

1. Mjerenje duljine i mase

Zadaci

Uz vježbu se nalaze četiri predmeta (valjak, stožac, šesterokutna prizma) različitih dimenzija izrađena od materijala različitih gustoća. Izmjerite gustoću jednog od predmeta mjereći njegovu masu i volumen. Volumen izmjerite mjereći visinu mikrometarskim vijkom, a promjer (širinu) pomičnom mjerkom. Svaku veličinu mjerite barem 5 puta. Rezultate statistički obradite i sve izmjerene i izračunate veličine prikažite u obliku $x = (\bar{x} \pm M_x)$. Komentirajte!

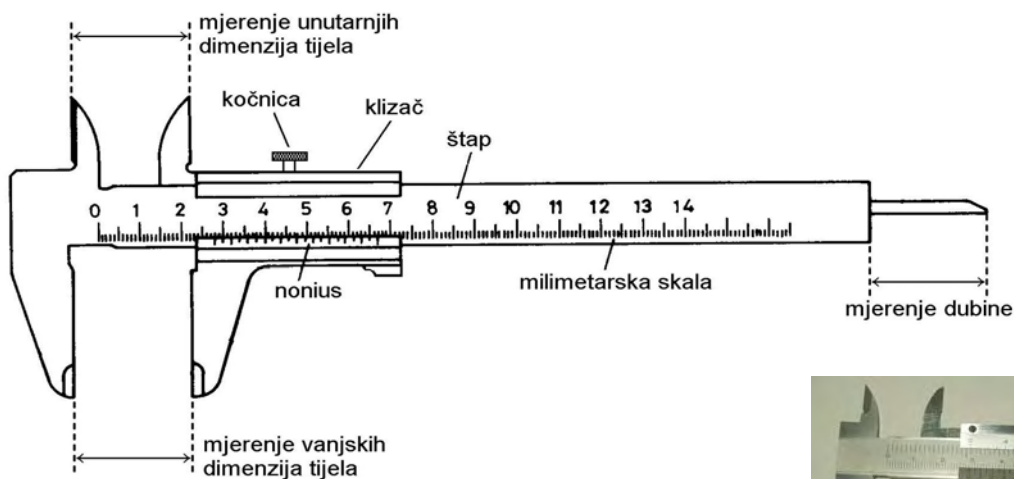
Priložena su četiri uzorka pijeska ili brusnog praha umočena u mast. Odredite prosječnu veličinu zrnaca (prosječnu duljinu) za jedan uzorak. Odaberite desetak različitih zrna u tom uzorku i za njih nađite srednju vrijednost i raspršenje (m) veličina zrna u danom uzorku.

U slučaju da preostane vremena mikroskopom izmjerite debljinu vlasi.

Mjerni uređaji

Pomična mjerka

Za mjerenje dimenzija malih pravilnih krutih tijela služimo se pomičnom mjerkom (slika 1 i 2). Ona se sastoji od štapa na koji je nasaden klizač. Da bi se izbjeglo nekontrolirano klizanje i pogrešno mjerenje, klizač ima vijak s gornje strane koji služi kao mehanizam za kočenje. Kada se svjesno želi pomicati klizač, treba otpustiti kočnicu i povući nazubljenu polugu na donjoj strani klizača.

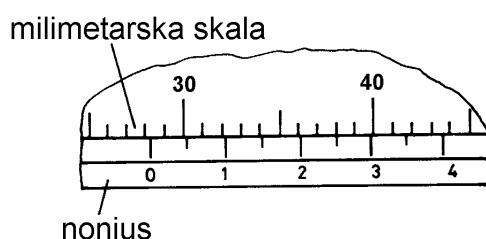


Slika 1. Pomična mjerka

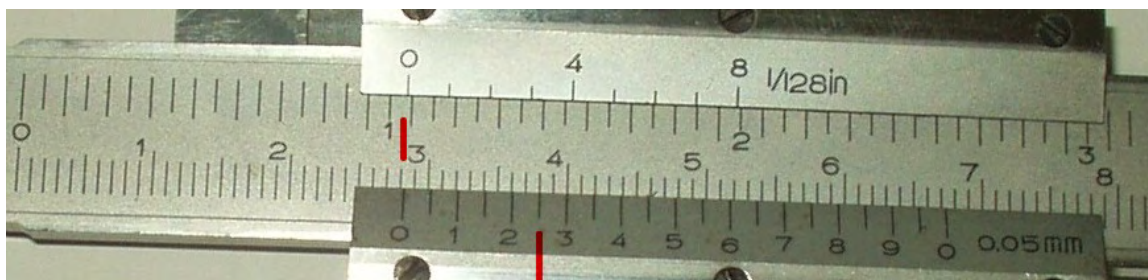
Pomičnom mjerkom mogu se mjeriti:

- vanjske dimenzije tijela (stavljanjem tijela između velikih krakova na donjoj strani mjerke)
- unutarnje dimenzije cijevi, prstena ili otvorene kutije (uvlačenjem gornjih krakova mjerke u šupljinu tijela)
- dubina neke posude (guranjem šipke na desnoj strani mjerke do dna posude).

Štap ima na sebi milimetarsku skalu, a na klizaču se nalazi posebna skala koja se naziva *nonius* (Nonius, 1542; Vernier). Kada je klizač pomaknut do kraja ulijevo, poklapaju se oznake za nulu (0) na objema skalama. Za grubo mjerenje dovoljno je na milimetarskoj skali štapa očitati iznos koji odgovara novom položaju oznake 0 na klizaču. Tako možemo očitati iznos duljine u milimetrima i procijeniti desetinke milimetra. Za točnije mjerenje duljine moramo poznavati princip noniusa.



Slika 2. Nonius



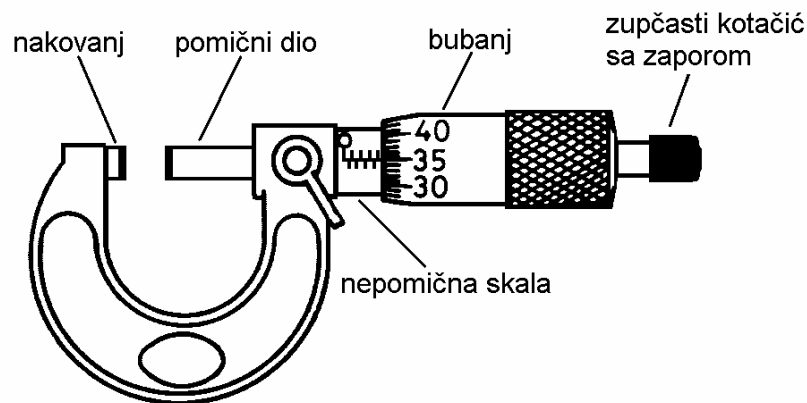
Slika 3. Uvećani prikaz milimetarske skale i noniusa za očitavanje 28.25 mm.

Noniusova je ideja bila vrlo dosjetljiva. Umjesto da se svaki milimetarski razmak ispuni mnoštvom vrlo tankih zarezova za finiju podjelu, napravio je jednu pomičnu skalu s N zarezova s točno određenim svojstvom (u našem slučaju $N=20$ – ukupno ima 21 zarez ali lijevu oznaku 0 ne brojimo jer je analogna pomaku od 1 mm ulijevo od desne oznake 0). Kada se klizač pomakne do kraja ulijevo tako da se poklope oznaka 0 na milimetarskoj skali s lijevom oznakom 0 na noniusu, vidimo da se desna oznaka 0 na noniusu nalazi 1 mm lijevo od oznake 4 cm na štapi. To znači da se oznaka 25 na noniusu nalazi 0.25 mm lijevo od oznake 1 cm na štapi, oznaka 50 na noniusu nalazi se na 0.50 mm lijevo od oznake 2 cm na štapi itd. Zamislimo da mjerimo debljinu nekog listića koja iznosi točno 0.25 mm. Očitano je da će se pritom oznaka 25 na noniusu poklopiti s oznakom 1 cm na štapi, dok se ostale oznake na dvjema skalama neće poklapati. Lako zaključujemo da se mjerenjem debljine $n/20$ mm, gdje je $n=1,2,\dots,19$, mora poklopiti n -ta oznaka na noniusu s nekom od oznaka na skali štapa. Ako mjerimo debljinu pločice koja iznosi npr. 1.25 mm, onda će oznaka 0 na noniusu biti malo pomaknuta udesno od oznake 1 mm na štapi, a oznaka 25 na noniusu poklopit će se s oznakom 1.1 cm na štapi, tj. sve se zbiva s

pomakom od 1 mm u odnosu prema gornjem slučaju listića debljine 0.25 mm. Dakle, za mjerenje duljine bitno je očitati cijeli broj milimetara pomoću noniusove oznake 0 i dodati $n/20$ milimetara ako se n -ta oznaka noniusa poklapa s nekom (nije bitno kojom) oznakom na štapu. Primjer je prikazan na slici 2, gdje se uvećano vidi bitan isječak štapa i noniusa. Mjerena duljina iznosi 28.25 mm. Dakle, nonius nam omogućuje mjerenje duljine do točnosti očitavanja od 0.05 mm (vidi naznaku na klizaču).

Mikrometarski vijak

Slično pomičnoj mjerki, mikrometarski vijak sastoji se od nepomičnog i pomičnog dijela kao što se vidi na slici 3.



Slika 3. Mikrometarski vijak



Slika 4. Uvećani prikaz skale mikrometarskog vijka

Umjesto da klizi, pomični se dio miče pomoću vijka. Mjerenje duljina pomoću vijka zasniva se na proporcionalnosti između translacijskog pomaka vijka i kuta zakretanja vijka. Kad se vijak okreće u matici, njegov pomak očitava se na nepomičnoj skali tako da se prati pomak ruba bubnja. Hod vijka (translacijski pomak za puni okret) iznosi točno 0.5 mm. Budući da je skala na bubnju podijeljena na 50 djelića, moguće je mjeriti duljinu do točnosti očitavanja od 0.01 mm, što je peterostruko točnije od mogućnosti koju pruža pomična mjerka.

Tijelo kojemu se mjere dimenzije stavi se između nakovnja i vijka (pomični dio), a vijak se približava tijelu sve dok ga ne dodirne. Dodir mora biti lagan da se tijelo ne bi deformiralo. Poželjno je da pritisak bude uvijek jednak. Da se to postigne, mikrometarski vijak se okreće

isključivo pomoću zupčastog kotačića sa zaporom (engl. ratchet knob) koji klikne kad pritisak pomičnog dijela na tijelo dosegne određenu vrijednost. Nakon toga nema potrebe više okretati nazubljenu glavu jer sigurnosni mehanizam mikrometerskog vijka sprječava daljnje stezanje. Bubanj s rotirajućom Vernierovom skalom ne smije se dirati!

OPREZ: Mikrometerski vijak ima sistematsku pogrešku koju treba oduzeti od očitavanja!

NAPOMENA: Prilikom ponavljanja mjerenja bilo koje dimenzije tijela, tijelo malo pomaknite. Npr., između dvaju mjerenja unutarnjeg promjera, prsten malo zarotirajte pa tek onda ponovno izmjerite. Time se statistički uzimaju u obzir eventualne nepravilnosti tijela.

Vaga



Slika 5. Precizna vaga s točnošću od 1 mg

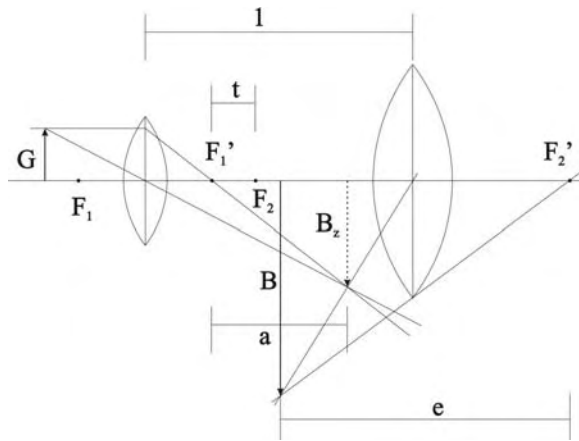
Vaga se uključuje laganim pritiskom na tipku **On/Zero**. Maknite sve predmete sa zdjelice i još jednom pritisnite **On/Zero** kako biste namjestili nulti položaj vage. Kad je nulti položaj namješten, na lijevom gornjem kutu zaslona će se prikazati znak \circ . Otvorite bočna vratašca zaštitnog kućišta i polagano pincetom stavite predmet koji želite izmjeriti na vagu. Zatvorite kućište i pričekajte da se vaga stabilizira. Dok traje vaganje, odmaknite se malo od stola na kojem se nalazi vaga. Svako naslanjanje i trešnja podloge na kojoj se nalazi vaga otežava stabilizaciju vage. Stabilno očitavanje mase dobit ćete kad se na lijevom kraju zaslona pojavi znak $*$. Očitajte tu masu te nakon toga isključite vagu tako da pritisnete i držite tipku **On/Zero** dok se na zaslonu ne pojavi poruka *Off*. Nakon gašenja vage, uklonite predmet koji ste vagali.

Ne uklanjajte plastični pokrov koji stoji preko zaslona i tipaka! On služi za zaštitu od prašine i mehaničkih oštećenja, a ne predstavlja nikakvu smetnju normalnom radu s vagom.

OPREZ: Vaga je predviđena za mjerenje masa do 210 g. Stavljanje na vagu mase veće od dopuštene može rezultirati njezinim oštećenjem!

Mikroskop

Mikroskop je optički sustav od dvije konvergentne leće (objektiva i okulara) koji se koristi za povećanje i precizna mjerenja malih objekata (preciznosti 1 μm). Ukupno povećanje mikroskopa određeno je pojačanjem objektiva i okulara. Objektiv žarišne udaljenosti F_1 stvara invertiranu, realnu i povećanu sliku (veličine B_z) objekta stvarne veličine G , koji je direktno ispred žarišne ravnine okulara F_2 . Slika koju stvara okular je invertirana, povećana (sada veličine B) i virtualna.



Slika 6. Povećanje slike mikroskopom

Udaljenost između leća u mikroskopu je $l = F_1 + F_2 + t$, gdje je t duljina optičke cijevi. Povećanje objektivna je

$$\gamma_1 = -\frac{B_z}{G} = -\frac{a}{F_1},$$

gdje je a udaljenost između slike i žarišne ravnine F_1' .

Povećanje okulara je

$$\gamma_2 = \frac{B}{B_z} = \frac{e}{F_2},$$

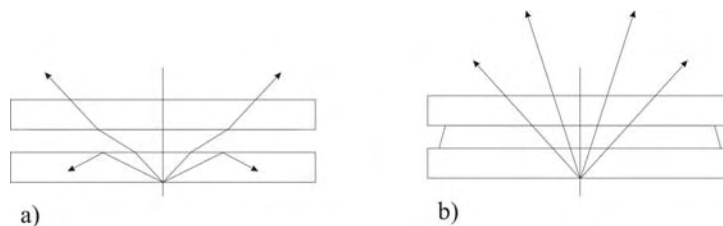
gdje je e udaljenost nove slike od žarišne ravnine F_2' . Budući je oko upravo u žarišnoj ravnini F_2' , slika će se najjasnije vidjeti kada je prividna udaljenost između oka i slike upravo udaljenost jasnog vida $d = 0.25$ m, tj $e = d$.

Kako bi se postiglo što je moguće veće povećanje, primarna slika treba biti blizu F_2 tako da približno vrijedi $a = l - F_1 - F_2 = t$.

Povećanje mikroskopa je tada
$$V = \frac{B}{G} = \gamma_1 \gamma_2 = -\frac{a}{F_1} \frac{e}{F_2} \approx -\frac{td}{F_1 F_2}$$

Moć razlučivosti mikroskopa je ograničena valnom prirodom svjetla, budući da difrakcija svjetlosti na rubu objekta stvara nerazlučiv difrakcijski uzorak. Najmanja razlučiva udaljenost između dvije točke objekta (uz svjetlost valne duljine λ) određena je relacijom $d_{\min} = \lambda / n \sin \beta$, pri čemu je n je indeks loma stakalca za uzorke, a β maksimalni kut mjeran od normale stakalca pod kojim zraka svjetlosti koja dolazi sa uzorka pada na leću objektivna.

Veličina $A = n \sin \beta$ je mjera količine (intenziteta) svjetla koje dolazi na objektiv. Drugim riječima, to je mjera rasvjetljenosti slike, a time i moći razlučivanja mikroskopa. U 'suhim uvjetima' $A = 1.515 \sin 39^\circ \approx 0.95$



Slika 7. Širenje zraka svjetlosti kroz a) zrak, b) ulje

No, ako bismo između dva stakalca umetnuli tekućinu indeksa loma većeg od onog za zrak, tada se A poveća iznad 1 (razlučivost se povećava).

Postoje profesionalni mikroskopi u kojima se refrakcijsko ulje stavlja između objektivna i stakalca, no to u ovoj vježbi nećemo raditi.

UREĐAJ:



Slika 8. Mikroskop

1. Uzorak staviti na postolje, pokriti pokrovnim stakalcem, te učvrstiti stezaljkama.
 2. Osvijetliti uzorak.
 3. Početi promatranje uzorka upotrebom objektivna najmanjeg povećanja.
 4. Podesiti oštrinu slike koristeći vijak za grubo (jedan okret pomiče postolje uzorka za 4.6 mm) i za fino (jedan okret pomiče postolje uzorka za 0.4 mm).
- Pomoću baždarne tablice pored mikroskopa za svako pojačanje, odredite veličinu promatranog uzorka.

povećanje objektiva	stvarna veličina razmaka između dvije oznake (mm)
4	$1.72 \cdot 10^{-2}$
10	$7.44 \cdot 10^{-3}$
40	$1.45 \cdot 10^{-3}$
100	$7.36 \cdot 10^{-4}$

Računalne simulacije na internetu

Radi upoznavanja s mjernim uređajima prije dolaska u praktikum, možete posjetiti neke od ovih mrežnih stranica:

Pomična mjerka:

<http://www.upscale.utoronto.ca/PVB/Harrison/Vernier/Vernier.html>

<http://members.shaw.ca/ron.blond/Vern.APPLET/index.html>

Mikrometerski vijak:

<http://members.shaw.ca/ron.blond/Micrometer.APPLET/index.html>

<http://www.phy.uct.ac.za/courses/c1lab/vernier1.html>