

Jakov Labor · Jasmina Zelenko Paduan · Igor Vidović

# FIZIKA u struci

MODUL 1

# Fizikalne veliĉine i mjerenja

UdŹbenik za strukovne škole



I. izdanje | 2026.



Nakladnik

**ALFA d. d. Zagreb**  
**Nova Ves 23a**

Za nakladnika

**Ivan Petric**

Direktorica nakladništva

**mr. sc. Daniela Novoselić**

Urednica za Matematiku i Fiziku

**Tea Borković**

Recenzija

**prof. dr. sc. Ivica Smolić**

**Ivana Grabić Marin, prof. savjetnik**

**Željka Duh Blašković**

Lektura i korektura

**Kristina Ferenčina**

Likovno i grafičko oblikovanje

**Irena Lenard**

**Slaven Tomakić**

Naslovnica

**Vilim Plužarić**

Ilustracija

**autori**

**Adobe Stock**

**Igor Vilagoš**

Fotografija

**Adobe Stock**

**autori**

Digitalno izdanje

**Alfa d. d.**

**Mozaik Education Ltd.**

Tehnička priprema

**Alfa d. d.**

Tisak

**Og grafika d. o. o.**

*Proizvedeno u Republici Hrvatskoj, EU*

OPSEG PAPIRNATOG IZDANJA	MASA PAPIRNATOG IZDANJA	KNJIŽNI FORMAT
140 str.	304 g	265 mm (v) x 210 mm (š)

Digitalno izdanje dostupno je na internetskoj adresi [hr.mozaweb.com](http://hr.mozaweb.com) ili putem aplikacije **mozaBook** za pametne uređaje s operativnim sustavima Android i iOS.

© Alfa

**Ova knjiga, ni bilo koji njezin dio, ne smije se umnožavati ni na bilo koji način reproducirati bez nakladnikova pismenog dopuštenja.**

Mozaik Education Ltd. zadržava intelektualno vlasništvo i sva autorska prava za komercijalne nazive **mozaBook**, **mozaWeb**, digitalne proizvode, sadržaje i usluge proizvedene neovisno o nakladniku Alfa d. d.

# Sadržaj

<b>PREDGOVOR</b> .....	<b>4</b>
------------------------	----------

## **1. Fizikalne veličine i mjerenja u mehanici** ..... **6**

### **1.1. Fizikalne veličine i mjerenja** ..... **7**

Fizikalne veličine i mjerne jedinice .....	8
Pogreške pri mjerenju .....	9
Koraci pri procesu mjerenja fizikalnih veličina i njihovih međuodnosa .....	12
Prikaz i međuovisnosti izmjerenih veličina .....	14

### **1.2. Tijela i tvari** ..... **18**

Agregacijska stanja tvari .....	19
Duljina, površina i volumen .....	20
Masa i gustoća .....	22
Težište .....	24
<b>Zadaci za vježbu 1</b> .....	26

### **1.3. Gibanje materijalne točke** ..... **28**

Put i pomak .....	29
Brzina .....	30
Akceleracija .....	32
Jednoliko pravocrtno gibanje .....	33
Gibanje stalnom akceleracijom .....	34
<b>Zadaci za vježbu 2</b> .....	38

### **1.4. Sile, količina gibanja i tlak** ..... **42**

Mjerenje sile .....	43
Sila teža .....	46
Elastična sila .....	47
Sila napetosti .....	48
Sila reakcije podloge .....	48
Sila trenja .....	49
Gibanje na kosini .....	50
Količina gibanja .....	52
Tlak .....	53
<b>Zadaci za vježbu 3</b> .....	56

### **1.5. Rad, energija i snaga** ..... **60**

Rad .....	61
Kinetička energija .....	62
Gravitacijska potencijalna energija .....	63
Elastična potencijalna energija .....	64
Snaga .....	65

Korisnost .....	65
Očuvanje mehaničke energije .....	66
<b>Zadaci za vježbu 4</b> .....	68

## **2. Električna mjerljiva svojstva i temperatura** .... **73**

Električna struja, električni napon i električni otpor ..	74
Rad i snaga električne struje .....	78
Temperatura .....	80
Toplinsko širenje tijela .....	81
Termočlanak .....	82
Promjena električnog otpora s temperaturom ....	82
Vlaga .....	84
<b>Zadaci za vježbu 5</b> .....	86

## **3. Mjerljiva svojstva zvuka i svjetlosti**..... **90**

### **Odabrana svojstva zvuka** ..... **91**

Svojstva i opis zvuka .....	91
Brzina zvuka .....	93
Izvori zvuka .....	94
Intenzitet zvuka .....	96
Razina buke .....	97

### **Odabrana svojstva svjetlosti** ..... **99**

Bijela svjetlost i boje .....	99
Lom svjetlosti .....	101
Razlaganje svjetlosti u spektral lomom .....	105
Mjerenje valne duljine i frekvencije svjetlosti ....	107
Mjerenje osvijetljenosti, svjetlosne jakosti izvora i svjetlosnog toka .....	112
<b>Zadaci za vježbu 6</b> .....	117

### **Odgovori na konceptualna pitanja i rješenja numeričkih zadataka** ..... **121**

<b>Rješenja zadataka za vježbu</b> .....	129
--	-----

### **Kazalo pojmova**..... **137**

## PREDGOVOR

Poznati matematičar, fizičar i astronom Galileo Galilei izjavio je: „Broji ono što se može brojiti, mjeri ono što se može mjeriti, a što nije mjerljivo, učini mjerljivim.”

Još jedan poznati fizičar, William Thomson (lord Kelvin) rekao je: „Kada ono o čemu govorite možete izmjeriti i izraziti brojevima, tada o tome nešto znate; kada to ne možete izmjeriti, tada je vaše znanje oskudno i nedovoljno.”

Ono što mjerimo fizikalna je veličina, pa nas obojica poznatih znanstvenika upućuju na nužnost uvođenja fizikalnih veličina pri istraživanju prirodnih pojava.

Mnoge fizikalne veličine mjerimo za potrebe svakodnevnog života. To su, primjerice, vrijeme, duljina, volumen, masa, temperatura itd. Fizikalne veličine mjere u svom poslu stručnjaci različitih profila. Tako stručnjaci za zaštitu na radu mjere razinu buke, osvijetljenost radnog prostora, električari mjere struju i napon itd.

Fizikalne veličine mjerimo odgovarajućim mjernim instrumentima, a rezultate mjerenja iskazujemo brojčanim vrijednostima i odgovarajućim mjernim jedinicama. Razvojem tehnologije mjerenje i mjerni uređaji postaju sve kvalitetniji. Neke fizikalne veličine možemo mjeriti i mobitelom.

No mjernim uređajem ne možemo mjeriti sve fizikalne veličine. Naime, postoje i takve koje određujemo računskim postupkom iz onih koje smo izmjerili mjernim uređajem. Za njih kažemo da su izmjerene neizravno.

Udžbenik je namijenjen učenicima tehničkih strukovnih škola. Učenici mnogih sektora – od prometnih i grafičkih do graditeljskih, rudarsko-kemijskih i zdravstvenih – koriste ga u prvom, a dio elektrotehničara i informatičara koristit će ga u četvrtom razredu.

Neka mjerljiva mehanička i električna svojstva tijela te zvuka i svjetlosti u ovom su modulu ukratko opisana u trima poglavljima:

- Fizikalne veličine i mjerenja u mehanici
- Električna mjerljiva svojstva i temperatura
- Mjerljiva svojstva zvuka i svjetlosti.

Nastavne jedinice počinju kratkim **teorijskim dijelom**, zatim slijede učeničke aktivnosti: **konceptualna pitanja, virtualni pokusi i numerički zadatci**. Sve je to priprema za ono najvažnije: **učenička mjerenja**. Radit ćete ih timski jer ona traže povezivanje znanja, logike i kreativnosti. U udžbeniku su i dvije **mentalne mape**, koje vam omogućuju lakše pamćenje i razumijevanje sadržaja.

Nadamo se da će vam ovaj udžbenik pomoći da fiziku ne vidite kao niz formula, nego kao dobar temelj za ono što ćete raditi u svojoj struci.

Autori

Ključni pojmovi:

tijela, fizikalna svojstva, materijalna točka, zvuk, svjetlost.

Povezanost modula s međupredmetnim temama

### **MPT Osobni i socijalni razvoj**

A.4.3. Razvija osobne potencijale.

B.4.2. Suradnički uči i radi u timu.

B.4.3. Preuzima odgovornost za svoje ponašanje.

### **MPT Uporaba informacijske i komunikacijske tehnologije**

C.4.4. Učenik samostalno i odgovorno upravlja prikupljenim informacijama.

### **MPT Zdravlje**

B.4.1.A Odabire primjerene odnose i komunikaciju.

B.4.1.B Razvija tolerantan odnos prema drugima.

### **MPT Učiti kako učiti**

A. 4. Učenik samostalno kritički promišlja i vrednuje ideje.

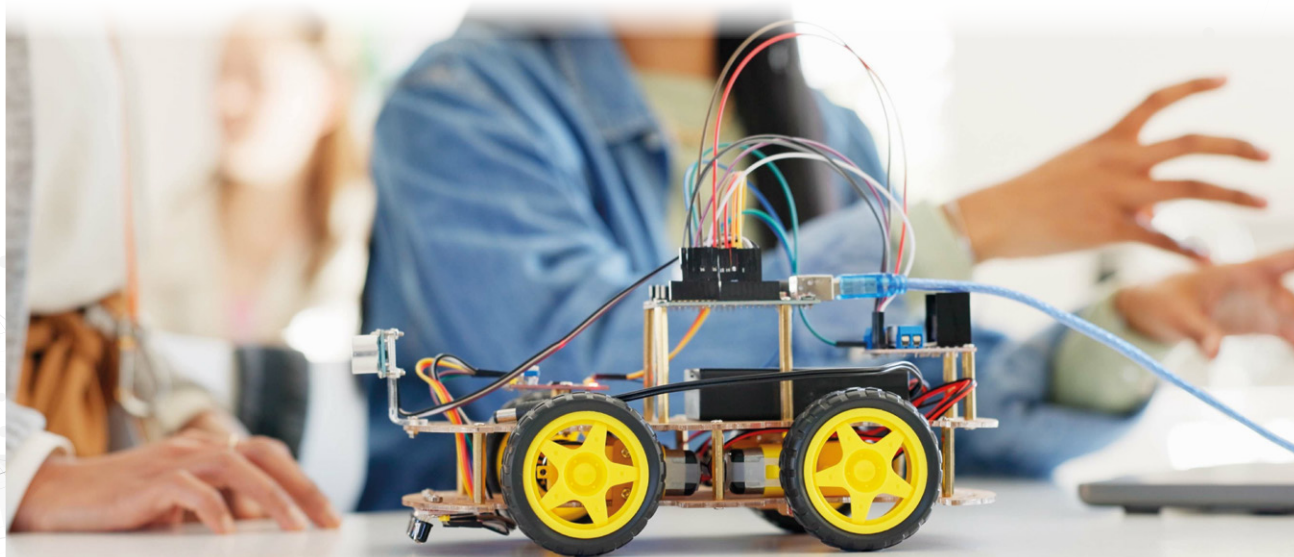
MEĐUPREDMETNA  
TEMA  
**osobni i  
socijalni  
razvoj**

MEĐUPREDMETNA  
TEMA  
**informacijska i  
komunikacijska  
tehnologija**

MEĐUPREDMETNA  
TEMA  
**zdravlje**

MEĐUPREDMETNA  
TEMA  
**učiti kako  
učiti**

# 1. Fizikalne veličine i mjerenja u mehanici



## UVOD U SKUPINU ISHODA

Tehnika i znanost počivaju na brojevima i mjerenjima. Bez njih ne možemo projektirati most, pokrenuti motor ni odrediti koliko goriva treba za put. Sve počinje fizikalnim veličinama – pojmovima koji nam govore koliko nečega ima: mase, sile, tlaka, energije...

U ovoj cjelini upoznat ćete temeljne veličine mehanike – grane fizike koja proučava gibanja tijela i sile koje ih uzrokuju. Naučit ćete mjeriti **masu, gustoću, silu, količinu gibanja i tlak** te razumjeti pojmove **rada, energije i snage** – ključne za gotovo sva tehnička područja.

Mjerenje nije samo broj na ekranu – to je proces koji traži razumijevanje i primjenu **znanstvene metode**. Pravi tehničar ne nagađa, već mjeri, uspoređuje i analizira. U ovoj cjelini učit ćete kako precizno mjeriti, prepoznati dobru mjernu strategiju i ispravno tumačiti rezultate.

Ovo je najopsežnija cjelina udžbenika – s razlogom. Znanje koje ovdje stječete temelj je za razumijevanje strojeva, konstrukcija, energetike i svih tehničkih izazova koji vas čekaju.

Dobro došli u svijet fizikalnih veličina – gdje je preciznost nužnost, a dobro mjerenje pola rješenja.

## Ishodi učenja

- opisati komponente procesa mjerenja fizikalnih veličina
- opisati osnovne karakteristike tijela s obzirom na agregacijska stanja
- izmjeriti odabrana svojstva tijela u mehanici: geometrijska svojstva tijela, masu, gustoću
- izmjeriti odabrana svojstva u mehanici za materijalnu točku: položaj, brzinu, akceleraciju, odabrane primjere sila, kinetičku energiju, količinu gibanja, rad i snagu
- Izmjeriti tlak u tekućinama i plinovima

# 1.1. Fizikalne veličine i mjerenja



## UVOD U CJELINU

Znanstvenici istražuju prirodu mjerenjem **fizikalnih veličina** i odnosa među njima. S tim ćete se postupkom upoznati i vi. No razumjeti prirodu znači naučiti je „slušati” – pravilno provoditi mjerenja, analizirati rezultate i prepoznati njihova ograničenja. Svako mjerenje nosi određenu **pogrešku**, a važno je znati kako je prepoznati i svesti na najmanju moguću mjeru. U stvarnom svijetu savršena mjerenja ne postoje – ona su moguća jedino u računalnim simulacijama.

Osim toga ključno je razumjeti znanstvenu metodu i slijediti **korake eksperimentalnog postupka**. Nakon što izmjerimo fizikalne veličine, potrebno je rezultate jasno prikazati – **tablicama** i **grafovima**. Često se kaže da slika vrijedi kao tisuću riječi, a to vrijedi i za grafički prikaz podataka.

Na kraju, važno je prepoznati međusobne odnose izmjerenih veličina i izraziti ih **matematičkim jednadžbama**. Matematika je sažet i precizan jezik znanosti, neizostavan u razumijevanju prirodnih zakonitosti.

# Fizikalne veličine i mjerne jedinice

Kada kuhar prema receptu priprema jelo, mjeri masu sastojaka koje će smiješati. Kada smo bolesni, liječnik nam radi pouzdanije dijagnoze mjeri krvni tlak i temperaturu. Električari mjere napon i električnu struju, a prometni tehničari prijedenu udaljenost i brzinu vozila. Stručnjaci za zaštitu na radu mjere razinu buke i osvjetljenost radnog prostora. Masa, temperatura, napon, struja, razina buke, osvjetljenost primjeri su **fizikalnih veličina**. Mjerimo ih odgovarajućim mjernim instrumentima, a iskazujemo mjernim jedinicama.

**Izmjeriti neku fizikalnu veličinu znači ustanoviti koliko je ona puta veća ili manja od istovrsne veličine dogovorom uzete za jedinicu.**

U Međunarodnom sustavu mjernih jedinica (SI) sedam je osnovnih mjernih jedinica (**tablica 1.1.**), a ostale su iz njih izvedene.

Fizikalna veličina	Oznaka	Mjerna jedinica	Oznaka
duljina	$l$	<b>metar</b>	m
masa	$m$	<b>kilogram</b>	kg
vrijeme	$t$	<b>sekunda</b>	s
temperatura	$T$	<b>kelvin</b>	K
množina tvari	$n$	<b>mol</b>	mol
električna struja	$I$	<b>amper</b>	A
svjetlosna jakost	$I$	<b>kandela</b>	cd

**Tablica 1.1.** Osnovne fizikalne veličine i njihove mjerne jedinice

Iako su simboli za električnu struju i svjetlosnu jakost jednaki, bit će jasno iz konteksta na koju se od tih veličina simbol odnosi.

Često je zgodnije iskazati iznose fizikalnih veličina decimalnim dijelovima ili dekadskim višekratnicima jedinica. Tada se ispred oznake za jedinicu stavlja prefiks odgovarajućeg iznosa. Prefiksi i njihovi iznosi navedeni su u **tablici 1.2.**

Prefiks	Oznaka	Iznos	Prefiks	Oznaka	Iznos
deka-	da	$10^1$	deci-	d	$10^{-1}$
hekto-	h	$10^2$	centi-	c	$10^{-2}$
kilo-	k	$10^3$	mili-	m	$10^{-3}$
mega-	M	$10^6$	mikro-	$\mu$	$10^{-6}$
giga-	G	$10^9$	nano-	n	$10^{-9}$
tera-	T	$10^{12}$	piko-	p	$10^{-12}$
peta-	P	$10^{15}$	femto-	f	$10^{-15}$

**Tablica 1.2.** Prefiksi i njihovi iznosi

Fizikalna veličina zapisuje se simbolom, broččanom vrijednošću i mjernom jedinicom, pa je tako  $t = 3$  s,  $F = 15$  N,  $v = 30$  km/h. Bez mjerne jedinice zapis ne daje nikakvu informaciju.

# Pogreške pri mjerenju

Ne postoji savršeno točno mjerenje, pa se rezultati koje dobivamo pri mjerenju iste veličine istom metodom općenito razlikuju. Pri svakom mjerenju javljaju se pogreške, a dijelimo ih na **sustavne, grube i slučajne**.

**Sustavne** pogreške nastaju zbog konstrukcijske greške na mjernom instrumentu, zbog pogrešnog izvođenja mjerenja ili zbog toga što se za mjerenje koristi neodgovarajuća metoda. Takve pogreške mogu se izbjeći upotrebom provjerenog instrumenta i primjenom više metoda mjerenja.

Do **grube** pogreške dolazi zbog nemarnosti pri očitavanju i rukovanju mjernim instrumentom. Tako se može dogoditi da se umjesto 1,65 očita 16,5 i sl. Pozornijim mjerenjem otklonit ćemo grube pogreške.

**Slučajne** pogreške posljedice su nesavršenosti mjernih instrumenata i naših osjetila te vanjskih utjecaja (npr. tlaka i temperature). Za razliku od grubih i sustavnih pogrešaka, ove ne možemo izbjeći.

Zbog neizbježnih pogrešaka mjerenja ne možemo saznati pravu vrijednost mjerene veličine. Računom pogrešaka odredit ćemo srednju vrijednost mjerene veličine i interval u kojem se vjerojatno nalazi prava vrijednost.

Neka su izmjerene vrijednosti neke veličine:

$$x_1, x_2, \dots, x_n.$$

Njihova je **srednja vrijednost**: 
$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}.$$

Odstupanja su pojedinih rezultata mjerenja od srednje vrijednosti:

$$\begin{aligned} \Delta x_1 &= x_1 - \bar{x} \\ \Delta x_2 &= x_2 - \bar{x} \\ &\dots\dots\dots \\ \Delta x_n &= x_n - \bar{x} \end{aligned}$$

Apsolutna vrijednost najvećeg odstupanja zove se **maksimalna apsolutna pogreška** ( $\Delta x_m$ ).

Prava vrijednost mjerene veličine vjerojatno je između  $\bar{x} - \Delta x_m$  i  $\bar{x} + \Delta x_m$ , što pišemo  $x = \bar{x} \pm \Delta x_m$ .

Za procjenjivanje preciznosti mjerenja nije mjerodavna maksimalna apsolutna pogreška nego **maksimalna relativna pogreška** dana izrazom:

$$r_m = \left( \frac{\Delta x_m}{\bar{x}} \cdot 100 \right) \%.$$

Recimo da smo mjerenjem dviju duljina  $d_1$  i  $d_2$  utvrdili da je  $d_1 = (5,0 \pm 0,1)$  cm, a  $d_2 = (50,0 \pm 0,1)$  cm. Maksimalna apsolutna pogreška u obama je slučajevima 0,1 cm. Međutim, u prvom je slučaju maksimalna relativna pogreška 2%, a u drugom slučaju 0,2%, što znači da je mjerenje u drugom slučaju preciznije.

Opisani račun pogrešaka koristi se za obradu rezultata izravnog mjerenja. Mnoge fizikalne veličine nisu dostupne izravnom mjerenju, nego se izračunavaju iz izmjerenih veličina. Njihove pogreške računaju se iz

pogrešaka izmjerenih veličina pomoću odgovarajućih izraza. Navest ćemo neke osnovne slučajeve računanja maksimalne apsolutne pogreške za veličine koje se ne mjere izravno. Maksimalna se relativna pogreška računa jednako kao za izravno mjerene veličine.

Veličina	Maksimalna apsolutna pogreška	
$c = a \pm b$	$\Delta c = \Delta a + \Delta b$	(1)
$c = a b$	$\Delta c = a\Delta b + b\Delta a$	(2)
$c = \frac{a}{b}$	$\Delta c = \frac{a\Delta b + b\Delta a}{b^2}$	(3)
$c = n a$	$\Delta c = n\Delta a$	(4)
$c = a^n$	$\Delta c = n a^{n-1} \Delta a$	(5)

**Primjer 1:** Duljina ( $l$ ) olovke mjerena je ravnalom s mjernom ljestvicom u mm. Pri mjerenju dobiveni su ovi rezultati:

$$l_1 = 16,52 \text{ cm}; l_2 = 16,50 \text{ cm}; l_3 = 16,51 \text{ cm}; l_4 = 16,51 \text{ cm}; l_5 = 16,52 \text{ cm}.$$

Nađimo:

- srednju vrijednost rezultata mjerenja
- maksimalnu apsolutnu pogrešku
- maksimalnu relativnu pogrešku.

Rezultate mjerenja i računanja unesimo u tablicu.

Prije računanja osvrnimo se na zapis 16,50 cm. Zbog čega to nije 16,5 cm? Kada rezultat mjerenja mjernom ljestvicom u mm iskazujemo u cm, rezultat mjerenja ima dvije decimale. Prva decimala su mm, a druga desetinke mm, koje procjenjujemo. Zapis 16,5 cm značio bi da je mjerna ljestvica u cm, a jedina decimala su procijenjeni mm.

$$\begin{aligned} \text{a.} \quad \bar{l} &= \frac{l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5}{5} = \frac{16,52 + 16,50 + 16,51 + 16,51 + 16,52}{5} \text{ cm} \\ \bar{l} &= 16,51 \text{ cm} \end{aligned}$$

Rezultat računanja koji možemo vidjeti na kalkulatoru jest 16,512. Taj broj moramo zaokružiti na dvije decimale (16,51), koliko ih imaju i rezultati mjerenja.

b.

$$\Delta l_1 = l_1 - \bar{l} = 16,52 \text{ cm} - 16,51 \text{ cm} = 0,01 \text{ cm}$$

$$\Delta l_2 = l_2 - \bar{l} = 16,50 \text{ cm} - 16,51 \text{ cm} = -0,01 \text{ cm}$$

$$\Delta l_3 = l_3 - \bar{l} = 16,51 \text{ cm} - 16,51 \text{ cm} = 0,00 \text{ cm}$$

$$\Delta l_4 = l_4 - \bar{l} = 16,51 \text{ cm} - 16,51 \text{ cm} = 0,00 \text{ cm}$$

$$\Delta l_5 = l_5 - \bar{l} = 16,52 \text{ cm} - 16,51 \text{ cm} = 0,01 \text{ cm}$$

$$\Delta l_m = 0,01 \text{ cm}$$

Rezultat mjerenja i računanja obično zapisujemo ovako:

$$l = l \pm \Delta l_m$$

$$l = (16,51 \pm 0,01) \text{ cm}$$

c.

$$r_m = \frac{\Delta l_m}{\bar{l}} \cdot 100\% = \frac{0,01 \text{ cm}}{16,51 \text{ cm}} \cdot 100\%, \quad r_m = 0,06\%$$

$\frac{l}{\text{cm}}$	$\frac{\bar{l}}{\text{cm}}$	$\frac{\Delta l}{\text{cm}}$	$\frac{\Delta l_m}{\text{cm}}$	$\frac{r_m}{\%}$
16,52	16,51	0,01	0,01	0,06
16,50		-0,01		
16,51		0,00		
16,51		0,00		
16,52		0,01		

**Primjer 2:** U svrhu određivanja gustoće čvrstog tijela izmjereni su masa ( $m$ ) i volumen ( $V$ ) tijela, pri čemu je  $m = (39,77 \pm 0,01) \text{ g}$  i  $V = (5,1 \pm 0,5) \text{ cm}^3$ . Kolika je gustoća tijela?

$$\bar{\rho} = \frac{\bar{m}}{\bar{V}} = \frac{39,77 \text{ g}}{5,1 \text{ cm}^3}, \quad \bar{\rho} = 7,8 \text{ g/cm}^3$$

Broj decimala izračunate veličine jednak je broju decimala one mjerene veličine koja ih ima najmanje. To je u ovom slučaju volumen koji je izmjereno na jednu decimalu, stoga smo na jednu decimalu zaokružili i izračunatu srednju vrijednost gustoće.

$$\Delta \rho_m = \frac{\bar{m} \Delta V_m + \bar{V} \Delta m_m}{\bar{V}^2} = \frac{39,77 \text{ g} \cdot 0,5 \text{ cm}^3 + 5,1 \text{ cm}^3 \cdot 0,01 \text{ g}}{(5,1 \text{ cm}^3)^2}, \quad \Delta \rho_m = 0,8 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho = (7,8 \pm 0,8) \text{ g/cm}^3$$

$$r_m = \frac{\Delta \rho_m}{\bar{\rho}} \cdot 100\% = \frac{0,8 \text{ g/cm}^3}{7,8 \text{ g/cm}^3} \cdot 100\%, \quad r_m = 10\%$$

Ako veličinu mjerimo neizravno, tj. računamo je iz izmjerenih veličina, ne zaokružujemo međurezultate, nego tek aritmetičku sredinu. Time izbjegnemo nakupljanje pogrešaka.

# Koraci pri procesu mjerenja fizikalnih veličina i njihovih međudnosa

Budući da je ovaj modul najviše posvećen mjerenjima, korisno je na početku imati na umu vodič kroz dobru praksu eksperimentatora. Teorijske korake odmah ćemo povezati s konkretnim pokusom.

1. POSTAVLJANJE PITANJA. Kako duljina opruge ovisi o masi na nju ovješene utega?



2. ŠTO OČEKUJEM? Što je masa utega veća, to će i duljina opruge biti veća. Za jednaka povećanja mase utega očekujemo da će produljenja opruge biti jednaka.



3. NEOVISNA, OVISNA I OSTALE VELIČINE. **Neovisna veličina** ona je koju kontroliramo i mijenjamo po želji. U ovom pokusu to je masa utega. **Ovisna veličina** ona je koja ovisi o neovisnoj veličini. Ovdje je to duljina opruge.



Ostale veličine one su koje također mogu utjecati na ovisnu veličinu i njih treba držati nepromijenjenima. Ovaj pokus zbog toga ćemo izvoditi na istoj opruzi. Kada bismo ga izvodili na dvjema oprugama, drukčija svojstva opruga utjecala bi na produljenje.

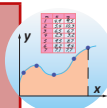
4. KOJI JE PRIBOR POTREBAN, KOJA JE PROCEDURA IZVOĐENJA? U ovom pokusu koristi se jednostavan pribor: stativ, opruga, nekoliko utega s poznatim masama te ravvalo. Prvo se izmjeri duljina neopterećene opruge ( $l_0$ ). Zatim, pri postupnom vješanju utega različitih masa ( $m$ ), mjeri se duljina opruge ( $l$ ) za svaki pojedini slučaj. Pokus je potrebno ponoviti barem pet puta, a dobivene rezultate treba analizirati izračunom srednje vrijednosti te maksimalne apsolutne pogreške. Preporučuje se priložiti i skicu pokusa.



5. TABLIČNI I GRAFIČKI PRIKAZ FIZIKALNIH VELIČINA.

Izmjerene vrijednosti upisuju se u tablicu koja ima četiri stupca. Na temelju tabličnih podataka treba nacrtati graf, pri čemu se na x-os nanose vrijednosti neovisne varijable, a na y-os vrijednosti ovisne varijable. U četvrti stupac unosi se ili produkt dvaju prethodnih stupaca ili njihov omjer ili prirast, ovisno o tome što je od nabrojenoga približno konstantno. U našem primjeru to će biti prirast duljine opruge  $\Delta l$ .

redni broj mjerenja	ovisna veličina ( $l$ )	neovisna veličina ( $m$ )
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		



6. ANALIZA PODATAKA, MATEMATIČKI PRIKAZ IZMJERENE OVISNOSTI. Iz grafičkog prikaza i četvrtog stupca tablice treba zaključiti na koji način neovisna veličina utječe na ovisnu veličinu. Uobičajene su vrste ovisnosti: proporcionalnost, obrnuta proporcionalnost, linearna ovisnost i kvadratna ovisnost, kao i obrnuta proporcionalnost s kvadratom. Nakon prepoznavanja vrste ovisnosti moguće je formulirati jednadžbu koja povezuje obje veličine.

$$y = ax^3 + bx^2 + cx$$

Više o koracima 5. i 6. u sljedećem poglavlju.

7. ZAKLJUČAK, IZVORI MOGUĆIH POGREŠAKA. Jesu li očekivanja i pretpostavke u potpunosti ispunjene ili su opovrgnute? Jesu li djelomično zadovoljene te zahtijevaju modifikaciju? Potrebno je identificirati i navesti moguće izvore pogrešaka, s naglaskom na sustavne pogreške.



Ovaj korak može poslužiti kao poticaj za formuliranje novog istraživačkog pokusa. U našem primjeru mogli bismo istražiti kako rastezljivost opruge utječe na njezinu duljinu – čime se ponovno vraćamo na početnu točku analize.

Pri izvođenju pokusa bit će od koristi zorni pregled koraka (slika 1.1.).



Slika 1.1. Shematski prikaz koraka u procesu mjerenja

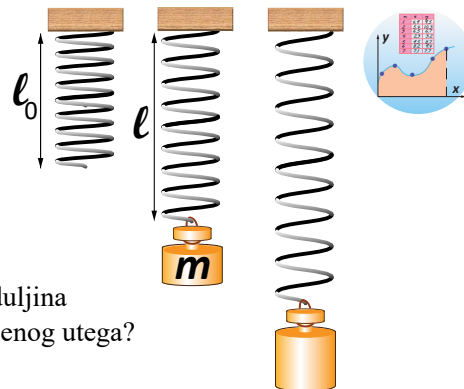
# Prikaz i međuovisnosti izmjerenih veličina

Na primjeru pokusa s oprugom i utegom detaljno ćemo predstaviti tablični i grafički prikaz izmjerenih veličina te analizirati njihove najčešće međuovisnosti.

U pokusu (**slika 1.2.**) želimo ispitati kako duljina opruge ( $l$ ) ovisi o masi ( $m$ ) ovješene utega. Ovdje je masa utega neovisna veličina, a duljina opruge ovisna veličina. Rezultate mjerenja možemo prikazati tablično:

$m/\text{dag}$	$l/\text{cm}$
0	12,0
5	13,9
10	16,1
15	17,9
20	19,9

**Tablica 1.3.** Tablični prikaz izmjerenih veličina: mase i duljine



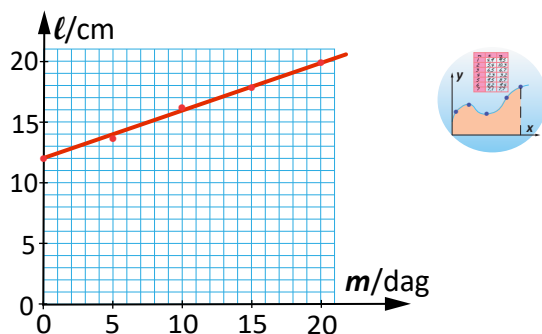
**Slika 1.2.** Na koji način duljina opruge ovisi o masi ovješene utega?

Iz **tablice 1.3.** jasno je vidljivo da opruga postaje dulja s povećanjem mase ovješene utega, što je u skladu s našim očekivanjima. Međutim, u velikom broju podataka nije uvijek jednostavno razabrati pravilnosti. Stoga je iznimno korisno prikazati rezultate mjerenja i grafički, što olakšava analizu i prepoznavanje međuovisnosti veličina.

**Na x-os nanosimo neovisnu, a na y-os ovisnu varijablu (slika 1.3.).**

Nakon što nacrtamo pet točaka prema **tablici 1.3.**, odmah uočavamo da one približno leže na pravcu, što nije bilo lako uočljivo iz same tablice. Prisutna su manja odstupanja, uzrokovana pogreškama mjerenja. Pravac postavimo tako da bude što bliže svim točkama.

Kada se ovisnost jedne veličine o drugoj prikazuje pravcem, govorimo o **linearnoj ovisnosti**.



**Slika 1.3.** Linearna ovisnost dviju veličina

Iz grafa je očito da se duljina opruge povećava s porastom mase utega, ali i više od toga: duljina se *jednako brzo* povećava. Za jednaka povećanja mase, primjerice za 5 dag, duljina opruge u idealnom se slučaju povećava za jednake iznose.

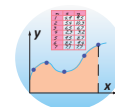
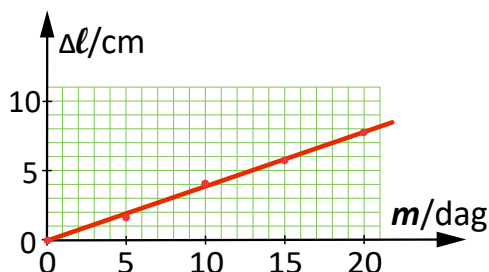
Iznimno je važan poseban slučaj linearne ovisnosti kada **pravac prolazi kroz ishodište**. U našem mjerenju to bi bio slučaj kada bismo na y-os nanijeli ne duljinu opruge, nego njezino *produljenje* ( $\Delta l$ ), za koje vrijedi izraz:

$$\Delta l = l - l_0$$

Prema **tablici 1.3.** računamo vrijednosti za produljenje (**tablica 1.4.**) i crtamo graf (**slika 1.4.**).

$m/\text{dag}$	$\Delta l/\text{cm}$	
0	0,0	
5	1,9	0,4
10	4,1	0,4
15	5,9	0,4
20	7,9	0,4

**Tablica 1.4.** Tablični prikaz izmjerenih veličina: mase i produljenja



**Slika 1.4.** Proporcionalna ovisnost dviju veličina

U trećem stupcu tablice jest omjer mase i produljenja. Taj je omjer približno konstantan i zove se **konstanta proporcionalnosti**. Dvije su veličine **proporcionalne** ako je njihov omjer konstantan. Drugim riječima, **koliko se puta poveća jedna veličina, toliko se puta poveća i druga veličina**. Proporcionalnost se prikazuje jednostavnom jednačbom, u našem slučaju:

$$\Delta l = k \cdot m,$$

gdje je  $k$  konstanta proporcionalnosti, čija je srednja vrijednost u našem primjeru 0,4 cm/dag. Za svaki dekagram više opruga se produlji za 0,4 cm. Ovo je **matematički prikaz** izmjerenih veličina.

Postoje i nelinearne ovisnosti, kada točke ne možemo spojiti pravcem, već krivuljom. Česta je među njima **obrnuta proporcionalnost: koliko se puta jedna od veličina poveća, toliko se puta druga veličina smanji**.

## UČENIČKI VIRTUALNI POKUS – ovisnost produljenja opruge o masi utega

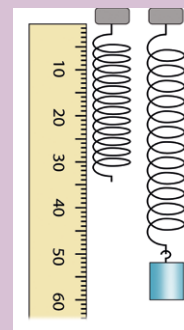
Na adresi:

[https://phet.colorado.edu/sims/html/masses-and-springs-basics/latest/masses-and-springs-basics\\_hr.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/masses-and-springs-basics/latest/masses-and-springs-basics_hr.html) kliknite na opciju *Rastezanje*. Primijetite da je zdesna ravnalo.

Korisni su alati *Duljina neopterećene opruge* i *Duljina opterećene opruge*.

Treba izmjeriti kako produljenje opruge ovisi o masi ovješnog utega.

Kreirajte prezentaciju slijedeći korake prikazane na **slici 1.1.** i izložite je u razredu.



## Konceptualna pitanja

- Što je od navedenoga fizikalna veličina?  
a) decimetar b) jednoliko gibanje c) tekućina d) vrijeme
- Što od navedenoga **nije** fizikalna veličina?  
a) brzina b) volumen c) gravitacija d) sila
- Koliko piksela (px) ima detektor u 9,4-megapikselnoj kameri?
- Koliko kilobajta (kB) ima 1 terabajt?
- Navedite mjernu jedinicu koja je tisuću puta veća od: mm, kg, cm<sup>3</sup>.
- Navedite mjernu jedinicu koja je milijun puta manja od: t, km, m<sup>3</sup>.
- Koji je prefiks recipročan po vrijednosti prefiksu a. kilo-, b. mikro-, c. giga-?
- Zadan je podatak da je prošlo 45 min. Simbolički zapis tog podatka u osnovnim jedinicama jest:  $t = 2\,700\text{ s}$ . Napišite na sličan način i ostale podatke: 30 dag, 2 mA, 50 km/h, 0,5 t, 1,5 L, 55 cm<sup>2</sup>, 5 kN.
- Matematičar ne pravi razliku između brojeva 3,5 i 3,50. Koju razliku između njih pravi fizičar?

10. Koje je očitavanje napona (**slika**) ispravno?  
a) 10,5 V b) 11 V c) 11,0 V d) 11,00 V



11. Koji je točan rezultat množenja  $3,6 \cdot 2,5$ ?
12. Koji je točan rezultat dijeljenja  $2,0 : 3,0$ ?

13. Teo i Toni očitavaju vrijednost struje na istom ampermetru. Teo je očitao 1,05 A (**lijeva slika**), a Toni 1,00 A (**desna slika**).

- Koji je od njih očitao točniju vrijednost?
- Koju je vrstu pogreške učinio prvi: slučajnu, sustavnu ili grubu?
- Pod kojim kutom trebamo očitavati instrumente s kazaljkom da bismo izbjegli takvu pogrešku?



primjena  
u struci

14. Povežite naziv međuovisnosti veličina i njegov točan opis.

**A** proporcionalnost

**B** obrnuta proporcionalnost

**C** linearnost

**$\alpha$**  Za koliko se poveća jedna veličina, za toliko se poveća i druga.

**$\beta$**  Koliko se puta poveća jedna veličina, toliko se puta poveća i druga.

**$\gamma$**  Koliko se puta poveća jedna veličina, toliko se puta druga smanji.

**$\delta$**  Ako se prva veličina povećava za međusobno jednake iznose, i druga se povećava za međusobno jednake iznose.



## UČENIČKA MJERENJA

- 1.a.** Svaki učenik odnosno učenica neka izmjeri: **a.** duljinu svog pedlja (udaljenost od vrha palca do vrha malog prsta kada se dlan maksimalno ispruži), **b.** udaljenost između ramena i kraja suprotne horizontalno ispružene ruke. Ako zapamtite izmjerene veličine, mogu vam pomoći u grubom mjerenju kad nemate nikakav mjerni uređaj.
- b.** Podijeljeni u parove, osmislite i provedite mjerenje: **a.** debljine jedne stranice ovog udžbenika pomoću ravnala, **b.** mase jedne kovanice po izboru pomoću kuhinjske vage.
- c.** Podijeljeni u grupe, osmislite i odredite: **a.** položaj koji je 20 m udaljen od razrednih vrata, **b.** položaj koji je 100 m udaljen od ulaznih vrata škole. Procijenite pogrešku.
- d.** Procijenite: **a.** širinu i visinu svog mobitela u centimetrima, **b.** širinu i visinu ove stranice u centimetrima, **c.** površinu prostorije u kojoj se trenutno nalazite u  $m^2$ . Provedite mjerenja i ocijenite točnost svoje procjene.



## 1.2. Tijela i tvari



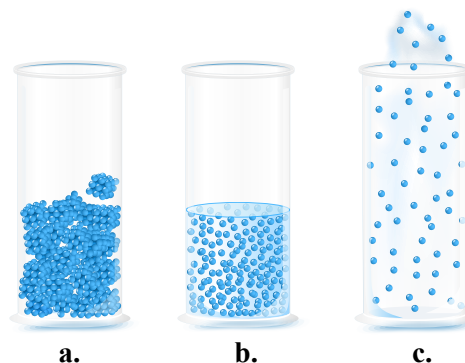
### UVOD U CJELINU

U mehanici proučavamo gibanje tijela, no prije toga potrebno je upoznati njihova temeljna svojstva. Svako se tijelo može opisati **agregacijskim stanjem** te osnovnim geometrijskim veličinama poput **visine**, **širine**, **duljine** ili **promjera**. Na temelju tih veličina određuje se **volumen** tijela.

Ako je poznata i **masa** tijela, moguće je izračunati i njegovu **gustoću**. Za nepravilna tijela primjenjuju se posebne metode pri određivanju volumena i položaja **težišta**. Takvi podatci ključni su za preciznu analizu gibanja i ravnoteže, što je temelj daljnjeg proučavanja u mehanici.

# Agregacijska stanja tvari

Tijelom zovemo sve što zauzima prostor. Tijela su načinjena od tvari, a one mogu biti u čvrstom, tekućem i plinovitom agregacijskom stanju.



**Slika 1.5.** Molekule tvari: **a.** u čvrstom, **b.** u tekućem, **c.** u plinovitom stanju.

Čestice tvari (atomi, molekule) međudjeluju privlačnim i odbojnim silama. Iznos i usmjerenje sile ovise o razmaku među česticama. Iznosi sila najveći su među česticama čvrstih tvari, stoga čvrsta tijela imaju stalan oblik i volumen (**slika 1.5.a.**). Pokušamo li, primjerice, istegnuti neki štap, tomu se suprotstavljaju privlačne sile među njegovim česticama, dok se sabijanju štapa suprotstavljaju odbojne međučestične sile. Međučestične sile su električne sile.

U tekućem agregacijskom stanju sile su slabije tako da tekućine mijenjaju oblik prema obliku posude, ali u načelu ne moraju zauzimati cijeli volumen posude (**slika 1.5.b.**). Odbojne međučestične sile dovoljno su jake, pa su tekućine nestlačive. Njihov je volumen stalan.

Međučestične sile najslabije su (i najčešće zanemarive) u plinovitom agregacijskom stanju (**slika 1.5.c.**), stoga plinovi ispunjavaju cijeli volumen posude u kojoj su zatvoreni, odnosno slobodno se šire.

**Zadatak:** Opišite osnovna obilježja odabranih tijela iz svakodnevnog života.



## UČENIČKI VIRTUALNI POKUS – tri agregacijska stanja

Otvorite interaktivnu računalnu simulaciju na poveznici [https://phet.colorado.edu/sims/html/states-of-matter-basics/latest/states-of-matter-basics\\_all.html?locale=hr](https://phet.colorado.edu/sims/html/states-of-matter-basics/latest/states-of-matter-basics_all.html?locale=hr) ili primijenite priloženi QR kod. U izborniku desno moguće je kliknuti na *Čvrsto*, *Tekućina* i *Plin* pa se tako izabire agregacijsko stanje. Možete odabrati različite tvari klikom u izborniku *Atomi i molekule*. Istražite i odgovorite na sljedeća pitanja.

- Opišite raspored molekula i njihovo gibanje u čvrstom, tekućem i plinovitom stanju.
- U kojem su agregacijskom stanju tvari najrjeđe?
- U kojem su agregacijskom stanju neon, argon i kisik najgušći? A voda?
- Agregacijska stanja vode možete promatrati i na poveznici [https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mf\\_voda&l=hr](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mf_voda&l=hr).



MEĐUPREDMETNA  
TEMA

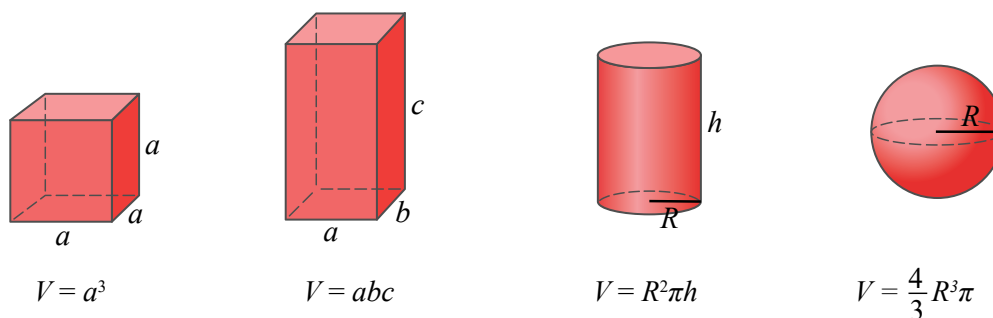
**informativna i  
komunikacijska  
tehnologija**

# Duljina, površina i volumen

Dio prostora što ga tijelo zauzima njegov je **volumen** ( $V$ ). Mjerna je jedinica za volumen  $\text{m}^3$ . Iznimno dopuštena mjerna jedinica za volumen jest litra L, koja je jednaka kubnom decimetru:

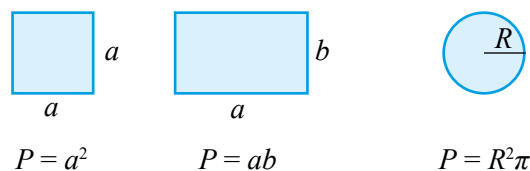
$$1 \text{ L} = 1 \text{ dm}^3.$$

Volumen tijela **pravilnog** geometrijskog oblika možemo izračunati pomoću odgovarajućeg matematičkog izraza. U nastavku su dani izrazi za volumen kocke duljine brida  $a$ , kvadra duljine bridova  $a$ ,  $b$  i  $c$ , valjka polumjera osnovice  $R$  i visine  $h$  te kugle polumjera  $R$  (slika 1.6.):



Slika 1.6. Volumeni nekih pravilnih tijela

Plohe kojima je pravilno geometrijsko tijelo omeđeno također su pravilnog oblika. Kada su plohe oblika kvadrata stranice  $a$ , oblika pravokutnika stranica  $a$  i  $b$  te oblika kruga polumjera  $R$ , njihove se površine računaju prema izrazima (slika 1.7.):



Slika 1.7. Površine nekih pravilnih likova

Površinu u fizici obično označavamo slovom  $S$ . Volumen čvrstog tijela **nepravilna** oblika možemo izmjeriti uranjanjem u vodu koja se nalazi u menzuri (ili u kuhinjskoj mjernoj posudi za manje točna mjerenja, slika 1.8.). Menzutom možemo izmjeriti i volumen tekućine, volumen posude nepravilna oblika, volumen plina u posudi nepravilna oblika. Za mjerenje volumena pijeska, šećera i sl. može poslužiti posuda pravilna oblika kojoj možemo mjeriti dimenzije.

Slika 1.8. Menzura (a.) i kuhinjska mjerna posuda (b.)

