

2. MATAVIMAI IR MATAVIMO PAKLAIDOS

2.1. Dydžiai ir vienetai

Atliekant fizikos laboratorinius darbus, svarbu išmanyti fizikinių dydžių matavimus, eksperimentų rezultatų tikslumą ir mokėti rezultatus tinkamai apdoroti.

Ekspimento metu matuojami tam tikri fizikiniai dydžiai. *Dydis* nusako reiškinio, kūno arba medžiagos esminę savybę, kuri gali būti kokybiškai išskirta ir kiekybiškai surasta. Terminas *dydis* gali būti susijęs su tam tikru bendruoju dydžiu (ilgiu, laiku, mase, ...) arba su atskiruoju dydžiu (tam tikro strypo ilgiu ir pan.). Kiekybinė tam tikro atskirojo dydžio išraiška, sudaryta iš matavimo vieneto, padauginto iš skaičiaus, yra vadinama dydžio verte. *Matavimas* – fizikinio dydžio vertės radimas matavimo priemone. Matavimai gali būti tiesioginiai arba netiesioginiai.

Tiesioginiu vadinamas toks matavimas, kuriuo dominančio dydžio vertė nustatoma tiesiogiai iš prietaiso rodmenų. Pavyzdžiui, ilgio matavimas slankmačiu, laiko – sekundmačiu, srovės stiprio – ampermetru.

Netiesioginiu vadinamas toks matavimas, kuriuo fizikinio dydžio vertė randama kaip kitų dydžių funkcija. Pavyzdžiui, kūno tankis nustatomas žinant jo masę ir tūrį, rezistoriaus varža – iš srovės stiprio ir įtampos tarp jo galų. Netiesiogiai randamų dydžių vertės apskaičiuojamos pagal tam tikras formules, išmatavus į jas įeinančių dydžių vertes. Kiekvienas matavimas yra nagrinėjamo dydžio ir matavimo vieneto santykio radimas. Fizikinių dydžių matavimo vienetai yra skirstomi į pagrindinius ir išvestinius.

Tarptautinė vienetų sistema (SI, pranc. *Système International d'Unités*) patvirtinta 11-oje Generalinėje matų ir svorsčių konferencijoje 1960 metais. Jos pagrindiniai vienetai: masės – kilogramas (kg), ilgio – metras (m), laiko – sekundė (s), temperatūros – kelvinas (K), srovės stiprio – amperas (A), medžiagos kiekio – molis (mol), šviesos stiprio – kandela (cd).

Metras – atstumas, kurį vakuume nusklinda šviesa per 1/299 792 458 sekundės dalį. Tokia metro apibrėžtis priimta 1983 metais, o iki tol jis buvo apibrėžiamas įvairiais dydžiais.

Kilogramas – masės vienetas; jis lygus kilogramo tarptautinio etalono, t. y. 39 mm skersmens ir tokio pat aukščio ritinio, pagaminto iš 90 % platinos ir 10 % iridžio lydinio, saugomo Tarptautiniame matų ir svorių biure Sevre (Sevres) prie Paryžiaus, masei.

Sekundė lygi spinduliavimo, atitinkančio kvantinį šuolį tarp cezio-133 atomo pagrindinės būsenos dviejų hipersmulkiosios sandaros lygmenų, 9 192 631 770 periodų trukmei.

Kelvinas, termodinaminės temperatūros vienetas, yra vandens trigubo taško termodinaminės temperatūros 1/273,16 dalis. Vandens trigubas taškas egzistuoja esant 611 Pa slėgiui ir 273,16 K temperatūrai.

Amperas – stipris nuolatinės elektros srovės, kuri, tekėdama dviem tiesiais, lygiagrečiais, be galo ilgais, nykstamai mažo apvalaus skerspjūvio laidais, esančiais vakuume 1 m atstumu vienas nuo kito, sukelia tarp jų $2 \cdot 10^{-7}$ niutono jėgą kiekvienam laidų ilgio metrui.

Molis – medžiagos kiekis sistemos, sudarytos iš tiek vienodų dalelių, kiek atomų yra 0,012 kg anglies-12. Vartojant molį, turi būti įvardytos vienodos dalelės. Jomis gali būti atomai, molekulės, jonai, elektronai, kitos dalelės arba tiksliai apibrėžtos tokių dalelių grupės.

Kandela yra šviesos stipris tokio šaltinio, kuris tam tikra kryptimi skleidžia vienspalvę $540 \cdot 10^{12}$ hercų dažnio 1/683 vato steradianui stiprio spinduliuotę. Šis vienetas skiriamas įvertinti šviesos poveikį žmogaus akiai. Reikia pažymėti, kad $540 \cdot 10^{12}$ Hz dažnio šviesai žmogaus akis yra jautriausia (bangos ilgis 555 nm).

Išvestiniai dydžiai skiriasi nuo pagrindinių ir yra išreiškiami jais arba kitais išvestiniais dydžiais. Išvestiniai dydžiai turi išvestinius SI vienetus, kurie apibrėžiami pagrindiniais SI vienetais arba kitais išvestiniais vienetais. Jie apskaičiuojami iš tuos vienetus apibrėžiančių lygybių ir kartais gali turėti specialius pavadinimus ir simbolius. *Dydžio dimensija* – tai formulė, pateikianti dydį tam tikroje sistemoje kaip sandaugą laipsninių daugiklių, reiškiančių pagrindinius dydžius.

Fizikinių dydžių skaitines vertes ne visada patogiu apibūdinti pagrindiniais vienetais, todėl yra įvesti dešimtainiai kartotiniai ir daliniai vienetai, keliomis ir net keliolika dešimčių kartų besiskiriantys nuo pagrindinių. Tų vienetų pavadinimai gaunami pridedant prie sisteminių vienetų pavadinimų atitinkamus priešdėlius. Pastarieji paprastai pateikiami lentelėse (žr. priedų 4 lentelę). Vartojant nurodytus priešdėlius, matavimo vienetas parenkamas taip, kad fizikinio dydžio vertė būtų išreikšta vieneto eilės skaičiumi.

2.2. Matavimų tikslumas ir paklaidų įvertinimas

Kiekvienas matavimas yra neišvengiamai susijęs su tam tikru netikslumu. Dydžio X matavimo rezultato x_i ir tikrosios matuojamojo dydžio vertės x_t (dažniausiai ji nežinoma) skirtumas yra vadinamas matavimo *absoliučiąja paklaida* $\Delta x_i = x_i - x_t$. Ši paklaida, o kartu ir matavimo tikslumas, susiję su matavimo prietaisų netobulumu, bandymo sąlygų ir paties matuojamojo objekto kitimu, teorinio modelio ir taikomo matavimo metodo artutimumu ir kt.

Matavimo prietaisai rodo šiek tiek padidintas arba sumažintas matuojamų dydžių vertes. Šie nuokrypiai nuo tikrųjų verčių vadinami *sistemosiomis paklaidomis*. Kartojant matavimus, sistemingoji paklaida nuolat kartojasi. Sistemingosios paklaidos mažinamos tikrinant prietaisus, tobulinant eksperimento metodiką bei lyginant to paties dydžio matavimus skirtingais metodais. Sistemingoji paklaida, kurios kilmė yra žinoma, o jos ženklas ir didumas gana tiksliai nustatomi, vadinama *pataisa*.

Be sistemingųjų paklaidų, yra dar *atsitiktinės paklaidos*. Atsitiktinių paklaidų priežastys yra atsitiktiniai ir eksperimento metu nekontroliuojami trikdžiai, kurių įtakos matavimo rezultatui tiesiogiai įvertinti negalima dėl to, kad trikdžių yra daug, jų prigimtis įvairi ir poveikis skirtingas. Jei atsitiktinės paklaidos yra tos pačios eilės arba gerokai didesnės už sistemingasias, tai, matuojant dydį kelis kartus, gaunamos skirtingos jo vertės. Tokiu atveju nuokrypio nuo tikrosios dydžio

vertės ženklas ir absoliutusias didumas nuolat kinta. Tačiau daugkartinių matavimų atsitiktinėms paklaidoms galioja statistikos dėsniai, todėl atsitiktinę paklaidą galima ženkliai sumažinti tą patį dydį matuojant daug kartų. Sistemingųjų paklaidų atveju nuokrypio didumas ir ženklas yra pastovūs.

Aiškios ribos tarp sistemingųjų ir atsitiktinių paklaidų nėra. Kai kuriais atvejais sistemingąją paklaidą galima paversti atsitiktine. Pavyzdžiui, sveriant kūną svirtinėmis svarstyklėmis, į gautą masės paklaidą įeina ir sistemingoji svarelį masės paklaida. Sveriant tą patį kūną skirtingų kompleksų, nors ir tos pačios tikslumo klasės svareliais, sistemingosios paklaidos yra skirtingos ir pasireiškia kaip atsitiktinės.

Matavimo neapibrėžtis Δx_p yra su matavimo rezultatu susijęs parametras, apibūdinantis sklaidą verčių, kurias pagrįstai būtų galima priskirti matuojamajam dydžiui. Neapibrėžtis rodo matavimo priemonių, metodikos ir kitų procedūrų tobulumą. Bendruoju atveju neapibrėžtį sudaro daug sandų. Kai kurie iš jų vertintini iš kartojamų matavimų empirinio skirstinio, apibūdinamo *standartiniu nuokrypiu*. Kiti sandai vertinami remiantis patirtimi ir kitokia informacija. Matavimo rezultatas yra tiksliausias matuojamojo dydžio vertės įvertinimas, o visi sandai, tarp jų ir atsirandantys dėl sistemingųjų poveikių, turi įtakos verčių sklaidai.

Pasikliautinumas yra matavimo rezultato kokybinis bruožas, kuriuo apibūdinama matuojamo dydžio ir tikrosios vertės atitikties tikimybė P . Visuotinai pripažįstama, kad ir tobuliausiai įvertinus visas paklaidas ir pritaikius pataisas, dar lieka tam tikra pasikliautinumo nežinomybė. Išmatuoto dydžio x galutinis rezultatas užrašomas kaip aritmetinio vidurkio \bar{x} ir neapibrėžties suma $x = \bar{x} \pm \Delta x_p$, nurodant *pasiklovimo tikimybę* P . Pagal Europos Bendrijos reikalavimus paprastai $P = 95\%$.

Kaip minėta, yra dviejų pagrindinių rūšių matavimai: *tiesioginiai* ir *netiesioginiai*, todėl šių matavimų paklaidos skaičiuojamos skirtingai.

2.3. Tiesioginių matavimų paklaidų skaičiavimas

Fizikiniam dydžio x matavimui keliamas pagrindinis reikalavimas: nustatyti verčių intervalą $\bar{x} - \Delta x_p \leq x_t \leq \bar{x} + \Delta x_p$ ir nurodyti šio intervalo pasiklovimo tikimybę P , kad tikroji matuojamojo dydžio vertė yra tame intervale.

2.3.1. Tiesioginių matavimų atsitiktinės paklaidos skaičiavimo schema

1. Turint dydžio x matavimų duomenis x_i , apskaičiuojama:

a) matuojamo dydžio vidurkis $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$,

b) atskirų matavimų paklaidos $\Delta x_i = x_i - \bar{x}$,

c) atskirų matavimų paklaidų kvadratai $(\Delta x_i)^2$ ir jų suma $\sum_{i=1}^n (\Delta x_i)^2$.

Gauti rezultatai surašomi į lentelę:

Matavimo Nr.	x_i	Δx_i	$(\Delta x_i)^2$
1	x_1		
...	...		
n	x_n		
	\bar{x}	$\sum_{i=1}^n \Delta x_i = 0$	$\sum_{i=1}^n (\Delta x_i)^2$

2. Randamas atskiro matavimo standartinis nuokrypis S ir standartinis vidurkio nuokrypis s atitinkamai

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta x_i)^2}{n-1}}, \quad s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta x_i)^2}{n(n-1)}}.$$

3. Parenkama tam tikra pasiklivimo tikimybė P , paprastai $P = 0,95$.

4. Iš priedų 1 lentelės randamas Stjudento koeficientas $t_{n,P}$ esant tam tikrai tikimybei P ir tam tikram matavimų skaičiui n .

5. Randamas matuojamojo dydžio neapibrėžties atsitiktinės paklaidos sandas $\Delta x_{n,P} = t_{n,P} \cdot s$.

2.3.2. Tiesioginių matavimų sistemingosios paklaidos

Matavimo prietaisų sistemingosios paklaidos nusakomos tikslumo klase nuo 0,5 iki 4 (procentais). Tikslumo klasė dažniausiai nurodoma ant prietaiso skalės. Jeigu ant skalės ji nepažymėta, tai tokio prietaiso santykinė redukuotoji paklaida δ_r (arba prietaiso tikslumo klasė) yra didesnė kaip 4 %. Matavimo prietaisų paklaidos dažniausiai įvertinamos kaip atsitiktinės nurodant jos didžiausią vertę Δx_{rib} . Žinant prietaiso tikslumo klasę (santykinę redukuotąją paklaidą δ_r) ir jo skalės matavimo ribą x_{rib} , prietaiso sistemingosios paklaidos didžiausia vertė Δx_{rib} apskaičiuojama pagal formulę $\Delta x_{\text{rib}} = \delta_r \cdot x_{\text{rib}}$. Tada esant pasirinktai pasiklivimo tikimybei P prietaiso sistemingoji neapibrėžtis apskaičiuojama pagal formulę $\Delta x_{p,P} = (t_{\infty,P} / 3) \Delta x_{\text{rib}}$. Čia koeficientas $t_{\infty,P}$ randamas iš Stjudento koeficientų lentelės (jei $P = 0,95$, tai $t_{\infty,P} = 2,0$).

2.3.3. Tiesioginių matavimų atsitiktinės paklaidos

Matavimo prietaisų rodmenys dažniausiai nuskaitomi vienos ar pusės padalos tikslumu. Diskrečių skaitmeninių prietaisų rodmenys nuskaitomi mažiausio žingsnio (vienos padalos) tikslumu. Slankmačio ir mikrometro rodmenys nuskaitomi vienos mažiausios padalos tikslumu. Atskaitymo paklaidoms įvertinti įvedamas apvalinimo intervalas h . Didžiausia galima atskaitymo paklaida yra lygi pusei apvalinimo intervalo $\Delta x_a = h / 2$. Pasirinktai pasiklivimo tikimybei P atskaitymo neapibrėžtis yra skaičiuojama taip: $\Delta x_{a,P} = Ph / 2$. Kai $P = 0,95$, tai $\Delta x_{a,P} \approx h / 2$.

2.3.4. Tiesioginių matavimų suminė neapibrėžtis

Jeigu neapibrėžties sandai yra tos pačios eilės, tai suminė neapibrėžtis randama pagal formulę

$$\Delta x_{s,P} = \sqrt{(\Delta x_{n,P})^2 + (\Delta x_{a,P})^2 + (\Delta x_{p,P})^2}$$

ir galutinis matavimo rezultatas užrašomas $x = \bar{x} \pm \Delta x_{s,P}$, nurodant dydžio x dimensiją ir tikimybės P vertę.

$$\text{Apskaičiuojama ir santykinė paklaida } \varepsilon_x = \frac{\Delta x_{s,P}}{\bar{x}} \cdot 100 \%$$

2.4. Netiesioginių matavimų paklaidų skaičiavimas

Dažnai ieškomasis fizikinis dydis z yra tiesiogiai matuojamų dydžių a, b, \dots funkcija: $z = f(a, b, \dots)$. Tada tikimiausia dydžio z vertė lygi $\bar{z} = f(\bar{a}, \bar{b}, \dots)$. Dydžio z paklaidos absoliučioji vertė $|\Delta z| = |z - \bar{z}|$, kai žinomos tiesiogiai matuojamų dydžių paklaidos $\Delta a, \Delta b, \dots$, nustatoma dvejopai. Pati paprasčiausia paklaidos įvertinimo formulė yra tokia:

$$|\Delta z| = |f(\bar{a} + \Delta a, \bar{b} + \Delta b, \dots) - f(\bar{a}, \bar{b}, \dots)| \leq \left| \frac{\partial f(\bar{a}, \bar{b}, \dots)}{\partial a} \right| |\Delta a| + \left| \frac{\partial f(\bar{a}, \bar{b}, \dots)}{\partial b} \right| |\Delta b| + \dots; \quad (2.1)$$

čia $\frac{\partial f}{\partial a}, \frac{\partial f}{\partial b}, \dots$ – funkcijos f dalinės išvestinės. Lygybės ženklas (2.1) formulėje pasiekiamas, kai visų dalinių išvestinių ir nepriklausomai matuojamų dydžių paklaidos yra vienodo ženklo. Todėl pagal (2.1) formulę įvertinta paklaida vadinama *ribine*, nes taip nustatyta paklaida yra pati didžiausia. Kai nepriklausomai matuojamų dydžių yra mažai (du, trys), šią formulę galima naudoti paklaidai įvertinti. Tačiau kai matuojamų dydžių yra daug, tokia situacija mažai tikėtina ir pagal (2.1) formulę gaunama nepagrįstai didelė paklaida. Matematinėje statistikoje yra parodoma, kad tuo atveju dydžio z neapibrėžtis tiksliau nustatoma formule

$$\Delta z_{s,P} = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial a} \Delta a_{s,P} \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial b} \Delta b_{s,P} \right)^2 + \dots} \quad (2.2)$$

Taigi netiesiogiai matuojamojo dydžio z tikroji vertė yra intervale $[\bar{z} - \Delta z_{s,P}, \bar{z} + \Delta z_{s,P}]$ su pasiklivimo tikimybe P . Matavimo rezultatas užrašomas taip:

$$z(a, b, c) = \bar{z}(\bar{a}, \bar{b}, \dots) \pm \Delta z_{s,P}, P \quad (2.3)$$

greta nurodant tikimybę. Kaip ir tiesioginiams matavimams, netiesioginių matavimų rezultato tikslumui apibūdinti naudojama *santykinė paklaida* – neapibrėžties santykis su išmatuoto dydžio aritmetiniu vidurkiu: $\varepsilon_z = \Delta z / \bar{z}$ (čia ir toliau dėl paprastumo neapibrėžties indeksai s ir P neberašomi).

Įvertinant netiesiogiai išmatuoto dydžio z paklaidą, dažnai patogiau iš pradžių apskaičiuoti šio dydžio santykinę paklaidą, o po to – absoliučiąją. Taip dažniausiai daroma tada, kai ieškomo dydžio z išraišką galima užrašyti laipsninių funkcijų sandauga:

$$z = a^n \cdot b^m \cdot c^p \dots; \quad (2.4)$$

čia n, m, p – bet kokie sveikieji, trupmeniniai, teigiamieji arba neigiamieji skaičiai. Būtina atkreipti dėmesį į tai, kad dydžiai a, b, c, \dots turi būti matuojami nepriklausomai. Remiantis (2.2) formule, ieškomo dydžio santykinės paklaidos kvadratas

$$\left(\frac{\Delta z}{z}\right)^2 = \left(n \frac{\Delta a}{a}\right)^2 + \left(m \frac{\Delta b}{b}\right)^2 + \left(p \frac{\Delta c}{c}\right)^2 + \dots \quad (2.5)$$

Santykinę paklaidą padauginus iš ieškomo dydžio vertės, gaunama jo absoliučioji paklaida.

2.5. Paklaidos apvalinimas ir matavimo rezultatų užrašymas

Skaičiuojant paklaidas, matematinius veiksmus reikia atlikti kaip galima tiksliai. Bet vis tiek kiekvienas skaičiavimo rezultatas yra apytikslis, gautas tam tikru tikslumu. Paklaidos vertė užrašoma dviem reikšminiais *skaitmenimis*, jei pirmasis iš jų yra vienetą; kitais atvejais – vienu skaitmeniu. *Skaičiaus reikšminiais skaitmenimis* vadinami visi jo skaitmenys, taip pat ir nulys, jeigu jis nėra skaičiaus priekyje. Skaičiai apvalinami laikantis šios taisyklės: jei pirmasis atmetamas skaitmuo yra ne mažesnis kaip 5, tai paskutinis paliekamas skaitmuo padidinamas vienetu. Matavimo rezultatas apvalinamas tiek, kad jo ir paklaidos paskutiniai skaitmenys būtų tos pačios eilės. Skaičiuoti reikia tokiu tikslumu, kad skaičiavimo paklaida būtų 10 ar daugiau kartų mažesnė už eksperimentinę. Pavyzdžiui, jei gauta vertė $\Delta x = 0,0154$, tai atmetus skaitmenį 4, užrašoma $\Delta x = 0,015$. Jei $\Delta x = 275$, tai būtina suapvalinti iki $\Delta x = 3 \cdot 10^2$.

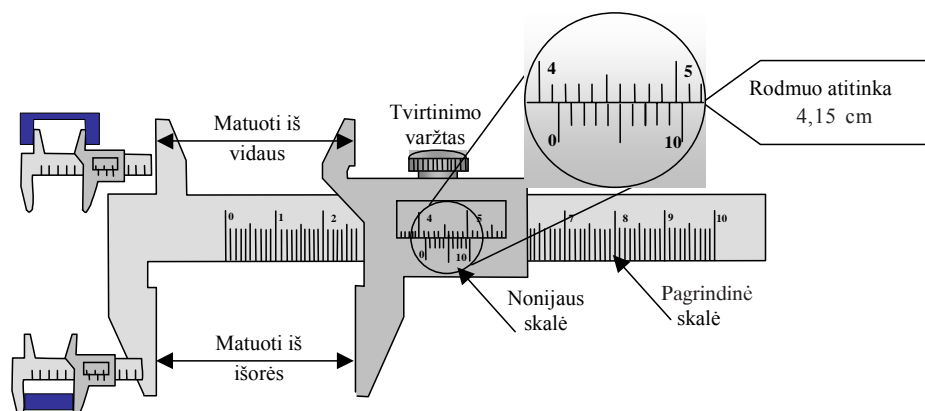
Galutinis matavimo rezultatas užrašomas kartu su jo absoliučiąja paklaida. Dimensija ir bendrasis daugiklis rašomi už skliaustų. Pavyzdžiui, $m = (1,05 \pm 0,03)$ kg.

2.6. Matavimai

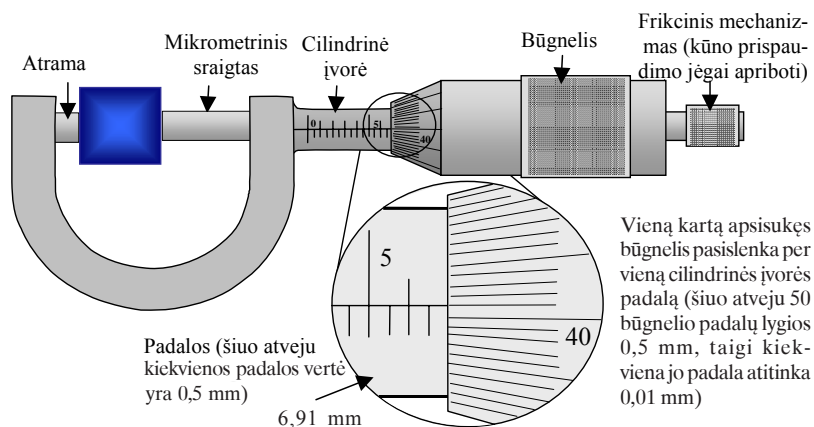
2.6.1. Ilgio matavimas

Fizikiniai dydžiai dažniausiai matuojami atitinkamos paskirties matavimo prietaisais. Paprasčiausias laboratorinis ilgio matavimo prietaisas yra metalinė *liniuotė*, turinti centimetrines ir milimetrines padalas. Ji yra gana tiksli: milimetrų ir centimetrų žymėjimo paklaidos neviršija atitinkamai $\pm 0,05$ ir $\pm 0,1$ mm. Matuojant tokia liniuote, matavimo tikslumą lemia atsitiktinė atskaitymo pusės padalos didumo paklaida. Taigi paprasta metalinė liniuotė tinka tik tada, kai atstumą pakanka išmatuoti 0,5 mm tikslumu. Naudojamos ir tikslesnės liniuotės su smulkesnėmis 0,1 mm padalomis. Tokios liniuotės padalos stebimos per specialią išilgai slankiojančią lupą. Ilgis ja išmatuojamas 0,1 mm tikslumu. Plastmasinių ar medinių liniuočių gradavimo tikslumas nežinomas, todėl jas naudoti laboratorijose nerekomenduojama.

Dar tiksliau ilgis matuojamas slankmačiais ir mikrometrais. Tikslesniems ilgio ar kampo matavimo prietaisams naudojamas *nonijus*. Jį sudaro nedidelė 10 ar 20 padalų turinti liniuotė, kuri stumdoma išilgai pagrindinės (*mastelinės*) liniuotės. Nonijaus tikslumas priklauso nuo jo padalų skaičiaus n ir lygus $1/n$ mastelinės padalos daliai. *Slankmatis* yra nonijaus skalę turintis prietaisas, naudojamas ilgiui nuo 10 mm iki 100 mm matuoti (2.1 pav.). Slankmačio nonijaus skalė gali turėti 10 arba 20 padalų.



2.1 pav. Slankmatis [pagal 33]



2.2 pav. Mikrometras [pagal 33]

Matavimo būdas:

1. Slankmačio žiaunos suglaudžiamos ir patikrinama, ar nonijaus skalės nulis sutampa su fiksuotos skalės nuliui. Jei ne, tai išidėmimas rodmuo (nulinio pataisa).
2. Matuojant kūną, slankmačio žiaunos išskečiamos arba suglaudžiamos.
3. Tvirtinimo varžtu užfiksuojama judamoji slankmačio dalis.
4. Nuskaitomas skalės rodmuo.
5. Norint rasti tikslų dydį, prie perskaityto rodmens pridedama arba iš jo atimama nulinio pataisa.

Mikrometras yra prietaisas ilgiui iki 30 mm tiksliai matuoti (2.2 pav.). Vieną kartą apsisukęs būgnelis pasislenka per vieną cilindrinės įvorės padalą (šiuo atveju 50 būgnelio padalų lygus 0,5 mm, taigi kiekviena jo padala atitinka 0,01 mm). Mikrometro atskaitymo paklaida neviršija pusės vienos

būgnelio padalos vertės. Mikrometro gradavimas yra tokios pačios eilės. Todėl maksimali matavimo mikrometru sistemingoji paklaida atitinka būgnelio padalos vertę.

Matavimo būdas:

1. Apskaičiuojamos būgnelio skalės padalos vertės.
2. Frikciniu mechanizmu visiškai suglaudžiamos prietaiso žiaunos. Būgnelio skalės nulis turėtų sutapti su horizontaliąja atskaitos linija. Jei nesutampa, įsidėmima nulio paklaida.
3. Tarp žiaunų įspraudžiamas matuojamas kūnas ir frikciniu mechanizmu suglaudžiamos žiaunos.
4. Įsidėmimos didžiausios matomos cilindrinės įvorės skalės žymės (šiuo atveju 6,5 mm).
5. Įsidėmima būgnelio padala, kuri sutampa su horizontaliąja skalės atskaitos linija (šiuo atveju 0,41 mm).

Norint gauti tikslų rezultatą (šiuo atveju 6,91 mm), reikia šiuos du rodmenis susumuoti ir prie jų pridėti arba iš jų atimti nulio pataisą.

Deformacijas patogų matuoti rodykliniu mikrometru (2.3 pav.). Jo matavimai skaitomi apskritimo skalėje, kurios padala lygi 0,01 mm. Matuojamas kūnas remiasi į judamą atramą A, kurios poslinkis perduodamas mikrometro dantračių sistemai, sujungtai su rodykle.

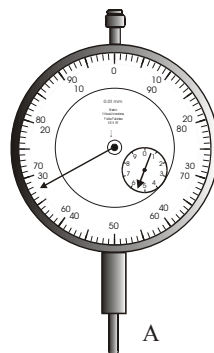
Matavimo slankmačiu ir mikrometru principais paremti ir matavimai kitais prietaisais, pavyzdžiui, poliarimetru, goniometru, mikroskopo koordinaciniu staliu (tik čia koordinatės atskaitomos dviem slankmačiais) ir kt.

2.6.2. Laiko matavimas

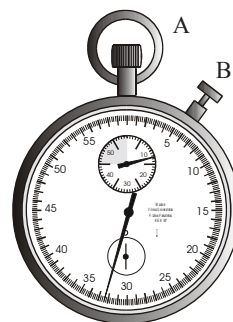
Vienas iš paprastesnių, dažnai naudojamų laiko matavimo prietaisų yra *mechaninis sekundmatis* (2.4 pav.). Juo galima matuoti laiko intervalus nuo kelių sekundžių iki 60 min. Tokiais sekundmačiais laikas išmatuojamas ne didesniu kaip 0,2 s tikslumu. Matavimo tikslumą lemia sekundmačio sistemingoji paklaida. Sekundmatis paleidžiamas ir stabdomas paspaudus galvutę A. Paspaudus galvutę B, rodyklės grįžta į pradinę padėtį.

2.6.3. Tikslusis svėrimas

Svėrimu vadinamas kūno masės radimas lyginant jo gravitacines savybes arba inertiškumą su analogiškais etaloninio kūno savybėmis. Tiksliai kūno masei rasti dažniausiai naudojami *svirtinės ir elektroninės svarstyklės*. Tikslios svarstyklės skirstomos į analizes ir mikroanalizes. Analizinių svarstyklių tikslumas yra iki 1 mg, o mikroanalizinių – iki 10^{-3} mg. Plačiau apie svarstyklės ir naudojimąsi jomis skaitykite 4.1 skyriuje.



2.3 pav. Rodyklinis mikrometras



2.4 pav. Sekundmatis

2.7. Duomenų apdorojimo programos

Pradėjus naudoti asmeninius kompiuterius, eksperimentų duomenims apdoroti taikomi įvairūs programų paketai, pavyzdžiui, *Microcal Origin*, *MathCAD*, *Matlab*, *Excel* ir kt.

Microcal Origin ir kitų programų paketų įvairios versijos leidžia apdoroti ir analizuoti didelius duomenų kiekius, pateikti rezultatus lentelių, grafiniu ir analitiniu pavidalais. Taip pat dažnai šios programos palaiko dinaminis duomenų mainus su duomenų šaltinių failais, su kitų *Windows* programų objektais.