

9. Kietųjų kūnų ir dujų tankio radimas svirtinėmis svarstyklėmis

Užduotis:

1. Išmatuoti svarstyklių jautrį.
2. Tiksliai pasverti taisyklingos formos kūną, apskaičiuoti jo tankį.
3. Rasti kietojo kūno tankį hidrostatiiniu svėrimo būdu.
4. Išmatuoti oro tankį.

Pagrindiniai teoriniai klausimai:

1. Visuotinės traukos dėsnis.
2. Sunkio jėga, jos priklausomybė nuo geografinės padėties.
3. Inercinė ir gravitacinė masės.
4. Medžiagos tankis.
5. Slėgis skystyje, keliamoji jėga.
6. Svirtinių svarstyklių jautrio formulė, svėrimo taisyklės.

Tyrimo metodika:

Eksperimento pagrindą sudaro kūnų svėrimas ore ir skystyje svirtinėmis svarstyklėmis. Sveriamą pagal svėrimo taisyklę, neviršijant leidžiamos svarstyklių apkrovos, maksimalios sveriamosios masės. Svirties pusiausvyros padėtį atitinkančią skalės padalą apskaičiuojame pagal dviejų iš eilės einančių nuokrypių į kairę ir į dešinę vertes n_1 ir n_2 : $n = \frac{1}{2}(n_1 + n_2)$. Jei nulis yra ties skalės viduriu, suma skliaustuose yra algebrinė. Jeigu svyravimai maži ir silpnai gęstantys, galima imti dviejų priešingų nuokrypių aritmetinį vidurkį. Svarstyklių jautrį $k_n = \frac{n - n_0}{m}$ rasime uždėję ant vienos lėkštelės nedidelį m masės svarelį ir išmatavę jo sąlygojamą nuokrypį.

Sverdami kūną, svarelių masę m stengiamės parinkti taip, kad svarstyklių rodyklė grįžtų į pradinę pusiausvyros padėtį n_0 . Jei tą padaryti ne visai pavyksta ir naująją pusiausvyrą atitinka padala n , tai kūno masė

$$m = m_1 + c_m(n - n_0). \quad (1)$$

Kai $n > n_0$, rodyklė pakrypusi į dešinę, tai $m > m_1$; jei atvirkščiai - $n < n_0$, tai $m < m_1$.

Tiksliai sveriant būtina įvertinti oro keliamųjų jėgų, veikiančių tiek sveriamąjį kūną, tiek svarelius, įtaką. Pagal Archimedo dėsnį, kūną veikia keliamoji jėga $F_k = \rho_0 V g$, o svarelius $F_c = \rho_0 V_1 g$; čia V ir V_1 - atitinkamai kūno ir svarelių tūriai, o ρ_0 - oro tankis. Kadangi $V = \frac{m}{\rho}$, tai

$$F_k = \rho_0 \frac{m}{\rho} g. \quad (2)$$

Pažymėję svarelių tankį ρ_1 , užrašysime $V_1 = \frac{m_1}{\rho_1}$ ir $F_c = \rho_0 \frac{m_1}{\rho_1} g$.

Pusiausvyros padėtyje, kai svarstyklių rodyklė yra ties nuline padala, jų lėkštelės veikiančių jėgų algebrinės sumos lygios:

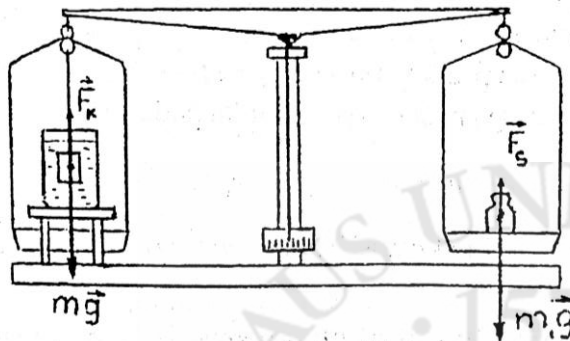
$$mg - m \frac{\rho_0}{\rho} g = m_1 g - m_1 \frac{\rho_0}{\rho_1} g. \quad (3)$$

Iš (3) lygties gauname, kad sveriamojo kūno masė

$$m = m_1 \frac{1 - \frac{\rho_0}{\rho_1}}{1 - \frac{\rho_0}{\rho}}. \quad (4)$$

Matome, kad oro įtaka svėrimo rezultatui bus didelė tuo atveju, jeigu svarelių ir kūno tankiai pakankamai skirtingi. Apskaičiuavę kūno tūrį V pagal jo geometrinius matmenis, rasime jo tankį:

$$\rho = \frac{m_1}{V} \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho_1} \right) + \rho_0. \quad (5)$$



1 pav. Tankio radimo hidrostatiiniu svėrimo būdu schema

Bet kokios formos kūno tankį galima rasti pasvėrus jį ore ir po to žinomo tankio skystyje, pavyzdžiui, vandenyje. Tiriamąjį kūną pakabinę plona viela virš svarstyklių lėkštelės, pasveriam ore. Šiuo atveju svirties pusiausvyros sąlygą nusako (3) lygtis. Po to panardiname kūną į indą su vandeniu (1 pav.). Jį veiks vandens keliamoji jėga $F_v = m \frac{\rho_v}{\rho} g$; čia ρ_v - vandens tankis. Šiuo atveju svarelių masė m_2 bus mažesnė negu m_1 . Juos

veikia oro keliamoji jėga $F_o = m_2 \frac{\rho_o}{\rho_1} g$. Svirtis bus pusiausvira, jei

$$mg - m \frac{\rho_v}{\rho} g = m_2 g - m_2 \frac{\rho_o}{\rho_1} g. \quad (6)$$

Iš (3) ir (6) lygčių gausime, kad kūno tankis

$$\rho = \frac{m_1 \rho_v - m_2 \rho_o}{m_1 - m_2}. \quad (7)$$

Matuodami skysčio tankį hidrostatiiniu svėrimo metodu, žinomo tankio ρ kūną pasveriam tiriamajame skystyje ir vandenyje. Sveriant kūną skystyje, svirties pusiausvyros sąlyga

$$mg - \frac{m}{\rho} \rho_s g = m_3 g - \frac{m_s}{\rho_1} \rho_o g; \quad (8)$$

čia ρ_s - skysčio tankis, o m_3 - svarelių masė.

Išsprendę (6) ir (7) lygčių sistemą, gausime, kad tiriamo skysčio tankis

$$\rho_s = \rho - \frac{m_3}{m_2} (\rho - \rho_v). \quad (9)$$

Pažymėtina, kad (4), (5), (7) ir (9) formulės atitinka $n = n_0$ atvejį. Kai $n \neq n_0$, šiose formulėse prie svarelių masių m_1, m_2 ir m_3 algebriskai pridedame atitinkamą $c_m(n - n_0)$.

Dujų tankis randamas išmatavus masės pokytį Δm , atsiradusį įleidus jas į išsiurbtą žinomo tūrio V indą:

$$\rho = \frac{\Delta m}{V}. \quad (10)$$

Žinant kūno tankį ir molio masę, galima rasti atomų arba molekulių skaičių tūrio vienetė. Viename molyje esančių molekulių arba atomų skaičius lygus Avogadro skaičiui N_A . Jei tiriamos medžiagos molio masė M , tai molekulių skaičius tūrio vienetė

$$N = \frac{\rho}{M} N_A. \quad (11)$$

Santykis $\frac{\rho}{M}$ nusako molekulių skaičių, tenkantį tūrio vienetui. Apskaičiuokime vidutinį tarpatominį nuotolį a . Kadangi $a^3 N = 1$, tai

$$a = N^{-\frac{1}{3}}. \quad (12)$$

Darbo eiga.

1. Pakelkite svarstyklių spintelės dureles ir pasukite svirtelę užfiksuojančią svarstyklės prieš laikrodžio rodyklę, kad galėtume pradėti naudotis svarstyklėmis.

Svarstyklių konstantos ir jautrio radimas.

2. Raskite svarstyklių jautrį k . Uždėkite ant vienos iš svarstyklių lėkštelės nedidelės masės m svarelį ir pagal svarstyklių nuokrypį n apskaičiuokite svarstyklių konstantą $c_m = \frac{m}{n - n_0}$ ir

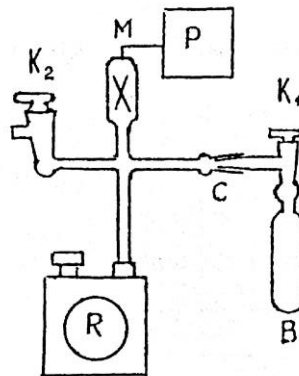
$$\text{svarstyklių jautrį } k_n = \frac{n - n_0}{m}.$$

Kietojo kūno tankio radimas.

3. Vienoje svarstyklių pusėje dėkite žinomos masės m_1 ir tankio svarelius, kitoje – cilindro formos bandinį, kurio matmenis nesunku išmatuoti.
4. Išmatuokite bandinio masę bei naudodami laboratorijoje esantį slankmatį nustatykite jo matmenis reikalingus tūriui rasti.
5. Apskaičiuokite pasverto cilindro tankį: $\rho = \frac{m_1}{V} \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho_1}\right) + \rho_0$. ρ_0 - oro tankis, ρ_1 - žinomas svarelių tankis, V – apskaičiuotas bandinio tūris.
6. Tiriamą cilindą pakabinkite ant kabliuko pritaisyto virš svarstyklių lėkštelės taip, kad šis kabotų. Po juo pastatykite specialų mažą staliuką pagamintą iš organinio stiklo, ant jo pastatykite indelį su vandeniu ir sveriamą cilindą panardinkite į vandenį. Ant svarstyklių lėkštelės esančios kitoje svarstyklių pusėje dėkite svarelius, kurių masė bus m_2 .
7. Kai svarstyklės nustatysite į pusiausvirą padėtį, pagal (7) išraišką apskaičiuokite tiriamo cilindro tankį. Palyginkite jį su 4 žingsnyje gauta verte.

Dujų tankio radimas.

8. Matuojant oro tankį, naudojamas vakuuminis siurblys R, orui iš žinomo tūrio indelio B išsiurbti (2 pav.). Prijunkite indelį B šlifine jungtimi C prie sistemos ir atidarykite čiaupą K_1 . Uždarykite čiaupą K_2 ir įjunkite vakuuminį siurblį. Slėgį matuokite vakuumetru P. M – manometrinė lempa. Pasiekę slėgį mažesnį negu 10 Pa (~0,075 Tor), uždarykite čiaupą K_1 , išjunkite vakuuminį siurblį ir atidarykite čiaupą K_2 . Po to indelį B atjunkite nuo vakuuminės sistemos ir pakabinkite virš svarstyklių lėkštelės.



2 pav. Vakuuminė sistema

9. Išsiurbtą indą, tuo pačiu principu kaip ir iki šio žingsnio, pasverkite.
10. Prileiskite oro į indą atsukdami čiaupą $K1$ ir pasverkite indą su oru.
11. Apskaičiuokite 9 ir 10 žingsniuose apskaičiuotų masių skirtumą Δm . Šis dydis – oro masė.
12. Apskaičiuokite molekulių skaičių tūrio vienete n bei vidutinį tarpatominį nuotolį a .
13. Gautus dydžius: tankį ir 12 žingsnyje palyginame su žinyne duota informacija.
14. Įvertinkite matavimų tikslumą ir suformuluokite darbo išvadas.

Literatūra

1. A. Medeišis „Mechanika, molekulinė fizika, elektra ir magnetizmas. Fizikos praktikumas.“, Vilnius, *Vilniaus universiteto leidykla*, 2000, 353 p.
2. A. Matvejevas, „Mechanika ir reliatyvumo teorija“, Vilnius, *Mokslas*, 1982, 334 p.

