, plastilinas, juoda juosta, du plastikiniai kvadratai su angomis, milimetrinis popierius.

Nurodymas. Kolimatorių suderinkite lygiagrečių spindulių pluoštui gauti. Išimkite okuliarą iš žiūrono ir prie abiejų žiūrono galų guminiais žiedais pritvirtinkite plastikinius kvadratus su angomis. Panaudodami švirkštą „pakabinkite“ skysčio lašą spektroskopo stovo centre taip, kad jis visas būtų kolimatoriaus šviesos pluošte ir gerai matytųsi pro žiūroną. Du lūžimai ir k atspindžiai nuo lašo vidinio paviršiaus centrinėje horizontaliojoje lašo srityje duoda dispersijos serijas (vaivorykštes).

78. *Priemonės:* kompiuteris, milimetrinis popierius (10 lapų).

Nurodymai. Kompiuteris užprogramuotas dvimatės sistemos, susidedančios iš 25 sąveikaujančių dalelių XY plokštumoje, Niutono judėjimo lygtims spręsti. Sistema apribota „dėže“ ir pradiniu momentu sudaro tvarkią dvimatę „gardelę“. Visos „gardelę“ sudarančios dalelės yra vienodos. Sistemai evoliucionuojant dalelių padėtys ir greičiai kinta. Jei dalelė išlekia už „dėžės“ ribų, programa sukuria naują dalelę ir įleidžia ją į „dėžę“ iš priešingos pusės. Naujosios dalelės greitis lygus išlėkusios dalelės greičiui. Taigi dalelių skaičius „dėžėje“ nekinta. Dviejų dalelių i ir j, atstumas tarp kurių R_{ij}, sąveika apibūdinama potencialu U_{ij}.

Kad būtų paprasčiau skaičiuoti, naudojami bemačiai dydžiai. Jie gaunami įprastus dydžius dalijant iš sistemos būdingųjų parametrų. Bemačiai dydžiai čia taip pažymėti: R^* - atstumas, v^* - greitis, t^* - laikas, E^* - energija, $m^* = 48$ – dalelės masė, U_{ij}^* - potencialas, $(1/2)m^*v^{*2}$ – kinetinė energija. Programa duoda galimybę nagrinėti būsenas laiko momentais $t^* = s\,\Delta t^*$, čia $\Delta t^* = 0{,}100000$, s = 0, 1, 2,... ir pateikti ekrane dydžius:

$$\frac{1}{25}\sum_{i=1}^{25}(v_{ix}^*)^n, \qquad \frac{1}{25}\sum_{i=1}^{25}(v_{iy}^*)^n,\ n=0,1,2;$$

$$\frac{1}{25}\sum_{i=1}^{25}\sum_{j=1}^{25}U_{ij}^*,\ \frac{1}{25}\sum_{i=1}^{25}(x_i^*(s)-x_i^*(sR))^2;$$

$$\frac{1}{25}\sum_{i=1}^{25}(y_i^*(s)-y_i^*(sR))^2.$$

(Dėl patogumo kompiuteris duoda priklausomybes ne nuo s, o nuo sZ = s – sR, čia sR – užduodamas laiko parametras). Be to, galima nagrinėti molekulių greičių pasiskirstymo dėsningumus, gauti

lentelę su skaičiais ΔN dalelių, judančių greičiais iš nurodyto intervalo.

Užduotys: 1) Patikrinkite, kad suminis sistemos impulsas nekinta, imdami s = 0, 40, 80, 120, 160. Koks skaičiavimo tikslumas?

2) Nubraižykite sistemos kinetinės energijos priklausomybės nuo laiko grafiką, kai s = 0, 2, 4, 6, 12, 18, 24, 30, 50, 70, 90, 130, 180.

3) Tą patį, kaip ir 2) punkte, atlikite potencinei energijai.

4) Apskaičiuokite suminę sistemos energiją su 2) punkte nurodytomis s vertėmis. Ar sistemos energija nekinta? Kokiu tikslumu apskaičiuojama suminė sistemos energija?

5) Pradiniu s = 0 momentu sistema nėra termodinaminėje pusiausvyroje. Per tam tikrą laiką sistema pasiekia termodinaminės pusiausvyros būseną, o suminė bematė kinetinė energija fliuktuoja aįie vidutinę vertę E_k^*. Nustatykite E_k^* vertę, taip pat ir laiką, per kurį sistema pasiekia pusiausvyrą.

6) Pasinaudodami dalelių skaičiaus ΔN pasiskirstymo pagal greičius rezultatais (esant termodinaminei pusiausvyrai) nubraižykite ΔN priklausomybės nuo bemačio greičio histogramą. Patikrinkite sąryšį

$$\Delta N = A\exp(-24v^{*2}/\alpha),$$

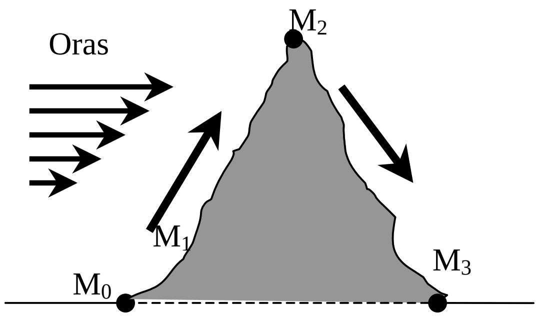
čia N ir α - konstantos. Nustatykite α skaitinę vertę.

7) Sistemai esant termodinaminėje pusiausvyroje apskaičiuokite R^2 vidurkį $\langle R^2 \rangle$. Čia R – atstumas tarp dalelės padėties pradiniu laiko momentu (t. y. esant tam tikrai pasirinktai sR vertei) ir kitu laiko momentu s. Laiko trukmės sZ = s – sR įgyja vertes 0, 2, 4, ..., 24. Nubraižykite $\langle R^2 \rangle$ priklausomybės nuo sZ grafiką atitinkamame sR verčių intervale. Tiesinėje srityje apskaičiuokite funkcijos gradientą ir nurodykite laiko intervalą, kuriame šis gradientas turi prasmę. Grafiko tikslumui padidinti pakartokite skaičiavimus su trimis papildomomis sR vertėmis ir apskaičiuokite keturių duomenų rinkinių $\langle R^2 \rangle$, taip pat ir gradientų ir laiko inertvalų vidurkius. Nustatykite ir pagrįskite, kokioje agregatinėje būsenoje (skystoje ar kietoje) yra sistema esant pusiausvyrai.

XVIII tarptautinė fizikos olimpiada, 1987 m. (Vokietija)

Teorinės užduotys

79. Kalnagūbrį adiabatiškai apteka drėgnas oras (43 pav.).



43 pav.

Meteorologijos stotys M_0 ir M_3 įregistravo oro slėgį p_0=100 kP, stotis M_2–p_2=70 kPa. Oro temperatūra stotyje M_0 buvo t_0=+20^{0}C. Orui kylant į kalną, kai slėgis pasidaro p_1=84,5 kPa, pradeda susidaryti debesys (taškas M_1). Toliau kildamas oras, kuriame vyksta vandens garų kondensacija (oro masė, esanti virš kiekvieno paviršiaus kvadratinio metro, lygi 2000 kg), kalnagūbrio viršūnę (stotį M_2) pasiekia per 1500 s. Šio proceso metu iš kiekvieno kilogramo krituliais (lietumi) iškrinta m = 2,45 g vandens.

1) Kokia yra debesų sluoksnio apatinės ribos temperatūra T_1?

2) Kokiame aukštyje h_1 virš stoties M_0 yra apatinė debesų riba, jei daroma prielaida, kad oro tankis didėjant aukščiui mažėja teisiškai?

3) Kokia yra temperatūra T_2 kalnagūbrio viršūnėje?

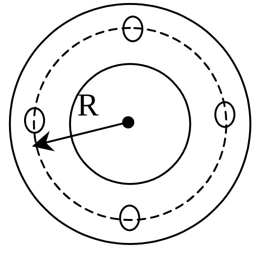
4) Kokio aukščio vandens stulpelis susidaro iš kritulių per 3 valandas? Garų kondensacijos sąlygas srityje nuo M_1 iki M_2 tarkite esant vienodas.

5) Kokia yra temperatūra T_3 už kalnagūbrio esančioje stotyje M_3? Palyginkite oro būsenas stotyse M_3 ir M_0.

Nurodymai ir duomenys. Į orą žiūrėkite kaip į idealias dujas. Vandens garų įtakos oro savitajai šilumai ir tankiui, taip pat ir savitosios garavimo šilumos priklausomybės nuo temperatūros nepaisykite. Temperatūrą nurodykite 1 K tikslumu, debesų apatinės ribos aukštį – 10 m tikslumu, kritulių stulpelio aukštį – 0,1 mm tikslumu.

Oro savitoji šiluma mus dominančių temperatūrų intervale c_p = 1005 J / (kg·K), oro tankis stotyje M_0 esant slėgiui p_0 ir temperatūrai T_0 - ρ_0 = 1,189 kg / m^3, vandens savitoji garavimo šiluma debesyse – q_v = 2500 kJ / kg, c_p / c_v = χ = 1,4, g = 9,81 m/s^2.

80. Iš taškinio šaltinio P išlėkęs elektronų pluoštelis įlekia į toroido formos ritės magnetinį lauką $\vec{B}$ išilgai lauko linijų (44 pav.).



44 pav.

Kampas $2\alpha_0$, kuriame telpa pluoštelis, labai mažas (α_0 << 1). Pagreitinti įtampa U_0 elektronai įlekia į toroidą ties jo vidutiniu spinduliu R. Tarkite, kad $\vec{B}$ modulis yra pastovus. Į elektronų tarpusavio sąveiką pluoštelyje neatsižvelkite.

1) Norint, kad pluoštelis judėtų išilgai totoido lauko linijų, reikia sudaryti elektronus atlenkiantį vienalytį $\vec{B}_1$ srauto tankio magnetinį lauką. Apskaičiuokite $\vec{B}_1$ elektronui, judančiam toroide apskrita R spindulio trajektorija.

2) Apskaičiuokite toroido magnetinio lauko, fokusuojančio elektronų pluoštelį keturiuose taškuose, tarp kurių kampinis atstumas lygus π/2 (žr. rutuliukus 44 pav.), srauto tankio modulį B.

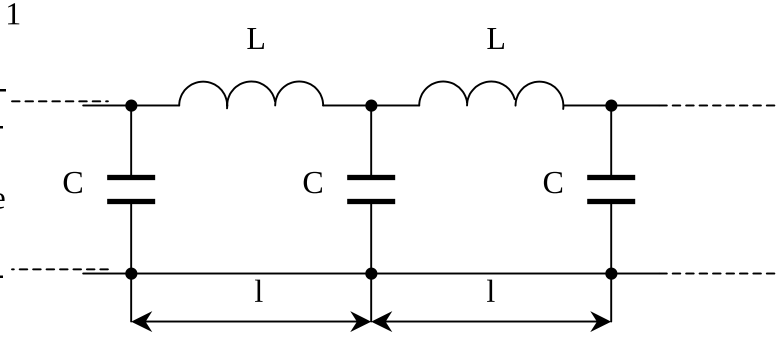
Nurodymas: nagrinėdami trajektorijas į magnetinio lauko linijų kreivumą neatsižvelkite.

3) Nesant atlenkiančio lauko $\vec{B}_1$ elektronų pluoštelis nepasilieka toroide, o išlekia iš jo dreifuodamas statmenai toroido plokštumai. Įrodykite, kad radialinis elektronų nuokrypis nuo įlėkimo spindulio R yra baigtinis. Nustatykite dreifo greičio kryptį.

Nurodymas: į pluoštelio prasiskyrimo kampą šiuo atveju neatsižvelkite. Pasinaudokite energijos ir impulso tvermės dėsniais.

Duomenys: e / m = 1,76·10^{11} C / kg, U_0 = 3 kV, R = 50 mm.

81. Sinusiniams srovės stiprio ir įtampos virpesiams sklindant begaline L – C grandine (45 pav.) dviejų gretimų grandžių kondensatorių įtampų fazės skiriasi pastoviu dydžiu φ.



45 pav.

1) Nustatykite φ priklausomybę nuo ω, L ir C (ω - kampinis virpesių dažnis).

2) Nustatykite bangų sklidimo greitų, jeigu kiekvienos grandies ilgis lygus l.

3) Kokiai sąlygai esant virpesių sklidimo greitis silpnai priklauso nuo ω ir kam lygi to greičio vertė tuo atveju?

4) Pasiūlykite paprastą mechaninį modelį, analogišką anksčiau aprašytai elektrinei grandinei, ir išveskite lygtis, pagrindžiančias šią analogiją.

Pagalbinės formulės:

$$\cos\alpha - \cos\beta = -2\sin\left(\frac{\alpha+\beta}{2}\right)\sin\left(\frac{\alpha-\beta}{2}\right),$$

$$\sin\alpha - \sin\beta = 2\cos\left(\frac{\alpha+\beta}{2}\right)\sin\left(\frac{\alpha-\beta}{2}\right).$$

Eksperimentinės užduotys

82. Nustatykite prizmės ir skysčio lūžio rodiklius.

1) Naudodami tik vieną prizmę dviem skirtingais būdais nustatykite jos lūžio rodiklį n_1. Nupieškite darbo schemą ir pagal ją išveskite formules lūžio rodikliui apskaičiuoti.

Priemonės: prizmė, kurios kampai 30^0, 60^0 ir 90^0, milimetrinis popierius, liniuotė, baltas popierius.

2) Panaudodami dvi vienodas tokias prizmes nustatykite skysčio lūžio rodiklį n_2, žinodami, kad $n_2>n_1$. Nupieškite darbo schemą ir pagal ją išveskite formules lūžio rodikliui apskaičiuoti.

Priemonės: dvi prizmės, kurių kampai 30°, 60° ir 90°, milimetrinis popierius, liniuotė, baltas popierius, Petri indas, apvalus padėklas, skystis, formulė

$$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin\alpha\cos\beta \pm \cos\alpha\sin\beta$$

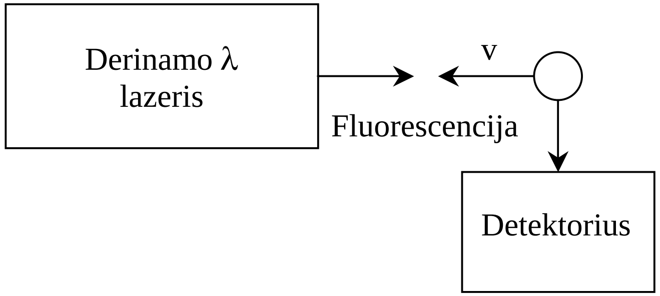
XIX tarptautinė fizikos olimpiada, 1988 m. (Austrija)

Teorinės užduotys

83. Greičio nustatymas panaudojant Dolerio efektą. Fotonų spinduliavimo ir sugertiems procesai yra grįžtamieji, todėl fotoną sugėręs atomas netrukus gali jį vėl savaime išspinduliuoti (fluorescencija). Šis reiškinys panaudojamas šiuolaikiniuose dalelių registravimo ir identifikavimo metoduose, taip pat atominių dalelių greičių spektroskopijoje.

Idealiame eksperimentiniame įrenginyje (46 pav.) dalelės (vieną kartą jonizuoti jonai) greičiu v juda prieš kintamo bangos ilgio lazerio spindulį.

Nejudančios dalelės (v = 0) gali būti sužadinamos λ_0 = 600 nm bangos ilgio spinduliais. Pagal Dolerio principą judančioms dalelėms sužadinti reikia kitokio bangos ilgio, todėl lazerį reikia suderinti kitam bangos ilgiui $\lambda(v)$. Jonų greičių spektras intervale nuo $v_1 = 0$ iki $v_2 = 6000$ m/s duotas 47 pav.



46 pav.

1) Pasinaudodami klasikiniu Doplerio efektu nustatykite, koks turi būti lazerio spindulių bangos ilgių intervalas, kad būtų sužadinamos visos dalelės. Kokybiškai pavaizduokite sugeriamų fotonų skaičiaus pasiskirstymo priklausomybę nuo lazerio bangos ilgio.

Norint tiksliau apskaičiuoti reikia naudotis reliatyvistine formule

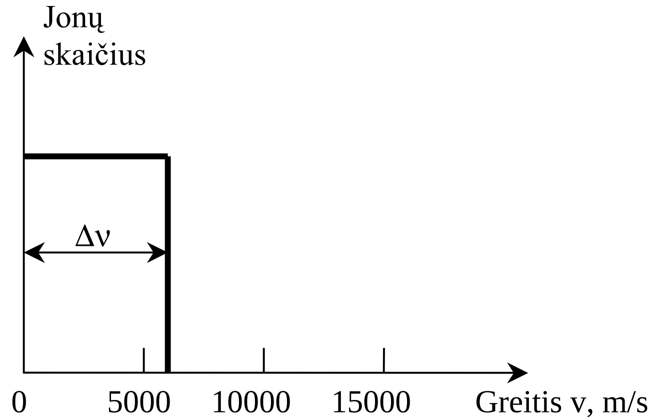
$$v' = v\sqrt{\frac{1+v/c}{1-v/c}}.$$

Įvertinkite, kokia paklaida daroma naudojantis klasikiniu artutinumu.

2) Tarkime, kad jonai prieš juos sužadinant pagreitinami elektriniu lauku, esant įtampai U. Koks yra kiekybinis sąryšis tarp greičių spektro pločio Δv ir greitinančios įtampos U? Padidėja ar sumažėja dalelių greičių spektro plotis jas greitinant?

3) Jonas, kurio krūvio ir masės santykis $e/m = 4{\cdot}10^6$ C/kg, gali būti sužadintas dviejų bangų ilgių $\lambda_1 = 600$ nm ir $\lambda_2 = \lambda_1 + 10^{-3}$ nm fotonais. Įrodykite, kad du lazerio spektro bangų ilgių intervalai persidengia žadinant visus jonus. Ar galima dviejų lygmenų žadinimo

spektrus išskirti, pagreitinant jonus elektriniu lauku, esant įtampai U? Jei taip, nustatykite mažiausią įtampos vertę.



47 pav.

84. Maksvelio diskas. Vienalytis cilindrinis diskas (masė M = 0,40 kg, spindulys R = 0,060 m, storis d = 0,010 m) pakabintas ant dviejų prie jo ašies (spindulys r) pritvirtintų vienodo ilgio siūlų. Į siūlų masę ir storį, taip pat į ašies masę galima neatsižvelgti. Vyniojant siūlus sunkio centras pakeliamas į H = 1,0 m aukštį, paskui diskas paleidžiamas (48 pav.). Pasiekęs žemiausią padėtį diskas vėl ima kilti. Manydami, kad taškai A ir P visą laiką išlieka toje pačioje vertikalėje (49 pav.), atsakykite į šiuos klausimus:

1) Kokį kampinį greitį įgyja diskas, kai jo sunkio centras būna nuėjęs kelią s?

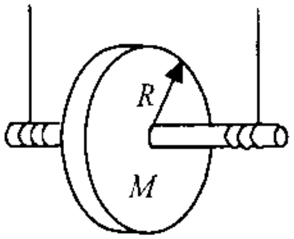
2) Kokią slenkamojo judėjimo kinetinę energiją turi diskas, kai jo sunkio centras būna nuėjęs s = 0,50 m kelią? Kaip ši energija santykiauja su kitų rūšių energijomis, jei ašies spindulys r = 0,0030 m?

3) Kokio dydžio įtempimo jėga veikia kiekvieną iš dviejų siūlų leidžiantis diskui?

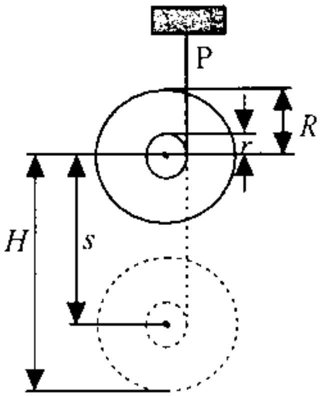
4) Kylant diskui nustatykite jo kampinio greičio priklausomybę nuo posūkio kampo φ (50 pav.). Nustatykite (bent kokybiškai) disko

sunkio centro poslinkio ir greičio dedamųjų Dekarto sistemoje priklausomybę nuo kampo φ.

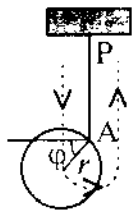
5) Mažiausia įtempimo jėga, kuriai esant siūlas nutrūksta, yra $T_{min} = 10$ N. Iš kokio didžiausio aukščio galima leisti diską, kad jam kylant siūlas dar nenutrūktų?



48 pav.



49 pav.



50 pav.

85. Rekombinacijos procesai dujiniame išlydyje. Dujinio išlydžio aukštosios temperatūros plazmoje yra (Z – 1) kartą jonizuoti atomai, kurių branduolyje yra Z protonų. Šiuos atomus žymėkime $A^{(Z-1)+}$.

1) Nagrinėkime atvejį, kai vienintelis atomo $A^{(Z-1)+}$ elektronas yra pagrindinėje būsenoje. Šioje būsenoje elektrono atstumo nuo branduolio kvadrato r_0^2 vidurkį apibrėšime kaip jo koordinačių neapibrėžtumų kvadratų $(\Delta x)^2$, $(\Delta y)^2$, $(\Delta z)^2$ sumą. Elektrono impulso kvadrato P_0^2 vidurkį apibrėšime kaip impulso projekcijų į koordinačių ašis neapibrėžtumų kvadratų $(\Delta P_x)^2(\Delta P_y)^2(\Delta P_z)^2$ sumą. Kokią nelygybę tenkina sandauga $(P_0^2)\cdot(r_0^2)$?

2) $A^{(Z-1)+}$ jonas gali pagauti antrą elektroną šio proceso metu išspinduliuodamas fotoną. Užrašykite lygtis, nusakančias šių spindulių dažnį. (Dažnių skaičiuoti nereikia).

3) Apskaičiuokite $A^{(Z-1)+}$ vidinę energiją žinodami, kad pagrindinėje būsenoje ji yra mažiausia. Skaičiuodami padarykite šias prielaidas: a) elektrono potencinės energijos išraiškose imkite $r = r_0$ iš 1) klausimo, b) kinetinės energijos išraiškose impulso kvadrato P_0^2 vidurkį skaičiuokite iš apytikslės lygybės $(P_0^2)\cdot(r_0^2) = \hbar^2$.

4) Panašiu būdu apskaičiuokite $A^{(Z-1)+}$ sistemos, atsiradusios vykstant rekombinacijai, pagrindinės būsenos energiją. Vidutinius elektronų atstumus nuo branduolio pažymėkite r_1 ir r_2 (analogiškai 3) klausimo r_0). Galite tarti, kad atstumas tarp elektronų lygus $r_1 + r_2$. Kiekvieno impulso kvadrato vidutinė vertė tenkina neapibrėžtumo sąryšį $(P_1^2)\cdot(r_1^2) = (P_2^2)\cdot(r_2^2) = \hbar^2$.

Nurodymas. Pasinaudokite tuo, kad atomo pagrindinės būsenos energija esti mažiausia, kai $r_1 = r_2$.

5) Kokiai Z vertei esant rekombinacijos metu išspinduliuojamas fotonas, kurio dažnis $\omega_0 = 2{,}5\cdot10^{17}$ rad/s? Kokios medžiagos yra šis jonas?

Pastaba. Šiame punkte nagrinėkite tik pagrindinėje būsenoje esančio jono rekombinaciją su nejudančiu elektronu.

Eksperimentinės užduotys

86. Poliarizuotoji šviesa. *Priemonės:* kaitinamoji lempa su stovu, 3 mediniai rėmeliai su anga, 2 stiklinės plokštelės (1 stačiakampė, 1 kvadratinė), poliarizacinė plėvelė (apskrita), raudonos plėvelės lapas, lipnios juostos ritinėlis, celofano (skaidraus) lapas, 6 lipdukai (balti), juodo popieriaus lapas, milimetrinio popieriaus lapas, braižymo trikampis, flomasteris (labai plonas, juodas), 2 pieštukai (kietas ir vidutinio kietumo), drožtukas, trintukas, žirklės.

1) Stebėdami šviesos atspindį nuo stačiakampės stiklinės plokštelės paviršiaus nustatykite poliarizacinės plėvelės pralaidžiąją kryptį (praeinančios šviesos elektrinio vektoriaus virpesių kryptį). Ta kryptimi ant plėvelės nubrėžkite tiesę (kaip galima tiksliau).

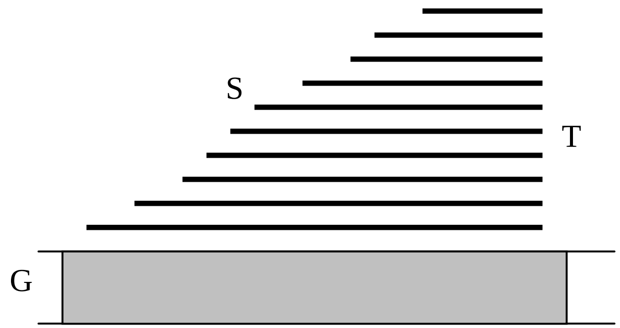
Ant milimetrinio popieriaus lapo paruoškite stačiakampės plokštelės lūžio rodiklio matavimo schemą. Žinoma, kad nepoliarizuotai šviesai atsispindint nuo stiklo paviršiaus didžiausia atsispindėjusios šviesos poliarizacija esti, kai tenkinama sąlyga tgi = n, čia i – spindulio kritimo kampas, n – stiklo lūžio rodiklis. Milimetriniame popieriuje nubraižykite visų naudojamų detalių stačiakampes projekcijas (jų kontūrus apibrėžkite pieštuku). Pažymėkite matuojant naudotus svarbiausius taškus ir tieses. Nustatykite stiklo lūžio rodiklį.

2) Sustatykite poliariskopą (prietaisą poliarizacijai stebėti). Poliariskopu turi būti galima tiesiai poliarizuotoje šviesoje, esant statmenam jos kritimui, stebėti medžiagas, pasižyminčias dvejopu šviesos laužimu. Šviesos spindulys tokiose medžiagose suskyla į dvi dalis su tarpusavyje statmena poliarizacija. Tie du spinduliai sklinda skirtingais greičiais. Nubraižykite įrenginio schemą ir paaiškinkite jo veikimo principą.

Įdėkite bespalvio celofano lapą į poliariskopą, nustatykite per jį praėjusios šviesos poliarizacijos plokštumų padėtis ir jas pažymėkite. Popieriaus lape nubraižykite tieses, lygiagrečiai su poliarizacijos plokštumomis. Trumpai paaiškinkite savo stebėjimų rezultatus (jums galėtų padėti piešinys) ir aprašykite poliarizacijos plokštumų nustatymo būdą.

3) Ant stiklinės plokštelės laiptuotai pripilkite 10 sluoksnių lipnios juostos, kaip parodyta 51 pav. (G – kvadratinė stiklinė plokštelė, T – 10 sluoksnių lipnios juostos, S – 3 – 4 mm pločio lapeliai). Žiūrėkite, kad visų sluoksnių orientacija būtų ta pati! Padėkite šį bandinį ant poliariskopo. Aprašykite, kokios turi būti sąlygos, kad matytųsi spalvos. Kokiu būdu jas galima keisti? Trumpai paaiškinkite savo stebėjimus.

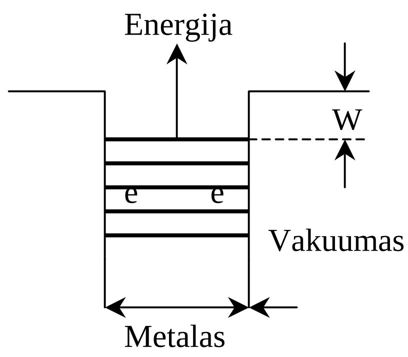
„Monochromatinę“ šviesą praleiskite pro filtrą, padarytą iš dviejų raudonos plėvelė sluoksnių. Pažymėkite lipnios juostos sluoksnius (laiptelius S), duodančius galimybę nustatyti dviejų 2) punkte minėtų išskirtų spindulių eigos skirtumą. Įvertinkite vieno lipnios juostos sluoksnio sąlygojamo eigos skirtumo raudonai šviesai skaitinę vertę.



51 pav.

4) Poliariskopu ištirkite braižymo trikampio centrinę dalį. Aprašykite pačius svarbiausius optinius reiškinius. Paaiškinkite stebėjimų rezultatus, padarykite iš jų išvadas apie medžiagos fizikinę būseną ir galimas trikampių gamybos ypatybes, sąlygojančias šią būseną. Nubraižykite scheminį brėžinį.

87. Termoelektroninė emisija. Išlaisvinimo darbo nustatymas. Metaluose elektronai esti „potencialo duobėje“, iš kurios jie negali išeiti esant normalioms sąlygoms (52 pav.), netgi jei metalas prijungtas prie įtampos šaltinio (53 pav.).

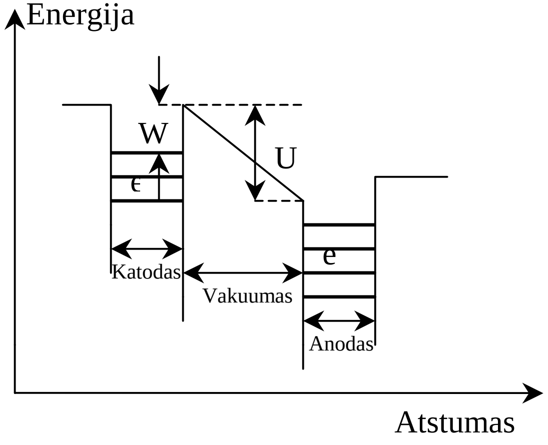


52 pav.

Tačiau pakaitinus metalą elektronų šiluminio judėjimo greitis gali tiek padidėti, kad jie įveiks energijos barjerą W ir išlėks iš katodo. Per laiko vienetą išlekiančių elektronų skaičius priklauso tik nuo katodo medžiagos ir temperatūros. Ar visi elektronai pasieks anodą, priklauso nuo įtampos U. 54 pav. pateikta tam tikro katodo soties srovės priklausomybė nuo temperatūros. Soties srovė (elektronų pernešamas per laiko vienetą krūvis) aprašomas Ričardsono formule:

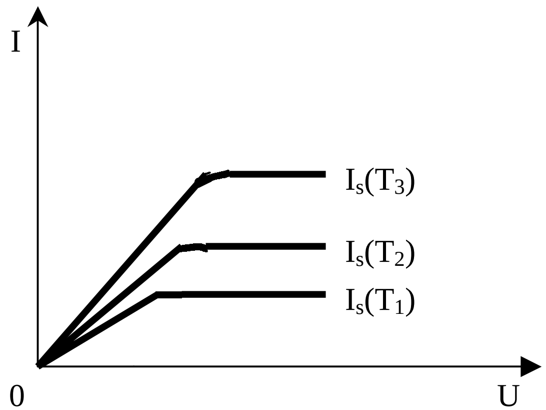
$$I_s = CT^2 \exp(-W/kT).$$

Čia W – elektrono išlaisvinimo darbas, C – konstanta, T – katodo temperatūra Kelvino skalėje, k – Bolcmano konstanta.



53 pav.

Atliekant šią užduotį reikia nustatyti elektrono išlaisvinimo iš duotosios medžiagos darbą.

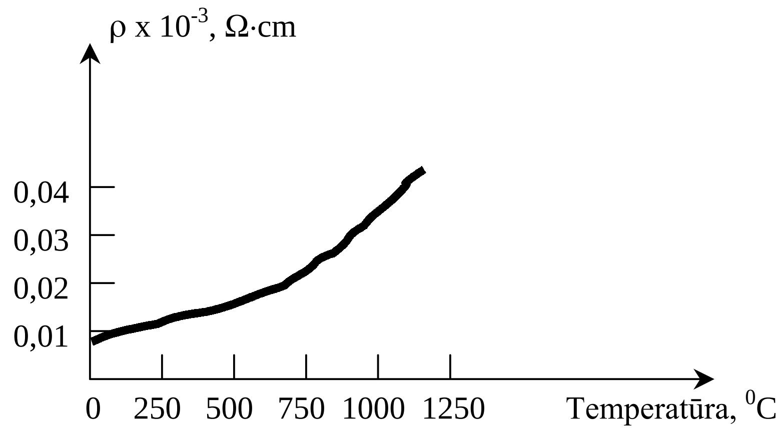


54 pav.

Priemonės: elektroninė lempa AZ41 (dviejų anodų vakuuminis lygintuvas, kurio kaitinimo įtampa neviršija 4 V), universalusis elektros matavimo prietaisas (jo vidinė varža matuojant įtampas lygi 10 MΩ), 1,5 V baterija, keturios 9 V baterijos (baterijas galima jungti nuosekliai), trys rezistoriai, kurių varžas galima sužinoti pagal spalvotas juosteles (rezistorių varžos lygios $1000\Omega \pm 2\%, 100\Omega \pm 2\%, 47{,}5\Omega \pm 1\%$), 4 rezistoriai, kurių kiekvieno

varža apie 1 Ω, (jie sunumeruoti), 12 sraigtinių spaustukų, 6 jungiamieji laidai, kurių kiekvieno ilgis apie 20 cm, 2 kištukinės jungtys (tinkančios 9 V baterijoms), atsuktuvas, logaritminis popierius, milimetrinis popierius.

Katodo medžiagos (volframo) savitosios varžos ρ priklausomybė nuo temperatūros grafikas duotas 55 pav. Kambario temperatūra žinoma.



55 pav.

1) Nustatykite sunumeruotųjų rezistorių varžas. Ommetro nenaudokite.

2) Nustatykite soties srovę esant įvairioms katodo temperatūroms, t. y. esant įvairioms kaitinimo srovėms. Kaitinimo srovei naudokite 1,5 V bateriją, srovei keisti panaudokite sunumeruotuosius rezistorius. Soties srove manykite esant srovę, kuri teka esant pastoviai 36 – 60 V įtampai tarp anodo ir katodo. Šią įtampą sudarykite nuosekliai sujungdami keturias 9 V baterijas. Trumpai paaiškinkite, kaip nustatėte katodo temperatūrą.

3) Pasinaudodami Ričardsono formule nustatykite išlaisvinimo darbą W. Paaiškinkite, kaip tai padarėte.

XX tarptautinė fizikos olimpiada, 1989 m. (Lenkija)

Teorinės užduotys

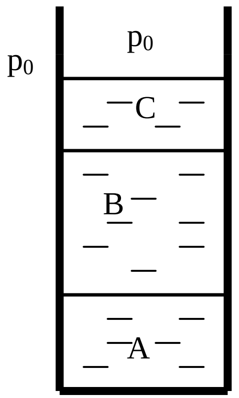
88. Skysčiai A ir B netirpsta vienas kitame. Sočiųjų garų slėgiai p_i (i = A arba B) gana tiksliai tenkina dėsnį

$$\ln(p_i / p_0) = a_i / T + b_i,$$

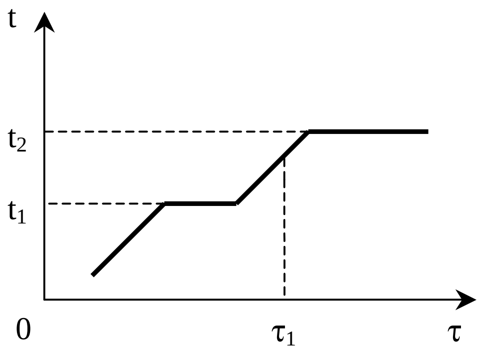
čia p_0 – normalusis atmosferos slėgis, T – garų absoliutinė temperatūra, a_i ir b_i – tam tikros konstantos, priklausančios nuo skysčio, (simbolis ln žymi natūrinį logaritmą, t. y. logaritmą, kurio pagrindas e = 2,7182818...). Tikslios skysčių A ir B p_i/p_0 vertės duotos lentelėje:

t, ^{0}C	p_i/p_0	
	i = A	i = B
40	0,284	0,07278
90	1,476	0,6918

a) Apskaičiuokite skysčių A ir B virimo temperatūras esant slėgiui p_0.



56 pav.



57 pav.

b) Skysčius A ir B supylus į vieną indą, jie išsidėstė sluoksniais taip, kaip parodyta 56 pav. Virš skysčio B įpiltas sluoksnis negaruojančio skysčio C, kuris netirpsta skysčiuose A ir B ir neleidžia laisvai garuoti skysčiui B iš jo paviršiaus. Dujinėje būsenoje esančių medžiagų A ir B molio masių santykis lygus $\gamma = M_A / M_B = 8$. Skysčių A ir B masės iš pradžių buvo vienodos ir lygios m = 100 g kiekviena. Skysčių stulpelių inde aukščiai bei skysčių tankiai yra tokie, kad bet kuriame indo taške slėgis nesiskiria nuo normaliojo atmosferos slėgio p_0. Šiai skysčių sistemai lėtai ir tolygiai tiekiant šilumą pasirodė, kad skysčių temperatūros t priklausomybės nuo laiko τ grafikas yra toks, kaip parodyta 57 pav. Nustatykite horizontaliąsias grafiko dalis atitinkančias temperatūras t_1 ir t_2 (vieno laipsnio tikslumu) ir skysčių A ir B mases laiko momentu τ_1.

Pastaba. Tarkite, kad skysčių garai gana tiksliai: 1) tenkina Daltono dėsnį, pagal kurį dujų mišinio slėgis lygus mišinį sudarančių dujų dalinių slėgių sumai, 2) iki slėgių, lygių sočiųjų garų slėgiams, gali būti laikomi idealiosiomis dujomis.

89. Trys nesantys vienoje tiesėje materialieji taškai P_1, P_2, P_3, kurių masės m_1, m_2, m_3, tarp savęs sąveikauja tik gravitacinėmis jėgomis ir nesąveikauja su kitais kūnais. Per šių taškų masių centrą statmenai trikampio $P_1P_2P_3$ plokštumai einančią ašį pažymėkime σ. Kokias sąlygas turi tenkinti atstumai tarp taškų $P_1P_2 = a_{12}$, $P_2P_3 = a_{23}$, $P_1P_3 = a_{13}$ ir taškų sistemos sukimosi kampinis greitis ω, kad sukantis sistemai trikampio $P_1P_2P_3$ forma nesikeistų, t. y. kad sistema apie ašį σ suktųsi kaip kietas kūnas?

90. Išnagrinėkite, kokios yra galimybės elektroninį mikroskopą su magnetiniu lauku valdomu U = 511 kV įtampa pagreitintų elektronų pluoštu paversti protoniniu mikroskopu, kuriame protonai būtų greitinami – U įtampa. Tam tikslui atsakykite į du klausimus:

a) Įtampa U pagreitintas elektronas patenka į sritį su vienalyčiu magnetiniu lauku $\vec{B}$, kurį sukuria nejudinamų ričių $L_1, L_2, \ldots, L_n$ sistema. Srovių stipriai ritėse atitinkamai lygūs $i_1, i_2, \ldots, i_n$. Šioje srityje elektronas juda tam tikra trajektorija T. Kokio stiprio srovės i_1',

i_2',…, i_n' turi tekėti ritėmis L_1, L_2,..., L_n, kad įtampa – U pagreitintas protonas srityje su magnetiniu lauku judėtų ta įačia trajektorija T ir į tą pačią pusę, kaip ir elektronas?

Nurodymas. Išsiaiškinkite, kokiai sąlygai esant trajektoriją aprašanti lygtis abiem atvejais yra ta pati. Galima pasinaudoti sąryšiu

$$\vec{P}\frac{d\vec{P}}{dt} = \frac{1}{2}\frac{d\vec{P}^2}{dt} = \frac{1}{2}\frac{dP^2}{dt},$$

čia P – dalelės impulsas.

b) Kiek kartų padidėtų ar sumažėtų minėtojo mikroskopo skiriamoji geba (t. y. mažiausias atstumas tarp dviejų taškinių kūnų, kurių disko formos atvaizdai dar išsiskiria), jeigu elektronų pluoštą pakeistume protonų pluoštu? Tarkite, kad mikroskopo skiriamąją gebą lemia tiktai dalelių banginės savybės. Taip pat tarkite, kad elektronų ir protonų greičiai prieš jų greitinimą įtampa buvo lygūs nuliui. Kad būtų paprasčiau, dar manykite, kad elektronų ir protonų savųjų magnetinių momentų sąveikos su išoriniu magnetiniu lauku galima nepaisyti ir kad magnetiniame lauke judėdamos šios dalelės nespinduliuoja elektromagnetinių bangų.

Pastaba. Fizikoje dažnai naudojamas energijos vienetas elektronvoltas (1 eV) ir išvestiniai vienetai 1 keV ir 1 MeV. 1eV lygus 1V potencialų skirtumą pralėkusio elektrono energijos pokyčiui. Skaičiuodami naudokitės tokiomis vertėmis: elektrono rimties energija $E_e = m_ec^2 = 511$ keV, protono rimties energija $E_p = m_pc^2 = 938$ MeV.

Eksperimentinės užduotys

91. *Priemonės:* du 10 mm storio pjezoelektriniai diskai, ant kurių galų užgarinti elektrodai, suspausti tarp slankmačio žnyplių, sukalibruotas sinusinių elektrinių virpesių generatorius, dvikanalis oscilografas, du sandariai uždaryti polietileniniai maišeliai su skysčiais A ir B, indas su glicerinu diskų paviršiams sudrėkinti, kad būtų geresnis mechaninis kontaktas, laidai ir stovai slankmačiui ir maišeliams su skysčiais pritvirtinti.

a) Žinodami, kad išilginių ultragarso bangų greitis disko medžiagoje apytikriai lygus $4{\cdot}10^3$ m/s, apytiksliai įvertinkite ašinių mechaninių disko virpesių rezonansinį dažnį, tardami, kad disko plokštumos centras nejuda. (Pažymėsime, kad diskuose gali pasireikšti ir kitos tiek didesnių, tiek ir mažesnių dažnių savųjų virpesių harmonikos). Įvertinkite šį dažnį, eksperimentiškai nustatykite, kokiam dažniui esant pjezoelektriniai diskai labiausiai tinka ultragarso bangoms skystyje sukelti bei registruoti.

b) Neatidarydami maišelių nustatykite ultragarso greitį abiejuose skysčiuose ir įvertinkite paklaidą.

c) Nustatykite ultragarso greičių abiejuose skysčiuose santykį ir įvertinkite paklaidą.

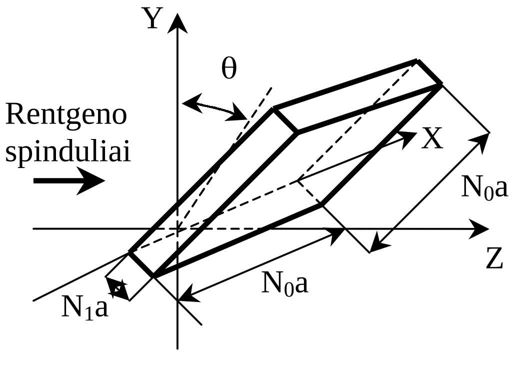
XXI tarptautinė fizikos olimpiada, 1990 m. (Olandija)

Teorinės užduotys

92. Rentgeno spindulių difrakcija kristale. Nagrinėsime Rentgeno spindulių difrakciją stačiakampėje kristalinėje gardelėje. Tam tikslui pradžioje išnagrinėsime plokščiosios monochromatinės bangos, statmenai krintančios į dvimatę gardelę, kurią sudaro tarp savęs statmenų plyšių sistema, difrakciją. Atstumai tarp plyšių lygūs atitinkamai d_1 ir d_2. Vienos krypties plyšių skaičius lygus N_1, kitos – N_2. Difrakcinis vaizdas gaunamas lygiagrečiame su gardele ekrane, Difrakcinis vaizdas gaunamas lygiagrečiame su gardele ekrane, esančiame atstumu L nuo gardelės ($L >> N_1d_1, N_2d_2$).

a) Apskaičiuokite pagrindinių maksimumų ekrane padėtį ir plotį. (Maksimumo pločiu vadinamas atstumas tarp dviejų gretimų minimumų, esančių abiejose maksimumo pusėse).

Dabar panagrinėkite ploną kubinio kristalo plokštelę, kurios matmenys $N_0a \times N_0a \times N_1a$. Čia a – gardelės konstanta, o $N_1 << N_0$. Rentgeno spindulių, nukreiptų Z ašies kryptimi, kritimo į kristalą kampas θ yra mažas (58 pav.). Difrakcinis vaizdas gaunamas ekrane, esančiame dideliame nuotolyje L nuo kristalo.

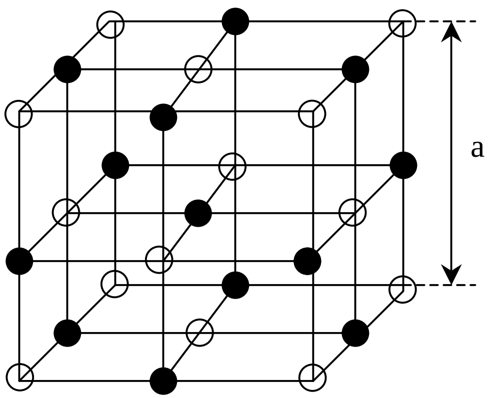


58 pav.

b) Apskaičiuokite maksimumų padėties ir pločio priklausomybę nuo kampo θ, kai θ mažas. Ką duoda sąlyga $N_1 << N_0$?

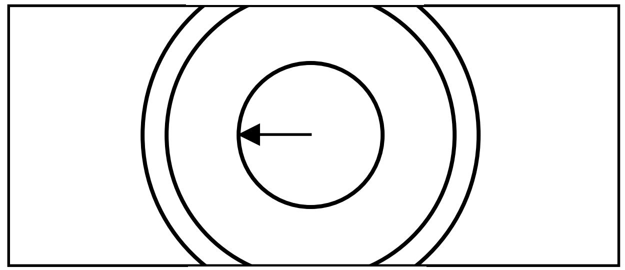
Difrakcinį vaizdą galima paaiškinti ir remiantis Brego teorija. Joje daroma prielaida, kad Rentgeno spinduliai atsispindi nuo gardelės plokštumų. Šių atsispindėjusių spindulių interferencija ir duoda difrakcinį vaizdą.

c) Įrodykite, kad atspindžiai (vadinami Brego atspindžiais) duoda tokius pat maksimumus, kaip ir punkte b).



59 pav.

Tiriant miltelių metodu Rentgeno spindulių pluoštas esti išsklaidomas didelio skaičiaus mažų miltelius sudarančių kristaliukų. (Be abejo, atskirų kristaliukų matmenys esti didesni negu gardelės konstanta a). 0,15 nm bangos ilgio Rentgeno spinduliai, išsklaidyti kalio druskos KCl (turinčios kubinę gardelę, žr. 59 pav.) miltelių, L = 0,10 m atstumu esančioje fotoplokštelėje duoda bendracentrių tamsių žiedų seriją (60 pav.). Mažiausio žiedo spindulys lygus 0,053 m. Kalio ir chloro jonų matmenys praktiškai vienodi, tad galima manyti, jog jie yra lygiaverčiai sklaidos centrai.



60 pav.

d) Apskaičiuokite atstumą tarp kristalo ir gretimų K jonų.

93. Eksperimentai Žemės magnetosferoje. 1991 m. gegužės mėnesį aplink Žemę bus paleistas kosminis laivas „Atlantis“. Jo apskrita orbita bus pusiaujo plokštumoje. Tam tikru momentu kosminis laivas išleis L ilgio labai mažos masės standžiu strypu pririštą satelitą S. trinties galima nepaisyti.

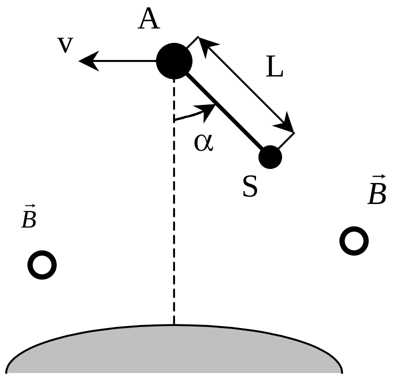
Tegul α - kampas tarp strypo ir tiesės, einančios per „Atlantį“ ir Žemės centrą (61 pav.). S taip pat bus pusiaujo plokštumoje. Satelito masė bus gerokai mažesnė už „Atlančio“ masę, o L kur kas mažesnis už orbitos spindulį.

a_1) Apskaičiuokite, kokiam (kokiems) α esant sistemos padėtis Žemės atžvilgiu bus pastovi, t. y. kokioms α vertėms esant šis kampas laikui bėgant nesikeis.

a_2) Išnagrinėkite sistemos stabilumą šioje padėtyje visų pusiausvirųjų būsenų atvejais.

Tarkite, kad tam tikru laiko momentu strypas nežymiai nukreipiamas nuo pusiausvyros padėties, bet išlieka pusiaujo plokštumoje. Dėl to sistemoje atsiranda svyravimai.

b) Šių svyravimų periodą išreikškite per vieno apsisukimo aplink Žemę trukmę.



61 pav.

61 pav. Žemės magnetinis laukas yra statmenas brėžinio plokštumai ir nukreiptas į skaitytoją. Dėl strypo orbitinio judėjimo tarp jo galė atsiranda potencialų skirtumas. Aplinką (magnetosferą) sudaro praretintosios jonizuotos dujos, kurių elektrinis laidumas labai didelis. Panaudojant kontaktines plokšteles, įtaisytas strypo galuose A ir S, strypas elektrikai sujungiamas su jonizuotomis dujomis ir juo ima tekėti elektros srovė.

b_1) Nustatykite šios srovės kryptį.

Žinoma, kad apsisukimo aplink Žemę periodas $T = 5{,}4 \cdot 10^3$ s, strypo ilgis L =

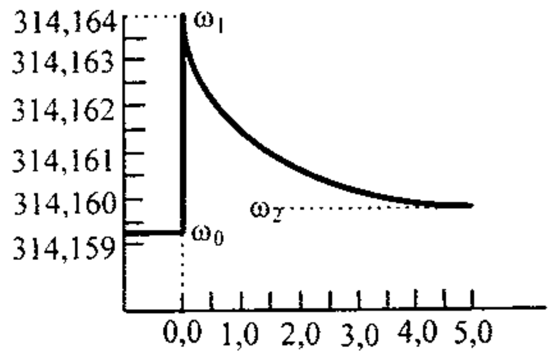
= $2{,}0 \cdot 10^4$ m, Žemės magnetinio lauko srauto tankis $B = 5{,}0 \cdot 10^{-5}$ T, „Atlančio“ masė M = 100t.

Vėliau prie strypo prijungiamas srovės šaltinis (esantis laive), sukuriantis srovę, tekančią priešinga kryptimi negu anksčiau aprašytoji srovė.

b_2) Kiek ilgai reikėtų leisti tą srovę norint, kad orbitos aukštis pakistų 10 m? Tarkite, kad kampas α dabar lygus nuliui. Į laidžioje magnetosferoje tekančias sroves neatsižvelkite. Padidės ar sumažės orbitos aukštis?

94. Besisukanti neuroninė žvaigždė. Milisekundinis pulsaras – tai spinduliuotės šaltinis Visatoje, spinduliuojantis labai trumpus impulsus, kurių periodas nuo vienos iki kelių milisekundžių. Jo spinduliuotė esti radijo dažnių srityje ir gali būti priimama bei impulsų periodas išmatuojamas geru radijo imtuvu.

Radijo bangų impulsus skleidžia ypatingų žvaigždžių – neuroninių žvaigždžių paviršius. Tai labai didelio medžiagos tankio žvaigždes, greitai besisukančios apie savo ašį. Jų masė esti maždaug tokia, kaip ir Saulės masė, bet jų spindulys tesiekia tik kelias dešimtis kilometrų. Dėl greito sukimosi žvaigždė šiek tiek susiploja. Tarkime, kad r_p – atstumas tarp centro ir žvaigždės paviršiaus ties ašigaliu, o r_e – atstumas tarp centro ir paviršiaus ties pusiauju. Susiplojimo koeficientas apibrėžiamas taip: $e = \dfrac{r_e}{r_p} - 1$.



62 pav.

Panagrinėkite neuroninę žvaigždę, kurios masė $2{,}0 \cdot 10^{30}$ kg, vidutinis spindulys $1{,}0 \cdot 10^4$ m ir apsisukimo periodas $2{,}0 \cdot 10^{-2}$ s.

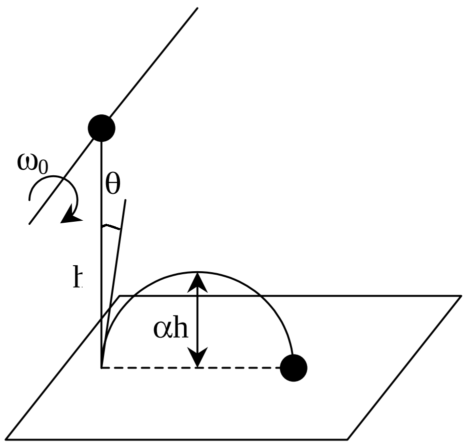
a) Apskaičiuokite susiplojimo koeficientą, jei gravitacijos konstanta $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}\ N \cdot m^2 / kg^2$.

Dėl energijos nuostolių žvaigždės sukimasis po truputį lėtėja, todėl susiplojimas mažėja. Tačiau žvaigždė turi kietą plutą, plūduriuojančią skystoje masėje (branduolyje). Retkarčiais plutoje įvyksta drebėjimai, kurių metu žvaigždės forma šiek tiek pakinta. Pastebėta, kad tokių drebėjimų metu bei po jų plutos kampinis greitis pakinta. Tai pavaizduota 62 pav., kuriame horizontaliojoje ašyje pažymėtas laikas (paromis), o vertikaliojoje – plutos kampinis greitis (radianais per sekundę).

b) Pasinaudodami 62 pav. apskaičiuokite skysto branduolio spindulį. Manykite, kad plutos ir branduolio tankiai yra vienodi. Į branduolio formos kitimus galima neatsižvelgti.

XXII tarptautinė fizikos olimpiada, 1991 m. (Kuba)

Teorinės užduotys



63 pav.

95. 63 pav. pavaizduotas vienalytis R spindulio rutulys. Iš pradžių rutulio masių centras buvo rimties būsenoje, tačiau pats rutulys kampiniu greičiu ω_0 sukosi apie per jo centrą einančią horizontalią ašį. Pats žemiausias rutulio taškas buvo h aukštyje virš grindų. Paleidus rutulį jis sunkio jėgai veikiant krinta, trenkiasi į grindis ir atšokęs nuo jų pakyla į žinomą aukštį αh. Grindys ir rutulys padaryti iš tokių medžiagų,

džiagų, kad galima neatsižvelgti į šių kūnų deformacijas smūgio metu. Šliaužimo trinties koeficientas tarp rutulio ir grindų lygus μ, rutulio masė m. tarkite, kad rutulys yra ore ir kad smūgio į grindis trukmė labai maža (bet nelygi nuliui).Rutulio inercijos momentą per jo centrą einančios ašies atžvilgiu skaičiuokite pagal formulę $I = \frac{2}{5} mR^2$.

1) Manydami, kad rutulio sąlyčio su grindimis metu jis visą tą laiką slysta, nustatykite: a) atšokimo kampo θ tangentą, b) horizontalųjį rutulio centro poslinkį
tarp pirmojo ir antrojo jo smūgių į grindis, c) mažiausią ω_0 vertę šiuo atveju.

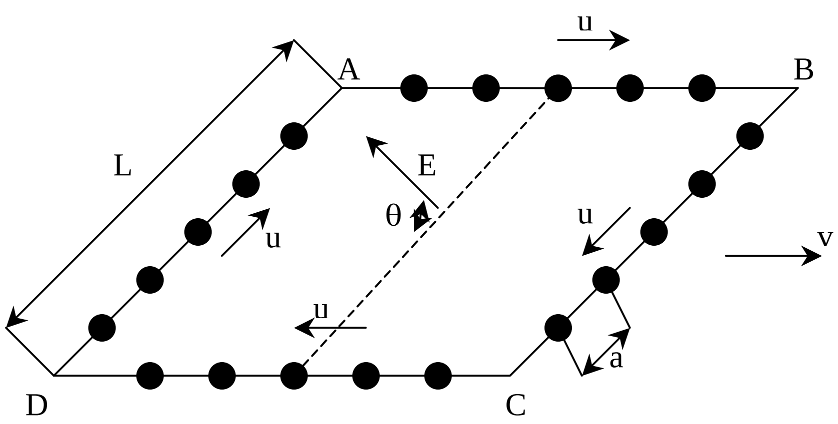
2) Atsakykite į a) ir b) punktų klausimus tardami, kad rutulys nustoja slysti dar nepasibaigus smūgio į grindis trukmei.

3) Nubraižykite $tg\theta$ priklausomybės nuo ω_0 grafikus 1) ir 2) atvejais.

96. Nelaidžia kvadrato formos su užapvalintais kampais vija, kurios kraštinė L, juda mažų įelektrintų rutuliukų (64 pav.). Kiekvieno rutuliuko greitis u, krūvis q, atstumas tarp rutuliukų a. Rutuliukai kaip karoliai suverti ant viją sudarančių strypų. Kraštinė L daug ilgesnė už atstumą a. Viją sudarantys nelaidūs strypai įelektrinti vienodo tankio krūviu, kompensuojančiu visų rutuliukų krūvį. Visi duomenys pateikti su vija susietoje sistemoje.

Nagrinėsime atvejį, kai vija greičiu $\vec{v}$ juda lygiagrečiai su kraštine AB erdvėje su vienalyčiu $\vec{E}$ stiprio elektriniu lauku, statmenu vijos greičiui. Judėjimo metu vija esti plokštumoje, sudarančioje su lauko kryptimi kampą θ. Atsižvelgdami į reliatyvistinius reiškinius su nejudančiu stebėtoju susietoje sistemoje, kurios atžvilgiu vija juda greičiu v, nustatykite tokius dydžius:

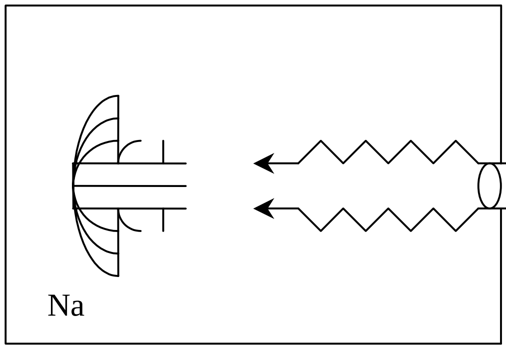
1) atstumus tarp rutuliukų kiekvienoje vijos kraštinėje,
2) suminį (strypas + rutuliukai) kiekvienos vijos kraštinės krūvį,
3) elektrinių jėgų, veikiančių viją kartu su rutuliukais, momentą,
4) vijos ir rutuliukų sąveikos su elektriniu lauku energiją.



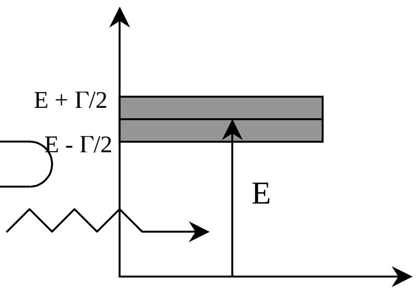
64 pav.

Pastabos. Elektros krūvis nepriklauso nuo atskaitos sistemos. Paveiksle parodytos tik santykinės vektorių kryptys. Į spinduliavimą galima neatsižvelgti.

97. Norint smulkiai ištirti pavienių atomų savybes reikia mokėti sukurti tokias sąlygas, kad atomai tam tikrą laiką būtų sutelkti nedideliame tūryje ir beveik nejudėtų. Tam tikslui neseniai pradėtas



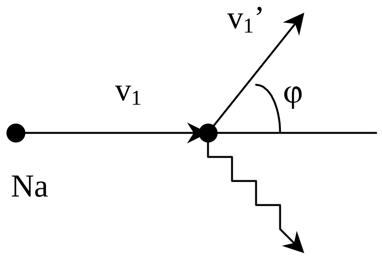
65 pav.



66 pav.

deliame tūryje ir beveik nejudėtų. Tam tikslui neseniai pradėtas naudoti metodas, pavadintas atomų lazerinio atšaldymo metodu. Panagrinėkime jo esmę.

^{23}Na atomai, gaunami garinant T = 10^3 K temperatūroje, kolimatoriumi suglaudžiami į siaurą pluoštą ir nukreipiami į vakuuminę kamerą (65 pav.). Visas atomų pluošto skerspjūvis apšviečiamas galingo lazerio šviesos priešpriešiniu pluoštu. Lazerio spinduliuotės dažnis parenkamas taip, kad vyktų fotonų rezonansinė sugertis atomais, judančiais greičiu $\vec{v}_0$ ir esančiais pagrindinėje būsenoje. Sugerdamas šviesą atomas pereina į pirmąjį sužadintą lygmenį, kurio energija E ir plotis Γ (66 pav.), o jo greitis akinta tam tikru dydžiu $\Delta v_1 = v_1 - v_0$. Paskui atomas savaime išspinduliuoja fotoną ir grįžta į pagrindinę būseną. Jo greitis šio proceso metu pakinta dydžiu $\Delta v' = v_1' - v_1$, o atomas nuo savo pirmykštės judėjimo krypties nukrypsta kampu φ (67 pav.).



67 pav.

Tokie sugertiems ir spinduliavimo aktai kartojasi daug kartų, kol atomo greitis nepakinta dydžiu Δv ir rezonansinė f dažnio fotonų sugertis pasidaro nebegalima. Paskui reikia keisti lazerio spinduliuotės dažnį, kad vyktų kitą greitį turinčių atomų rezonansinė sugertis, toliau stabdanti atomus, kol kai kurių atomų greičiai nepasidarys ganėtinai maži.

Pradiniame šio reiškinio nagrinėjimo etape galima nekreipti dėmesio į jokius kitus atomų sąveikos procesus, išskyrus sugertį ir savaiminį šviesos spinduliavimą. Tarsime, kad lazerio spindulys yra toks intensyvus, kad pagrindinėje būsenoje esantis atomas iš karto sugeria fotoną.

Žinodami, kad E = $3{,}36 \cdot 10^{-19}$ J, Γ = $7{,}0 \cdot 10^{-27}$ J, šviesos greitis c = $3{,}0 \cdot 10^{8}$ m/s, protono masė m = $1{,}67 \cdot 10^{-27}$ kg, Planko konstanta h = $6{,}62 \cdot 10^{-34}$ J·s, Bolcmano konstanta k = $1{,}38 \cdot 10^{-23}$ J/K, atsakykite į šiuos klausimus:

1) Koks turi būti lazerio spinduliuotės dažnis f, kad vyktų rezonansinė sugertis atomais, kurių energija lygi vidutinei atomų energijai iki jiems pereinant kolimatorių? Kokiu dydžiu Δv_1 pakis tokio atomo greitis po pirmo fotono sugerties?

2) Kokį greičių intervalą Δv_0 turintys atomai gali sugerti fotoną, kurio dažnis toks, kaip apskaičiuota 1) punkte?

3) Kokiu didžiausiu kampu φ gali būti išsklaidytas atomas, vieną kartą išspinduliavęs fotoną?

4) Kokiu didžiausiu dydžiu Δv sumažėjus atomo greičiui jis dar gali sugerti to paties f dažnio fotoną?

5) Įvertinkite, po kokio sugertiems – išspinduliavimo aktų skaičiaus atomo, judančio pluošto ašimi, greitis nuo v_0 praktiškai sumažės iki nulio.

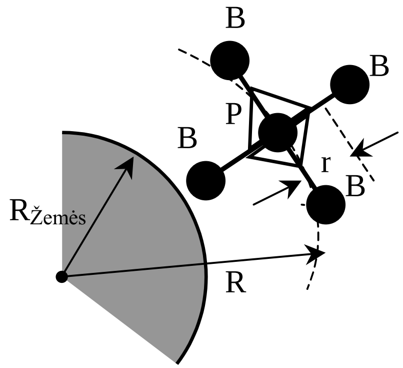
6) Įvertinkite fotono sugertiems – išspinduliavimo proceso trukmę. Kokį atstumą nulėks atomas per tą trukmę?

XXIII tarptautinė fizikos olimpiada, 1992 m. (Suomija)

Teorinės užduotys

98. Aplink Žemę apskrita žinomo spindulio R orbita, esančia pusiaujo plokštumoje, juda iš kelių kūnų sudarytas satelitas (68 pav.).

Centrinis kūnas P lengvais netampriais siūlais sujungtas su keturiais simetriškai išsidėsčiusiais kūnais B, kurių kiekvieno masė m. Ši sistema visą laiką esti orbitos plokštumoje ir žinomu kampiniu greičiu ω (nejudančių žvaigždžių atžvilgiu) sukasi apie centrą P. Kad kūnų tarpusavio padėtis be reikalo nesikeistų ir visa šių kūnų sistema judėtų kaip vienas kūnas, radikalieji siūlai tarp savęs yra sujungti kitais plonais siūlais, sudarančiais vienas su kitu 90^0 kampus.



68 pav.

1) Apskaičiuokite, kokia jėga pririšus prie kūno siūlas veikia tą kūną. Išnagrinėkite atvejus, kai vektoriai $\vec{R}$ *ir* $\vec{r}$ esti lygiagretūs, antilygiagretūs, statmeni (galbūt kai tik šiais atvejais jėgos esti didžiausios ar mažiausios).

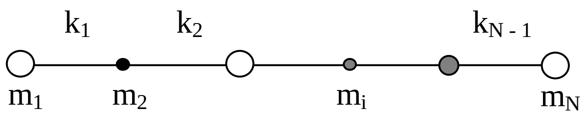
2) Kiekviename kūne B yra mechanizmas, gaunantis energiją iš saulės baterijų. Šis mechanizmas greitai ima traukti į save siūlą tuo momentu, kai įtempimo jėga didžiausia, ir jį atleidžia, kai ta jėga esti mažiausia: siūlo ilgio pokyčiai sudaro 1% jo ilgio (vidutinio atstumo tarp B ir P). Visą kitą laiką siūlo ilgis nekinta. Apskaičiuokite tokio mechanizmo „grynąją“ vidutinę per vieno kūno B apsisukimo aplink centrą P periodą galią. (galia nusakoma suminiu įtempimo jėgos darbu, atsižvelgus į ženklą, padalytu iš vieno apsisukimo periodo).

3) Aprašykite, kokius satelito judėjimo pokyčius sukelia minėtųjų mechanizmų atliekamas darbas, t. y . kaip kinta orbitinis greitis, orbitos spindulys, kampinis greitis ir satelito gravitacinė potencinė energija. Ar galima satelitą perkelti: a) į aukštesnę orbitą? b) į labai didelio spindulio orbitą?

Nurodymai. Išnagrinėkite abiejų galimų kampinio greičio ω krypčių atvejus. Į Saulės ir Mėnulio trauką nekreipkite dėmesio – pakanka išnagrinėti tik satelito ir Žemės sąveiką Nesistenkite ieškoti labai tikslių sprendinių – pakaks 5 % tikslumą užtikrinančių apytikslių sprendinių.

99. šiame uždavinyje nagrinėsime ašinį (išilginį) tiesinės molekulės judėjimą išilgai jos ašies, kai visi judantys atomai išlieka vienoje tiesėje. Tariama, kad molekulė susideda iš N atomų, kurių masės m_1, m_2, m_3,..., m_N ir kad kiekvienas atomas susietas su savo artimiausiais kaimynais cheminiais ryšiais, kurie modeliuojami nesvariomis spyruoklėmis, tenkinančiomis Huko dėsnį. Spyruoklių tamprumo koeficientai k_1, k_2, k_3,..., k_N (69 pav.). Yra žinoma , kad laisvuosius išilginius tiesinės molekulės virpesius sudaro atskirų atomų virpesių superpozicija. Tokie virpesiai vadinami normaliaisiais virpesiais, arba normaliosiomis modomis. Jiems vykstant visi atomai virpa vienodais dažniais, o savo pusiausvyros padėtis praeina tuo pačiu metu.

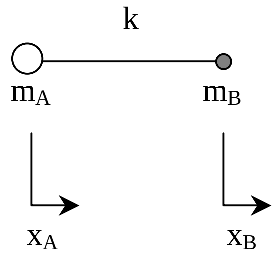
1) Tegul x_i – i – ojo atomo poslinkio iš jo pusiausvyros padėties



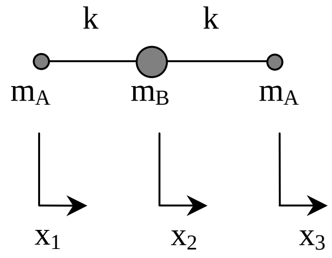
69 pav.

koordinatė. Šį atomą veikiančią jėgą F_i išreikškite per momentinius (akimirkinius) poslinkius x_1, x_2, x_3,..., x_N ir tamprumo koeficientus k_1, k_2, k_3,..., k_{N-1}. Koks sąryšis tarp jėgų F_1, F_2, F_3,..., F_N? Pasinaudodami šiuo sąryšiu nustatykite priklausomybę tarp poslinkių x_1, x_2, x_3,..., x_N ir pateikite jos fizikinę interpretaciją.

2) Išnagrinėkite dvitomės molekulės AB judėjimą (70 pav.). Atomus A ir B veikiančią jėgą išreikškite per poslinkius x_A ir x_B bei koeficientą k. Aprašykite galimus atomų judėjimo molekulėje tipus ir nustatykite jų virpesių dažnius. Paaiškinkite gautuosius rezultatus atkreipdami dėmesį į tą faktą, kad atomai gali virpėti vienodais dažniais, nors jų masės ir skirtingos (tai ir yra normalioji moda).



70 pav.



71 pav.

3) Išnagrinėkite tritomės molekulės ARBA (71 pav.) galimus judesius. Kiekvieną atomą veikiančias jėgas išreikškite per poslinkius x_1, x_2, x_3. Nustatykite molekulės normaliąsias modas ir atitinkamus dažnius.

4) CO_2 molekulės išilginių virpesių dviejų modų dažniai lygūs $3{,}998\cdot10^{13}$ ir

$7{,}042\cdot10^{13}$ Hz. Apskaičiuokite C – O ryšio tamprumo koeficientą. Įvertinkite, kiek tiksliai naudojamas artutinumas (tampriųjų jėgė) derinasi su pateiktomis skaitinėmis vertėmis. Anglies atomo masė lygi 12 a.m.v, deguonies atomo masė – 16 a.m.v.

(1 a.m.v. = $1{,}660\cdot10^{-27}$ kg).

100. Šiame uždavinyje palydovas – tai vienodai įšilęs R = 10 m spindulio rutulys. Visas palydovo paviršius yra vienodas. Palydovas yra netoli nuo Žemės, bet ne jos šešėlyje. Tarkime, kad Saulė yra absoliučiai juodas kūnas, kurio paviršiaus temperatūra T_0 = 6000 K, spindulys $R_0 = 6{,}96\cdot10^8$ m. Atstumas tarp Saulės ir Žemės

L = $1{,}5\cdot10^{11}$ m. Palydovas įšyla nuo Saulės spindulių iki tokios temperatūros, kurioje palydovo išspinduliuojama galia tampa lygi jo sugeriamajai galiai. Žinoma, kad absoliučiai juodo kūno paviršiaus vieneto spinduliavimo galią nusako Stefano ir Bolcmano dėsnis:

$$P = \sigma T^4,$$

čia $\sigma = 5{,}67\cdot10^{-8}$ W·m^{-2}·K^{-4}.

Pirmu artutinumu galima manyti, kad Saulė ir satelitas sugeria visą į juos krintančią spinduliavimo galią.

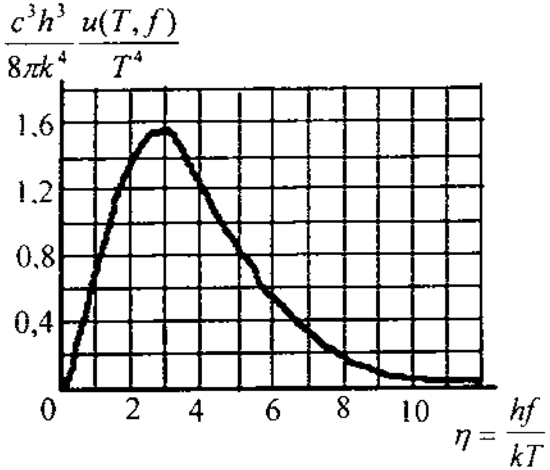
1) Išveskite išraišką satelito temperatūrai apskaičiuoti ir apskaičiuokite jos skaitinę vertę.

2) Absoliučiai juodo kūno spinduliavimo spektrą apibūdina spektrinė funkcija u(T,f), turinti tokį pavidalą:

$$u(T,f)df = \frac{8\pi k^4 T^4}{c^3 h^3}\frac{\eta^3 d\eta}{e^\eta - 1},$$

čia u(T,f)df – elektromagnetinių spindulių, kurių dažniai yra intervale $[f, f+df]$, energijos tankis, h = $6{,}62 \cdot 10^{-34}$ J·s Planko konstanta, k = $1{,}4 \cdot 10^{-23}$ $J \cdot K^{-1}$ – Bolcmano konstanta, c = $3 \cdot 10^8$ m/s – šviesos greitis, η = hf/(kT). Suintegravę funkciją u(T,f) visame dažnių intervale ir visomis galimomis kryptimis gautume Stefano ir Bolcmano dėsnį, apibūdinantį paviršiaus vieneto spinduliavimo galią. 72 pav. duotas vadinamasis normalusis spektras, aprašomas funkcija

$$\frac{c^3 h^3}{8\pi k^4}\frac{u(T,f)}{T^4}.$$



72 pav.

Praktiškai stengiamasi palaikyti kiek galima mažesnę palydovo temperatūrą. Tam tikslui palydovo paviršius padengiamas tam tikra danga, atspindinčia visų dažnių, viršijančių tam tikrą ribą, spinduliuotę, bet visiškai sugeriančia mažesnių dažnių spindulius. Tarkime, kad

tas ribinis dažnis tenkina sąryšį hf/k = 1200 K. Įvertinkite, kokia šiuo atveju bus palydovo temperatūra.

<u>*Dėmesio!*</u> Nesistenkite ieškoti labai tikslaus atsakymo. Pasinaudokite apytikslia formule, tinkama esant mažoms x vertėms:

$$e^x = \exp(x) \approx 1 + x.$$

Integralas

$$\int_0^\infty \frac{\eta^3 d\eta}{e^\eta - 1} = \frac{\pi^4}{15},$$

funkcija $\eta^3/(e^\eta - 1)$ turi maksimumą, kai η = 2,82.

3) Palydove paprastai esti saulės baterijomis maitinama elektroninė aparatūra. Tarkime, kad aparatūros sunaudojama 1 kW galia palydovo viduje virsta šiluma. Kokia šiuo atveju bus palydovo paviršiaus temperatūra?

4) Viena firma taip reklamuoja savo specialius dažus: „Šie dažai atspindės daugiau kaip 90% krintančios spinduliuotės (regimojoje ir infraraudonojoje srityse), be to, jie spinduliuos visų dažnių (regimojoje ir infraraudonojoje srityse) spindulius kaip absoliučiai juodas kūnas, tuo apsaugodami palydovą nuo perkaitimo. Taigi dažai sudarys sąlygas palydovui atvėsti iki pačios žemiausios temperatūros“. Ar galimi tokie dažai? Atsakymą pagrįskite.

5) Kokiomis savybėmis turi pasižymėti danga, kad sferinio kūno, panašaus į nagrinėtą palydovą, temperatūra pakiltų aukščiau, negu apskaičiavote 1) punkte?

XXIV tarptautinė fizikos olimpiada, 1993 m. (JAV)

<u>Teorinės užduotys</u>

101. Elektrostatikos požiūriu Žemės paviršių galima laikyti geru laidininku. Jis turi krūvį Q_0 ir vidutinį paviršinio krūvio tankį σ_0.

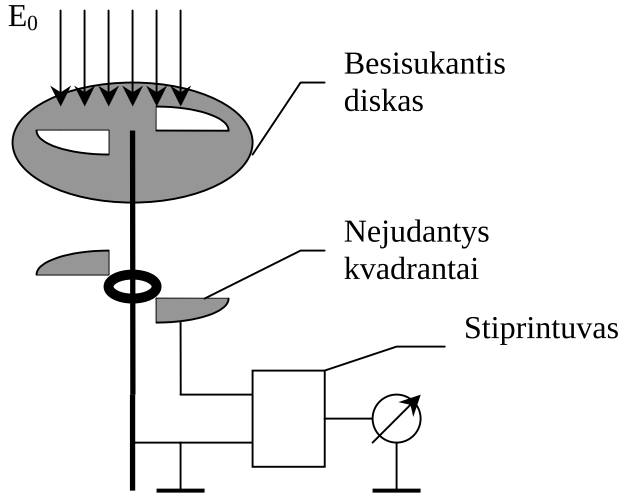
1) Esant palankioms oro sąlygoms nukreiptas žemyn į Žemės paviršių elektrinis laukas E_0 apytikriai lygus 150 V/m. Nustatykite paviršinio krūvio tankį ir visą Žemės paviršiaus krūvį.

2) Žemyn nukreiptas elektrinis laukas kylant aukštyn mažėja ir 100 m aukštyje jis apytikriai lygus 150 V/m. Apskaičiuokite vidutinį 1 m^3 krūvį atmosferos sluoksnyje tarp Žemės paviršiaus ir 100 m aukščio.

3) 2) punkte nustatytas krūvio tankis iš tikrųjų yra beveik vienodo kiekio teigiamų ir neigiamų vienakrūvių jonų, esančių tūrio vienete (n_+ ir n_-), rezultatas. Arti Žemės paviršiaus, esant palankioms oro sąlygoms, $n_+ \approx n_- \approx 6 \cdot 10^8$ m^{-3}. Šie jonai juda veikiami vertikalaus elektrinio lauko. Jų greitis proporcingas elektrinio lauko stipriui, $v \approx 1{,}5 \cdot 10^{-4} E$, kur v išreiškiamas m/s, o E – V/m.

Kiek laiko prireiktų, kad pusė Žemės paviršiaus krūvio būtų dėl atmosferos jonų judėjimo neutralizuota, jeigu neįvyktų kitų šio krūvio dydį palaikančių procesų (pvz. žaibas)?

4) Atmosferos elektrinį lauką, taip pat ir tankį σ_0, galima išmatuoti sistema, kuri pavaizduota 73 pav. Metalinių kvadrantų pora, izoliuota nuo Žemės, bet sujungta tarp savęs, padėta po įžemintu besisukančiu disku su dviem kvadrantų firmos išpjovomis (73 pav. atstumas tarp kvadratų ir disko padidintas, kad būtų aiški prietaiso

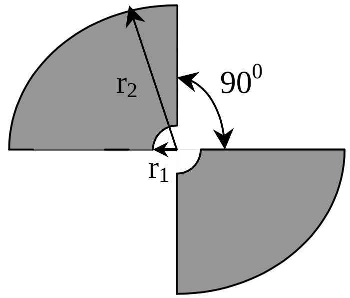


73 pav.

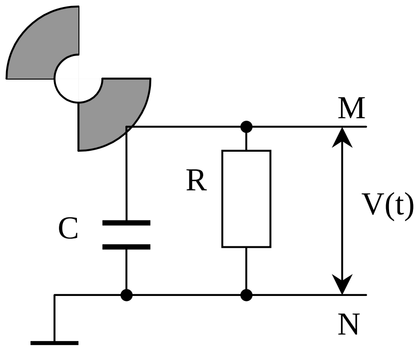
konstrukcija). Kiekvieno apsisukimo metu izoliuoti kvadrantai du kartus patenka į elektrinį lauką, o paskui (kas ¼ periodo) esti visiškai ekranuojami.

Tegul T – apsisukimo periodas, o r_1 ir r_2 – vidinis ir išorinis izoliuotų kvadrantų spinduliai (žr. 74 pav.).

Tegul t=0 – laiko momentas, kai izoliuoti kvadrantai yra visiškai ekranuoti. Nustatykite viso krūvio q(t), indukuoto izoliuotų kvadrantų viršutiniame paviršiuje, išraišką kaip lauko funkciją nuo t=0 iki t=T/2. Nubraižykite šios priklausomybės grafiką. Atmosferos jonų srauto efekto šiuo atveju galima nepaisyti.



74 pav.



75 pav.

5) Sistema, aprašyta 4) punkte, lygiagrečiai sujungta su stiprintuvu, kurio įėjimo talpa C ir varža R (žr. 75 pav.). (Tarkime, kvadrantų sistemos labai maža talpa palyginti su C).

Nubraižykite potencialų skirtumo V tarp taškų M ir N priklausomybės nuo laiko t grafiką apsisukant diskui vieną kartą jam tik pradėjus suktis periodu T, kai:

a) $T = T_a << CR$,

b) $T = T_b >> CR$.

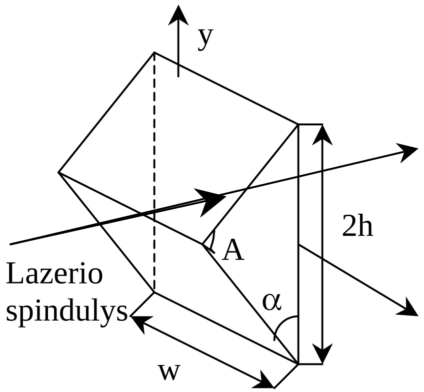
(Tarkite, kad C ir R vertės yra pastovios, tik a) ir b) atvejais skiriasi periodai T).

Nustatykite apytikslę santykio V_a / V_b išraišką esant didžiausioms V(t) vertėms a) ir b) atvejais.

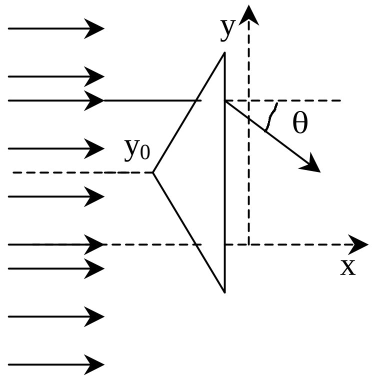
6) Tarkime, kad $E_0 = 150$ V/m, $r_1 = 1$ cm, $r_2 = 7$ cm, $C = 0{,}01$ μF, $R = 20$ MΩ. Kokia bus didžiausia V vertė vieno apsisukimo metu.?

102. Lazerinės jėgos, veikiančios skaidrią prizmę. Lūždamas galingas lazerio spindulys nemaža jėga gali veikti mažus skaidrius objektus. Panagrinėkime nedidelę stiklinę prizmę, kurios viršūnės kampas $A = \pi - 2\alpha$, pagrindo ilgis 2h, plotis w. Prizmės stiklo lūžio rodiklis n, tankis ρ.

Į prizmę nukreiptas horizontalus lazerio spindulys. Ašis x nukreipta pradinio spindulio kryptimi, prizmės viršūnė nukreipta prieš spindulio kryptį, prizmės pagrindas lygiagretus su yz plokštuma, trikampio paviršiai lygiagretūs su xy plokštuma (76 pav.). Tarkime, kad oro lūžio rodiklis lygus 1, o prizmės paviršius apdorotas taip, kad šviesa nuo jo neatsispindi.



76 pav.



77 pav.

Lazerio spindulio intensyvumas z ašies kryptimi yra pastovus, o toldamas nuo x ašies y ašies kryptimi į abi puses teisiškai mažėja: spindulio intensyvumas yra didžiausias ir lygus I_0, kai y = 0, ir lygus 0, kai $y = \pm 4h$. (Intensyvumas yra ploto vienetui tenkanti galia ir matuojamas W/m^2).

1) Parašykite lygtis, iš kurių kampas θ gali būti išreikštas dydžiais α ir n, kai lazerio spindulys krinta į viršutinį prizmės šoną (77 pav.).

2) Išreikškite jėgos, kuria lazeris veikia prizmę, x ir y dedamąsias dydžiais I_0, θ, h, w ir y_0, kai prizmės viršūnė dydžiu y_0 pasislinkusi nuo x ašies, kol $|y_0| \le 3h$ (žr. 77 pav.).

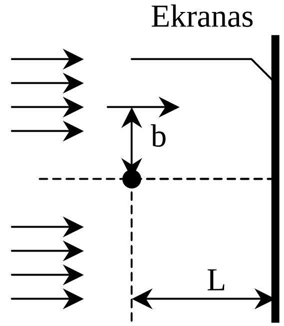
Nubraižykite vertikaliosios ir horizontaliosios dedamųjų priklausomybės nuo y_0 grafikus.

3) Tarkime, lazerio spindulio plotis z ašies kryptimi yra 1 mm, o y ašies kryptimi – 80 μm, prizmės $\alpha = 30^0$, h = 10 μm, n = 1,5, ρ = 2,5 g/cm^3. Kokia lazerio galia reikalinga išlaikyti prizmę pusiausvyrą sunkio jėgos (y ašies krypties) lauke, kai prizmės viršūnė pasislinkusi žemyn nuo lazerio spindulio ašies $y_0 = - h/2 = - 5$ μm atstumu?

4) Analogiškai 3) užduočiai bandymas atliekamas nesvarumo sąlygomis, esant I_0 = =10^8 W/m^2. Prizmė patraukiama nuo lazerio ašies y = h/20 atstumu ir be pradinio greičio paleidžiama. Kokiu dažniu ji svyruos?

103. Elektronų pluoštas. Vienalytis didelės energijos lygiagretus elektronų pluoštas sukurtas panaudojus greitinančią įtampą V_0.

Elektronai juda pro ilgą, ploną, teigiamai įelektrintą varinę vielą, kuri yra įtempta statmenai pradinio pluošto krypčiai taip, kaip parodyta 78 pav. Čia b yra atstumas, kuriuo pro vielą pralėktų elektronas, jei viela nebūtų įelektrinta. Vėliau elektronai pataiko į ekraną. Atstumas nuo vielos iki ekrano L >> b. Iš pradžių pluoštas užima plotį $\pm b_{max}$ atžvilgiu ašies, einančios per vielą. Pluošto plotį statmena 78 pav. kryptimi ir vielos ilgį galima tarti esant begalinius. Įelektrinta viela yra statmena brėžinio plokštumai. (Brėžinys nubraižytas nesilaikant mastelio).



78 pav.

Vielos spindulys $r_0 = 10^{-6}$ m. Didžiausia vertė b= $b_{max}=10^{-4}$ m. Vielos elektros krūvio ilginis tankis $\tau = 4{,}4\cdot10^{-11}$ C/m. Greitinančioji įtampa $V_0 = 2\cdot10^4$ V. Atstumas tarp vielos ir ekrano L = 0,3 m.

Pastaba: atsakydami į 2) – 4) klausimus priimkite pagrįstas prielaidas, leidžiančias supaprastinti skaičiavimus ir tuo būdu gauti analizinius ir skaitinius sprendinius.

1) Nustatykite vielos sukurto elektrinio lauko stiprį E. Nubraižykite E priklausomybės nuo atstumo iki vielos ašies grafiką.

2) remdamiesi klasikine fizika apskaičiuokite elektronų atsilenkimo kampą. Atlikite tai tokioms parametro b vertėms, kurioms esant elektronai nesusiduria su viela. Pažymėkite nedidelį kampą tarp pradinės elektronų greičio krypties ir jų greičio prie ekrano θ_{gal}. Apskaičiuokite jį.

3) Apskaičiuokite ir pavaizduokite elektronų pasiskirstymo diagramą (t.y. intensyvumo pasiskirstymą) ekrane pagal klasikinę fiziką. Nustatykite tą pasiskirstymą apibūdinančių dydžių vertes.

4) Kvantinės fizikos, palyginti su klasikine, yra iš esmės skirtingos pasiskirstymo diagramos savybės. Pavaizduokite kvantinį rezultatą ir nustatykite jo kiekybines charakteristikas.

Eksperimentinės užduotys

104. Azoto savitoji garavimo šiluma. Eksperimento tikslas yra išmatuoti azoto savitąją garavimo šilumą dviem skirtingais būdais.

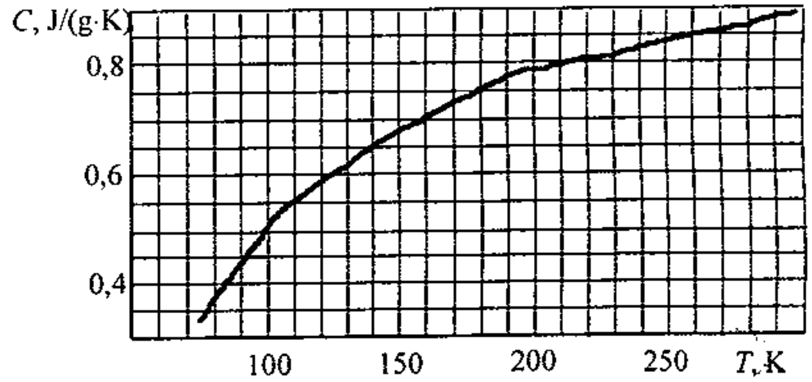
Pirmuoju būdu matuojamas į skystą azotą nardinamas aliuminio gabalėlis ir nustatomas išgaravusio azoto kiekis, kol aliuminis visiškai atšąla.

Antruoju būdu matuojant azotas šildomas ir matuojama jo garavimo sparta.

Skystas azotas laikomas rezervuare. Jo dalis gali būti įpilta į indą ir sveriama. Azotui garuojant svarstyklių parodymai mažėja. Taip esti todėl, kad: 1) konteineris nėra absoliučiai nelaidus šilumai, 2) šilumą azotui perduoda vėstantis aliuminio gabalėlis (pirmas būdas), 3) šiluma suteikiama tekant srovei rezistoriumi, panardintu į azotą (antras būdas). *Duota:* multimetras įtampai, srovės stipriui ir varžai matuoti, sekundometras, nuolatinės srovės šaltinis.

Matuojant pirmuoju būdu reikia atsižvelgti į tai, kad aliuminio savitoji šiluma c pastebimai kinta keičiantis temperatūrai nuo kambario iki skysto azoto temperatūros, kuri, esant normaliam atmosferos slėgiui, yra 77 K. 79 pav. pateiktas c priklausomybės nuo temperatūros grafikas. Kambario temperatūra yra 21 ± 2^0C. Skaitmeniškai nustatykite gauto rezultato paklaidą.

Matuojant antruoju būdu išmatuokite spartą, kuria garuoja azotas tekant srovei į jį panardintu rezistoriumi, ir rezultatus panaudokite azoto savitajai garavimo šilumai nustatyti. Skaitmeniškai nustatykite gauto rezultato paklaidą.



79 pav.

105. Magnetiniai momentai ir laukai.

1) Nustatykite nedidelio cilindro formos nuolatinio magneto X absoliutinę magnetinio momento μ_x vertę.

2) Nustatykite ašinės simetrijos magnetų sistemos B magnetinio srauto tankį B.

Nurodymai. Naudokitės šiais faktais:

1) Bipolio magnetinio srauto tankis B taške, esančiame bipolio ašyje ir nutolusiame x atstumu nuo bipolio centro, yra lygiagretus su bipolio ašimi ir išreiškiamas formule:

$$B = \frac{2\mu K}{|x|^3},$$

čia B matuojama teslomis (T = N/(A·m)), K = 10^{-7} T·m/A, x matuojama metrais, μ - A·m^2.

Nustatykite magnetų poros X magnetinį momentą. Magnetų poros inercijos momentas yra žinomas. Magnetų pora A analogiška X , tik gali skirtis magnetiniai momentai. Magnetai pakabinti ant siūlo priglaudžiant juos iš dviejų pusių prie varinio disko, pritvirtinto prie siūlo. Mediniame stove įtvirtinta magnetų pora naudojama ant siūlo pakabintam „kompasui“ paveikti. Tiriant „kompaso“ atsilenkimo kampą, tikslinga po „kompasu“ kelių milimetrų atstumu padėti varinę plokštelę, kuri sukelia elektromagnetinio stabdymo efektą. Apatinėje plokštelėje esanti varinės vielos atramėlė neleidžia kilti švytuokliniams „kompaso“ svyravimams, kurie, susidėdami su sukamaisiais svyravimais, galėtų pakeisti pastarųjų amplitudę ir periodą. Sukamiesiems svyravimams sužadinti naudotina vinis.

Magnetų pora, veikiama Žemės magnetinio lauko, kabo ne visai horizontaliai. Šio reiškinio galima nepaisyti.

2) Horizontalaus magneto, laisvai pakabinto išoriniame magnetiniame lauke (kaip kompaso rodyklė Žemės magnetiniame lauke), mažų svyravimų periodas nusakomas formule

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{\mu B_h}},$$

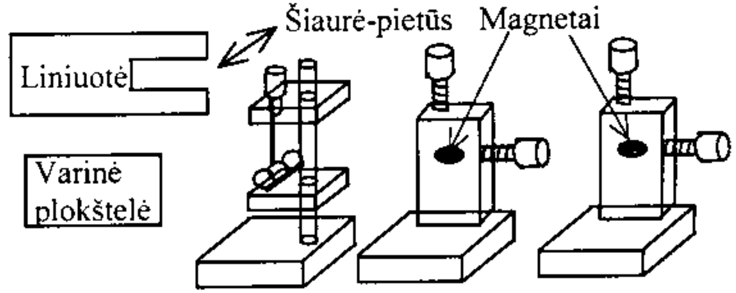
čia B_h – išorinio magnetinio lauko srauto tankio horizontalioji dedamoji tame taške, kur yra magnetas, I – magneto inercijos momentas vertikaliosios (svyravimų) ašies atžvilgiu.

Aliuviniame vamzdelyje įdėta ašinės simetrijos magnetų sistema B. Šios sistemos magnetinio srauto tankis B_x išilgai sistemos ašies kaip atstumo x funkcija išreiškiama taip:

$$B_x(x) = C\,x^p.$$

Nustatykite laipsnio rodiklio p vertę ir jo paklaidą. Lauką reikia tirti iš juodu tašku pažymėto galo.

Aparatūra. Aparatūra pavaizduota 80 pav. Tarp dviejų horizontaliųjų plokščių, pritvirtintų prie medinio stovo, pakabintas siūlas, prie apatinio siūlo galo gali būti prikabinti magnetai (A ir X). Po pakabintu magnetu gali būti padedama varinė plokštelė, slopinanti magneto judėjimą. Yra dar du mediniai stovai: viename gali būti įtvirtinti magnetai A arba X, kitame – B. Atstumai gali būti matuojami liniuote, tvirtinama prie vieno iš stovų.



80 pav.

XXV tarptautinė fizikos olimpiada, 1994 m. (Kinija)

Teorinės užduotys

106. Reliatyvistinė dalelė. Specialiojoje reliatyvumo teorijoje rimties masės m_0 laisvosios dalelės energijai E ir judesio kiekiui p galioja sąryšis

$$E = \sqrt{p^2c^2 + m_0^2c^4} = mc^2.$$

Kai tokią dalelę veikia konservatyvi jėga, visa jos energija, išreiškiama mc^2 ir potencinės energijos suma, yra pastovi. Jei dalelės energija labai didelė, rimties energijos galima nepaisyti (tokia dalelė vadinama ultrareliatyvistine).

1) Nagrinėsime ultrareliatyvistinės dalelės vienmatį judėjimą (rimties energijos nepaisysime) veikiant pastovaus dydžio jėgai f, nu-

kreiptai į koordinačių pradžią. Pradiniu laiko momentu t = 0 dalelė yra koordinačių pradžioje, o jos judesio kiekis yra p_0. aprašykite dalelės judėjimą vieno svyravimo metu, pavaizduodami grafiškai koordinatės x priklausomybę nuo laiko t ir judesio kiekio p priklausomybę nuo koordinatės x. Išreikškite posūkio taškų koordinates per p_0 ir f. proceso kryptį (p, x) grafike nurodykite rodyklėmis.

2) Mezonas – tai dalelė, sudaryta iš dviejų kvarkų. Jo rimties masė lygi jį sudarančių kvarkų energijų sumai, padalytai iš c^2. Nagrinėjame vienmatį mezono modelį, kai kvarkai juda išilgai x ašies, trukia vienas kitą pastovaus dydžio jėga f ir laisvai prasilenkia. Į kvarkų rimties masę neatsižvelgiame. Laiko momentu t = 0 kvarkai yra koordinačių pradžioje, t.y. $x_1 = x_2 = 0$. Nubraižykite abiejų kvarkų (x,t) ir (p,t) grafikus, posūkio taškus pavaizduokite per M it f diagramose diagramose nurodykite procesų kryptis. Nustatykite didžiausią atstumą tarp kvarkų.

3) Antrojoje dalyje panaudotą atskaitos sistemą pažymime S. Sistema S' juda priešinga x ašiai kryptimi pastoviu greičiu v = 0,6c. Laiko momentu t = t' = 0 koordinatės x ir x' sutampa. Grafiškai pavaizduokite abiejų kvarkų judėjimą diagramoje (x',t'). Posūkio taškų koordinates pavaizduokite per M, f, c. Apskaičiuokite didžiausią atstumą tarp kvarkų sistemoje S'. Koordinatės sistemose S ir S' susijusios Lorenco transformacija:

$$x' = \gamma(x + \beta ct), \;\; t' = \gamma(t + \beta x / c),$$

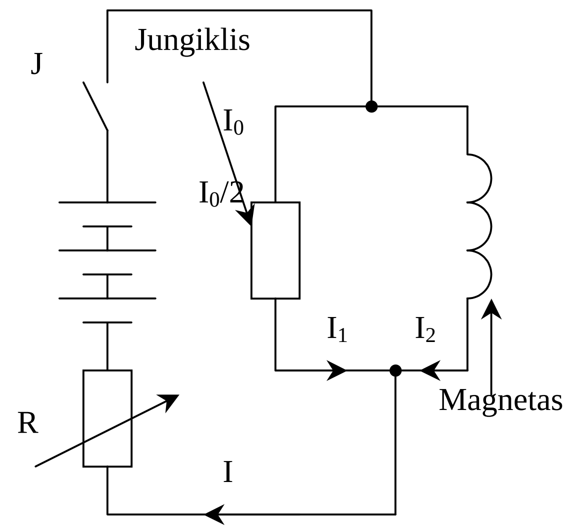
čia β = v/c, $\gamma = 1/\sqrt{1-\beta^2}$, o v – sistemos S greitis sistemos S' atžvilgiu.

4) Mezonas, kurio rimties energija Mc^2 = 140 MeV, juda 0,6c greičiu laboratorinėje atskaitos sistemoje S'. apskaičiuokite jo energiją toje sistemoje.

107. Superlaidus magnetas. Superlaidus magnetas paprastai esti sudarytas iš superlaidžios medžiagos vielos solenoido ir superlaidaus jungiklio. Įdėjus magnetą į skystą helį, t..y. esant 4,2 K tempera-

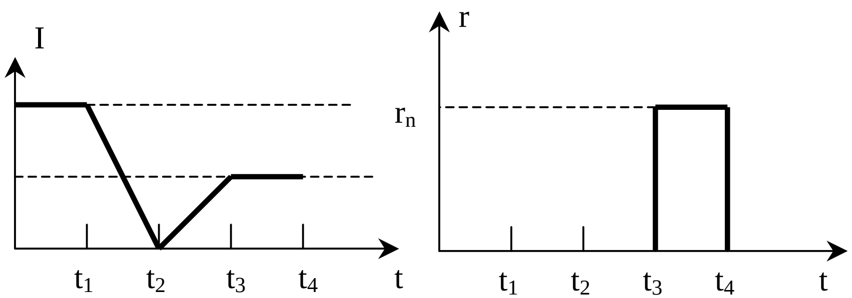
tūrai, laidais tekanti srovė neišskiria Džaulio šilumos, nes grandinės varža lygi nuliui.

Jungiklio varža gali būti keičiama: r=0 superlaidžios būsenos ir $r=r_n$ normalios būsenos. Kai magnetas ir jungiklis esti superlaidūs, srovė jais teka neapibrėžtai ilgai. Todėl išjungus išorinį srovės šaltinį magnetinis laukas lieka pastovus. Pašildžius jungiklį jo varža tampa r_n, mūsų atveju 5 Ω. Solenoido induktyvumas yra lygus 10 H. Srovės stipris I reguliuojamas parenkant kintamą varžą R. grandinės schema duota 81 pav. Uždavinys sprendžiamas naudojant grafikus.



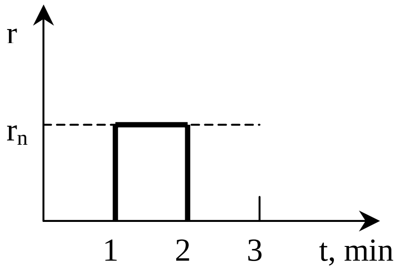
81 pav.

1) Srovės stipris I ir jungiklio varža tolydžiai keičiami taip, kaip parodyta 82 pav. grafikuose. Iš pradžių $I_1 = I_2 = I_0/2$. Nubraižykite I_1 ir I_2 priklausomybės nuo laiko grafikus, kai $t_1, t_2 < t_4$.



82 pav.

2) Laiko momentu t = 0 įjungiamas jungiklis J. Tuo momentu r = 0, I_1 = 0, R = 7,5Ω, I = 0,5 A. Esant įjungtam jungikliui J, varža r kinta taip, kaip parodyta 83 pav. grafike. Nubraižykite I, I_1, I_2 priklausomybės nuo laiko grafikus.

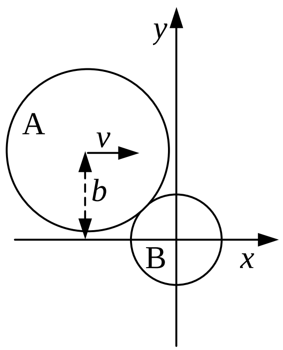


83 pav.

3) Kai superlaidus jungiklis yra normalios būsenos, juo gali tekėti ne stipresnė kaip 0,5 A srovė, nes tekant stipresnei srovei jungiklis esti sudeginamas. Superlaidus magnetas iki laiko momento t = 3 min dirba stabiliu režimu, I = 0, I_1 = - I_2 = 20A. Kaip galima sumažinti srovės stiprį iki nulio (keliais etapais) nesugadinant jungiklio? Pavaizduokite grafiškai I, I_1, I_2 ir r pakitimus.

4) Superlaidus magnetas iki laiko momento t = 3 min dirba stabiliu režimu, juo tekant 20 A stiprio srovei. Kaip pereiti į stabilų režimą esant 30 A srovės stipriui, nepažeidžiant ankstesnėje užduotyje nurodytų apribojimų jungikliui?

108. Diskų susidūrimas. Vienalytis m_A masės R_A spindulio diskas greičiu v be trinties slysta horizontalia plokštuma xy lygiagrečiai su x ašimi atstumu b nuo tos ašies ir susiduria su to paties storio m_B masės R_B spindulio disku, kurio centras sutampa su koordinačių sistemos pradžia (84 pav.). Diskų susidūrimo taško greičio dedamosios, statmenos jų centrus jungiančiai tiesei, susidūrimo momentu tarp savęs yra lygios.



84 pav.

1) Nustatykite diskų greičių projekcijas į x ir y ašis susidūrimo metu.

2) Nustatykite diskų kinetines energijas po susidūrimo.

109. Šviesos atspindžio nuo dielektrinės plokštelės tyrimas.

Priemonės: He – Ne lazeris, du šviesos poliarizatoriai, du šviesos stiprumo indikatoriai, stiklinė plokštelė spinduliui suskaldyti, skaidri dielektriko plokštelė, laikiklis su kampamačiu, smeigtukai, ekranas, ekranas su maža skylute, pasta elementams įtvirtinti, medinė lenta, popierius grafikams braižyti.

1) Nustatykite lazerio šviesos p komponentės atspindžio koeficiento priklausomybę nuo kritimo kampo (p komponentė – tai lygiagreti su atspindžio plokštuma šviesos elektrinio lauko dedamoji).

a) Lazerio šviesos poliarizatorių pasukite taip, kad į tiriamąją plokštę kristų tik p komponentė, ir nustatykite gautojo kampo vertę.

b) matuodami šviesos indikatoriumi įsitikinkite, kad jo rodmenys tiesiai proporcingi šviesos intensyvumui. Nubraižykite optinę eksperimento schemą. Parašykite skaičiavimo formulę, matavimų ir skaičiavimų rezultatus surašykite į lentelę. Gautą priklausomybę pavaizduokite grafiškai.

c) nustatykite p komponentės atspindžio koeficiento priklausomybę nuo kritimo kampo θ. Nubraižykite bandymo optinę schemą. Parašykite skaičiavimo formulę, matavimo ir skaičiavimo rezultatus surašykite į lentelę. Nubraižykite atspindžio koeficiento priklausomybės nuo kampo θ grafiką.

2) Kuo tiksliau nustatykite tiriamosios plokštės lūžio rodiklį.

Nurodymas. Atspindėta šviesa esti tiesiai poliarizuota, kai $\mathrm{tg}\theta_B=n$ (n – atspindinčios medžiagos lūžio rodiklis).

110. „Juodoji dėžė“. Duota „juodoji dėžė“ su dviem gnybtais. Joje yra ne daugiau kaip trys pasyvūs elementai. Nustatykite lygiavertę schemą ir elementus.

Priemonės: dviejų spindulių oscilografas, garsinių dažnių elektrinių virpesių generatorius, 100 Ω varžos rezistorius, jungiamieji laidai, popierius grafikams braižyti.

XXVI tarptautinė fizikos olimpiada, 1995 m. (Australija)

Teorinės užduotys

111. Raudonasis gravitacinis poslinkis ir žvaigždės masės nustatymas.

a) Iš žvaigždės paviršiaus išspinduliuojamas fotonas, kurio dažnis f ir defektinė masė m. Įrodykite, kad fotono dažnio pokytis Δf, fotonui išlėkus iš žvaigždės gravitacinio lauko, kai $\Delta f << f$, išreiškiamas formule

$$\frac{\Delta f}{f} = -\frac{GM}{Rc^2},$$

čia G – gravitacijos konstanta, M – žvaigždės masė, R – žvaigždės spindulys, c – šviesos greitis. Raudonasis spektro linijų poslinkis gali būti panaudotas santykiui M/r nustatyti. Žinant R, galima nustatyti M.

b) Vienos mūsų galaktikos žvaigždės link paleista automatinė kosminė stotis išmatuoti žvaigždės masę M ir spindulį R. Žvaigždės paviršiuje He^+ jonų išspinduliuoti fotonai registruojami rezonansinės sugertiems metodu, sužadinant He^+ jonus stoties kameroje formuojamame pluoštelyje. Sugertis galima tik tada, kai He^+ jonai tam tikru greičiu juda žvaigždės link ir tuo kompensuoja raudonąjį poslinkį. He^+ jonų greitis žvaigždės atžvilgiu $v = \beta c$ matuojamas kaip atstumo iki artimiausio žvaigždės taško funkcija. Eksperimento duomenys pateikti lentelėje. Panaudodami visus eksperimento duomenis grafiniu būdu nustatykite žvaigždės masę M ir spindulį R. Atsakymo paklaidos nevertinkite.

Greičio parametras $\beta = v/c$ (10^{-5})
3,352 3,279 3,195 3,077 2,955
Atstumas iki žvaigždės paviršiaus d (10^8 m)
38,90 19,98 13,32 8,99 6,67

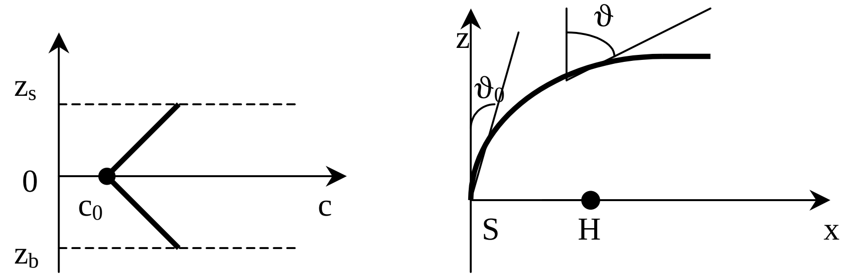
c) Šio eksperimento metu, nustatant R ir M vertes, paprastai atsižvelgiama į fotono dažnio pokytį dėl spinduliuojančio atomo atatrankos. (Šiluminis judėjimas praplečia spinduliuotės juostą, tačiau nekeičia maksimumo padėties, todėl tariame, kad į visus šiluminius efektus atsižvelgta).

i) Tegul ΔE yra dviejų atomo energijos lygmenų energijų skirtumas, kai atomai nejuda. Tegul atomas, esantis ramybės būsenos, išspinduliuoja fotoną ir pats išjuda. Išveskite išspinduliuoto atomo energijos hf reliatyvistinę priklausomybę nuo ΔE ir atomo rimties masės m_0.

ii) gaukite skaitinį reliatyvistinio dažnio poslinkio ($\Delta f/f$) įvertinimą He^+ jonams. Rezultatas turėtų būti dagu mažesnis už raudonąjį poslinkį b) punkte.

Duomenys: šviesos greitis $c = 3{,}0\cdot10^8$ m/s, He rimties masė $m_0c^2 = 4\times938$ MeV, Boro energija $E_n = -13{,}6\, Z^2/n^2$ eV, gravitacijos konstanta $G = 6{,}7\cdot10^{-11}$ $N\cdot m^2\cdot kg^{-2}$.

112. Garso greitis vandenyje priklauso nuo gylio, vandens temperatūros, druskos koncentracijos.



a) b)

85 pav.

85 pav. a) parodyta garso greičio c priklausomybė nuo gylio z, kai mažiausias greitis c_0 esti viduryje tarp vandenyno paviršiaus ir dugno. Imame z = 0, kur greitis mažiausias, z_s yra vandenyno paviršius, z_b – dugnas. Kai z > 0, greitis išreiškiamas formule $c=c_0+bz$, kai $z < 0$, $c = c_0 - bz$. Čia $b = | dc/dz |$ yra pastovus garso gradiento mo-

dulis. 85 pav. b) parodytas vandenyno pjūvis xz plokštuma (x – horizontalė). Toje plokštumoje garso greitis išreiškiamas 85 pav. a) parodyta priklausomybe. Garso šaltinis yra taške, kurio koordinatės x = 0, z = 0. garsą, sklindantį kuria nors kryptimi, pavaizduojame spinduliu, išeinančiu iš šaltinio kampu ϑ_0 (85 pav. b). Dėl garso greičio priklausomybės nuo z spindulys išlinksta, kampas ϑ išilgai trajektorijos kinta.

a) Įrodykite, kad pradinė trajektorijos dalis yra lankas, kurio spindulys $R=c_0/(b\sin\vartheta_0)$, kai $0 \leq 90^0 \leq \pi / 2$.

b) Išveskite formulę, siejančią z_s, c_0 ir b, atitinkančią mažiausią kampo ϑ_0 vertę spinduliams, neatsispindintiems nuo vandenyno paviršiaus.

c) 85 pav. b) pavaizduotas imtuvas , kurio koordinatės z = 0, x = X. Gaukite išraišką, siejančią b, X ir c_0 ir atitinkančią seriją kampo ϑ_0 verčių, leidžiančių garsui pasiekti imtuvą H. Tam, kad nebūtų garso atspindžio, tarkite, kad z_s ir z_b yra gana dideli.

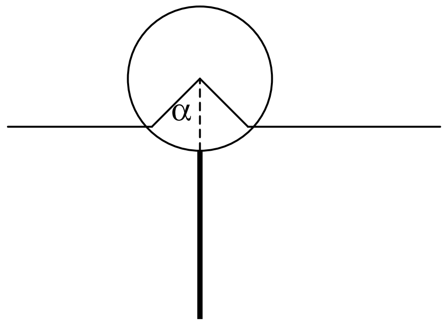
d) Apskaičiuokite keturias mažiausias ϑ_0 vertes, kai X = 10000 m, c_0 = 1500 m / s, b= 0,02000 s^{-1}.

e) Išveskite formulę laikui, reikalingam garsui nusklisti nuo S iki H esant mažiausiam kampui ϑ_0, apskaičiuoti. Apskaičiuokite tą laiką naudodami d) punkto duomenis. Gali būti naudinga formulė

$$\int \frac{dx}{\sin x} = \ln tg(x/2).$$

Nustatykite laiką, per kurį tiesus spindulys nusklinda nuo S iki H. Kuris spindulys – tiesus ar atitinkantis mažiausią kampą ϑ_0, nusklis greičiau?

113. Plūdę sudaro a spindulio l ilgio pastovaus d tankio cilindras ir kietas vienalytis strypas, pritvirtintas cilindro viduryje statmenai cilindro ašiai (86 pav.).



86 pav.

Strypo masė lygi cilindro masei, jo ilgis lygus cilindro skersmeniui, tankis didesnis už jūros vandens tankį. Plūdė plūduriuoja ρ tankio jūros vandenyje.

a) Gaukite išraišką, siejančią plūduriavimo kampą α su santykiu d / ρ. Į strypo tūrį neatsižvelkite.

b) Panardinta į maža gylį z ir paleista plūdė pradeda vertikaliai svyruoti apie pusiausvyros padėtį. Nustatykite, kaip to svyravimo dažnis priklauso nuo α, a ir laisvojo kritimo pagreičio g. tarkite, kad vandens judėjimo įtaka gali būti įvertinta trečdaliu padidinant plūdės defektinę masę. Tarkite, kad kampas α nėra mažas.

c) raskite svyravimo dažnio priklausomybę nuo a ir g plūdei sukinėjantis apie cilindro ašį. Strypo nuokrypio nuo vertikalės kampą tarkite esant mažą, į vandens dinamiką ir klampą neatsižvelkite.

d) Plūdėje įtaisytas akselerometras, leidžiantis tirti vertikaliuosius ir sukamuosius svyravimus. Nustatyta, kad vertikaliųjų svyravimų periodas 1 s, sukamųjų 1,5 s. Panaudodami tą informaciją parodykite, kad plūduriavimo kampas artimas 90^0, įvertinkite cilindro spindulį ir masę, žinodami, kad cilindro ilgis yra lygus jo spinduliui. Vandens tankis ρ = 1000 kg / m^3, laisvojo kritimo pagreitis g = 9,8 m/s^2.

Eksperimentinės užduotys

114. Skystyje krintantis kūnas per tam tikrą laiką įgyja pastovų greitį, vadinamą nuostoviuoju greičiu. Eksperimento tikslas – krintančių glicerine kūnų nuostoviojo greičio matavimas. Spindulio r rutuliuką, judantį skystyje greičiu v, veikia pasipriešinimo jėga F = $6\pi\eta rv$ (čia η - klampos koeficientas). Eksperimento užduotis – išmatuoti metalinių cilindrų nuostovųjį greitį. Kiekvieno cilindro skersmuo lygus jo aukščiui. Tarkime, kad cilindrą veikia pasipriešinimo jėga $F = 6k\pi\eta r^m v$, čia k ir m – konstantos (rutuliukui k = m = 1). Įrodykite, kad nuostovusis cilindro greitis skystyje išreiškiamas formule $v = Cr^{3-m}(\rho - \rho')$, jei ρ - cilindro medžiagos tankis, ρ' – skysčio tankis, C – konstanta, kurios išraišką irgi reikia nustatyti.

Užduotys: nustatykite laipsnio rodiklį m ir glicerino tankį.

Priemonės: 1000 ml menzūra su glicerinu, indas su glicerinu lygiui palaikyti, elektroninis sekundometras, liniuotė su padalomis, samtis, pincetas, 6 cilindrai: aliuminiai 10,00, 8,00, 5,00 ir 4,00 mm, titaniniai 4,00 mm, nerūdijančio plieno 4,00 mm, variniai 4,00 mm skersmens, milimetrinis popierius ir popierius su logaritminiu – logaritminiu tinkleliu.

Nurodymai. Norint gauti pastovius rezultatus, reikia siekti, kad cilindrai kristų išlaikydami horizontalią padėtį. Cilindrų skersmenų ir ilgių paklaida lygi 0,05 mm. Pakartotiniams bandymams cilindrai iš menzūros išimami samčiu, kurį būtina įleisti į menzūrą prieš metant cilindrą. Glicerinas sugeria iš oro vandens garus. Tai keičia jo klampą. Todėl kai menzūra Todėl kai menzūra nenaudojama, ji turi būti uždaryta plastikine plokštele.

Medžiagų tankiai tokie: aliuminio $2{,}70\cdot10^3$ kg/m^3, nerūdijančio plieno $7{,}87\cdot10^3$ kg/m^3, titano $4{,}54\cdot10^3$ kg/m^3, vario $8{,}98\cdot10^3$ kg/m^3.

115. Eksperimento tikslas – įvertinti kai kuriuos šviesos atspindžio, difrakcijos ir sklaidos reiškinius naudojant lazerio spinduliuotę.

Priemonės: lazeris, metalinės liniuotė kaip difrakcinė gardelė, organinio stiklo indas vandeniui ir pieno mišiniui sklaidos ir atspindžio tyrimams, tieslė, baltas popierinis ekranas, sklaidomasis lęšis, skirtingo pralaidumo filtrai, menzūra su lašeline, lazdelė maišymui, milimetrinis popierius ir popierius su tiesiniu – logaritminiu tinkleliu. Visų priemonių panaudoti nebūtina.

1) Padėkite metalinę liniuotę taip, kad lazerio spinduliai kristų statmenai apšviesdami kelias jos padalas. Baltame ekrane gaukite kelias difrakcines juosteles. Išmatuokite tų juostelių padėtį ir atstumus tarp jų ekranui esant apie 1,5 m nuo liniuotės ir nubraižykite geometrinį eksperimento vaizdą. Panaudodami sąryšį $N\lambda = \pm h\sin\beta$, (čia N – difrakcijos eilė, λ - šviesos bangos ilgis, h – gardelės konstanta, β - difrakcijos kampas), pagal matavimo duomenis nustatykite lazerio šviesos bangos ilgį ir gauto rezultato paklaidą.

2) Pastatykite tuščią organinio stiklo indą tarp lazerio ir ekrano taip, kad šviesa į juos kristų statmenai.

i) Ekrano apšvietimo sumažėjimo laipsnį įvertinkite procentais. Tam galima panaudoti žinomo pralaidumo filtrus. Atminkite, kad žmogaus regos jautrumui būdinga logaritminė priklausomybė. Apšviestumo sumažėjimą daugiausia lemia šviesos atspindys oro ir organinio stiklo ribose, kurių šiuo atveju yra keturios. Statmenai krintant šviesai jos atspindžio koeficientas dviejų aplinkų riboje išreiškiamas taip:

$$R = ((n_1 - n_2)/(n_1 + n_2))^2,$$

Čia n_1 ir n_2 yra pirmosios ir antrosios aplinkų lūžio rodikliai. Pralaidumo koeficientas T = 1 – R.

ii) Imdami organinio stiklo lūžio rodiklį n = 1,59 ir neatsižvelgdami į daugkartinį atspindį ir šviesos koherentiškumo efektus, apskaičiuokite tuščio organinio stiklo šviesos pralaidumo koeficientą. Palyginkite rezultatą su gautu i) punkte.

3) Nekeisdami organinio stiklo padėties į indą įpilkite 50 ml vandens ir pakartokite 2) ounkte nurodytus matavimus ir skaičiavimus. Vandens lūžio rodiklis 1,33.

4) i) Įpilkite į organinio stiklo indą 50 ml vandens ir 0,5 ml (12 lašų) pieno (sklaidančioji medžiaga) ir gerai išmaišykite. Išmatuokite kampą, kuriuo išsisklaido lazerio spinduliai, ir išeinančio pro užpakalinę indo dienelę spindulių pluoštelio skersmenį, nepaisydami, kad du dydžiai tarp savęs yra susiję. Nustatykite pralaidumo koeficientą, kaip tai buvo daroma anksčiau.

ii) Įpilkite į indą dar 0,5 ml pieno ir pakartokite matavimus.

iii) Kartokite bandymą tol, kol galite stebėti praėjusią pro indą lazerio šviesą.

iv) Nustatykite priklausomybę tarp sklaidos kampo ir pieno koncentracijos.

v) Panaudodami gautus rezultatus ir formulę

$$I = I_0 \exp(-\mu z) = T_{pien} I_0,$$

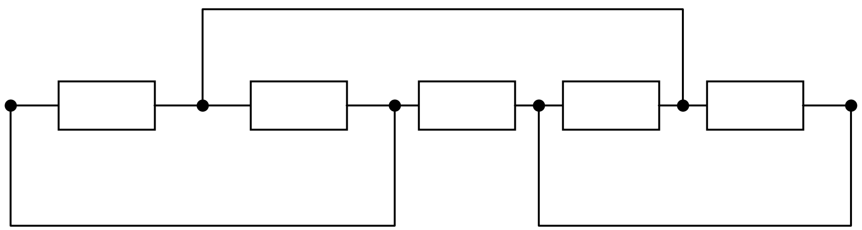
Nustatykite sklaidos koeficiento μ vertę esant 10% pieno koncentracijai. Čia I_0 – krintantis šviesos stipris, I – praėjusios šviesos stipris, z – skysčio sluoksnio storis, μ - sklaidos koeficientas, lygus konstantos ir sklaidančiosios medžiagos koncentracijos sandaugai, T_{pien} – pieno sluoksnio pralaidumo koeficientas.

XXVII tarptautinė fizikos olimpiada, 1996 m. (Norvegija)

Teorinės užduotys

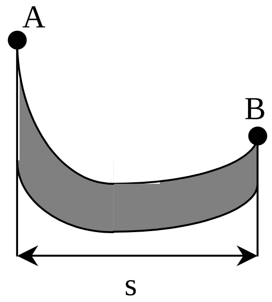
116. (Penkios šio uždavinio dalys tarp savęs nesusijusios).

a) Penki rezistoriai, kurių kiekvieno varža 1 Ω, sujungti taip, kaip parodyta 87 pav. Jungiamųjų laidų varža labai maža. Nustatykite varžą tarp taškų A ir B.



87 pav.

b) Slidininkas be pradinio greičio startuoja iš taško A ir čiuožia šlaitu nedarydamas posūkių ir nestabdydamas (88 pav.). Trinties koeficientas lygus μ. Jam sustojus taške B, horizontalusis jo poslinkis buvo lygus s. koks aukščių skirtumas tarp taškų A ir B ? (Slidininko greitis nebuvo didelis, tad galima nepaisyti papildomojo slėgio į sniegą, atsirandančio dėl trajektorijos kreivumo. Taip pat galima neatsižvelgti į oro pasipriešinimą ir μ priklausomybę nuo greičio).

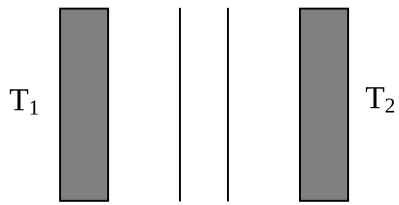


88 pav.

c) termiškai izoliuotas metalo gabalas kaitinamas elektros srove esant pastoviai galiai P ir atmosferos slėgiui. Metalo temperatūra T laikui t einant didėja pagal dėsnį

$$T(t) = T_0[1 + a(t - t_0)]^{1/4}.$$

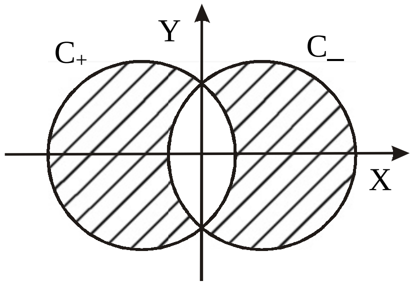
čia a, t_0 ir T_0 – pastovūs dydžiai. Nustatykite metalo šiluminės talpos $C_p(T)$ priklausomybę nuo temperatūros eksperimento temperatūrų intervale.



89 pav.

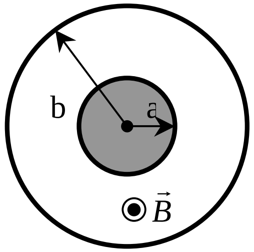
d) Juodas plokščias paviršius, kurio temperatūra pastovi ir lygi T_1, yra lygiagretus su kitu juodu plokščiu paviršiumi, kurio temperatūra irgi pastovi, bet žemesnė ir lygi T_2. Tarp paviršių yra vakuumas. Norint sumažinti šiluminės spinduliuotės srautą tarp šių paviršių įdedamas šiluminis ekranas, sudarytas iš dviejų plonų juodų plokščių, lygiagrečių su plokštėmis (89 pav.). Per tam tikrą laiką nusistovi pusiausvyra. Kiek kartų ekranas sumažina šilumos srautą? Į baigtinių plokščių matmenų sąlygojamus pakraščio efektus neatsižvelkite.

e) Dviem tiesiais labai ilgais nemagnetiniais vienas nuo kito izoliuotais laidininkais C_+ ir C_-, lygiagrečiais su Z ašimi, teka vienodo dydžio, bet priešingų krypčių srovės I. Laidininkų skerspjūvis (90 pav. užbrūkšniuoti) lemia D skersmens skrituliai, esantys XY plokštumoje, atstumas tarp kurių centrų lygus D/2. (Taigi kiekvieno laidininko skerspjūvio plotas lygus $(\pi/12+\sqrt{3}/8)D^2$). srovės vienodai pasiskirsčiusios visame skerspjūvio plote. Apskaičiuokite magnetinio srauto tankį B(x,y) erdvėje tarp laidininkų.



90 pav.

117. Erdvėje tarp dviejų bendraašių cilindrinių laidininkų yra vakuumas (91 pav.).



91 pav.

Vidinio cilindro spindulys lygus a, o vidinis išorinio cilindro spindulys lygus b. Išoriniam cilindrui (vadinama anodu) galima suteikti teigiamą vidinio cilindro atžvilgiu potencialą U. Sistema yra vienalyčiame nuolatiniame magnetiniame lauke $\vec{B}$, lygiagrečiame su cilindrų ašimi ir nukreiptame į mus (žr. 91 pav.). Vidinis cilindras emituoja elektronus, kurių kiekvieno masė m ir krūvis –e.

a) Tarkime, kad išorinio cilindro potencialas lygus U, tačiau B = 0. Elektronas iš vidinio cilindro paviršiaus išlekia labai mažu greičiu. Apskaičiuokite jo greitį tuo momentu, kai jis pasieks anodą. Atsakymą pateikite dviem atvejais: nereliatyvistiniu ir reliatyvistiniu artutinumais.

Nurodymas. Tolesniuose šio uždavinio punktuose naudokite nereliatyvistinį artutinumą.

b) Dabar tarkime, kad U = 0, bet vienalytis magnetinis laukas $\vec{B}$. Elektronas išlekia spindulio kryptimi turėdamas pradinį greitį v_0. Jei magnetinis laukas viršija tam tikrą vertę B_0, elektronas niekada nepasieks anodo. Schemiškai pavaizduokite elektrono trajektoriją, jei B truputį viršija B_0. Nustatykite B_0.

Nurodymas. Tolimesniuose punktuose yra ir potencialas U, ir vienalytis magnetinis laukas B.

c) Magnetinis laukas suteikia elektronui judesio kiekio momentą L cilindrų ašies atžvilgiu. Parašykite judesio kiekio momento kitimo spartos dL/dt išraišką. Įrodykite, kad iš jos galima gauti, kad dydis $L - keBr^2$ (čia k – bematis koeficientas, o r – atstumas iki cilindro ašies) lieka pastovus judant elektronui. Nustatykite k.

d) Panagrinėkime labai mažu greičiu iš vidinio cilindro išlėkusį elektroną. Toks elektronas nepasiekia anodo ir nutolsta nuo cilindrų ašies didžiausiu atstumu r_m. Apskaičiuokite elektrono greičio didžiausio jo nuotolio taške priklausomybę nuo r_m.

e) Magnetinį lauką norime panaudoti anodo srovei reguliuoti. Kai $B > B_0$, labai mažu greičiu išlėkęs elektronas nepasieks anodo. Nustatykite B_0.

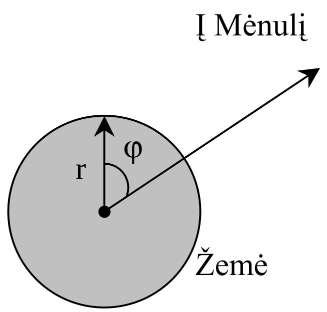
f) Jei elektronai iš vidinio cilindro paviršiaus išlaisvinami kaitinant tą cilindrą, tai bendru atveju elektrono greitis prie vidinio cilindro paviršiaus esti nelygus nuliui. Tarkime, kad lygiagrečioji su $\vec{B}$ jo pradinio greičio dedamoji yra v_B, o statmenosios – v_r (spindulio kryptimi) ir v_φ (statmena spinduliui kryptimi). Nustatykite šiuo atveju magnetinį lauką B_0, kuriam esant elektronas nepasieks anodo.

118. Panagrinėkime kai kurias bendrąsias jūrų potvynių ir atoslūgių Žemėje savybes. Kad būtų paprasčiau, padarysime šias prielaidas: Žemė ir Mėnulis sudaro izoliuotą sistemą, atstumas tarp Žemės ir Mėnulio yra pastovus, Žemė yra visiškai padengta vandenyno, nepaisysime dinaminių efektų, sąlygojamų Žemės sukimosi apie savo ašį, Žemės gravitacinė trauka yra tokia, kokia ji būtų, jei visa jos masė būtų sutelkta Žemės centre. Duoti tokie dydžiai: Žemės masė $M = 5{,}98\cdot10^{24}$ kg, Mėnulio masė $M_M = 7{,}3\cdot10^{22}$ kg, Žemės spindulys $R = 6{,}37\cdot10^6$ m, atstumas tarp Žemės ir Mėnulio centrų $L = 3{,}84\cdot10^8$ m, gravitacijos konstanta $G = 6{,}67\cdot10^{-11}$ $m^3\cdot kg^{-1}\cdot s^{-2}$.

a) Mėnulis ir Žemės sukasi apie bendrą masių centrą C kampiniu greičiu ω. Koks atstumas tarp C ir Žemės centro? Nustatykite ω skaitinę vertę.

Dabar naudosimės apie tašką C besisukančia koordinačių sistema, kurios viena iš ašių sutampa su linija, einančia per Žemės ir Mėnulio centrus. Šioje koordinačių sistemoje Žemės paviršių gaubiantys vandenys yra statiški. Plokštumoje P, einančioje per C statmenai sukimosi ašiai, kiekvieno materialaus taško, esančio ant skysto paviršiaus, padėtis gali būti apibūdinama polinėmis koordinatėmis r ir φ, kaip tai parodyta 92 pav. (čia r yra atstumas nuo Žemės centro). Nagrinėsime skysto Žemės paviršiaus formą plokštumoje P, užrašę to paviršiaus lygtį taip:

$$r(\varphi) = R + h(\varphi).$$



92 pav.

b) panagrinėkime m masės materialųjį tašką, esantį ant Žemės skysto paviršiaus (plokštumoje P). Mūsų atskaitos sistemoje jį veikia išcentrinė jėga ir Mėnulio bei Žemės traukos jėgos. Atsižvelgdami į šias tris jėgas, užrašykite potencinės energijos išraišką.

Nurodymas: bet kokia jėga F®, nukreipta radialiai kokios nors koordinačių sistemos atžvilgiu, yra lygi sferinę simetriją turinčios potencinės energijos U® išvestinei, paimtai su minuso ženklu: $F(r) = - U'(r)$.

c) Apytiksliai išreikškite potvynio bangos h(φ) formą per M, M_M ir kitus dydžius. Koks šio modelio duodamas skirtumas (metrais) tarp potvynio ir atoslūgio vandens aukščių?

XXVIII tarptautinė fizikos olimpiada, 1997 m. (Kanada)

Teorinės užduotys

119. Palyginimo uždaviniai. a) Prie nesvarios idealios spyruoklės prikabintas nedidelis kūnas svyruoja aukštyn ir žemyn dažniu f. Spyruoklė perkerpama pusiau ir kūnas prikabinamas prie vienos iš spyruoklės dalių galo. Koks bus šios naujos svyruoklės dažnis f_1?

b) Nesužadinto vandenilio atomo spindulys a_0 = 0,0529 nm (tai Boro radiusas). Koks bus „ miuoninio vandenilio“, kuriame elektroną pakeičia to paties krūvio, bet 207 kartus didesnės masės miuonas, spindulys a_1? Tarkite, kad protono masė ženkliai didesnė tiek už miuono, tiek už elektrono masę.

c) Vidutinė Žemės temperatūra T = 287 K. Kam būtų lygi vidutinė Žemės temperatūra, jeigu 1% sumažėtų atstumas tarp Žemės ir Saulės?

d) Vieną dieną oras yra sausas ir jo tankis ρ = 1,2500 kg/m^3. Kitą dieną oro drėgmė padidėja tiek, kad 2 % oro masės sudaro vandens garai. Slėgis ir temperatūra išlieka nepakitę. Koks to drėgnojo oro tankis ρ_1? Vidutinė sauso oro molio masė lygi 28,8g/mol, vandens molio masė 18 g/mol. Taikykite idealiųjų dujų modelį.

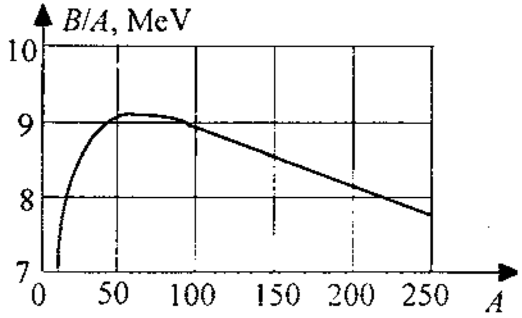
e) Sraigtasparnis gali kyboti ore, jei jo variklis išvysto mechaninę galią P. Kokią mechaninę galią P_1 turėtų išvystyti iš tų pačių medžiagų pagamintas sraigtasparnis, kurio visi tiesiniai matmenys būtų sumažinti du kartus, kad jis irgi kybotų ore?

120. Branduolių masė ir jų stabilumas. Šiame uždavinyje visos energijos matuojamos megaelektronvoltais (MeV). 1 MeV = $1{,}6\cdot10^{-13}$ J.

Atomo branduolio, susidedančio iš Z protonų ir N neutronų (tokio branduolio atominė masė A = N + Z), masė M lygi laisvų tą branduolį sudarančių nuklonų (protonų ir neutronų) masių sumai minus branduolio ryšio energija, padalyta iš šviesos greičio kvadrato (B/c^2). Taigi

$$Mc^2 = Zm_pc^2 + Nm_nc^2 - B.$$

93 pav. grafike parodyta, kaip didžiausia B/A vertė (duotai A vertei) priklauso nuo A.



93 pav.

a) Kai atominė masė viršija tam tikrą vertę A_α, branduolio ryšio energija visuomet esti ganėtinai maža, todėl gali būti emituojama alfa dalelė (alfa dalelė – tai helio atomo branduolys, jo A = 4). Įvertinkite A_α, teisiškai aproksimuodami tą 93 pav. kreivės dalį, kurioje A > 100.

Tarkime, kad šiame modelyje branduoliai prieš alfa skilimą, taip pat ir po jo susidarę branduoliai turi ryšio energiją, atvaizduotą 93 pav. kreive, ir kad visa alfa dalelės ryšio energija B_α = 25,0 MeV (iš grafiko to nenustatysite!).

b) Iš Z protonų ir N neutronų susidedančio branduolio (A = Z + N) ryšio energija gali būti apskaičiuota pagal šią pusiau empirinę formulę:

$$B = a_v A - a_n A^{2/3} - a_c Z^2 A^{-1/3} - a_a (N-Z)/A - \delta.$$

Parametras δ lygus: + $a_p A^{-3/4}$ branduoliams, kurių N ir Z nelyginiai skaičiai, 0 branduoliams, kurių N lyginis, o Z nelyginis skaičius, arba atvirkščiai, - $a_p A^{-3/4}$ branduoliams, kurių N ir Z lyginiai skaičiai. Koeficientų vertės: a_v=15,8 MeV, a_n=16,8 MeV, a_c=0,72 MeV, a_a=23,5 MeV, a_p=33,5 MeV.

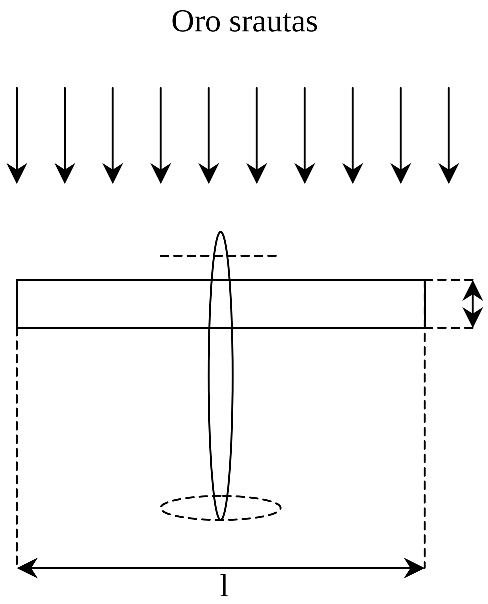
i) Išveskite formulę protonų skaičiui Z_{max}, atitinkančiam didžiausą duotosios atominės masės A branduolio tyšio energiją, apskaičiuoti. Šiuose skaičiavimuose parametrą δ atmeskite.

ii) Kam lygus didžiausią B/A vertę turinčio branduolio, kurio atominė masė A=200, protonų skaičius Z? Šį kartą į parametrą δ atsižvelkite.

iii) Išnagrinėkite šiuos tris branduolius, kurių atominė masė A = 128: ${}^{128}_{53}J$, ${}^{128}_{54}Xe$, ${}^{128}_{55}Cs$. Nustatykite, kurie iš jų energijos požiūriu yra stabilūs ir kurie turi pakankamai energijos, kad galėtų vykti toliau išvardyti skilimo procesai: 1) β^- skilimas (iš branduolio išlekia elektronas), 2) β^+ skilimas (iš branduolio išlekia pozitronas), 3) β^- β^- skilimas (iš branduolio vienu metu išlekia du elektronai), 4) elektrono pagavimas (branduoliai pasiima atomo elektroną).

Elektrono (ir pozitrono) rimties masės energija $m_e c^2$=0,51 MeV, protono $m_p c^2$=938,27 MeV, neutrono $m_n c^2$=939,57 MeV.

121. Saulės energiją naudojantis lėktuvas. Jums reikia sukonstruoti lėktuvą, kuris galėtų išsilaikyti ore tik Saulės energijos dėka. Efektyviausia konstrukcija turi sparnus, kurių visas viršutinis paviršius padengtas saulės elementais. Tie elementai tiekia elektros energiją propelerį sukančiam varikliui. Tarkime, kad sparnas yra stačiakampio, kurio ilgis l ir plotis c, formos. Sparno plotas S = cl, o ilgio ir pločio santykį pažymėkime A = l/c. Norėdami apytiksliai aprašyti sparno veikimą, galime nagrinėti į sparną krintantį oro sluoksnį, kurio aukštis x, ilgis l, ir paskui nukrypstantį nuo sparno žemyn kampu ε. Oro greičio modulio pokytis labai nedidelis. Galima parinkti optimalią ε vertę. Šis paprastas modelis esti artimas tikrovei, jei x = π/4. tarkime, kad mūsų atveju taip ir yra. Visą lėktuvo masę pažymėkime M ir tarkime, kad jis skrenda horizontalia kryptimi greičiu v jį supančio oro atžvilgiu. Tolesniuose skaičiavimuose nagrinėkite tik aptekantį sparną orą. Propelerio įtakos oro srautui nepaisykite. 94 pav. parodytas lėktuvo vaizdas iš viršaus (su lėktuvu susietos atskaitos sistemos atžvilgiu), o 95 pav. sparno vaizdas iš šono (judančios kartu su lėktuvu atskaitos sistemos atžvilgiu).



94 pav.

a) Iš pradžių nagrinėkite oro impulso pokytį neatsižvelgdami į oro greičio modulio kitimą. Išveskite keliamosios jėgos L ir horizontaliosios pasipriešinimo jėgos D_1 priklausomybių nuo greičio v, kampo ε ir oro tankio ρ išraiškas.

b) Toliau nagrinėjant reikia atsižvelgti į oro trintį su aptekamu sparno paviršiumi. Dėl to atsiranda papildoma horizontali pasipriešinimo jėga D_2. Oras sulėtėja nežymiai. Jo greičio modulio pokytis Δv, kai Δv/v << 0,01, gali būti išreikštas formule

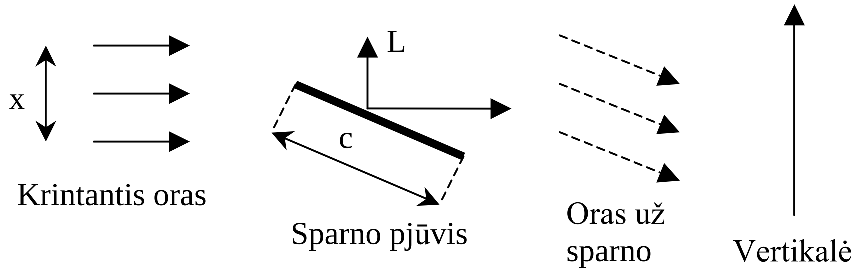
$$\frac{\Delta v}{v} = \frac{f}{A}.$$

Dydis f nepriklauso nuo ε.

Išveskite skridimo greičio v_0 priklausomybės nuo M, f, A, S, ρ ir g (laisvojo kritimo pagreičio) išraiškas esant mažiausiai galiai, kuri reikalinga, kad lėktuvas skristų pastoviame aukštyje pastoviu greičiu. Atmeskite $\varepsilon^2 f$ bei aukštesnių eilių dydžius.

Skaičiuojant jums gali būti naudinga mažiems kampams tinkanti formulė

$$1 - \cos\varepsilon \approx \frac{\sin^2 \varepsilon}{2}.$$



95 pav.

c) Nubraižykite grafiką, pavaizduojantį, kaip galia P priklauso nuo greičio v modulio. Tame pačiame brėžinyje dviem kreivėmis parodykite, kaip galia priklausytų nuo greičio, jei kiekviena pasipriešinimo jėga veiktų atskirai. Raskite mažiausios galios P_{min} priklausomybės nuo M, f, A, S, ρ ir g išraišką.

d) Apskaičiuokite sparno apkrovą Mg/S (N/m^2) ir skridimo greitį v_0 (m/s) tuo atveju, kai saulės elementų tiekiama energija pakankama, kad propelerio varikliai išvystytų I = 10 W mechaninę galią, tenkančią vienam sparno paviršiaus kvadratiniam metrui. ρ = 1,25 kg/m^3, f = 0,004, A = 10.

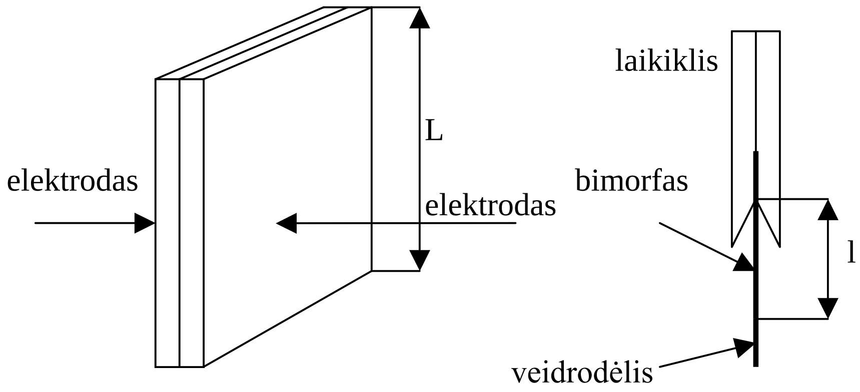
Eksperimentinės užduotys

122. Bimorfo tyrimas. Bimorfą sudaro du stipriai sutvirtinti pjezoelektrinės medžiagos sluoksniai. Ant dviejų išorinių paviršių užgarinti elektrodai, kad būtų galima jo viduje sukurti elektrinį lauką. (žr. 96 pav.).

Sluoksniai parinkti taip, kad sukūrus statmeną paviršiams elektrinį kaulą vienas iš sluoksnių ilgėja (L kryptimi), o kitas trumpėja (ta pačia kryptimi). Pakeitus elektrinio lauko kryptį priešinga, tas sluoksnis, kuris anksčiau traukėsi, dabar plečiasi ir atvirkščiai. Tarkite, kad sudarius elektrinį lauką bimorfas išsilenkia apskritimo lanku.

Pastaba. Veikiant elektriniam laukui pjezoelektrinės medžiagos keičia savo matmenis, o veikiant mechaniniam įtempimui jose atsiranda elektrinis laukas. Santykinis matmenų pokytis elektriniame lauke pirmuoju artutinumu apytikriai proporcingas elektriniam laukui. Tačiau analizuojant tiksliau pastebima nedidelė histerezė, t.y. sudarius elektrinį lauką ir paskui sumažinus jį iki nulio, pjezoelektrinės medžiagos matmenys tiksliai nebeatgauna savo pirmykščių veršių. Norint jas atgauti, būtina sukurti priešingos krypties nedidelį elektrinį lauką. Plečianti ar traukianti pjezoelektrinę medžiagą jėga pirmuoju artutinumu yra proporcinga elektriniam laukui.

Dėmesio! Nežiūrėkite tiesiai į lazerio spindulį ar į jo atspindį veidrodyje – tai gali pakenkti jūsų regėjimui.



96 pav.

1) Nustatykite laisvojo bimorfo galo poslinkio priklausomybę nuo įtampos, ją keisdami nuo +36 V iki – 36 V ir vėl iki +36 V. Šių matavimų metu įtampą keiskite tik viena kryptimi (pavyzdžiui, matuodami intervale nuo – 36 V iki +36 V įtampą tik didinkite ir jokiu būdu nemažinkite – net jei kurį nors tašką praleisite, prie jo negrįžkite). Pavaizduokite šią priklausomybę grafiškai.

Vieno ciklo metu, kai įtampą mažinate nuo +36 V iki -36 V ir vėl didinate iki +36 V, tam tikras energijos kiekis prarandamas pačiame bimorfe. Nurodykite ir apskaičiuokite dydį, kuris yra proporcingas šiam energijos kiekiui.

a) Nubraižykite elektrinę schemą, kurią naudojote matuodami bimorfo laisvojo galo poslinkio priklausomybę nuo įtampos.

b) Nubraižykite scheminį eksperimento brėžinį, parodantį geometrinį dalių išsidėstymą. Pažymėkite dalis ir svarbiausius jų parametrus.

c) Užrašykite formulę, siejančią bimorfo laisvojo galo poslinkį su kitais išmatuotais dydžiais. Pasinaudodami savo brėžiniu iš b) punkto, paaiškinkite visų dydžių fizikinę prasmę.

d) Ant milimetrinio popieriaus nubraižykite grafiką, vaizduojantį laisvojo bimorfo galo poslinkio priklausomybę nuo įtampos. Skirtingai pažymėkite taškus, gautus didinant ir mažinant įtampą. Nepamirškite pažymėti ašių, padalų verčių ir vienetų.

e) Grafike nurodykite dydį, proporcingą pačiame bimorfe prarandamos energijos kiekiui.

f) Pateikite dydžio, kuriam proporcingas prarandamas bimorfe energijos kiekis, skaitinę vertę ir matavimo vienetus.

2) Neatsižvelgiant į histerezę šio bimorfo laisvojo galo poslinkis išreiškiamas formule $d = AV^m l^n$. Čia V – įtampa, l – bimorfo laisvojo galo ilgis, matuojamas nuo kontaktų prispaudimo laikiklyje vietos, o m, n ir A – konstantos. Atlikę būtinus matavimus ir skaičiavimus, nustatykite konstantų m, n ir A vertes.

3) Išmatuokite elektrinę bimorfo talpą.

a) Nubraižykite grandinės, kurią naudojote bimorfo talpai matuoti, elektrinę schemą.

b) Užrašykite išmatuotus dydžius ir formulę, kuria naudojotės nustatydami bimorfo elektrinę talpą.

c) Pateikite nustatytos elektrinės talpos skaitinę vertę, nurodydami matavimo vienetus ir paklaidą.

Priemonės: 1) Laikiklyje (skalbinių segtuke) įspraustas $L = 38 \pm 1$ mm ilgio bimorfas su kontaktais ir laidais, turintis viename gale pritvirtintą mažą veidrodėlį. Bimorfo laisvosios dalies ilgį l galite keisti įstumdami jį į laikiklį ar ištraukdami iš jo. Būkite atsargūs su bimorfu, nes jis trapus! 2) lazeris su guminiu žiedu, laikančiu įjungtą lazerį darbo metu, 3) juodas plastilinas bimorfo laikikliui ir lazeriui pritvirtinti prie stalo, 4) ekranas, 5) multimetras su laidais (jo įėjimo varža 1 MΩ, įtampos matavimo tikslumas $\pm 0{,}1$ V), 6) 2,5 MΩ kintamoji varža (potenciometras), skirta bimorfo įtampai keisti, 7) 9 V baterijų su laidais komplektas su nuosekliai įjungta 5 kΩ varža srovės stipriui grandinėje apriboti, 8) $1{,}00 \pm 0{,}05$ GΩ varžos rezistorius, 9) sekundometras, 10) liniuotė.

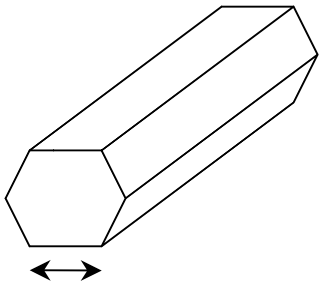
Pastaba. 1,00 GΩ rezistoriaus varžą gali pasikeisti dėl sąlyčio su drėgna ar riebaluota ranka, todėl nelieskite jo rankomis, o imkite tik už prijungtų prie jo metalinių laidų.

XXIX tarptautinė fizikos olimpiada, 1998 m. (Islandija)

Teorinės užduotys

123. Šešiakampės prizmės riedėjimas. Yra ilga kieta nesideformuojanti šešiakampė vienalytė prizmė (panaši į pieštuką), kurios masė M, o skerspjūvis – taisyklingasis šešiakampis, kurio briauna lygi a (97 pav.). Tokios prizmės inercijos momentas centrinės ašies atžvilgiu yra

$$I = \frac{5}{12} Ma^2,$$

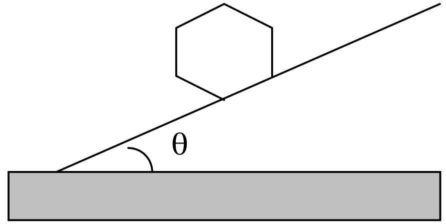


97 pav.

o jos inercijos momentas kurios nors briaunos atžvilgiu

$$I' = \frac{17}{12} Ma^2.$$

a) Prizmė padedama ant nuožulniosios plokštumos, sudarančios su horizontu kampą θ taip, kad jos simetrijos ašis būtų horizontali (98 pav.). Tarkime, kad prizmės sienos yra šiek tiek įlenktos į vidų ir riedanti nuožulniąja plokštuma prizmė ją liečia tik briaunomis. (Šio įlenkimo įtakos prizmės inercijos momentams nepaisykite). Prizmė truputį pajudinama ir ima, neslysdama ir neprarasdama kontakto su plokštuma, netolygiai judėti ja žemyn. Kadangi prizmės judėjimas netolygus, jos kampiniai greičiai, kuriai nors briauniai prieš pat paliečiant plokštumą ω_i ir tuoj pat po sąlyčio ω_f, yra skirtingi. Įrodykite, kad tarp jų esti toks sąryšis:



98 pav.

$$\omega_f = s\,\omega_i$$

ir nustatykite koeficiento s vertę.

b) Tarkime, kad prizmės kinetinės energijos prieš pat smūgį briauna į plokštumą ir tuoj pat po jo yra lygios atitinkamai K_i ir K_f. Įrodykite, kad

$$K_f = r\,K_i$$

Ir nustatykite koeficiento r vertę.

c) Kad prizmė dar kartą atsitrenktų briauna į plokštumą, K_i turi būti didesnė už tam tikra mažiausią savo vertę $K_{i\,min}$, kurią galima išreikšti taip:

$$K_{i\,min} = \delta Mga.$$

Čia $g = 9{,}81$ m/s^2 – laisvojo kritimo pagreitis.

Koeficientą δ išreikškite per nuožulniosios plokštumos polinkio kampą θ ir koeficientą r.

d) Jei c) punkto sąlyga patenkinama, prizmės judėjimas nuožulnia plokštuma nusistovi ir kinetinė energija K_i jau riedant turi pastovią vertę $K_{i\theta}$. Įrodykite, kad

$$K_{i\theta} = kMga$$

Ir k išreikškite per θ ir r.

e) $0{,}1^0$ laipsnio tikslumu apskaičiuokite mažiausią nuožulniosios plokštumos polinkio kampą θ_0, kuriam esant vieną kartą prasidėjęs judėjimas gali tęstis ir toliau.

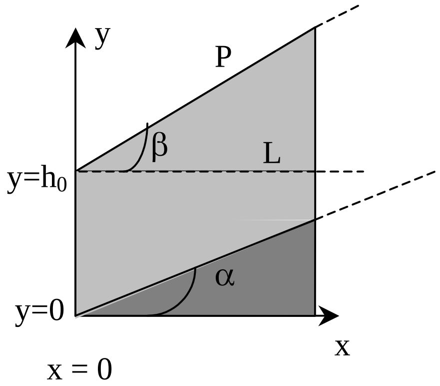
124. Vanduo po ledynine kepure. Ledyninė kepurė – tai ant žemės esantis storas ledo sluoksnis. Jo storis gali siekti kelis kilometrus, o horizontalia kryptimi šis sluoksnis tęsiasi šimtus kilometrų. Uždavinyje nagrinėjamas ledo tirpimas ir vanduo po tirpstančio ledo sluoksniu, t.y. ledo lydymosi taške. Šiomis sąlygomis galima padaryti prielaidą, kad slėgio skirtumus ledas sąlygoja kaip klampus skystis, bet jis deformuojasi (daugiausiai dėl vertikalaus judėjimo) kaip trapi medžiaga. Spręsdami uždavinį naudokitės šiais duomenimis: vandens tankis $\rho_v = 1{,}0\cdot10^3$ kg/m^3, ledo tankis

$\rho_l = 0{,}917\cdot10^3$ kg/m^3, ledo savitoji lydymosi šiluma $L_l = 3{,}4\cdot10^5$ J/kg, ledo savitoji šiluma $c_l = 2{,}1\cdot10^3$ J/(kg·K), uolienų ir magmos tankis $\rho_r = 2{,}9\cdot10^3$ kg/m^3, uolienų ir magmos savitoji šiluma $c_r = 700$ J/(kg·K), uolienų ir magmos savitoji lydymosi šiluma $L_r = 4{,}2\cdot10^5$ J/kg, vidutinis šilumos srautas, sklindantis į išorę per žemės paviršių, J_q=0,06 W/m^2, ledo lydymosi taškas $T_0 = 0^0$C.

a) panagrinėkite storą ledyninę kepurę toje vietoje, kur iš žemės į išorę sklinda vidutinis šilumos srautas. Pasinaudodami duotais duomenimis, apskaičiuokite per metus išsilydžiusio ledo sluoksnio storį d.

b) Dabar panagrinėkite viršutinę ledyninės kepurės dalį. Tarkite, kad po kepure esantis žemės paviršius pasviręs kampu α, o viršutinis ledyninės kepurės paviršius – kampu β, kuris gali būti ir didesnis, ir mažesnis už α, ir neigiamas (99 pav.). (Šiame ir tolesniuose paveiksluose P – ledyninės kepurės paviršius, Ž – žemė, L – ledas). Vertikalus ledo storis taške x = 0 lygus h_0. Tada viršutinio ir apatinio ledyninės kepurės paviršių lygtys bus tokios:

$$y_1 = x\,\mathrm{tg}\alpha,$$
$$y_2 = h_0 + x\,\mathrm{tg}\beta.$$



99 pav.

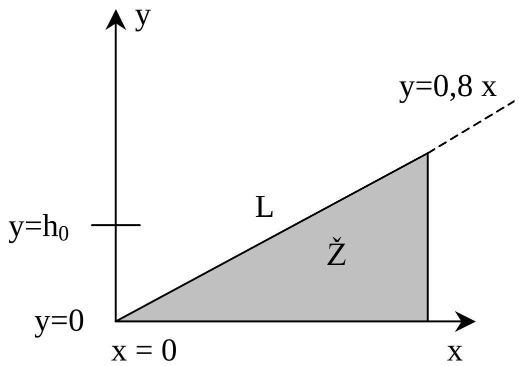
Išveskite išraišką, siejančią slėgį ledyninės kepurės apačioje p su horizontaliąja koordinate x.

Nustatykite matematinį sąryšį tarp kampų α ir β tuo atveju, kai vanduo tarp ledyninės kepurės ir žemės neteka jokia kryptimi. Įrodykite, kad šis sąryšis gali būti užrašytas taip:

$$\mathrm{tg}\beta = s\,\mathrm{tg}\alpha$$

ir nustatykite (analizine forma) koeficientą s.

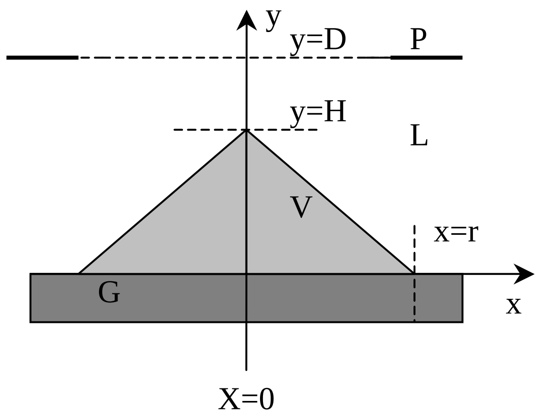
100 pav. tiesė y=0,8 x aprašo žemės paviršių po ledynine kepure. Vertikalus storis h_0 taške x = 0 yra 2 km. Tarkime, kad apačioje esantis vanduo yra pusiausvyras. Grafike nubrėžkite tiesę y_1 ir pridėkite tiesę y_2, vaizduojančią viršutinį ledo paviršių.



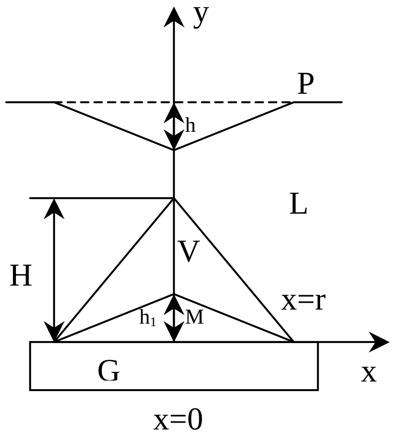
100 pav.

c) Ant horizontalios žemės esančio storo ledo sluoksnio pradinis stori D = 2,0 km. Jo viduje staiga ištirpus daliai ledo atsirado kūgio formos vandens tūris. To kūgio aukštis H = 1,0 km, spindulys r = 1,0 km (101 pav., kuriame V – vanduo). Tarkime, kad likęs ledas dėl šios priežasties pajuda tik vertikalia kryptimi. Analitiškai aprašykite ledyninės kepurės formą po to, kai susiformavo vandens kūgis ir buvo pasiekta hidrostatinė pusiausvyra. Šios ledyninės kepurės formą taip pat pavaizduokite grafiškai.

d) Kasmetinės ekspedicijos metu tarptautinė mokslininkų grupė tyrinėja šylančią ledyninę kepurę Antarktidoje. Paprastai ji atrodo kaip nemažas plokščias paviršius, tačiau kartą ten buvo aptikta kraterio pavidalo įduba, turinti apversto kūgio formą. Jos gylis h = 100 m, spindulys r = 500 m (102 pav., kuriame M – įsiveržusi uoliena (magma)). Ledo storis tyrinėjimų rajone 2000 m.



101 pav.



102 pav.

Pasitarę mokslininkai nusprendė, kad labiausiai tikėtina įvykus nedideliam vulkano išsiveržimui po ledynine kepure. Nedidelis išsilydžiusios uolienos (magmos) kiekis pateko į apatinę ledyninės kepurės dalį, sukietėjo ir atvėso, išlydydamas tam tikrą ledo kiekį. Mokslininkai stengiasi įvertinti tokio „įsiveržimo“ (magmos patekimo po ledynine kepure) tūrį ir suvokti, kas atsitiko tokiu būdu išsilydžius ledui.

Tarkime, kad judėjo tik vertikalia kryptimi, iš pradžių magma buvo skysta ir buvo 1200^0C temperatūros. Paprastumo dėlei dar tarkime, kad išsiveržusi magma turėjo kūgio, kurio pagrindas skritulys, o jo centras yra toje pačioje vertikalėje, kaip ir paviršiaus įdubos centras, formą. Magmos kilimo trukmę manykite esant trumpą palyginti su šilumos mainų proceso trukme. Taip pat tarkime, kad šiluma sklido vertikalia kryptimi, o vanduo visą laiką turėjo kūgio, esančio virš magmos išsiveržimo centro, formą.

Atsižvelgus į šias prielaidas reikia manyti, kad ledo lydymasis vyksta dviem etapais. Iš pradžių magmos paviršiuje atsirandantis vanduo nesti pusiausviras ir teka tolyn. Galima tarti, kad šio vandens temperatūra esti lygi 0^0C. Vėliau pasiekiama hidrostatinė pusiausvira ir vanduo susitelkia virš įsiveržusios magmos nebetekėdamas tolyn.

Jums reikia nustatyti šiuos parametrus nusistovėjus šiluminei pusiausvyrai:

1) Po ledynine kepure atsiradusio vandens kūgio aukštį H (dugno proceso pradžioje atžvilgiu).

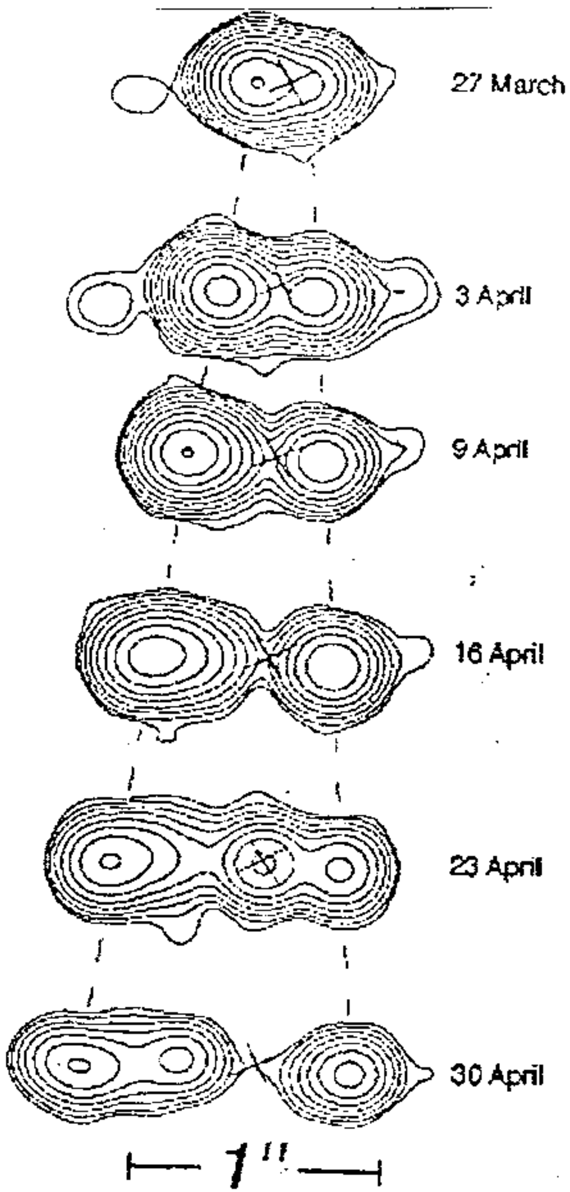
2) Įsiveržimo aukštį h_1.

3) Viso susidariusio vandens masę m_{viso} ir tolyn nutekėjusio vandens masę m’.

Naudodamiesi 102 pav. koordinačių sistema, atsižvelgdami į mastelį nubraižykite uolienos įsiveržimo ir likusio vandens formas.

125. Greičiau už šviesą? Šis uždavinys skirtas 1994 m. atliktų sudėtingo radijo bangų šaltinio, esančio mūsų galaktikoje, stebėjimo rezultatų analizei.

103 pav. pavaizduota serija stebėjimų, atliktų radioteleskopu įvairiais laiko momentais centimetrinių bangų diapazonu. Kontūrai vaizduoja pastovių spinduliavimo stiprių linijas, panašiai kaip paviršiaus aukščiai esti vaizduojami topografiniuose žemėlapiuose. Du matomi maksimumai atitinka du objektus, judančius iš bendro centro, paveiksle žymimo kryžiuku. Šis centras irgi yra stiprus radijo bangų šaltinis, tačiau kitame bangų diapazone, todėl paveiksle yra nematomas. Tarkime, jo padėtis yra pastovi, o matavimai atlikti skirtingomis dienomis tuo pačiu paros metu. Paveikslo mastelį rodo apačioje esanti atkarpa, atitinkanti vieną kampo sekundę (1’’=1/3600^0).



103 pav.

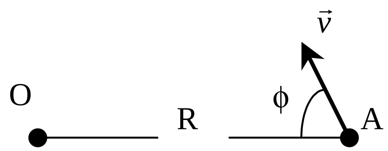
Atstumas iki šios dangaus kūnų sistemos centro yra apie R ≈ 12,5 kpc (kiloparsekų . (1 kpc = $3{,}09 \cdot 10^{19}$ m.) Šviesos greitis c = $3{,}00 \cdot 10^{8}$ m/s. Spręsdami šį uždavinį paklaidų neskaičiuokite.

a) Pažymėkite kampus $\theta_1(t)$ ir $\theta_2(t)$, kuriais kryžiuku pažymėto centro atžvilgiu matomi šie radijo spindulių šaltiniai. Čia indeksai 1 ir 2 žymi atitinkamai kairį ir dešinį šaltinius, o t yra jų stebėjimo laikas. Šaltinių kampiniai greičiai stebint iš Žemės lygūs ω_1 ir ω_2, o juos atitinkantys skersiniai greičiai gali būti pažymėti $v'_{1\perp}$ *ir* $v'_{2\perp}$.

Pagal 103 pav. nustatykite ω_1 ir ω_2 skaitines vertes ir pateikite jas išreikštas kampo milisekundėmis per dieną (‘’/d). Taip pat nustatykite $v'_{1\perp}$ *ir* $v'_{2\perp}$ skaitines vertes. (Kai kas čia gali jus ir nustebinti).

b) Atsiradusią problemą pabandykite išspręsti panagrinėdami stebėjimą šviesos šaltinio, greičiu $\vec{v}$ judančio tiese, sudarančia kampą ϕ su kryptimi į tolimą stebėtoją O (104 pav.).

Greitį galima pateikti v=βc pavidalu. Stebėtojo matuojamas atstumas iki spinduliavimo šaltinio lygus R, o stebimas kampinis jo greitis yra ω. Statmena stebėjimo tiesei kryptimi registruojamas greitis yra $v'_{\perp}$. Išreikškite ω ir $v'_{\perp}$ per β, R ir ϕ.



104 pav.

c) tarkite, kad du atsiskyrę ir vienas nuo kito tolyn judantys a) punkte aprašyti objektai juda priešingomis kryptimis vienodais greičiais v = βc. Pasinaudodami b) punkte gautais rezultatais, išreikškite β ir ϕ per kampinius greičius ω_1 ir ω_2 bei atstumą R. Čia ϕ yra kampas, aptartas b) punkte kairiajam objektui, žymimam indeksu 1. Išreikškite β ir ϕ žinomais dydžiais ir apskaičiuokite jų skaitines vertes pasinaudodami a) punkte gautais rezultatais.

d) Vieno šaltinio atveju, išnagrinėtu punkte b), nustatykite, kokiai sąlygai esant greitis statmena kryptimi $v'_{\perp}$ gali būti didesnis už šviesos greitį c. Šią sąlygą pateikite

$\beta = f(\phi)$ pavidalu ir užrašykite funkcijos f analizinę išraišką. Grafiškai pavaizduokite plokštumos (β,ϕ) fizikinę prasmę turinčią sritį. Užštrichuokite tą srieties dalį, kurioje $v_{\perp}^{'} > c$.

e) Tęsdami b) punkte pradėtą vieno šaltinio nagrinėjimą, suraskite išraišką maksimaliai $v_{\perp}^{'}$ vertei $(v_{\perp}^{'})_{max}$ apskaičiuoti, kai duota $\beta \to 1$.

f) Įžangoje pateikta R vertė nėra labai tiksli, todėl mokslininkai ieško galimybių tiksliau ją išmatuoti. Viena iš idėjų yra tokia. Tarkime, galima išmatuoti dėl Doplerio efekto pakitusius judančių šaltinių spinduliuotės bangų ilgius λ_1 ir λ_2, o nejudančioje sistemoje abiejų šaltinių spinduliuotė yra vienoda ir jos bangos ilgis lygus λ_0. Pasinaudoję reliatyvistinio Doplerio efekto išraiška

$$\lambda = \lambda_0 \frac{1-\beta\cos\phi}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

ir manydami, kad abu objektai juda tokiu pat greičiu v, galime nustatyti, kad ieškomasis dydis $\beta = v/c$ gali būti išreikštas per λ_0, λ_1 ir λ_2 taip:

$$\beta = \sqrt{1-\frac{a\lambda_0^2}{(\lambda_1+\lambda_2)^2}}.$$

Nustatykite koeficiento a skaitinę vertę.
Taigi matuojant bangų ilgius galima įvertinti didelius atstumus.

126. *Priemonės:* plokštė su gnybtais, plokštėje įtaisyta matavimo ritė, pasagos formos neritinė šerdis su dviem ritėmis, pažymėtomis „A“ ir „B“, pasagos formos neritinė šerdis be ričių, įvairių storių (25 μm, 50 μm ir 100 μm) aliumininės folijos gabalėliai, funkcinis (įvairių signalų formų) generatorius su išėjimo laidais, du multimetrai, šeši laidai su antgaliais, dvi gumelės ir du maži izoliacinio popieriaus gabaliukai.

Multimetrai – tai dviejų įvado gnybtų prietaisai, kurie šiame darbe naudojami kintamosios srovės stipriui, įtampai, dažniui bei varžai matuoti. Visais atvejais vienas iš gnybtų (pažymėtas **COM**) yra bendras. Raudonas gnybtas (pažymėtas **V - Ω**) naudojamas įtampai, dažniui ir varžai matuoti. Srovei matuoti naudojamas geltonas gnybtas, pažymėtas **mA**. Centriniu režimų jungikliu parenkama matavimo funkcija (V – kintamoji įtampa, A – kintamoji srovė, Hz – dažnis, Ω - varža) ir matavimo ribos (diapazonas). Esant kintamajai srovei ir įtampai paklaida lygi $\pm$(4% rodmens + 10 paskutinio skaitmens vienetų). Pvz., rodmens 5,02 paklaida yra $\pm(0{,}04\times 5{,}02+0{,}01\times 10=0{,}30)$. Siekiant didesnio tikslumo patartina pakeisti prietaiso skalę, jei riedmuo tampa mažesnis negu 10% visos skalės vertės. Prietaisas išsijungia automatiškai, jei matavimo režimas ar diapazonas ilgiau kaip 50 min neperjungiami.

Funkcinis generatorius. Norėdami įjungti generatorių, nuspauskite raudoną mygtuką, pažymėtą **PWR**. Nuspaudę mygtuką **10k** pasirinkite 10 kHz diapazoną. Sinusinės formos signalą pasirinkite nuspaudę antrąjį iš dešinės mygtuką, pažymėtą bangos simboliu. Kitų mygtukų nereikia liesti. Amplitudės reguliatorių galite sukti pagal laikrodžio rodyklę iki pat galo. Dažnis parenkamas naudojant didelę skalę, esančią kairėje prietaiso pusėje. Išėjimo dažnis lygus skalės rodmeniui, padaugintam iš pasirinkto diapazono. Bet kada dažnį galima patikrinti multimetru. Tam tikslui naudokite prietaiso išvadą, pažymėtą **MAIN** ir turintį 50 Ω vidinę varžą.

Feritinės šerdys. Su neritinėmis šerdimis elkitės atsargiai, nes jos esti trapios! Feritas – tai keramikinė magnetinė medžiaga, turinti mažą elektrinį laidumą. Todėl šiose šerdyse esti maži sūkurinių srovių sąlygoti nuostoliai.

Gnybtai. Norėdami prie gnybto prijungti laidą, atsukite spalvotą plastmasinę veržlę, įstatykite paruoštą laido gabalą tarp metalinės ir plastmasinės veržlių ir vėl priveržkite veržlę.

I dalis. Sūkurinių srovių magnetinis ekranavimas. Laike kintantys magnetiniai laukai laidininkuose indukuota sūkurines sroves. Sūkurinės srovės savo ruožtu sukuria priešingų krypčių magnetinius laukus, tačiau dėl metalinių laidininkų baigtinio elektrinio laidumo jie nelabai efektingai ekranuoja magnetinius laukus.

Aliuminės folijos ekranavimo savybėms aprašyti taikysime fenomenologinį modelį:

$$B = B_0\, e^{-\alpha d}.$$

Čia B_0 – magnetinio srauto tankis nesant folijos, B – magnetinio srauto tankis už folijos, α - slopinimo koeficientas, d – folijos storis.

Eksperimentas. Padėkite feritinę šerdį su ritėmis „kojomis žemyn“ ant iškilo padėklo taip, kad ritė A būtų tiesiai prieš plokštėje įtaisytą matavimo ritę. Šerdį pritvirtinkite ant iškilo padėkliuko, ištempdami gumelę virš šerdies ir ertmėje po padėkliuku. Manykite, kad folijos storio ir pasirinktojo dažnio paklaidos yra nedidelės.

1) Prijunkite laidus prie ričių A ir B gnybtų. Išmatuokite visų ričių varžas tam, kad įsitikintumėte, ar geri sujungimai. Ričių varžos turėtų neviršyti 10 Ω.

2) Norėdami patikrinti fenomenologinį modelį ir įvertinti slopinimo koeficientą α, išbandykite įvairias aliuminio folijas (jų storiai nuo 25 μm iki 175 μm) esant keliems (pvz., šešiems) dažniams, pasirinkdami juos iš intervalo nuo 6 kHz iki 18 kHz. Patogumo dėlei galite nubraižyti matavimo ritės signalo logaritmo priklausomybės nuo folijos storio grafikus tam, kad tiesės polinkis duotų slopinimo koeficientą. Folijas dėkite į pažymėto stačiakampio vidų virš matavimo ritės ir tarp ritės A gnybtų sudarykite sinusinę įtampą.

3) Grafiškai pavaizduokite α priklausomybę nuo dažnio.

II dalis. Magnetinių srautų sąveika. Tiriamas dviejų ričių, užvyniotų ant feritinės šerdies, atsakas į sinusinių virpesių generatoriaus kintamąją įtampą V_g. Naudojami prietaisai leidžia išvengti bet kokių įsotinimo reiškinių. Prielaida, kad magnetinė skvarba μ yra pastovi, feritui galioja gana tiksliai.

Teorija. Čia pateikiamas teorinis samprotavimas ir eksperimento rezultatų analize daromos prielaidos, kad abiejų ričių aktyviosios varžos ir bet kokie histerezės efektai šerdyje yra nedideli ir negali turėti įtakos matuojamoms srovėms bei įtampoms. Tačiau dėl šių priežasčių gali atsirasti tam tikrų skirtumų tarp išmatuotų ir apskaičiuotų verčių.

Viena ritė. Iš pradžių nagrinėsime šerdį su viena rite, kuria teka I. Magnetinis srautas Φ, kurį sukuria rite tekanti srovė, yra proporcingas srovės stipriui I ir vijų skaičiui N. Taip pat magnetinis srautas priklauso nuo šerdies formos ir dydžio bei magnetinės skvarbos $\mu = \mu_r\, \mu_0$. Šią priklausomybę galime išreikšti geometriniu faktoriumi g. Čia μ_r – čerdies medžiagos santykinė magnetinė skvarba, o μ_0 – magnetinė konstanta. Tada magnetinis srautas Φ lygus

$$\Phi = \mu g N I = cNI.$$

Čia įvestas pažymėjimas $c = \mu g$. Pagal Faradėjaus elektromagnetinės indukcijos dųsnį indukuotoji įtampa

$$\varepsilon(t) = -N\frac{d\Phi(t)}{dt} = -cN^2\frac{dI(t)}{dt}.$$

Sąryšis tarp srovės stiprio ir įtampos išreiškiamas jos induktyvumu L:

$$\varepsilon(t) = -L\frac{dI(t)}{dt}.$$

Sinusinių signalų generatorius, sujungtas su rite, sukels joje srovę

$$I(t) = I_0 \sin\omega t.$$

Čia ω yra kampinis dažnis, I_0 – srovės amplitudė. Iš šių lygčių nustatome, kad ši kintamoji srovė ritėje sukurs įtampą

$$\varepsilon(t) = -\omega c N^2 I_0 \cos\omega t.$$

Srovė bus tokia, kad indukuotoji įtampa būtų lygi generatoriaus įtampai V_g. kaip žinoma, tarp srovės ir įtampos yra 90^0 fazių skirtumas. Atsižvelgę į tai išsiaiškiname, kad kintamosios įtampos ir srovės amplitudės susijusios taip:

$$\varepsilon_0 = \omega c N^2 I_0.$$

(Toliau tekste indekso „0“ prie atitinkamų dydžių nerašysime.)

Dvi ritės. Tarkime, ant šerdies užvyniotos dvi ritės. Tokiu atveju neritinė šerdis sujungia jų magnetinius srautus. Idealiojoje šerdyje srautas yra vienodas visuose jos skerspjūviuose, o realiojoje dėl magnetinio srauto sklaidos antrinę apviją kirs mažesnis srautas nei pirminę. Jei pirminė ritė yra A, o antrinė B, sąryšis tarp srautų jose Φ_A ir Φ_B bus toks:

$$\Phi_B = k\,\Phi_A.$$

B ritėje tekanti srovė savo ruožtu kuria srautą A ritėje: $\Phi_A = k\,\Phi_B$. daugiklis vadinamas ryšio koeficientu, yra mažesnis už vienetą.

Nagrinėsime atvejį, kai ant feritinės šerdies yra uždėtos dvi ritės A ir B, panašiai kaip tai esti transformatoriuje. Ritę A dera vadinti pirmine, nes ji prijungta prie generatoriaus. Jei antrine rite B srovė neteka ($I_B = 0$), srovės I_A indukuotoji įtampa ε_A yra lygi V_g, bet turi priešingą ženklą. Tuo atveju B ritėje indukuotoji įtampa

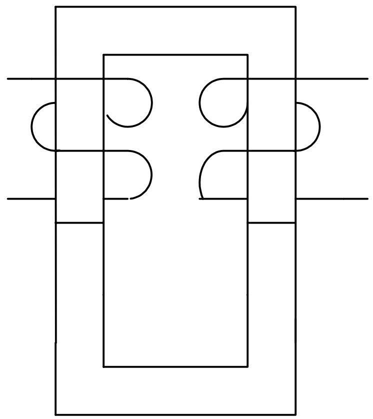
$$\varepsilon_B = \omega k c N_A N_B I_A.$$

Jei B rite teka srovė I_B, tai ji savo ruožtu A ritėje indukuota įtampą, išreiškiamą visiškai analogiškai. Todėl suminė A ritės įtampa yra

$$V_g = \varepsilon_A = \omega c N_A^2 I_A - \omega k c N_A N_B I_B.$$

Taigi antrine rite tekanti srovė pirminėje ritėje indukuota priešingo ženklo įtampą ir tuo sąlygoja I_A padidėjimą.

Analogišką formulę galima parašyti ir įtampai ε_B. Eksperimentiškai patikrinta, kad k vertė nepriklauso nuo to, kuri ritė pavadinta pirmine.



105 pav.

Eksperimentas. Sujunkite dvi pasagos formos šerdis taip, kaip parodyta 105 pav., ir suveržkite jas gumelėmis. Sureguliuokite generatorių taip, kad jis generuotų 10 kHz sinusinę įtampą. Nepamirškite kiekvieno bandymo metu taip nustatyti multimetrų, kad jų jautrumas būtų didžiausias. A ir B ričių vijų skaičiai $N_A = 150$ ir $N_B = 100$ (± 1 vija kiekvienoje).

1) Įrodykite, kad ričių induktyvumai ir koeficientas k gali būti išreikšti per išmatuojamus ir duotus dydžius: $L_A=\varepsilon_A/(\omega I_A)$, kai $I_B=0$, $L_B=\varepsilon_B/(\omega I_B)$, kai $I_A=0$, ir $k=(N_B I_B)/(N_A I_A)$, kai $\varepsilon_B=0$. Nubrėžkite schemas grandinių, naudotų matuojant kiekvieną šių dydžių. Apskaičiuokite skaitines L_A, L_B ir k vertes.

2) Trumpai sujungus antrinę ritę, srovė pirminėje ritėje padidėja ir tampa lygi I_t. Pasinaudodami pateiktomis lygtimis, I_t išreikškite per pirminėje ritėje indukuojamą įtampą, tos ritės induktyvumą ir ryšio koeficientą. Išmatuokite I_t.

3) A ir B rites galima sujungti taip, kad jų srautai susidėtų arba atsiimtų.

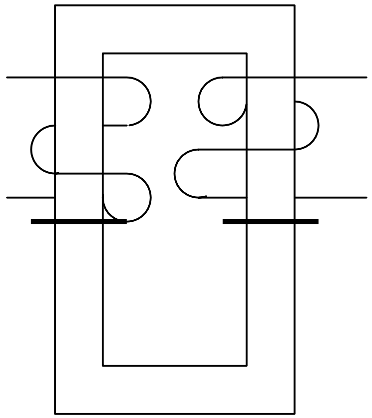
a) Nustatykite nuosekliai sujungtų ričių induktyvumą L_{A+B} pasinaudodami dydžiais: išmatuojamais tuo atveju, kai ričių srautai stiprina vienas kitą (susideda).

b) Išmatuokite įtampas V_A ir V_B tuo atveju, kai ričių srautai yra priešingų krypčių (atsiima). Pateikite šių įtampų santykį. Šį santykį išreikškite ričių skaičiumi ir ryšio koeficientu.

4) Pasinaudodami gautais rezultatais patikrinkite, ar ritės induktyvumas proporcingas vijų skaičiaus kvadratui.

5) Patikrinkite prielaidą, ar pagrįstai galima nepaisyti pirminės ritės aktyviosios varžos.

6) tarp šerdžių įdėti ploni izoliacinio popieriaus lapeliai (106 pav.). Atsižvelgdami į tai ir naudodamiesi Ampero dėsniu ir magnetinio srauto tankio vektoriaus $\vec{B}$ tolydumu pereinant ribą tarp ferito ir izoliacinio popieriaus, nustatykite ferito santykinę magnetinę skvarbą μ_r. manykite, kad izoliacinio popieriaus lapelių storis yra 43 μm, popieriaus $\mu = \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ N·s²/C². geometrinis faktorius apibrėžiamas Ampero dėsniu



106 pav.

$$\oint \frac{1}{\mu} B dl = I_{sum}.$$

Čia I_{sum} yra suminė srovė, kertanti integravimo kontūro ribojamą plotą. Pateikite μ_r algebrinę išraišką ir apskaičiuokite jos skaitinę vertę.

Pastaba: ši informacija interneto svetainėje www.olimpas.lt skelbiama nuo 2004 03 10.
Pataisyta, papildyta: 2004 03 25.