

29. Dujų izobarinės ir izochorinės savitųjų šilumų santykio matavimas

Užduotis.

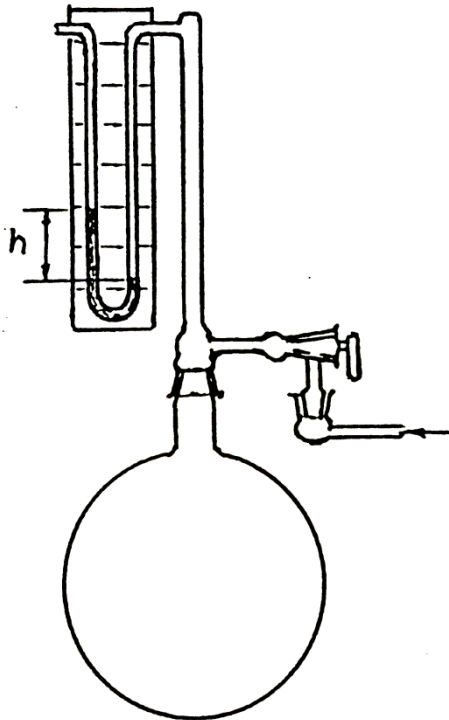
Išmatuoti oro izobarinės ir izochorinės savitųjų šilumų santykį Clement ir Desormes bei stovinčiųjų bangų metodais.

Pagrindiniai teoriniai klausimai.

1. Izoterminiai ir adiabatiniai vyksmai dujose.
2. Idealiųjų dujų izobarinės ir izochorinės savitųjų šilumų santykis.
3. Vidinės energijos priklausomybė nuo laisvės laipsnių skaičiaus.

Matavimo metodai.

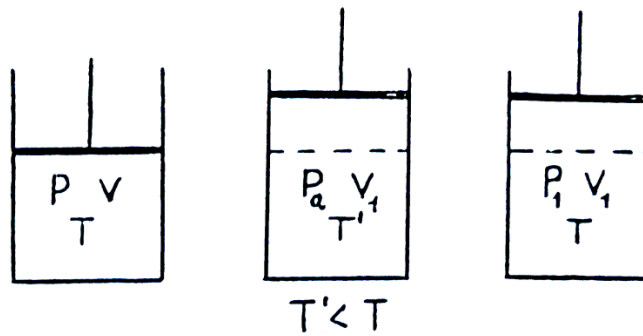
Matuojant Clement ir Desormes būdu atliekami adiabatinis ir po to izoterminis vyksmai. Aparatūros schema pavaizduota 1 pav. Oras šiek tiek suslegiamas inde ir uždaromas čiaupu. Slėgis matuojamas skysčio U formos manometru, kuriame gerai tinka transformatorinė alyva. Čiaupą trumpai atidarius ir vėl uždarius, oras adiabatiškai išsiplečia ir atšąla, o slėgis inde sumažėja nuo p iki aplinkos oro slėgio p_a .



1 pav. Matavimo Clement ir Desormes būdu schema

Po to oras pamažu išyla iki aplinkos temperatūros T , o slėgis inde padidėja iki tam tikros vertės p_1 . Šiuos procesus nesunku aprašyti dujų, uždarytų cilindre su slankiu stūmoku, modeliu (2 pav.).

Pradinėje būsenoje dujos užima tūrį V , jų ir aplinkos temperatūra T , o slėgis p . Čiaupo trumpalaikis atidarymas atitinka adiabatinį dujų išsiplėtimą iki tūrio V_1 , sumažėjus slėgiui iki aplinkos oro slėgio p_a .



2 pav. Izovyksmai matavimo metu.

Jų temperatūra sumažėja iki tam tikros vertės T' . Tokiu atveju galioja Puasono lygtis:

$$pV^\gamma = p_a V_1^\gamma; \quad (1)$$

čia $\gamma = C_p / C_v$ - izobarinės ir izochorinės specifinių šilumų santykis. Dujoms įšilus iki aplinkos temperatūros, jų slėgis padidėja iki vertės p_1 , atitinkančios izoterminį išsiplėtimą nuo V iki V_1 . Pagal Boilio ir Marioto dėsnį

$$pV = p_1 V_1; \quad (2)$$

Išreiškę iš (2) V_1 ir įrašę į (1), gausime

$$p = p_a \left(\frac{p}{p_1} \right)^\gamma; \quad (3)$$

Išlogaritmavę šią lygtį, užrašysime

$$\gamma = \frac{\ln p - \ln p_a}{\ln p - \ln p_1}; \quad (4)$$

Jeigu slėgyje p monometras rodė aukščių skirtumą h , o slėgyje p_1 rodė h_1 , tai $p = p_a + \rho gh$ ir $p_1 = p_a + \rho gh_1$. Įrašę tai į (4) lygtį ir pertvarkę ją, gausime

$$\gamma = \frac{\ln \left(1 + \frac{\rho gh}{p_a} \right)}{\ln \left(1 + \frac{\rho gh}{p_a} \right) - \ln \left(1 + \frac{\rho gh_1}{p_a} \right)}; \quad (5)$$

Žinoma, kad $\ln(1+x) \approx x$, kai $x \ll 1$. Nagrinėjamu atveju $\rho gh \ll p_a$ ir $\rho gh_1 \ll p_a$, todėl

$$\gamma = \frac{h}{h - h_1}; \quad (6)$$

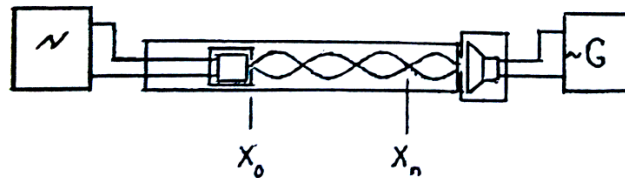
Atlikdami matavimą, tiksliai užrašome skalės padalų vertes, atitinkančias skysčio stulpelių padėtis kairėje ir dešinėje atšakose. Būtina atsižvelgti į tai, kad aplinkos ir indo temperatūrų išsilyginimas vyksta pakankamai lėtai.

Stovinčiųjų bangų metodai pagrįsti garso greičio dujose priklausomybe nuo γ vertės. Iš mechanikos skyriaus lygties $v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$ gausime, kad

$$\gamma = \frac{M}{RT} v^2; \quad (7)$$

Matavimo aparatūros schema pavaizduota 3 paveiksle. Stovinčiosios bangos sukeltos vamzdyje, kurio viename gale yra garsiakalbis, prijungtas prie harmoninės įtampos generatoriaus G , o kitame – stumdomas ritinio formos dėklas su mikrofonu. Dėklo dugne, nukreiptame į vamzdžio vidų, yra nedidelė kiaurymė. Mikrofono elektrinis signalas perduodamas į osciloskopą. Esant tam tikram oro stulpo vamzdyje ilgiui, garsas sustiprėja. Tai nustatome iš klausos ir stebėdami signalą osciloskopo ekrane. Atstumas tarp gretimų mikrofono padėčių, atitinkantis garso sustiprėjimus, lygus pusei bangos ilgio. Jeigu padėtyje x_0 garsas sustiprėja, o pastumiant mikrofoną iki x_n pastebėta n sustiprėjimų, tai bangos ilgis

$$\lambda = 2 \frac{x_n - x_0}{n}; \quad (8)$$



3 pav. Matavimo stovinčiųjų bangų metodu schema

Žinodami generatoriaus įtampos dažnį f , rasime garso greitį:

$$v = 2f \frac{x_n - x_0}{n}; \quad (9)$$

Apskaičiavę jį, pagal (7) formulę rasime ieškomąją γ vertę.

Kitas stovinčiųjų bangų metodas pagrįstas pastovaus ilgio oro stulpo akustinių virpesių amplitudės priklausomybe nuo žadinimo dažnio. Matavimo schema analogiška pavaizduotai 3 paveiksle. Keičiant įtampos dažnį, garsas sustiprėja tada, kai vamzdžio ilgis atitinka sveiką pusbangių skaičių. Garso greičio formulę $v = 2l(f_{n+1} - f_n)$ įrašę į (7) lygtį, gausime

$$\gamma = \frac{4l^2 (f_{n+1} - f_n)^2 M}{RT}; \quad (10)$$

Oro molinė masė $M = 28,9\text{g/mol}$. Čia f_{n+1} ir f_n yra gretimi rezonansiniai dažniai.

Darbo eiga.

Clement ir Desormes metodas:

1. Atidarykite čiaupą, purkštuku įpūskite oro į indą ir iš karto užsukite čiaupą.
2. Slėgį inde nustatykite iš manometro alyvos stulpelių aukščių skirtumo h .
3. Trumpam atsukite čiaupą (tam, kad indo slėgis taptų lygus aplinkos slėgiui). Tokiu atveju oras išsiplečia ir atvėsta.
4. Užsukite čiaupą. Jį užsukus, oras įšyla iki aplinkos temperatūros, todėl padidėja jo slėgis inde. Slėgio padidėjimas nustatomas iš manometro alyvos stulpelių aukščių skirtumo h_1 .

- Izobarinės ir izochorinės specifinių šilumų santykį $\gamma = C_p/C_v$ nustatykite iš manometru išmatuotų aukščių skirtumų pagal (6) formulę.
- Bandymą atlikite 5 kartus. Apskaičiuokite vidutinę γ vertę.

Stovinčių bangų metodas:

Pirma dalis:

- Generatoriumi sukurkite pasirinkto dažnio signalą.
- Oro stulpo ilgį vamzdyje reguliuokite stumdydami mikrofoną.
- Esant tam tikriems oro stulpo vamzdyje ilgiams, garsas, t.y. signalas oscilografe, sustiprėja. Fiksuokite padėtis x_i , atitinkančias šiuos sustiprėjimus.
- Jeigu padėtyje x_0 garsas sustiprėja, o pastumiant mikrofoną iki padėties x_n pastebėta n sustiprėjimų, tai iš (9) bei (7) formulių nustatomas izobarinės ir izochorinės specifinių šilumų santykis:

$$\gamma = \frac{4Mf^2}{RTn^2}(x_n - x_0)^2$$

- Padėtis x_0 ir x_n pasirinkite laisvai (svarbu, kad abiejose būtų stebimi signalo sustiprėjimai).
- Matavimus atlikite su 5 skirtingais generatoriaus generuojamo signalo dažniais. Apskaičiuokite vidutinę γ vertę.

Antra dalis:

- Nustatykite pasirinkto ilgio oro stulpą vamzdyje.
- Keiskite generatoriaus kuriamo signalo dažnį ir fiksuokite signalo dažnius, atitinkančius jo amplitudės išaugimus (rezonansą).
- Izobarinės ir izochorinės specifinių šilumų santykį γ apskaičiuokite pagal (10) formulę.
- Matavimus atlikite su 3 skirtingo ilgio oro stulpais ir apskaičiuokite vidutinę γ vertę.

Palyginkite skirtingais matavimo metodais nustatytas γ vertes su tikrąja ir suformuluokite darbo išvadas.

Laboratorinio stendo fizikiniai parametrai:

$$\rho = (0,83 \pm 0,01) \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3;$$

Literatūra:

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