

20. Oro izobarinės ir izochorinės molinės šilumos matavimas

Užduotis

1. Išmatuoti oro molines šilumas esant pastoviam tūriui ir pastoviam slėgiui.
2. Palyginti jas su teorinėmis vertėmis, o jų skirtumą – su universaliąja dujų konstanta.

Pagrindiniai teoriniai klausimai

1. Idealių dujų būsenos lygtis.
2. Pirmasis termodinamikos dėsnis.
3. Izobarinis, izoterminis, izochorinis ir adiabatinis vyksmai.
4. Vidinės energijos priklausomybė nuo laisvės laipsnių skaičiaus.

Tyrimo metodika

Pagal pirmąjį termodinamikos dėsnį dujoms suteiktas šilumos kiekis sunaudojamas vidinei energijai padidinti ir darbui prieš išorines jėgas atlikti. Taigi, kai slėgis p yra pastovus (vyksta izobariniai procesai), vidinės energijos pokytis dU_i ir šilumos kiekis mainuose su aplinka dQ su tūrio V pokyčiu dV siejasi taip:

$$dQ = dU_i + pdV. \quad (1)$$

Dujų molinė šiluma C parodo, kokį šilumos kiekį sugeria (atiduoda) molis medžiagos, kai to dujų kiekio temperatūra padidinama (sumažinama) vienu laipsniu:

$$C = \frac{1}{n} \cdot \frac{dQ}{dT}. \quad (2)$$

Čia molių skaičius $n = \frac{m}{M}$, kur m yra medžiagos masė, o M – molio masė. Išvestinė $\frac{dQ}{dT}$ yra vadinama kūno šilumine talpa. Taigi, molinė šiluma yra medžiagos vieno molio šiluminė talpa.

Vykstant izochoriniam vyksmui, kai nekinta tūris V ($dV = 0$), tada iš (1) ir (2) lygčių seka, kad molinė šiluma esant pastoviam tūriui

$$C_V = \frac{1}{n} \cdot \frac{dU_i}{dT}. \quad (3)$$

Vykstant izobariniam vyksmui $dp = 0$, molinė šiluma pastoviam slėgiui:

$$C_P = \frac{1}{n} \left(\frac{dU_i}{dT} + p \frac{dV}{dT} \right). \quad (4)$$

Atsižvelgus į idealiųjų dujų lygtį

$$pV = nRT \quad (5)$$

gauname, kad molinių šilumų C_P ir C_V skirtumas yra lygus dujų konstantai R (Majerio lygtis):

$$C_p - C_v = R. \quad (6)$$

Dujų vidinė energija gali būti susieta su laisvės laipsnių skaičiumi i pasinaudojant kinetine dujų teorija:

$$U_i = \frac{1}{2} i k N_A T n, \quad (7)$$

kur $k = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ yra Bolcmano konstanta, o $N_A = 6.02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ yra Avogadro skaičius. Pasinaudojus sąryšiu $R = k N_A$, gauname:

$$C_v = \frac{i}{2} R. \quad (8)$$

Šią išraišką įstačius į lygtį (6), turime:

$$C_p = \left(\frac{i+2}{2} \right) R. \quad (9)$$

Laisvės laipsnių skaičius priklauso nuo molekulių sandaros. Kiekviena dalelė turi tris slenkamojo judėjimo laisvės laipsnius. Dviatomės molekulės dar turi du papildomus laisvės laipsnius dėl sukamojo judėjimo apie inercijos ašis. Ore daugiausiai yra dviatomių dujų azoto (apie 80%) ir deguonies (apie 20%). Todėl gan dideliu tikslumu galima teigti, kad efektyvusis ore esančių dujų molekulių judėjimo laisvės laipsnis $i = 5$. Taigi orui $C_v = 2,5R \approx 20,8 \text{ J/(Kmol)}$ ir $C_p = 3,5R \approx 29,1 \text{ J/(Kmol)}$.

Orą inde yra patogų šildyti elektriniu šildytuvu. Per laiko tarpą Δt joms suteikiamas šilumos kiekis

$$\Delta Q = U \cdot I \cdot \Delta t, \quad (10)$$

kur U yra elektrinė įtampa, o I – elektros srovės stipris.

Kai inde palaikomas pastovus slėgis, pavyzdžiui, jį sujungus su kitu indu, viduje turinčiu paslankų stūmoklį, tai temperatūros padidėjimas ΔT sukelia jam tiesiai proporcingą dujų tūrio padidėjimą ΔV , kurį galima išmatuoti tiesiogiai arba apskaičiuoti matuojant žinomo ploto S stūmoklio poslinkį l (tada $\Delta V = Sl$). Iš idealiųjų dujų būsenos lygties seka, kad

$$\Delta V = \frac{nR}{p} \Delta T = \frac{V}{T} \Delta T, \quad n \Delta T = \frac{p \Delta V}{R}. \quad (11)$$

Išraiškas (10) ir (11) įrašę į (2) lygtį, turėsime formulę molinei šilumai pastoviam slėgiui apskaičiuoti:

$$C_p = R \frac{UI}{p} \cdot \frac{\Delta t}{\Delta V}. \quad (12)$$

Dujas kaitinant izochoriškai, temperatūros padidėjimas ΔT sukelia jų slėgio padidėjimą Δp . Matuojant slėgį prie indo prijungtu manometru dėl skysčio poslinkio jame šiek tiek padidėja ir oro tūris. Pažymėkim šį pokytį dydžiu ΔV . Tada

$$\Delta T = \frac{p}{nR} \Delta V + \frac{V}{nR} \Delta p = \frac{T}{pV} (p \Delta V + V \Delta p). \quad (13)$$

Iš lygčių (3) ir (1) seka, kad

$$C_V = \frac{1}{n} \cdot \frac{\Delta Q - p\Delta V}{\Delta T}. \quad (14)$$

Darbe naudojamo manometro indikatoriaus vamzdelio spindulys $r = 2$ mm. Dėl slėgio pokyčio $\Delta p = 0,147$ hPa skysčio stulpelis manometre pasislenka apie 1 cm, kas atitinka tūrio pokytį

$$\Delta V = a \cdot \Delta p, \quad (15)$$

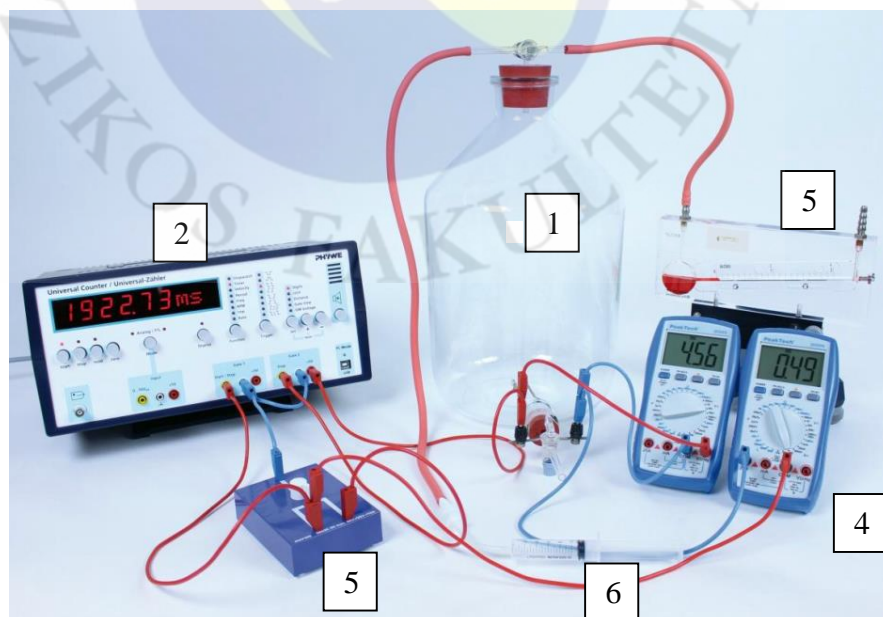
kur $a = \pi r^2 \cdot \frac{1}{0,147} = 0,855 \text{ cm}^3/\text{hPa}$.

Įrašius (10) ir (15) į (14), gauname formulę molinei šilumai pastoviam tūriui apskaičiuoti:

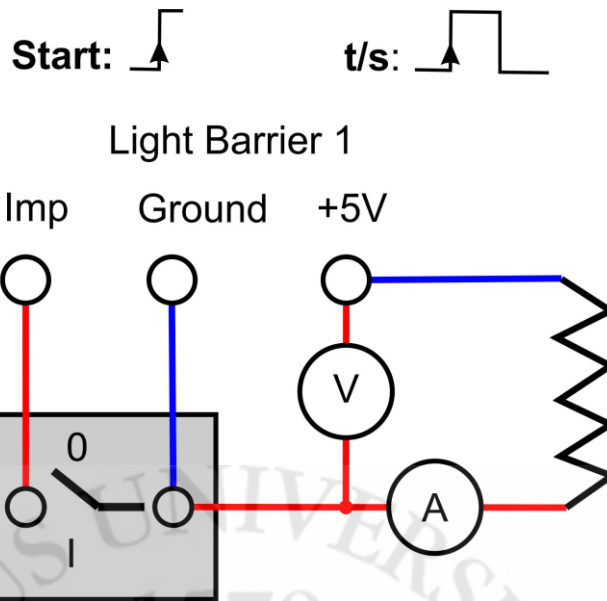
$$C_V = R \left(\frac{U \cdot I \Delta t}{(ap + V) \cdot \Delta p} - \frac{ap}{ap + V} \right). \quad (16)$$

Tyrimo eiga

Darbo priemonės molinei šilumai matuoti yra parodytos 1 paveiksle. Čia yra $V=10$ l tūrio indas su dviem užkemšamomis angomis (1), – viena iš jų apačioje su kamščiu, pro kurį yra įvesti du nikelio elektrodai su lygiagrečiai prijungtomis prie jų chromo-nikelio vielomis oro pašildymui bei vienos padėties oro praleidimo čiapas. Toks šildytuvas yra maitinamas 5 V įtampa panaudojant skaitmeninį prietaisą (2), kurį jungikliu (3) galima perjungti iš padėties 0 į padėtį I. Elektrinė įrenginio schema yra parodyta 2 paveiksle. Šildytuvo įtampa ir elektros srovės stipris registruojami dviem multimetrais (4), parodytais 1 paveikslo dešinėje. Srovės tekėjimo trukmę registruoja skaitmeninis prietaisas (2). Viršutiniame indo kamštyje yra įtaisytas trijų padėčių čiapas, kuris plona žarnele indą sujungia su hektopaskalių eilės slėgio matavimui sugraduotu manometru (5). Kitas čiapo vamzdelis sujungtas su plastikiniu švirkštu (6).



1 pav. Darbo priemonės oro molinei šilumai C_V matuoti.



2 pav. Skaitiklio/laikrodžio prijungimo schema.

C_p nustatymas:

1. Prieš pradėdami matuoti molinę šilumą C_p , naudodamiesi viršutinio trijų padėčių čiaupo jungtimi, 10l indą sujunkite su tūrio vienetais sugraduotu plastikiniu oro švirkštu ir manometru.
2. Eksperimentą pradėkite oro šildymu, viena ranka perjungdami jungiklį į padėtį I (šildymą nutrauksite jungiklį perjungę į padėtį 0). Tuo pačiu metu kita ranka, kaip pavaizduota 3 paveiksle, didinkite plastikinio švirkšto tūrį taip, kad manometro rodomas slėgis nekistų. Gali reikti pasipraktikuoti kol gausite patenkinamą rezultatą.

Pastaba: Šildymo trukmė turi būti kiek galima mažesnė (šiam eksperimente - mažiau nei viena sekundė), kad būtų kuo mažesni tyrimo metodikoje neįskaityti per indo sienelės vykstantys šilumos mainai su aplinka.

3. Oro tūrio pokytį ΔV nustatykite pagal oro švirkšto stūmoklio poslinkį, tiesiai proporcingą šildymo trukmei Δt . Atlikite mažiausiai penkis tokius matavimus.
4. Išmatuokite šildytuvo įtampą U , jame tekančios elektros srovės stiprį I ir šildymo trukmę Δt .
5. Po kiekvieno matavimo, atidarydami oro čiaupus, suvienodinkite slėgį inde su slėgiu kambaryje.
6. Pagal matavimų duomenis nubrėškite tūrio pokyčio priklausomybę nuo šildymo trukmės ir pagal gautos tiesės polinkį apskaičiuotą dydį $\Delta V / \Delta t$ įrašykite į (12). Oro slėgį p laboratorijoje nustatykite iš joje esančio barometro parodymų.



3 pav. Rekomenduojamas plastikinio švirkšto naudojimo pavyzdys nustatant molinės šilumos C_p vertę.

C_V nustatymas:

1. Naudodami trijų padėčių čiaupą, 10l indą sujunkite tik su manometru.
2. Kaip ir pirmoje darbo dalyje, eksperimentą pradėkite oro šildymu, perjungdami jungiklį į padėtį 1 (šildymą nutrauksite jungiklį perjungę į padėtį 0).
3. Išmatuokite šildytuvo įtampą U , jame tekančios elektros srovės stiprį I ir šildymo trukmę Δt , kuri kaip ir pirmoje dalyje parenkama kiek galima mažesnė.
4. Slėgio pokytį inde Δp nustatykite iš manometro parodymų. Atlikite mažiausiai penkis tokius matavimus.
5. Nubrėškite manometro rodomo slėgio pokyčio priklausomybę nuo šildymo trukmės ir pagal gautos tiesės polinkį apskaičiuotą dydį $\Delta p / \Delta t$ įrašykite į (16) formulę bei pagal ją apskaičiuokite C_V . Oro slėgį p laboratorijoje nustatykite iš joje esančio barometro parodymų.
6. Panagrinėkite, kokią įtaką oro molinės šilumos skaičiavimo pastoviam tūriui rezultatui turi oro tūrio pokytis dėl jo plėtimosi į manometrą. Tai nesunku padaryti, C_V vertes paskaičiavus pagal formulę (16) ir atmetus mažą palyginus su indo tūriu V dydį ap . Tada

$$C'_V = R \frac{UI}{V} \cdot \frac{\Delta t}{\Delta p}. \quad (17)$$

7. Eksperimente gautos molinių šilumų vertės gali skirtis nuo suskaičiuotų pagal (8) ir (9) formules dėl nuostolingų inde esančio oro šilumos mainų su aplinka. Oro molinių šilumų skirtumą $C_p - C_V$ palyginkite su žinynuose nurodoma konstantos verte $R = 8,31\text{J}/(\text{Kmol})$ bei pateikite darbo išvadas.

Literatūra:

1. A. Medeišis „Mechanika, molekulinė fizika, elektra ir magnetizmas. Fizikos praktikumas.“, Vilnius, *Vilniaus universiteto leidykla*, 2000, 353 p.
2. J. Kaladė, V. Mickevičius, D. Grabauskas, „Termodinamika ir statistinė fizika“, Vilnius, *Mokslas*, 1982, 380 p.

