Labaratorinis darbas Nr. M-T10

**IDEALIŲ DUJŲ MOLINIŲ ŠILUMŲ SANTYKIO NUSTATYMAS**

**DARBO TIKSLAS:**  
Eksperimentiškai nustatyti oro molinių šilumų santykį ir palyginti su teorine verte.

**DARBO PRIEMONĖS:**

Indas su dviem čiaupais, kompresoriumi (oro pompa) ir monometriniu stulpeliu.

**TEORINĖ EKSPERIMENTO DALIS:**

Molekulių laisvės laipsniai. Kieti, skysti ir dujiniai kūnai sudaryti iš molekulių, kurios gali būti vienaatomės (He, Ar, Ne), o taip pat dviatomės ir daugiaatomės (N2, O2, H2O). Molekulės laisvės laipsnių skaičius yra jos galimų nepriklausomų judėjimų (krypčių ir pobūdžio prasme) skaičius. Molekulės laisvės laipsnių skaičius yra lygus jos padėtį nusakančių nepriklausomų koordinačių skaičiui. Vienaatomės molekulės (materialaus taško) judėjimas apibūdinamas trimis slenkamojo judesio laisvės laipsniais (trys nepriklausomų judėjimų kryptys – išilgai x, y, z ašių). Dviatomės molekulės judėjimas apibūdinamas trimis jos masės centro O slenkamojo judesio laisvės laipsniais ir dviem sukimosi (rotacijos) laisvės laipsniais apie dvi statmenas tarpusavyje ir statmenas jungčiai AB ašis (1 a pav.). Taigi dviatomė molekulė turi 5 laisvės laipsnius. Trijų ir daugiau atomų molekulės turi šešis laisvės laipsnius – tris masių centro O slenkamojo judejimo ir tris – sukimosi apie tris tarpusavyje statmenas ašis. Tai teisinga standaus ("kieto") ryšio molekulėms. "Kietas" ryšys reiškia, jog atstumai tarp atomų nekinta.

Tačiau prie pakankamai aukštų temperatūrų "kietas" ryšys suįra – molekulėse atomai pradeda svyruoti centro O atžvilgiu ir molekulės įgyja papildomus svyravimo (vibracijos) laisvės laipsnius. Šiuo atveju turime tamprų (“minkštą”) ryšį ir laisvės laipsnių skaičius išauga.

Maksimalus molekulės laisvės laipsnių skaičius i = 3 n, kur n – atomų skaičius molekulėje. Reikia pažymėti, kad molekulės laisvės laipsnių skaičius paprastai yra mažesnis už maksimalų, nes sukimosi ir svyravimo laisvės laipsniai " įsijungia" tik prie aukštesnių ir aukštų temperatūrų.

Dujų vidinė energija. Nagrinėjant šiluminius reiškinius, galime laikyti, jog dujų vidinė energija susideda iš molekulių: a) slinkimo, b) sukimosi kinetinės energijos bei c) atomų svyravimų molekulėje (jei ryšys “minkštas”) potencinės ir kinetinės energijų. Be to realių dujų molekulės viena kitą traukia arba stumia, tad realiose dujose turime dar sąveikos tarp molekulių potencinę energiją. Ši potencinė sąveikos energija priklauso nuo nuotolio tarp molekulių. Idealių dujų atveju tarpmolekulinės sąveikos nėra ir potencinė tarpmolekulinės sąveikos energija lygi nuliui. Rendamiesi energijos pasiskirstymo pagal laisvės laipnius dėsniu, idealių dujų molekulės vidutinę energiją galime užrašyti taip (1) Šioje formulėje i = is+ir+2iv, kur indeksai s,r,v žymi atitinkamai slinkimo, rotacinius ir vibracinius laisvės laipsnius. 2iv rašome todėl, kadangi vibracijos laisvės laipsniui tenka dvigubai didesnė energija (kT).

Kaip minėta, idealiųjų dujų molekulės nesąveikauja, todėl šių dujų vieno molio vidinę energiją gausime padauginę molekulės vidutinę energiją iš Avogadro skaičiaus NA (2): Čia indeksu μ pažymima, jog (2) yra vieno molio dujų vidinės energijos išraiška. Dujų masės m vidinę energiją gausime (2) išraišką padauginę iš molių skaičiaus m/ μ, kur μ – dujų molio masė (3):

Pirmasis termodinamikos dėsnis, plėtimosi darbas. Pagal I termodinamikos (energijos tvermės) dėsnį (4): – suteiktas sistemai (dujoms) šilumos kiekis dQ sunaudojamas vidinei energijai padidinti dydžiu dU ir pletimosi darbui dA atlikti. Jeigu darbą atlieka sistemos jėgos, tai dA>0, o jei išorinės jėgos, tai dA<0. Jeigu sistemai suteikiamas šilumos kiekis, tai dQ>0, jeigu ji atiduoda, tai dQ<0. Elementarus plėtimosi darbas lygus dA = p dV, (5) kur dV – tūrio pokytis. Baigtinis darbas A randamas integruojant (5). Visi į (4) formulę įeinantys dydžiai SI sistemoje matuojami džauliais.

Molinės šilumos Cp ir Cv . Šilumos kiekis, kurį suteikus vienam moliui medžiagos, jos temperatūra pakyla vienu laipsniu, vadinamas moline šiluma (indeksas žymi 1 molį) (6): Jeigu dujos šildomos izochoriškai, jų tūris nekinta (V=const.), taigi dV= 0 ir plėtimosi darbas dA= 0. Šiuo atveju turime molinę šilumą esant pastoviam tūriui Cv, kuri sutinkamai su (6) ir (5) lygi (7): Molinė šiluma Cv lygi molio vidinės energijos padidėjimui, kai temperatura pakyla vienu laipsniu. Iš (7) seka, kad vidinės energijos pokytis dU= Cv dT (8). Iš (2) ir (7), gauname Cv išraišką per laisvės laipsnių skaičių i (9): Jeigu dujos šildomos plečiasi laisvai, jų slėgis nekinta (p=const). Šiuo atveju turime molinę šilumą esant pastoviam slėgiui Cp, kuri lygi (10): Antrasis narys (10) randamas diferencijuojant pagal T Klapeirono-Mendelejevo lygtį pV=RT. Atvejui p=const. Turime (11): Įstatę (11) į (10), gauname vadinamąją Majerio lygtį (12): Izobarinio (p=const.) šildymo atveju šiluma sunaudojama ne tik dujų vidinei energijai padidinti bet ir plėtimosi darbui prieš išorines jėgas atlikti, todėl CP >CV . Pasinaudoję (9) iš (12) randame Cp išraišką per laisvės laipsnių skaičių i (13): Įvairiose termodinamikos lygtyse dažnas molinių šilumų CP ir CV santykis = Cp/Cv . Pasinaudojus (13) ir (9) lygtimis, išreiškiamas per laisvės laipsnių skaičių (14) : Tokiu būdu išmatavę , galime rasti dujų molekulės laisvės laipsnių skaičių ir nustatyti jos sandarą.

Adiabatinis procesas. Puasono lygtis. Procesą vadiname adiabatiniu, kai sistema, kurioje jis vyksta, nesikeičia šiluma su aplinka, t.y. kai sistema izoliuota nuo aplinkos šilumai nelaidžiu apvalkalu arba joje procesai vyksta taip greitai, kad ji nespėja apsikeisti šiluma su aplinka. Taigi, adiabatiniam procesui dQ=0 ir I termodinamikos dėsnis (4) užrašomas taip:

**dU + dA = 0 arba dA = - dU.** (15)

– adiabatinio proceso darbas lygus vidinės energijos sumažėjimui. Suprantama, kad adiabatinio proceso metu, kintant sistemos vidinei energija, kinta ir jos temperatūra. Pvz., adiabatiškai besiplėsdamas oras atlieka darbą sistemos vidinės energijos sumažėjimo sąskaita ir atšala. Ir atvirkščiai, adiabatiškai slegiant orą, išorinių jėgų atliktas darbas virsta vidine energija ir oras įšyla. Termodinamikoje įrodoma, kad adiabatinio proceso metu dujų tūrį V ir slėgį p sieja Puasono lygtis (16):

Darbe koeficiento eksperimentinė įšraiška randama, pasinaudojant adiabatinio ir izoterminio procesų lygtimis. Darbe ieškomas santykis orui. Pagrindinę oro masę sudaro dviatomių deguonies (≈21%) ir azoto dujų mišinys (≈78%). Orui, kai jis stipriai nesuslėgtas ir temperatūra nėra labai žema, galima taikyti idealių dujų dėsnius. Darbe santykis nustatomas specialiu įrenginiu. Užsukę čiaupą Č2 ir atsukę čiaupą Č1, kompresoriumi K tiek suslėgę orą inde I, kad aukščių skirtumas manometriniame vamzdelyje M būtų apie 150 mm, čiaupą Č1 užsukame. Suslegiant oras įšyla, todėl apie 2-3 min. laukiame, kol jo temperatūra susilygins su kambario temperatūra, ir manometriniame vamzdelyje atskaitome aukščių skirtumą h1. Slėgis inde, išreikštas skysčio stulpelio aukščio vienetais, lygus p1 = H + h1 , kur p = H – atmosferos slėgis.

Suslėgto oro (indo) tūris V, o slėgis p1 ir jame yra oro masė m. Trumpam laikui atsukame čiaupą Č2, kad iš indo išeitų oro masė ∆m ir naujas slėgis inde p susilygintų su atmosferos slėgiu p = H . Dabar inde likusi oro masė m1 = m - Δm užima tūrį V ir jos slėgis p. Prieš čiaupo atsukimą ši masė m1 užėmė mažesnį tūrį V1 (dalį indo tūrio V), o slėgis buvo p1. Čiaupą Č2 atidarius plėtimasis vyko labai greitai ir jo metu oras inde nesuspėjo apsikeisti šiluma su aplinka. Tokį procesą galime laikyti adiabatiniu ir oro masei m1 = m - Δm užrašyti Puasono lygtį (17): čia p1 ,V1 žymi oro masės m1 slėgį ir tūrį prieš išsiplėtimą, o p , V - po išsiplėtimo.

Adiabatiškai besiplėsdamas, oras atšala, todėl vėl palaukiame apie 2-3 min., kol temperatūra inde susilygins su kambario temperatūra. Orui sušilus, slėgis inde padidėja dydžiu h2 ir tampa p2 = H + h2 . Oro masės m1 pradinio būvio (p1 ,V1) ir dabartinio (p2 ,V ) temperatūra vienoda, todėl galima taikyti Boilio-Marioto (pV = const.) dėsnį izoterminiam išsiplėtimui (18): Lygtis (7) ir (8) išlogaritmavę ir pertvarkę, gauname (19):kur lnp=lnH, lnp1=ln(H+h1), lnp2=ln(H+h2) Atsižvelgę į tai, kad H>>h1 ar h2 , logaritmus lnp1 , lnp2 išskleisdžiame Teiloro eilute ir apsiribodami pirmaisiais dviem nariais turime (20): **,**

Įstačius šias išraiškas į (19) lygtį, gaunama tokia eksperimentinė išraiška (21):

**DARBO REZULTATAI:**

1. Rezultatų lentelė:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Eil.Nr.** | **h1, mm** | **h2, mm** |  |  | **P** | **tp, n-1** |  | **i** |  |
| 1 | 147 | 65 | 1,792 | 1,53 | 0,9 | 2,0 | 0,16 | 5 | 1,40 |
| 2 | 93 | 16 | 1,208 |
| 3 | 112 | 40 | 1,556 |
| 4 | 193 | 85 | 1,787 |
| 5 | 142 | 45 | 1,464 |
| 6 | 140 | 41 | 1,414 |
| 7 | 119 | 38 | 1,469 |

1. Santykių suradimas:
2. Vidutinės reikšmės suradimas:
3. Standartinės paklaidos suradimas:
4. Pasikliautinojo interval apskaičiavimas:

Duota pasikliovimo tikimybė P=0,9;

Iš lentelės gaunamas tp, n-1 = tp, 7-1 = 2,0;

1. su paklaida:

Kadangi paklaidą , tai apvaliname iki tokio pačio tikslumo:

Tuomet gaunam:

1. suradimas:

Orą pagrinde sudaro dviatomės molekulės: N2 (≈ 78%), O2 (≈21%)), taigi, orui i =5.

**IŠVADOS:**

1. Iš gauname, kad ir, kadangi , tai . Iš to matome, kad iš eksperimento gauta ir apskaičiuota reikšmės sutampa paklaidų intervale.
2. Iš formulės išsireiškiame i ir jį apskaičiuojame įstatę eksperimentines reikšmes:

Matome, kad , kadangi , o

Iš formulės matome, kad molekulės laivės laipsniui įtaką daro **.** Kadangi yra vidutinė reikšmė ir mes žinome, kad **sukimosi ir svyravimo laisvės laipsniai " įsijungia" tik prie aukštesnių ir aukštų temperatūrų**, tai šiuo atveju sumažėjimą iš iki lemia, tai, kad tam tikrais eksperimentinių matavimų atvejais dujų temperatūra nukrito labiau ir molekules tuo metu veikė tik **slenkamojo judejimo** laisvės laipsniai. Tai, tuo pačių, daro įtaką , nes iš formulės matome, kad kuo mažesnis laisvės laipsnių skaičius i, tuo didesnį gausime santykį , kuo didesnis santykis , tuo didesnė vidutinės reikšmės galutinė reikšmė, ir iš formulės matome, kad, kuo didesnė reikšmė, tuo bus mažesnė reikšmė.

Eksperimento metu dujų temperatūros nukritimą lėmė ilgesnis čiaupo atidarymas, ko pasekoje dėl staigaus dujų judėjimo iš indo (išsiplėtimo) dujų temperatūra nukrito žemiau, nei turėjo. Galiausiai eksperimento netikslumą galimą būtų suvesti į žmogiškąjį faktorių.