

# Istraživačka nastava fizike- Metodičko oblikovanje odabranih laboratorijskih vježbi iz mehanike za 7. razred osnovne škole

---

**Knežević, Martina**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka / Sveučilište u Rijeci**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:194:246392>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-27**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Physics - PHYRI Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
FAKULTET ZA FIZIKU**

**Martina Knežević**

**ISTRAŽIVAČKA NASTAVA FIZIKE - METODIČKO  
OBLIKOVANJE ODABRANIH LABORATORIJSKIH  
VJEŽBI IZ MEHANIKE ZA 7. RAZRED OSNOVNE  
ŠKOLE**

**Diplomski rad**

**Rijeka, 2023.**



**SVEUČILIŠTE U RIJECI**  
**FAKULTET ZA FIZIKU**



**Diplomski studij Fizika i matematika**

**Martina Knežević**

**ISTRAŽIVAČKA NASTAVA FIZIKE – METODIČKO  
OBLIKOVANJE ODABRANIH LABORATORIJSKIH  
VJEŽBI IZ MEHANIKE ZA 7. RAZRED OSNOVNE  
ŠKOLE**

**Diplomski rad**

doc. dr. sc. Ivana Poljančić Beljan

**Rijeka, 2023.**

## SAŽETAK

Učenici u nastavnom predmetu Fizika razvijaju sposobnost znanstvenog razmišljanja i zaključivanja te upoznaju načine stjecanja novih znanja iz područja prirodnih znanosti. S obzirom da je Fizika istraživačka disciplina, potrebno je da i nastava Fizike bude istraživačka. Cilj ovog diplomskog rada je promicanje istraživačke nastave u nastavi Fizike u sklopu odabranih laboratorijskih vježbi iz mehanike u sedmom razredu osnovne škole. Prema novom nastavnom kurikulumu iz Fizike, pokusi trebaju biti uklopljeni u nastavni proces kao sredstvo upoznavanja i istraživanja fizičkih pojava. Upravo iz tog razloga, u ovom je radu metodički oblikovano šest pokusa iz područja mehanike: *Slaganje sila*, *Težina*, *Hookeov zakon*, *Određivanje faktora trenja*, *Zakon poluge* i *Arhimedovo načelo*. Pojmovi i koncepti koji se istražuju ovim vježbama obrađuju se u nastavnoj cjelini *Međudjelovanje*, na početku sedmog razreda osnovne škole i najčešće učenicima predstavljaju prve susrete s istraživačkom nastavom. Vježbe su oblikovane koristeći model u istraživačkoj nastavi koji se naziva 5 E, a koji sadrži pet faza: motivaciju, istraživanje, objašnjavanje, razradu i evaluaciju. U ovom radu su uključene prve četiri faze. Također, u radu su opisana osnovna obilježja istraživačke nastave Fizike i dan je teorijski pregled pojmova i koncepata koji se ovim vježbama istražuju. Primjeri metodički oblikovanih laboratorijskih vježbi mogu poslužiti srednjoškolskim nastavnicima kao i sveučilišnim nastavnicima uvodnih kolegija fizike i fizičkih praktikuma.

**Ključne riječi:** istraživačka nastava fizike, 5 E model, slaganje sila, težina, Hookeov zakon, trenje, poluga, Arhimedovo načelo.

## SADRŽAJ

1.	UVOD .....	1
2.	ISTRAŽIVAČKA NASTAVA FIZIKE .....	3
2.1.	5 E model .....	4
3.	ODABRANA POGLAVLJA IZ MEHANIKE .....	6
3.1.	Zbrajanje sila .....	6
3.1.1.	Zbrajanje sila istog smjera .....	7
3.2.	Težina .....	8
3.3.	Elastična sila .....	10
3.4.	Sila trenja .....	13
3.4.1.	Ovisnost sile trenja o pritisnoj sili .....	14
3.5.	Dvostrana poluga .....	15
3.5.1.	Zakon poluge .....	15
4.	PRIMJERI METODIČKI OBLIKOVANIH LABORATORIJSKIH VJEŽBI .....	20
4.1.	Slaganje sila .....	20
4.2.	Težina .....	29
4.3.	Hookeov zakon .....	36
4.4.	Određivanje faktora trenja .....	42
4.5.	Zakon poluge .....	47
4.6.	Arhimedovo načelo .....	52
	ZAKLJUČAK .....	57
	LITERATURA .....	58
	POPIS SLIKA .....	61

## 1. UVOD

Fizika kao nastavni predmet uvodi se u sedmom razredu osnovne škole. Učenici se tada po prvi puta susreću s oblikom nastave u kojemu je pokus polazište za razumijevanje i razvijanje kritičkog načina mišljenja i znanstvenog pogleda na svijet. U počecima učenja fizike naglasak bi trebao biti na stjecanju vještina istraživanja pojava i rješavanja problema jer će tim vještinama zapravo učiti i usvajati znanja iz fizike. Upravo iz tog razloga, od iznimne je važnosti da učenici već u sedmom razredu usvoje osnovne vještine istraživanja fizičkih pojava. U ovom je radu metodički oblikovano šest pokusa iz područja mehanike iz sedmog razreda osnovne škole, a koji mogu poslužiti nastavnicima Fizike u uvođenju ili poboljšanju istraživačke nastave Fizike.

U drugom je poglavlju definiran i opisan istraživački oblik nastave u skladu s kojim su oblikovane laboratorijske vježbe. Izvođenje pokusa treba služiti poticanju intelektualne aktivnosti, razvoju eksperimentalnih vještina uz što veću samostalnost pretpostavljanja, opažanja, opisa, zaključaka i analize rezultata [1]. Iz te potrebe proizlazi cilj ove diplomske radnje, tj. promicanje istraživačke nastave u nastavi fizike u sklopu odabranih laboratorijskih vježbi iz mehanike, što podrazumijeva [2]:

- formulaciju pitanja o fizičkim fenomenima koji se proučavaju pokusom,
- konstrukciju i primjenu teorijskih modela u svrhu objašnjenja fizikalnih fenomena,
- planiranje i provođenje istraživanja, što uključuje kontrolu varijabli te prikupljanje podataka,
- korištenje tabličnih, shematskih i grafičkih prikaza te statističke analize kako bi se analizirali i interpretirali podaci,
- primjenu matematičkih i računalnih alata za uočavanje, prikazivanje i primjenu veza među fizičkim veličinama s ciljem predviđanja ponašanja fizikalnih sustava te provjere takvih predviđanja,
- formuliranje suvislih i sažetih objašnjenja fenomena,
- mogućnost argumentiranog objašnjavanja fizičkih fenomena uz pomoć mjerenja,
- razmjenu ideja i rezultata istraživanja te njihovu evaluaciju kroz rasprave, uz pomoć tablica, dijagrama, jednadžbi i sl.

U trećem je poglavlju dan teorijski pregled pojmova i koncepata iz područja mehanike u sedmom razredu osnovne škole koji su potrebni za izvođenje i razumijevanje odabranih

laboratorijskih vježbi, a to su primjerice sila, težina, elastična sila, sila trenja, sila uzgona te zakon poluge.

U četvrtom je poglavlju prikazana metodička obrada odabranih laboratorijskih vježbi: *Slaganje sila, Težina, Hookeov zakon, Određivanje faktora trenja, Zakon poluge i Arhimedovo načelo*. Za izvođenje pokusa korišten je pribor iz paketa PHYWE Mehanika 1 i 2 [3, 4]. Također, za pripremu odabranih vježbi korišten je 5 E metodički pristup istraživačkoj nastavi. Primjeri metodički oblikovanih laboratorijskih vježbi mogu poslužiti srednjoškolskim nastavnicima kao i sveučilišnim nastavnicima uvodnih kolegija fizike i fizičkih praktikuma.

## 2. ISTRAŽIVAČKA NASTAVA FIZIKE

Poticanje učenika na aktivno učenje tijekom nastavnog procesa glavni je cilj modernog pristupa obrazovanju. Sukladno tome, nastavnici Fizike postupno napuštaju tradicionalan oblik nastave u korist istraživačkog oblika nastave. Tradicionalan oblik nastave Fizike uglavnom je pogodan za prenošenje informacija, ali ne i za razvijanje učeničkog razumijevanja složenih koncepata ili sposobnosti znanstvenog zaključivanja. S druge strane, istraživačka nastava Fizike kod učenika razvija kritičke i analitičke vještine te potiče znanstveni način razmišljanja. Eksperiment, koji predstavlja konkretno iskustvo fizičke pojave koja se proučava, treba biti ishodište i okosnica nastave Fizike. Pokusi trebaju biti uklopljeni u nastavni proces kao sredstvo upoznavanja i istraživanja fizičkih pojava. Tome svjedoči i činjenica da je u novom kurikulumu za nastavni predmet Fizika navedeno kako pokusi, rasprave i zaključci trebaju činiti najveći dio nastavnog procesa kao način upoznavanja i istraživanja fizičkih pojava [1].

Istraživačka nastava je oblik nastave za vrijeme koje se učenicima ili studentima zadaje problem za čije je rješavanje potrebno njihovo aktivno sudjelovanje. Pritom, učenike se potiče na stjecanje novih znanja i vještina. Svaka aktivnost, odnosno istraživanje, započinje s nekim uvodnim problemom, tj. uvodnim pitanjem. Naime, samo nastava koja posjeduje sljedeća obilježja može se nazvati istraživačkom [5]:

- proces učenja motiviran je istraživačkim problemom iz fizike na koji se odgovara istraživanjem,
- učenici/studenti formuliraju hipotezu,
- učenici/studenti se tijekom istraživanja problema oslanjaju na znanstvene činjenice,
- učenici/studenti tijekom istraživanja objašnjavaju problem na temelju postojećeg znanja i opažanja,
- učenici/studenti svoja objašnjenja uspoređuju sa znanstvenim objašnjenjima,
- učenici/studenti nakon provedenog istraživanja iznose svoja objašnjenja te ih argumentiraju u razrednoj raspravi.

Oblici istraživačke nastave mogu se podijeliti prema razini intervencije nastavnika, redom od najmanje intervencije prema najvećoj [5]:

1. **Otvoreno istraživanje-** Nastavnik zadaje temu iz kurikuluma, a učenici samostalno formuliraju istraživački problem, istraživačka pitanja, oblikuju eksperiment, smišljaju način prikupljanja podataka i time samostalno dolaze do rješenja problema.



2. **Istraživački usmjerena nastava-** Nastavnik formulira istraživački problem, ali ne daje gotove upute za izvođenje pokusa. Učenici samostalno osmišljavaju i izvode korake potrebne za rješavanje problema.
3. **Strukturirana istraživačka nastava-** U ovom obliku nastave nastavnik formulira problem, predlaže učenicima unaprijed osmišljene detaljne upute za izvođenje istraživanja i pitanja koja ih usmjeravaju u donošenju zaključaka.
4. **Potvrdni pokus-** Učenicima je unaprijed poznato rješenje problema, tj. poznati su očekivani rezultati istraživanja, a svrha eksperimenta je samo u njihovom potvrđivanju.

U ovoj diplomskoj radnji metodički su oblikovane laboratorijske vježbe iz mehanike za koje se predlaže da se uvrste u strukturiranu istraživačku nastavu Fizike. Prema potrebi, uklanjanjem uputa za izvođenje pokusa vježbe mogu se prilagoditi za istraživački usmjerenu nastavu. Ovakav otvoreni pristup omogućava nastavniku da koristi pojedini oblik istraživačke nastave ovisno o potrebama njegovih učenika.

## 2.1. 5 E model

Za poticanje istraživačke nastave u ovom se radu primjenjuje tzv. 5 E model. Model 5 E sastoji se od pet faza:

1. motivacija (*engage*),
2. istraživanje (*explore*),
3. objašnjavanje (*explain*),
4. razrada (*elaborate*),
5. vrednovanje (*evaluate*).

Kao što sam naziv kaže, cilj prve faze je potaknuti interes i znatiželju učenika/studenta za istraživanjem novog pojma ili pojave te pripremiti ih za svladavanje gradiva. Naime, u ovoj se fazi provjerava učeničko predznanje koje se zatim povezuje s novim pojmovima ili pojavama. Time se učenike/studente potiče na formiranje ideja i planova za nalazak rješenja. Cilj druge faze jest istraživanje fizičkog pojma ili pojave. Učenici/studenti aktivno proučavaju ili izvode pokuse kako bi uz minimalne nastavnikove upute došli do rezultata. U trećoj fazi, učenici/studenti uz pomoć nastavnika objašnjavaju rezultate dobivene istraživanjem na način da dijele s razredom neka moguća objašnjenja, a nastavnik ih minimalnim intervencijama proširuje. Faza razrade učenicima/studentima omogućava utvrđivanje i primjenu znanja u novom kontekstu, a faza vrednovanja nastavniku omogućava prikupljanje povratnih

informacija o napretku učenika/studenata i odvija se tijekom cijelog nastavnog sata [5]. U ovoj su radnji obrađena samo prva četiri koraka modela 5 E.

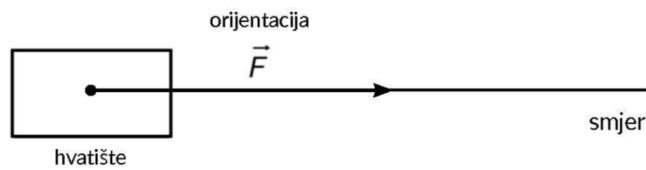
### 3. ODABRANA POGLAVLJA IZ MEHANIKE

Mehanika je grana fizike koja proučava međudjelovanje tijela i tvari [6, 7]. Jedan od temeljnih pojmova mehanike jest sila, o čijoj važnosti govori činjenica da se ona počinje obrađivati već u sedmom razredu osnovne škole i nastavlja obrađivati sve do kraja učenja nastavnog predmeta Fizika. Sila se u sedmom razredu osnovne škole definira kao fizička veličina koja opisuje međudjelovanje dvaju ili više tijela i označava se slovom  $F$ . Osnovna mjerna jedinica sile jest njutn, u oznaci N. Sila nije vidljiva, ali su vidljivi njezini učinci. Neki od učinaka vidljivi su svakodnevno: sila pokreće tijelo, mijenja mu oblik, smjer gibanja, zaustavlja ga, privlači ili odbija [7]. Prema tome, za razumijevanje ove fizičke veličine od iznimne su važnosti pokusi pomoću kojih učenici mogu samostalno donijeti zaključke o zakonitostima koji vrijede za taj pojam. U ovom su radu odabrane laboratorijske vježbe u kojima se istražuju pravila zbrajanja sila, ali i konkretni primjeri sila s kojima se učenici susreću u svakodnevnom životu: elastična sila, težina, sila trenja i sila uzgona. U ovom je radu obrađena i vježba koja se odnosi na istraživanje zakona ravnoteže dvostrane poluge.

#### 3.1. Zbrajanje sila

Fizika se bavi proučavanjem fizičkih osobina materije i fizičkih pojava opisanih fizičkim veličinama, od kojih su neke određene ne samo svojim iznosom, već smjerom i orijentacijom. Za prikazivanje takvih fizičkih veličina potreban je novi matematički alat- vektor [6]. Vektor je klasa ekvivalencije usmjerenih dužina, a usmjerena dužina je dužina kojoj je naznačeno koja joj je početna, a koja završna točka [8]. U nastavi matematike vektor je određen: duljinom, smjerom i orijentacijom [9]. Često se u udžbenicima iz fizike za sedmi razred osnovne škole, pojam orijentacije sile ne koristi, već se sile istog smjera i orijentacije nazivaju kraće silama istog smjera ili jednako usmjerenim silama, kao što je to primjer u udžbenicima [7, 11]. U ovom je radu za opis vektora sile pored iznosa, korištena i orijentacija i smjer, u skladu s pojmom vektora u nastavi matematike, kao što je to napravljeno i u udžbeniku [10].

Sila je vektorska fizička veličina i označava se vektorski s  $\vec{F}$ . Djelovanje jedne sile  $\vec{F}$  na tijelo prikazano je grafički na Slici 1.



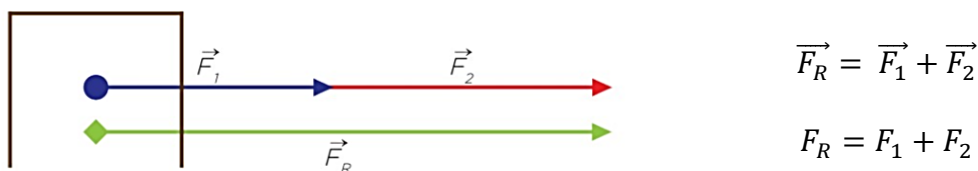
Slika 1. Grafički prikaz djelovanja sile  $\vec{F}$  na tijelo [11].

Iznos sile određen je duljinom vektora  $\vec{F}$  na slici. Smjer sile određen je pravcem kojemu sila pripada. Orijentacija sile naznačena je strelicom vektora  $\vec{F}$ . Također, u fizici je bitno promatrati u kojoj točki sila djeluje na tijelo, pa se početna točka vektora sile naziva hvatište sile [11]. U slučaju kada na tijelo djeluju dvije ili više sila, djelovanje tih sila na tijelo možemo zamijeniti jednom ukupnom silom, tzv. rezultantnom silom ili rezultantom  $\vec{F}_R$ . Pojedinačne sile se pritom nazivaju komponentama sile [10].

Grafički prikaz djelovanja sile na tijelo naziva se dijagram sila. Rezultanta se određuje kao vektorski zbroj komponenata [10]. Učenici sedmog razreda osnovne škole određuju grafički i računski rezultantu sila istog smjera [1]. Pritom, dvije sile istog smjera mogu imati jednaku ili suprotnu orijentaciju, pa se posebno razmatraju pravila određivanja rezultante u tim dvama slučajevima.

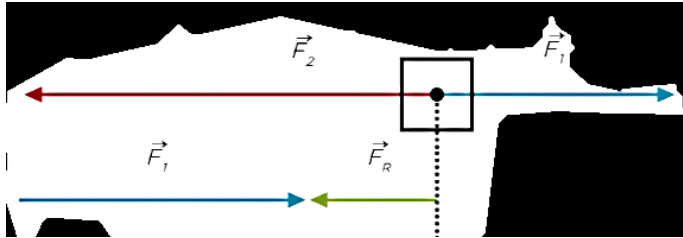
### 3.1.1. Zbrajanje sila istog smjera

Iznos rezultante dviju sila jednakog smjera i orijentacije jednak je zbroju njihovih iznosa. Smjer i orijentacija rezultante jednak je smjeru i orijentaciji tih dviju sila [5].



Slika 2. Grafičko i računsko određivanje rezultante dviju sila jednakog smjera i orijentacije [10].

Iznos rezultante dviju sila jednakog smjera i suprotne orijentacije jednak je razlici njihovih iznosa. Smjer rezultante jednak je smjeru tih dviju sila, ali orijentacija rezultante jednaka je orijentaciji sile većeg iznosa [10].



$$\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$

$$F_R = F_2 - F_1$$

Slika 3. Grafičko i računsko određivanje rezultante dviju sila jednakog smjera i suprotne orijentacije [10].

### 3.2. Težina

Među fizičarima, filozofima i edukacijskim stručnjacima još se uvijek vode rasprave o značenju pojma težina [12]. Naime, na fakultetima se uglavnom koristi teorijska definicija težine prema normi ISO 80000-4: Težina je umnožak mase  $m$  i lokalnog ubrzanja slobodnoga pada  $g$ :

$$F_g = m \cdot g. \quad (1)$$

Kada je referentni sustav Zemlja, težina ne uključuje samo lokalnu gravitacijsku silu, već i lokalnu centrifugalnu silu uslijed rotacije Zemlje oko svoje osi. Pritom, zanemaruje se utjecaj djelovanja atmosferskog uzgona na tijelo [13]. Međutim, u osnovnim i srednjim školama teorijska definicija težine uglavnom nije zastupljena. Metodičari nastave fizike primjenjuju operacijsku definiciju težine, koja zbog toga prevladava u hrvatskim udžbenicima iz fizike. Pritom, razlikuju silu težu od težine [12].

**Sila teža**  $\vec{F}_g$  je sila kojom Zemlja djeluje na sva tijela u svojoj blizini i privlači ih prema svom središtu. Sila teža na tijelo u Zemljinoj okolini je rezultanta gravitacijske sile i centrifugalne sile zbog Zemljine rotacije. Sila teža  $\vec{F}_g$  ovisi o masi  $m$  tijela i ubrzanju sile teže  $\vec{g}$ :

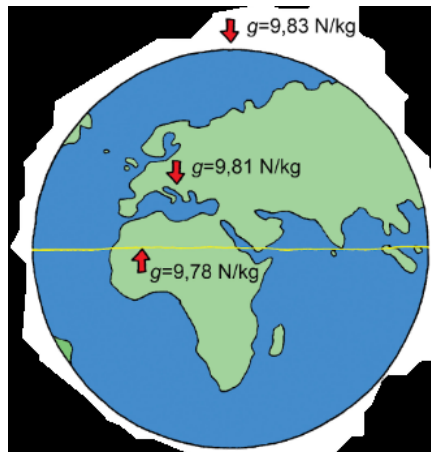
$$\vec{F}_g = m \cdot \vec{g}. \quad (2)$$

Kako sila teža uzrokuje ubrzanje tijela prema središtu Zemlje, vektori sile teže i ubrzanja su istog smjera i orijentacije pa za iznos sile teže vrijedi [7]:

$$F_g = m \cdot g. \quad (3)$$

Iznos ubrzanja sile teže ovisi o mjestu na kojem se tijelo nalazi. Zbog spljoštenosti Zemlje na polovima je iznos ubrzanja sile teže veći nego na ekvatoru. Na našem području vrijedi [10]:

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2. \quad (4)$$



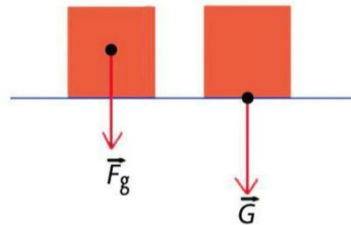
Slika 4. Iznos ubrzanja sile teže na ekvatoru, polovima i području Hrvatske [14].

U sedmom razredu osnovne škole, učenici još nisu upoznati s pojmom ubrzanja i njegove mjerne jedinice pa se iznos ubrzanja sile teže izražava u njutnima po kilogramu. Također, radi jednostavnijeg računa, iznos ubrzanja sile teže zaokružuje se na cijeli broj:

$$g \approx 10 \text{ N/kg}. \quad (5)$$

**Težina  $\vec{G}$**  je sila kojom tijelo zbog Zemljina privlačenja djeluje na horizontalnu podlogu na kojoj se nalazi ili na ovjes na koje je ovješeno [10]. U slučaju kada tijelo i podloga, odnosno ovjes, miruju ili se gibaju jednoliko pravocrtno u odnosu na Zemlju, težina je iznosom, smjerom i orijentacijom jednaka sili teži, ali se one pak razlikuju u hvatištu (Slika 5.).

Hvatište sile teže crta se u središtu tijela, a hvatište težine crta se na granici tijela i podloge na kojoj je tijelo položeno ili tijela i ovjesa na koje je to tijelo ovješeno [7].



Slika 5. Hvatište težine i sile teže [7].

Na određenom mjestu na Zemlji, iznos ubrzanja sile teže  $g$  je konstantan pa vrijedi da je iznos težine  $G$  (pri mirovanju tijela ili jednoliko pravocrtnom gibanju) razmjernan masi tijela  $m$ :

$$G = g \cdot m, g = \text{konst.} \quad (6)$$

gdje je  $g$  ubrzanje sile teže koeficijent razmjernosti. Iz izraza slijedi da koliko puta se masa tijela poveća ili smanji, toliko puta se težina poveća ili smanji uz konstantno ubrzanje sile teže. Veličine koje na ovaj način ovise jedna o drugoj nazivaju se razmjerne veličine. Mjerenjem iznosa težine  $G$  (pri mirovanju tijela ili jednoliko pravocrtnom gibanju) za različite iznose mase  $m$  moguće je eksperimentalno odrediti iznos ubrzanja sile teže  $g$  na području na kojemu je mjerenje izvršeno. Naime, grafički prikaz ovisnosti dviju razmjernih veličina jest pravac koji sadrži ishodište koordinatnog sustava, a koeficijent smjera tog pravca je traženi iznos ubrzanja sile teže [14].

### 3.3. Elastična sila

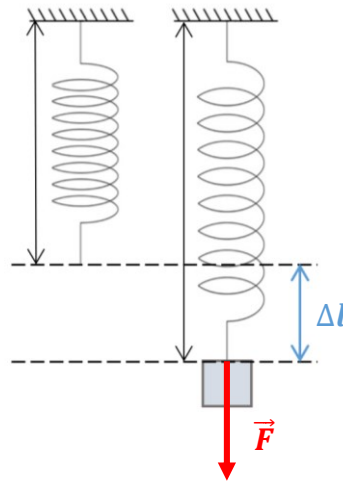
Pretpostavimo da uslijed djelovanja vanjskom silom na čvrsto tijelo, ono promjeni svoj oblik, tj. deformira se. Prestankom djelovanja vanjske sile, nastale deformacije mogu ostati trajne ili posve nestati. Ukoliko tijelo nakon deformacije poprimi svoj prvobitni oblik, kažemo da je to tijelo elastično. Elastičnost je svojstvo čvrstih tijela da se nakon prestanka djelovanja vanjske sile koja je uzrokovala deformaciju, vrate u svoj prvobitni oblik. Povratak elastičnog tijela u prvobitni oblik odvija se pod utjecajem sile koju nazivamo elastična sila [10]. Djelovanje elastične sile učenici mogu uočiti na primjeru istezanja elastične trake. Djeluje li se

nekom vanjskom silom, npr. mišićnom silom, na elastičnu traku koja je pričvršćena za jedan kraj, ona će se produljiti. Ovisnost produljenja elastičnog tijela i vanjske sile koja uzrokuje to produljenje proučava se pomoću elastične opruge. Tu ovisnost ustanovio je Robert Hooke u drugoj polovici 17. stoljeća, pa se po njemu ona naziva Hookeov zakon [6].

Neka je elastična opruga duljine  $l_0$  ovješena na horizontalni štap ili neki drugi ovjes (Slika 6.). Ako se na slobodan kraj ovjesi uteg mase  $m$ , opruga će se zbog djelovanja vanjske sile  $\vec{F}$  kojom uteg djeluje na oprugu produljiti za

$$\Delta l = l_1 - l_0, \quad (7)$$

gdje je  $l_1$  duljina opruge s utegom.



Slika 6. Produljenje elastične opruge.

**Hookeov zakon:** Produljenje opruge  $\Delta l$  razmjerno je sili  $F$  koja uzrokuje to produljenje s koeficijentom razmjernosti  $a$ :

$$\Delta l = a \cdot F. \quad (8)$$

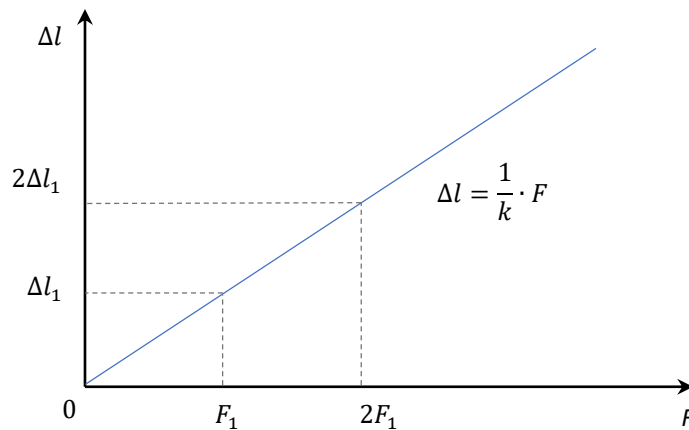
Prema tome, koliko puta se poveća ili smanji vanjska sila  $F$ , toliko puta će se povećati ili smanjiti produljenje opruge  $\Delta l$  i obratno. Grafički prikaz ovisnosti tih dviju veličina jest pravac koji sadrži ishodište koordinatnog sustava (Slika 7.). Koeficijent smjera  $a$  tog pravca predstavlja recipročnu vrijednost konstante elastičnosti opruge  $k$ :

$$a = \frac{1}{k}. \quad (9)$$

Konstanta elastičnosti opruge  $k$  odnosi se na svojstva elastične opruge (primjerice materijalu od kojeg je načinjena opruga, promjeru namotaja, duljini) i karakteristična za pojedinu elastičnu



oprugu. Primjenom sile jednakog iznosa na dvije opruge različitih konstanti elastičnosti, opruga veće konstante elastičnosti će se manje rastegnuti. Prema tome, što je konstanta elastičnosti opruge veća, to se opruga više opire istezanju ili stiskanju. Osnovna mjerna jedinica konstante elastičnosti opruge je N/m [7].



Slika 7. Grafički prikaz ovisnosti produljenja opruge  $\Delta l$  o sili  $F$ .

Na uteg mase  $m$  na Slici 6. djeluje Zemlja silom težom pa vrijedi:

$$F = m \cdot g, \quad (10)$$

gdje je  $g$  ubrzanje sile teže. Također, na uteg djeluje i elastična sila  $\vec{F}_e$  kojom se opruga opire istezanju. Budući da uteg miruje, rezultanta sila koje djeluju na uteg jednaka je nuli:

$$\vec{F}_e + \vec{F} = 0 \quad (11)$$

$$\vec{F}_e = -\vec{F} \quad (12)$$

Elastična sila opruge i sila teža kojom Zemlja privlači uteg su istog smjera i iznosa, ali suprotne orijentacije. Vrijedi:

$$F_e = F \quad (13)$$

Iz toga slijedi da je iznos elastične sile kojom se opruga opire istezanju jednak iznosu vanjske sile koja nastoji istegnuti oprugu. Prema tome, iz (8), (9) i (13) slijedi da je elastična sila razmjerna produljenju opruge s koeficijentom razmjernosti  $k$ :

$$F_e = k \cdot \Delta l, \quad (14)$$

gdje je  $k$  konstanta elastičnosti opruge [6, 7].

Međutim, niti jednu oprugu ne možemo istezati proizvoljnom vanjskom silom tako da se ona uvijek vrati u svoje prvobitno stanje. Naime, primijeni li se sila prevelikog iznosa, opruga se može trajno deformirati, tj. više se neće vratiti u prvobitno stanje. Tada kažemo da je opruga izašla iz područja elastičnosti i došla u područje plastičnosti [15].

### 3.4. Sila trenja

Pretpostavimo da na tijelo koje miruje na nekoj horizontalnoj podlozi počnemo djelovati nekom horizontalnom vanjskom silom nastojeći ga pomaknuti iz stanja mirovanja. Iz svakodnevnoga iskustva s pomicanjem raznih tijela po nekim podlogama, znamo da se tijelo neće pomaknuti ako na njega djelujemo silom premalog iznosa. Tek kada dovoljno povećamo iznos sile kojom djelujemo na tijelo, ono se će se pomaknuti [15]. Naime, sila trenja se javlja između tijela i podloge na kojoj se ono nalazi, kada na tijelo djeluje vučna sila ili sila guranja. Sila trenja je sila kojom se podloga opire gibanju tijela na koje djeluje vučna sila. Ukoliko tijelo zbog utjecaja vučne sile klizi po podlozi tada se javlja trenje klizanja. U slučaju kada se tijelo kotrlja po podlozi, tada se javlja trenje kotrljanja [7]. U ovom je diplomskom radu proučavano trenje klizanja.

Promotrimo tijelo koje u početku miruje na horizontalnoj podlozi. Kada na tijelo djeluje vučna sila  $\vec{F}_v$  usmjerena paralelno s podlogom i koja nastoji pokrenuti tijelo, toj vučnoj sili suprotstavlja se sila koja se naziva sila trenja i označava  $\vec{F}_{tr}$ . U slučaju kada tijelo pod djelovanjem vučne sile i dalje miruje, trenje se naziva statičko ili trenje mirovanja i označava  $\vec{F}_S$ . Povećanjem iznosa vučne sile, povećava se i iznos sile trenja, do maksimalne vrijednosti  $F_{max}$ . Naime, tijelo je u stanju mirovanja sve dok vučna sila ne nadvlada maksimalnu vrijednost statičnog trenja  $F_{max}$ . Iznos maksimalne sile statičkog trenja  $F_{max}$  jednak je umnošku statičkog koeficijenta trenja  $\mu_S$  i iznosa pritisne sile  $F_P$  [6]:

$$F_{max} = \mu_S \cdot F_P. \quad (15)$$

Ako je iznos vučne sile  $F_v$  veći od maksimalne vrijednosti iznosa statičkog trenja  $F_{max}$ , tijelo će klizati po podlozi. U slučaju kada su tijelo i podloga u relativnom gibanju javlja se dinamičko trenje ili trenje klizanja i označava se  $\vec{F}_D$ . Kada tijelo počne klizati po podlozi, iznos sile trenja naglo opada i poprima stalnu vrijednost:

$$F_D = \mu_D \cdot F_P, \quad (16)$$

gdje je  $\mu_D$  faktor dinamičkog trenja, a  $F_p$  je pritisna sila [6].

Općenito, faktor dinamičkog trenja manji je ili jednak faktoru statičkog trenja, tj.:

$$\mu_D \leq \mu_S. \quad (17)$$

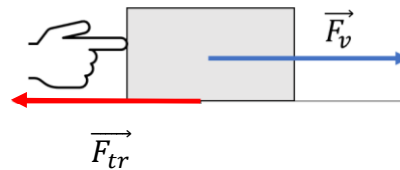
Prema tome, iznos sile trenja može doseći najveću vrijednost koja je jednaka maksimalnoj vrijednosti statičkog trenja [6]:

$$F_{tr} \leq F_{max}. \quad (18)$$

### 3.4.1. Ovisnost sile trenja o pritisnoj sili

Ukoliko klizanje tijela po horizontalnoj podlozi uzrokuje stalna vučna sila  $\vec{F}_v$  horizontalna s podlogom, dinamička sila trenja i vučna sila jednakog su iznosa i smjera, ali suprotne orijentacije te se tijelo tada giba jednoliko pravocrtno (konstantnom brzinom). Vrijedi [7g:

$$F_{tr} = F_v$$



Slika 8. Djelovanje sile trenja.

Također, tijelo djeluje okomito na podlogu pritisnom silom koju označavamo  $\vec{F}_p$ . U slučaju kada se tijelo nalazi na horizontalnoj podlozi, pritisna sila je zapravo težina tijela pa vrijedi [7]:

$$F_p = G = m \cdot g, \quad (19)$$

gdje je  $m$  masa tijela, a  $g$  ubrzanje slobodnog pada. U ovom je radu pokusom promatrana ovisnost dinamičkog trenja o težini.

Sila trenja  $F_{tr}$  razmjerna je pritisnoj sili  $F_p$  uz koeficijent razmjernosti koji predstavlja dinamički faktor trenja  $\mu_D$ .

$$F_{tr} = \mu_D \cdot F_p. \quad (20)$$

Prema tome, koliko se puta poveća ili smanji pritisna sila  $F_p$ , toliko puta će se povećati ili smanjiti sila trenja  $F_{tr}$ . Koeficijent dinamičkog i statičkog faktora trenja nema mjernu jedinicu i često se izražava u obliku postotka [6].

### 3.5. Dvostrana poluga

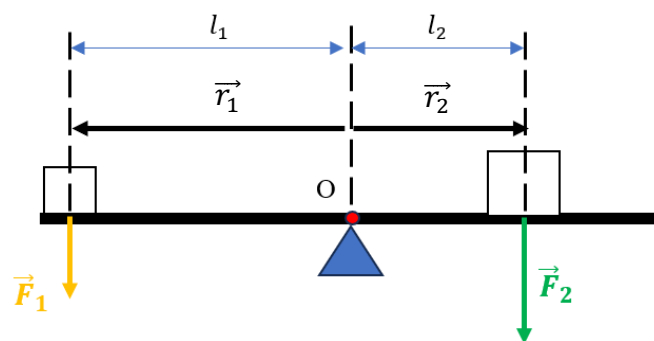
Poluga je čvrsto tijelo koje ima oslonac (uporište) oko kojega se može zakretati te služi za svladavanje veće sile manjom. Poluge se mogu podijeliti prema položaju uporišta (oslonca, osi rotacije), hvatišta vanjske sile i hvatišta tereta. Poluga prvoga reda (dvokraka poluga) ima uporište u sredini, a vanjska sila i teret djeluju na suprotnim stranama (npr. mehanička vaga, veslo, škare). Poluga drugoga reda (jednokraka poluga) ima uporište na jednoj strani, teret u sredini, a vanjska sila djeluje na drugoj strani (npr. ručna drobilica za orahe, ručna teretna kolica s jednim kotačem). Poluga trećega reda (jednokraka poluga) ima uporište na jednoj strani, vanjska sila djeluje u sredini, a teret je na drugoj strani (npr. pinceta, ljudska podlaktica) [16]. U ovoj je radnji detaljnije promatrana dvostrana poluga. Dvostrana ili dvokraka poluga shematski prikazana je na Slici 9.

#### 3.5.1. Zakon poluge

Uvjet ravnoteže poluge određuje se promatranjem ukupnog momenta sile poluge  $\vec{M}$ . Da bi tijelo bilo u ravnoteži, vektorska suma svih momenata sila koji djeluju na tijelo mora biti jednaka nuli, tj. [15]:

$$\sum_k \vec{M}_k = 0. \quad (21)$$

Neka na polugu djeluju vanjske sile  $\vec{F}_1$  i  $\vec{F}_2$  tako da je ona u ravnoteži.



Slika 9. Dvostrana poluga.

Vanjska sila  $\vec{F}_1$  djeluje na lijevi krak poluge kako je prikazano na Slici 9.

Hvatište sile  $\vec{F}_1$  nalazi se na udaljenosti  $\vec{r}_1$  od oslonca O, pa vrijedi:

$$\vec{M}_1 = \vec{r}_1 \times \vec{F}_1. \quad (22)$$

Za iznos momenta sile  $\vec{M}_1$  vrijedi:

$$M_1 = l_1 \cdot F_1 \cdot \sin\theta, \quad (23)$$

gdje je  $\theta$  mjera kuta između vektora  $\vec{r}_1$  i  $\vec{F}_1$ , a  $l_1$  je udaljenost oslonca O od hvatišta sile koja se naziva krak sile [6]. Kako mjera kuta između vektora položaja i vektora sile iznosi  $90^\circ$ , a  $\sin 90^\circ = 1$ , izraz (23) možemo zapisati kao:

$$M_1 = l_1 \cdot F_1. \quad (24)$$

S druge strane, na desni krak poluge djeluje sila vanjska sila  $\vec{F}_2$ . Hvatište sile  $\vec{F}_2$  nalazi se na udaljenosti  $\vec{r}_2$  od oslonca O, pa vrijedi:

$$\vec{M}_2 = \vec{r}_2 \times \vec{F}_2. \quad (25)$$

Za iznos momenta sile  $\vec{M}_2$  vrijedi:

$$M_2 = l_2 \cdot F_2 \cdot \sin\theta \quad (26)$$

gdje je  $\theta$  mjera kuta između vektora  $\vec{r}_2$  i  $\vec{F}_2$ , a  $l_2$  je udaljenost točke O od hvatišta sile koja se naziva krak sile. Kako mjera kuta između vektora položaja i sile iznosi  $90^\circ$ , a  $\sin 90^\circ = 1$ , izraz (26) možemo zapisati kao:

$$M_2 = l_2 \cdot F_2 \quad (27)$$

Kako bi poluga bila u ravnoteži, iz (21), (24) i (27) slijedi da mora vrijediti:

$$M_1 = M_2 \quad (28)$$

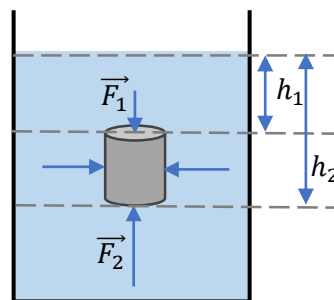
$$l_1 \cdot F_1 = l_2 \cdot F_2 \quad (29)$$

Izraz (29) poznat je kao zakon poluge: Dvostrana poluga je u ravnoteži kada je umnožak iznosa sile i kraka te sile na jednoj strani oslonca jednak umnošku iznosa sile i kraka sile na drugoj strani oslonca poluge [7].

### 3.6. Arhimedov zakon

Mehanika u sedmom razredu osnovne škole obuhvaća i proučavanje djelovanja sila u fluidima, čime se bavi tzv. mehanika fluida. Mehanika fluida dijeli se na statiku i dinamiku fluida. Statika fluida bavi se proučavanjem fluida u stanju mirovanja, a dinamika fluida proučavanjem fluida u gibanju [17]. U osnovnom i srednjoškolskom obrazovanju uglavnom je zastupljena statika fluida, dok se dinamika pojavljuje kao dodatni sadržaj u srednjoj školi [1]. Učenici sedmog razreda kao dodatni sadržaj obrađuju pojam sile uzgona i Arhimedovo načelo. Pritom, pojam sile uzgona opisuju samo u tekućini te je stoga važno učenicima napomenuti da uzgon postoji i u zraku, tj. u plinovima. U ovom je radu detaljnije opisano djelovanje sile uzgona u tekućini u skladu s nastavnim kurikulumom Fizike za sedmi razred osnovne škole.

Neka tijelo oblika valjka miruje uronjeno u tekućinu kao što je prikazano na Slici 10.



Slika 10. Djelovanje pritiskne sile na tijelo uronjeno u tekućinu.

Na to tijelo djeluju hidrostatički tlakovi odozgo, odozdo i bočno. Bočni tlakovi su jednaki sa svih strana na istoj dubini, pa se sile koje djeluju bočno na tijelo međusobno poništavaju. Međutim, s obzirom da se tlak povećava s povećanjem dubine, tlak na gornju i donju bazu valjka nije jednak. Prema tome, sile koje djeluju okomito na tijelo odozdo i odozgo se neće poništiti, jer je pritiskna sila kojom tekućina djeluje na tijelo odozdo iznosom veća od one koja djeluje na tijelo odozgo. Stoga će na tijelo uronjeno u tekućinu djelovati rezultantna sila vertikalno prema gore, koja se naziva sila uzgona i označava  $\vec{F}_u$  [6,17].

Tekućina tlači gornju bazu valjka tlakom  $p_1$ , pa je pritiskna sila kojom tekućina djeluje na gornju bazu valjka površine  $S$  jednaka [6] :

$$F_1 = p_1 \cdot S. \quad (30)$$

Tekućina tlači donju bazu valjka tlakom  $p_2$ , pa je je pritiskna sila kojom tekućina djeluje na donju bazu valjka površine  $S$  jednaka:

$$F_2 = p_2 \cdot S. \quad (31)$$

Za iznos sile uzgona vrijedi:

$$F_u = F_2 - F_1 = (p_2 - p_1)S \quad (32)$$

Hidrostatski tlak tekućine na gornju i donju bazu valjka iznosi:

$$p_1 = \rho g h_1, \quad (33)$$

$$p_2 = \rho g h_2. \quad (34)$$

Uvrštavanjem izraza (33) i (34) u (32) dobije se da je:

$$F_u = \rho g S (h_2 - h_1) \quad (35)$$

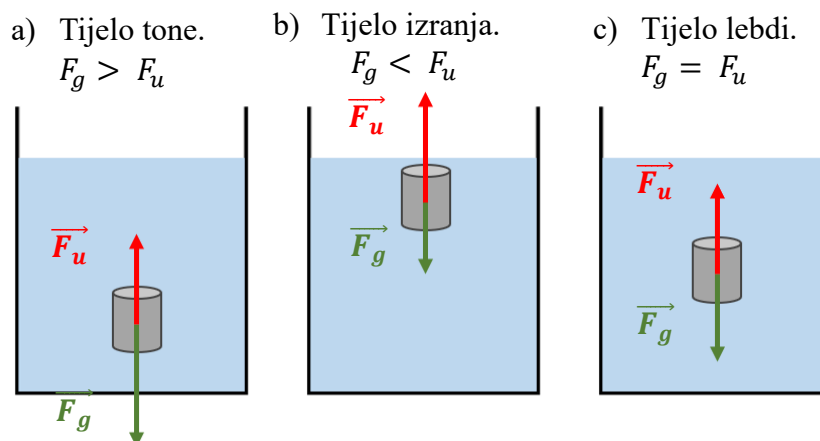
Može se uočiti da je  $(h_2 - h_1)S$  volumen valjka pa vrijedi [1]:

$$F_u = \rho g V \quad (36)$$

Dakle, sila uzgona je rezultatna sila kojom tekućina djeluje na tijelo i usmjerena je vertikalno prema gore. Ovisi o gustoći tekućine  $\rho_{tek}$  u kojoj se tijelo nalazi. S obzirom da tekućina ne može djelovati na dio tijela koji nije u samoj tekućini, onda sila uzgona ovisi o volumenu uronjenog dijela tijela  $V_{ur}$  [18].

$$F_u = \rho_{tek} \cdot g \cdot V_{ur}. \quad (37)$$

S druge strane, na tijelo djeluje i Zemlja silom težom i privlači je prema dnu posude. Prema tome, s obzirom na odnos sile uzgona i iznos sile teže, razlikujemo tri slučaja: tijelo tone, tijelo se giba prema površini tekućine, tijelo miruje uronjeno u tekućini (Slika 11) [6].



Slika 11. Djelovanje sile uzgona na tijelo uronjeno u tekućinu.

Na Slici 11 (dio a) možemo vidjeti da u slučaju kada je sila teža većeg iznosa nego sila uzgona, tijelo u tekućini tone do dna posude. U slučaju kada je iznos sile uzgona jednak iznosu sile teže (dio c), onda tijelo pluta ili lebdi, tj. nalazi se u ravnoteži. Ako je tijelo potpuno uronjeno u tekućinu, a iznos sile teže je tada manji od iznosa sile uzgona, onda sila uzgona gura tijelo prema površini i tijelo izranja sve dok se iznos sile uzgona ne izjednači s iznosom sile teže (dio b) [17].

Ono što mi danas nazivamo silom uzgona, Arhimed iz Sirakuze uočio je još u trećem stoljeću prije Krista. Naime, Arhimedovo načelo kaže da je iznos sile uzgona  $F_u$  uvijek jednak težini istisnute tekućine  $G_{tek}$ :

$$F_u = G_{tek} = m_{tek} \cdot g, \quad (38)$$

gdje je  $m_{tek}$  masa istisnute tekućine, a  $g$  ubrzanje sile teže [7, 10].

Učenicima je iskustveno poznato da je za podizanje tereta potrebno primijeniti manju silu ukoliko se on nalazi u vodi. Primjerice, izmjeri li se težina nekog tijela pomoću dinamometra u zraku i zatim težina tog istog tijela uronjenog u tekućinu, može se uočiti da se izmjerene težine razlikuju. Naime, težina tijela uronjenog u tekućinu, manja je od težine tijela izvan tekućine  $G$  i ona se naziva prividna težina  $G_{prividna}$ . Vrijedi [7]:

$$G_{prividna} = G - F_u. \quad (39)$$



## 4. PRIMJERI METODIČKI OBLIKOVANIH LABORATORIJSKIH VJEŽBI

U ovom su radu za potrebe izvođenja pokusa korišteni PHYWE paketi Mehanika 1 [3] i 2 [4]. Paketi su namijenjeni učenicima uzrasta od 12 do 16 godina, a u ovaj su rad uvrštene sljedeće laboratorijske vježbe:

1. Slaganje sila jednakih i suprotnih orijentacija [19],
2. Težina [21],
3. Hookeov zakon [22],
4. Određivanje faktora trenja [23],
5. Zakon poluge [24],
6. Arhimedovo načelo [28].

Za metodičku obradu korištene su i po potrebi prilagođene upute priložene uz svaku laboratorijsku vježbu.

### 4.1. Slaganje sila

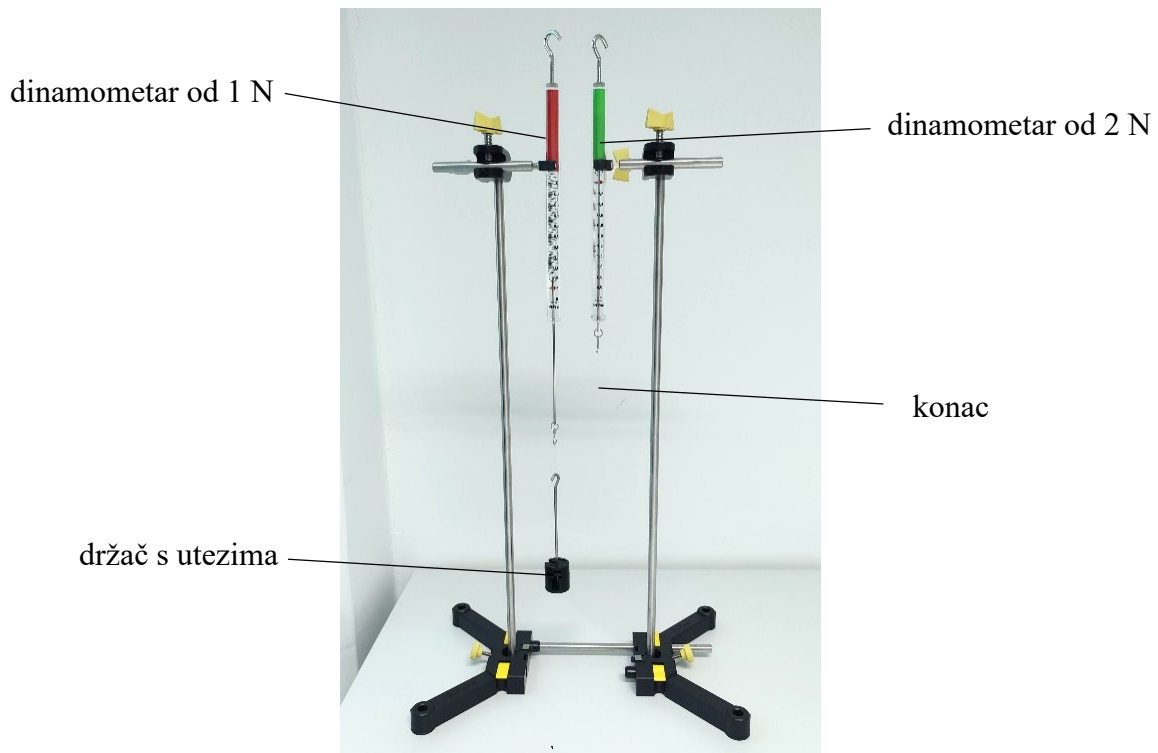
Vježba se temelji na pokusu *Slaganje sila jednakih i suprotnih orijentacija* [14] te je korišten pribor iz seta PHYWE Mehanika 1 [3] i upute za izvođenje pokusa dostupne uz vježbu [14]. Usporedbom pokusa [19] i nastavnog kurikuluma iz Fizike [1] uočeno je da je ovaj pokus primjeren učenicima 7. razreda osnovne škole, u okviru istoimene nastavne jedinice *Slaganje sila*. Ova laboratorijska vježba podijeljena je na dva dijela. U prvom dijelu učenici će istražiti pravilo zbrajanja sila jednakog smjera i orijentacije, a u drugom dijelu zbrajanje sila jednakog smjera, ali suprotne orijentacije.

#### 4.1.1. Slaganje sila jednakog smjera i orijentacije

##### Motivacija

Učenicima je iz svakodnevnog života poznato da će vozilo u kvaru teško pogurati jedan čovjek. Međutim, lako će ga pogurati više ljudi kada na vozilo djeluju silama istog smjera i orijentacije. Uvođenjem pojma sile u sedmom razredu osnovne škole, učenici se po prvi puta susreću s vektorskom fizičkom veličinom- silom. Ukoliko godišnji planovi i programi nastavnog predmeta Fizike i Matematike određene škole nisu usklađeni, učenici se na nastavi Fizike mogu po prvi puta susresti općenito s pojmom vektora. Iz tog razloga može doći do

nerazumijevanja i poteškoća s usvajanjem ovog nastavnog gradiva. U nastavnoj jedinici *Slaganje sila* u promatranim udžbenicima naveden je samo jedan pokus kojim se istražuju pravila zbrajanja sila istoga smjera i orijentacije, ali ne i suprotne orijentacije [7]. Stoga je za potrebe ovog rada pripravljena laboratorijska vježba kojom će učenici istražiti kako se zbrajaju sile jednakog smjera i orijentacije. Prema [19], učenici ispituju djelovanje dviju sila jednakog smjera i orijentacije na tijelo, a zatim i djelovanje dviju sila suprotne orijentacije.



Slika 12. Eksperimentalni postav laboratorijske vježbe *Slaganje sila jednakog smjera i orijentacije*.

## Istraživanje

Ukoliko je izvođenje pokusa predviđeno kao laboratorijski problem, učenici samostalno postavljaju postav pokusa. Ako je izvođenje pokusa predviđeno kao laboratorijska vježba, onda je učenicima potrebno dati sljedeće upute, odnosno, pripremiti laboratorijsku opremu prateći sljedeće upute.

Prema [19] potrebno je sastaviti stalak. Dva dijela postolja stalka potrebno je povezati metalnom šipkom duljine 25 cm (Slika 13.). Zatim je potrebno spojiti potporne metalne šipke kako bi se dobile dvije, svaka ukupne duljine 60 cm (Slika 14.).

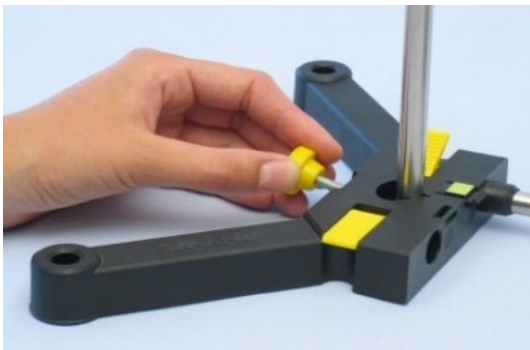


Slika 13. Sastavljanje postolja stalka pomoću metalne šipke [19].

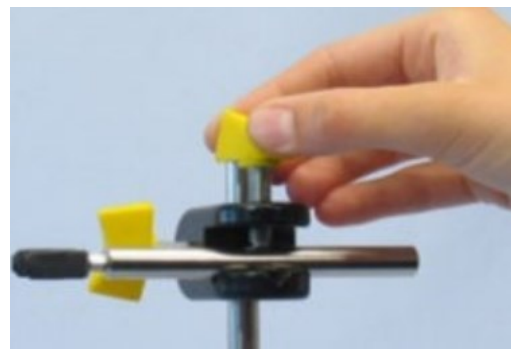


Slika 14. Sastavljanje metalne šipke [19].

Metalne šipke duljine 60 cm postavljaju se u dvije rupice na postolju stalka i pričvrste vijcima kako je prikazano na Slici 16. Na svaku od šipki postavi se stezaljka u koju je umetnuta šipka duljine 10 cm i hvataljka za dinamometar (Slika 15).

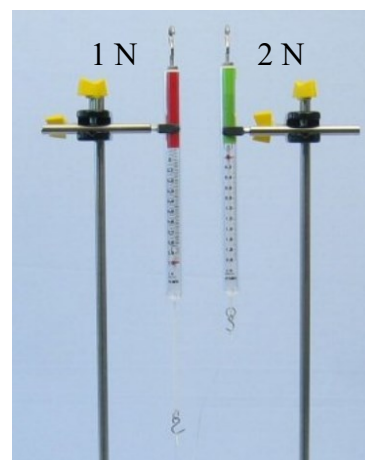


Slika 16. Postavljanje metalne šipke u postolje stalka [19].



Slika 15. Postavljanje hvataljke za dinamometar na stalak [19].

U hvataljku s lijeve strane postavi se dinamometar od 1 N, a s desne strane dinamometar od 2 N. Dinamometri se namjeste tako da im se nule na mjerne skali podudaraju (Slika 17.).



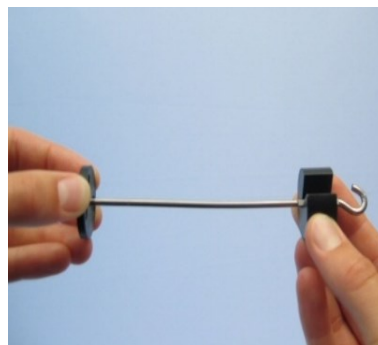
Slika 17. Postavljanje dinamometara na stalak i njihov međusobni položaj [19].

Zatim se izrežu dva dijela konopca približne duljine 10 cm i 20 cm te se na krajevima formiraju petlje pomoću kojih se prikvače za kukice dinamometra (Slika 18.).



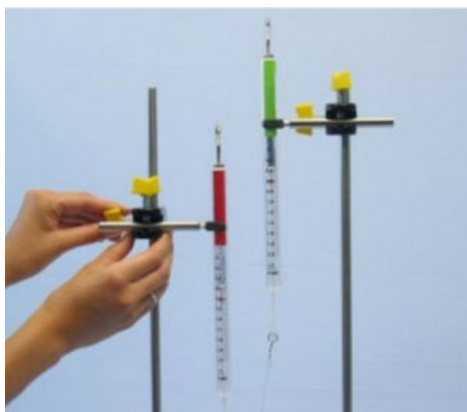
Slika 18. Konopci s formiranim petljama [19].

Na dinamometar od 1 N potrebno je prikvačiti konopac manje duljine, a na dinamometar od 2 N konopac veće duljine. Kroz obje petlje na slobodnim krajevima konaca ovjesi se držač za utege na kojeg je potrebno naslagati utege do ukupne mase 100 g kao što je prikazano na Slici 19.



Slika 19. Slaganje utega na držač za utege [19].

Na uteg djeluje sila teža, usmjerena okomito na podlogu i orijentirana prema središtu Zemlje. Zbog djelovanja sile teže na uteg, uteg djeluje na ovjese dvaju dinamometara. Uteg djeluje na ovjes dinamometra od 1 N silom  $\vec{F}_1$ , a na dinamometar od 2 N silom  $\vec{F}_2$ . Dinamometri su postavljeni vertikalno u odnosu na podlogu, tako da su smjerovi sila koje mjere jednaki smjeru sile teže koja djeluje na uteg. Također, sile  $\vec{F}_1$  i  $\vec{F}_2$  su jednake orijentacije. Prema tome, vektori sila  $\vec{F}_1$  i  $\vec{F}_2$  su istog smjera i orijentacije. Učenici za različite međusobne položaje dvaju dinamometara mjere iznose sila  $F_1$  i  $F_2$ . Međusoban položaj dinamometara mijenja se vertikalnim podizanjem ili spuštanjem jednog od njih kako je prikazano na Slici 20.



Slika 20. Mijenjanje međusobnog položaja dinamometara [19].

Ako učenici/studenti ne trebaju ili ne mogu samostalno izvesti pokus može im se ponuditi sljedeći radni listić s uputama za izvođenje pokusa.

#### Radni listić

Na držač s utezima mase 10 g dodajte utege s prorezom tako da ukupna masa iznosi 100 g. Ovjesite uteg mase 100 g na slobodne petlje obaju konaca. Konac veće duljine ovješena na dinamometar od 2 N u početku treba biti potpuno opušten, dok konac manje duljine ovješena na dinamometar od 1 N u potpunosti treba biti napet. Utæg stoga treba visjeti izravno ispod dinamometra od 1 N. Očitajte iznos sile  $F_1$  s dinamometra od 1 N, iznos sile  $F_2$  s dinamometra od 2 N i podatke upišite u Tablicu 1. Zatim pomoću stezaljke spuštajte dinamometar od 1 N sve dok drugi konac ne postane napet. Očitajte iznose sila s oba dinamometra i unesite ih u Tablicu 1. Podižite dinamometar od 2 N sve dok samo druga nit ne ostane napeta, tj. utæg visi neposredno ispod dinamometra od 2 N. Očitajte iznos sile s oba dinamometra i unesite u Tablicu 1. Izmjerite iznos sile koju prikazuje dinamometar od 2 N kada dinamometar od 1 N prikazuje silu iznosa 0,5 N i unesite u Tablicu 1.

Tablica 1. Eksperimentalni rezultati laboratorijske vježbe Slaganje sila jednakog smjera i orijentacije.

	$F_1/N$	$F_2 /N$	$F_g/N$	$(F_1 + F_2)/N$
1.	1,0	0	1,0	1,0
2.	0,9	0,1	1,0	1,0
3.	0	1,0	1,0	1,0
4.	0,5	0,5	1,0	1,0

## Objašnjavanje

U nastavku su prikazani zadaci koji mogu navesti učenike/studente na zaključivanje o promatranom konceptu i njihova rješenja. Navedeni zadaci mogu se prilagoditi sposobnostima učenika. Sivom bojom prikazani su odgovori na dane zadatke.

Zadaci:

1. Izračunajte iznos sile teže kojom Zemlja djeluje na uteg pomoću formule  $F_g = m \cdot g$ , gdje je  $g \approx 10 \text{ N/kg}$ .

Rješenje se nalazi u Tablici 1.

2. Izračunajte zbroj iznosa sila  $F_1 + F_2$  i unesite ih u Tablicu 1.

Rješenje se nalazi u Tablici 1.

3. Kakvog su smjera i orijentacije sila  $\vec{F}_1$  koju mjeri dinamometar od 1 N i sila  $\vec{F}_2$  koju mjeri dinamometar od 2 N?

Sile  $\vec{F}_1$  i  $\vec{F}_2$  su sile jednakog smjera i orijentacije. Usmjerene su okomito u odnosu na podlogu i orijentirane su prema podlozi.

4. Kakvog su smjera i orijentacije sila  $\vec{F}_1$  i  $\vec{F}_2$  u odnosu na silu  $\vec{F}_g$ ?

Sile  $\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$  i  $\vec{F}_g$  su sile istog smjera i orijentacije.

5. Usporedite iznose sila  $F_1, F_2$  i  $F_g$  u Tablici 1. Uočavate li neku vezu među njima?

Zbroj iznosa sila  $F_1$  i  $F_2$  jednak je iznosu težine utega  $F_g$ .

6. Što možete zaključiti, čemu je jednak iznos rezultante dviju sila jednakog smjera i orijentacije?

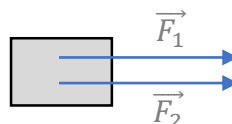
Iznos rezultante dviju sila jednakog smjera i orijentacije jednak je zbroju njihovih iznosa.

## Razrada

1. U utrci rimskih zaprega dva konja istovremeno vuku zapregu u istom smjeru i orijentaciji, svaki silom iznosa 750 N. Kolika je ukupna sila kojom konji djeluju na zapregu?

U zadacima u kojima je potrebno računati s vektorima, učenici mogu skicirati problem.

Skica:



Sile kojima konji vuku zapregu su istog smjera i orijentacije. Iznos rezultante dviju sila jednakog smjera i orijentacije jednak je zbroju njihovih iznosa.

$$F_1 = 750 \text{ N}$$

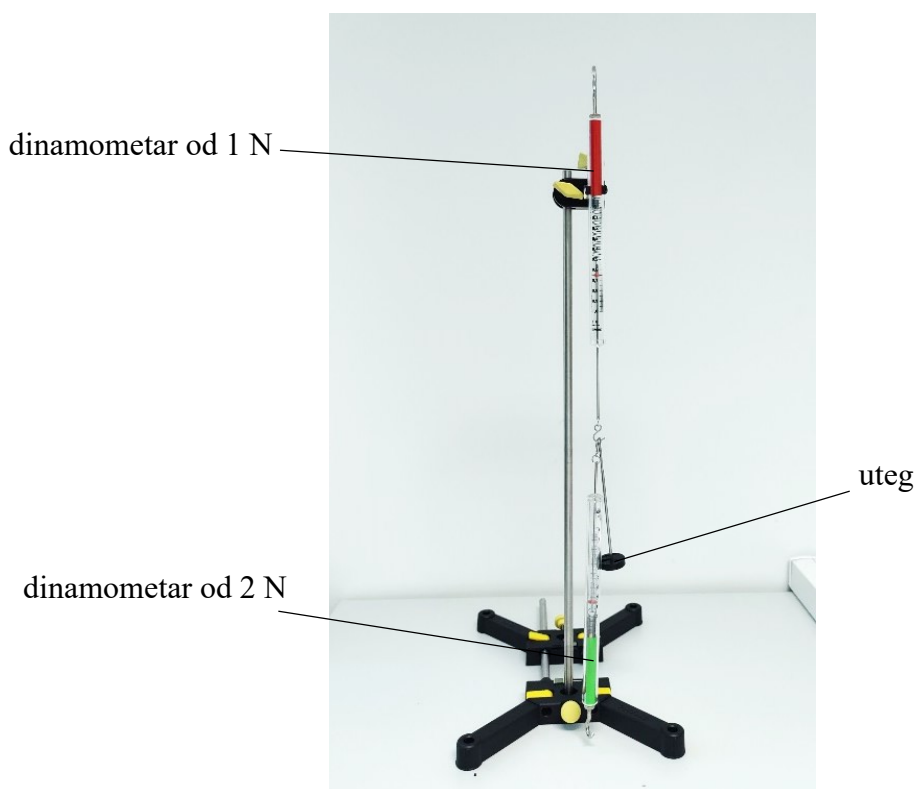
$$F_2 = 750 \text{ N}$$

$$F_R = F_1 + F_2 = 1500 \text{ N}$$

#### 4.1.2. Zbrajanje sila jednakog smjera, ali suprotne orijentacije

##### Motivacija

Jedna od poznatijih timskih sportskih igara jest povlačenje konopa. Učenicima je iskustveno poznato da pobjeđuje onaj tim koji primjenjuje veću ukupnu vučnu silu pri povlačenju konopa. Ukoliko je ukupna vučna sila kojom jedan tim povlači konop jednaka ukupnoj vučnoj sili kojom drugi tim povlači konop, konop se neće pomaknuti s mjesta, pa kažemo da je rezultantna sila na konop jednaka nuli. Primjenom veće ukupne vučne sile s jedne strane, konopac se počinje gibati u tu stranu.



Slika 21. Eksperimentalni postav laboratorijske vježbe Slaganje sila istog smjera i suprotne orijentacije.

## Istraživanje

Prema [19] potrebno je modificirati postav iz prethodne vježbe prateći sljedeće upute. Potrebno je ukloniti metalnu šipku na kojoj se nalazi dinamometar od 2 N i zatim zarotirati stalak tako da se dinamometar od 1 N nalazi s prednje strane stalka kao na Slici 21. Na dinamometar od 1 N potrebno je ovjesiti uteg mase 20 g i očitati iznos sile  $F_1$ . Dinamometar od 2 N potrebno je okrenuti naopako i zakrećući vijak dinamometra podesiti tako da prikazuje nulu na mjernoj skali (Slika 22.).



Slika 22. Podešavanje mjerne skale na nulu preokrenutog dinamometra od 2 N [19].

Tako preokrenut dinamometar od 2 N ovjesi se na dinamometar od 1 N i očitaju se sile  $F_1$  i  $F_2$ . Sila  $\vec{F}_1$  koju mjeri dinamometar od 1 N predstavlja težinu kojom uteg i dinamometar od 2 N djeluju na njegov ovjes. S druge strane, sila  $\vec{F}_2$  predstavlja silu kojom dinamometar od 2 N djeluje na ovjes dinamometra od 1 N. Zatim se različitim vučnim silama povlači dinamometar od 2 N vertikalno prema dolje. Za svaku primijenjenu vučnu silu očitaju se iznosi sila na oba dinamometra  $F_1$  i  $F_2$ . Dinamometar od 1 N tada mjeri težinu utega i dinamometra od 2 N, a dinamometar od 2 N mjeri primijenjenu vučnu silu.

Ako učenici/studenti ne trebaju ili ne mogu samostalno izvesti pokus može im se ponuditi sljedeći radni listić s uputama za izvođenje pokusa.

### Radni listić

Na dinamometar od 1 N ovjesite uteg mase 20 g i očitajte iznos sile  $F_1$ . Dinamometar od 2 N potrebno je okrenuti naopako i podesiti tako da prikazuje nulu na mjernoj skali. Tako preokrenut dinamometar od 2 N ovjesite na dinamometar od 1 N. Očitajte sile  $F_1$  i  $F_2$  na dinamometrima. Zatim povlačite dinamometar od 2 N vučnim silama različitog iznosa vertikalno prema dolje.



Za svaku primijenjenu vučnu silu očitajte iznose sila na oba dinamometra  $F_1$  i  $F_2$ . Izmjerene podatke unesite u Tablicu 2.

Tablica 2. Eksperimentalni rezultati laboratorijske vježbe Slaganje sila jednakog smjera i suprotne orijentacije.

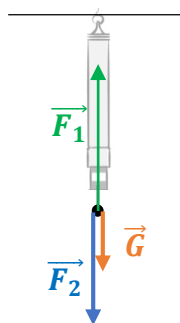
	$F_1/\text{N}$	$F_2/\text{N}$	$G/\text{N}$	$(F_1 - F_2)/\text{N}$
1.	0,65	0,45	0,2	0,2
2.	0,70	0,50	0,2	0,2
3.	0,80	0,60	0,2	0,2
4.	0,90	0,70	0,2	0,2

### Objašnjavanje

U nastavku su prikazani zadaci koji mogu navesti učenike/studente na zaključivanje o promatranom konceptu i njihova rješenja. Navedeni zadaci mogu se prilagoditi sposobnostima učenika.

Zadaci:

1. Izračunaj iznos težine kojom uteg mase 20 g djeluje na ovjes dinamometra od 1 N pomoću formule  $G = m \cdot g$ , gdje je  $g \approx 10 \text{ N/kg}$  i upiši u Tablicu 2.  
Rješenje se nalazi u Tablici 2.
2. Skiciraj dijagram sila koje djeluju na ovjes dinamometra od 1 N kada su dinamometar od 2 N i uteg mase 20 g ovješeni na njega.



3. Što predstavljaju sile  $\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$  i  $\vec{G}$ ?

Sila  $\vec{F}_1$  je sila kojom se dinamometar od 1 N opire produljenju. Sila  $\vec{F}_2$  je sila kojom dinamometar od 2 N djeluje na ovjes dinamometra od 1 N, a sila  $\vec{G}$  je težina kojom uteg mase 20 g djeluje na ovjes dinamometra od 1 N.

4. Kakvog su smjera i orijentacije sile  $\vec{F}_1$  i  $\vec{F}_2$ ?

Sile  $\vec{F}_1$  i  $\vec{F}_2$  su sile istog smjera, ali suprotne orijentacije.

5. Izračunajte razliku iznosa sila  $F_1 - F_2$  i unesite ih u tablicu.

Rješenje se nalazi u Tablici 2.

6. Usporedite iznose sila  $F_1, F_2$  i  $G$  u Tablici 2. Uočavate li neku vezu između njih?

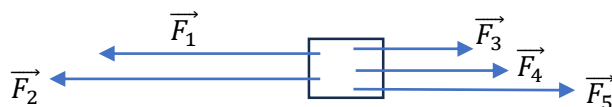
Iznos rezultante dviju sila jednakog smjera i suprotne orijentacije jednak je razlici njihovih iznosa.

## Razrada

1. Dva učenika (ekipa A) vuku konopac silama od 210 N i 290 N na lijevu stranu, a tri učenice (ekipa B) vuku ga na desnu stranu silama od 160 N, 140 N i 190 N. Kolika je rezultantna sila na konopac? Koja ekipa će pobijediti?



Skica:



Rezultantna sila je vektorski zbroj sila:

$$\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4 + \vec{F}_5$$

Iznos rezultantne sile:

$$F_R = F_1 + F_2 - (F_1 + F_2 + F_3) = 500 \text{ N} - 490 \text{ N} = 10 \text{ N}$$

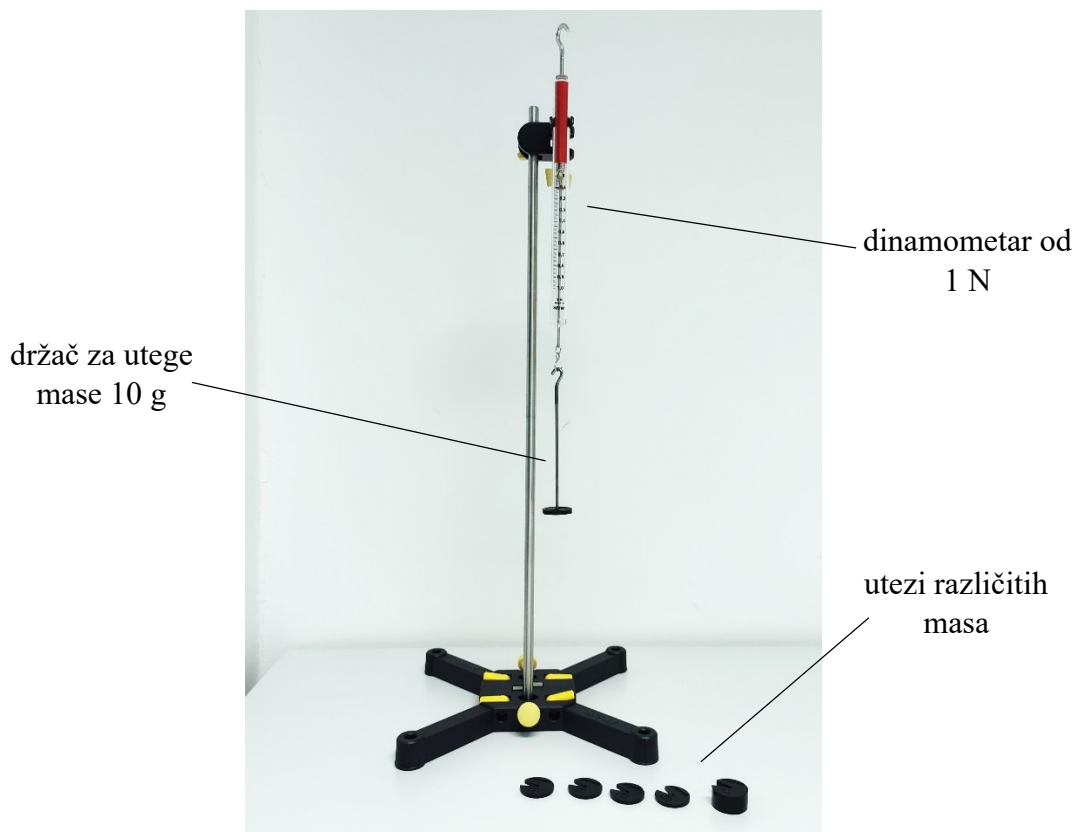
Napomena: Zadatak i slika su preuzeti iz radne bilježnice [20].

## 4.2. Težina

Vježba se temelji na pokusu *Težina* [21] te je korišten pribor iz seta PHYWE Mehanika 1 [3] i upute za izvođenje pokusa dostupne uz vježbu [21]. Usporedbom pokusa [21] i nastavnog kurikuluma iz Fizike [1] uočeno je da je ovaj pokus primjeren učenicima 7. razreda osnovne škole, u okviru istoimene nastavne jedinice *Sila teža i težina*.

## Motivacija

Jedan od prvih primjera sila koje se obrađuju u nastavi Fizike jest upravo težina. Postavi li se učenicima pitanje *Kolika vam je težina?* iz odgovora se može uočiti da učenici često ne razlikuju pojmove težine i mase. Riječ težina u svakodnevnom govoru poprima različita značenja, koja najčešće nisu u skladu s pojmom težine u fizici. U brojnim se primjerima težina pogrešno koristi kao sinonim za masu tijela, a česti su i izrazi poput težina zadatka, osjećaj težine i slično [12]. Uvede li se u diskusiju i pojam sile teže, situacija postaje još složenija. Učenici svakodnevno i u svakom trenutku mogu iskusiti djelovanje težine. Primjerice, postavite li knjigu horizontalno na dlan, mogu uočiti silu kojom knjiga djeluje na njihov dlan, tj. težinu [10]. U ovoj je vježbi dan primjer pokusa u kojemu je pomoću mjerenja težine moguće odrediti iznos ubrzanja slobodno pada  $g$  na području na kojemu se nalazimo. Tako eksperimentalno određena vrijednost  $g$  uspoređuje se s teorijskom vrijednošću.



Slika 23. Eksperimentalni postav laboratorijske vježbe Težina.

Prije izvođenja pokusa učenike je potrebno podsjetiti da bilježe vlastite pretpostavke o ishodima pokusa, a pri tome im se može pomoći postavljanjem pitanja: Zašto težinu mjerimo postavljajući dinamometar vertikalno u odnosu na podlogu? Što mislite, kako se mijenja težina kojom utezi djeluju na ovjesište dinamometra pri povećanju mase utega? Kako pri smanjenju

mase utega? Kako biste grafički prikazali ovisnost težine o masi utega uz stalno ubrzanje slobodnog pada?

### Istraživanje

Ukoliko je izvođenje pokusa predviđeno kao laboratorijski problem, učenici samostalno postavljaju postav pokusa. Ako je izvođenje pokusa predviđeno kao laboratorijska vježba, onda je učenicima potrebno dati sljedeće upute, odnosno, pripremiti laboratorijsku opremu prateći dane upute.

Prema [21] postolja stalka sastavlja se spajanjem dvaju dijelova prikazanim na Slici 25. Zatim je potrebno spojiti dvije potporne metalne šipke kako bi se dobila metalna šipka ukupne duljine 60 cm kao što je prikazano Slici 24.



Slika 25. Sastavljanje postolja stalka [21].



Slika 24. Sastavljanje metalne šipke duljine 60 cm [21].

Dobivena šipka postavi se u otvor na postolju stalka i po potrebi stegne pomoćnim vijcima kako bi stajala vertikalno u odnosu na tlo (Slika 26.).

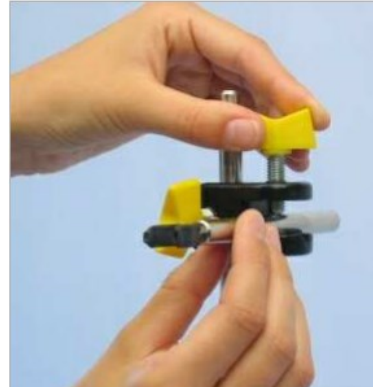


Slika 26. Postavljanje metalne šipke u postolje stalka [21].

U rupicu na metalnoj šipki postavi se hvataljka za dinamometar kao što je prikazano na Slici 27. Metalna šipka duljine 10 cm pričvrsti se na stalak pomoću stezaljke (Slika 28.).

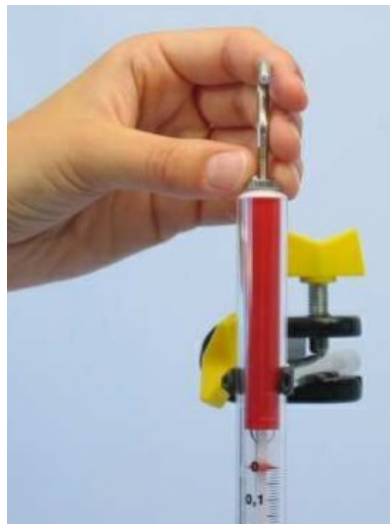


Slika 28. Postavljanje hvataljke za dinamometar pomoću stezaljke na stalak [21].



Slika 27. Sastavljanje hvataljke stalka za dinamometar [21].

U hvataljku se postavlja dinamometar tako da bude usmjeren vertikalno u odnosu na podlogu. Pritom, po potrebi se podesi dinamometar tako da prikazuje nulu na mjernoj skali.



Slika 29. Postavljanje dinamometra na stalak [21].

Na dinamometar se ovjesi držač utega na koji se zatim slažu utezi s prorezima različitih masa. Za različite iznose mase utega  $m$  očita se iznos težine  $G$  na dinamometru.

Ako učenici/studenti ne trebaju ili ne mogu samostalno izvesti pokus može im se ponuditi sljedeći radni listić s uputama za izvođenje pokusa.

Radni listić

U hvataljku na stalku postavite dinamometar tako da bude usmjeren vertikalno u odnosu na podlogu. Pripazite da dinamometar prikazuje nulu na mjernoj skali. Na dinamometar ovjesite držač utega mase 10 g i očitajte iznos težine  $G$  na dinamometru. Na držač utega slažite utege

tako da se njihova masa postupno povećava za 10 g, do najviše 100 g. Za različite iznose mase utega  $m$  očitajte iznos težine  $G$  na dinamometru i izmjerene podatke upišite u Tablicu 3.

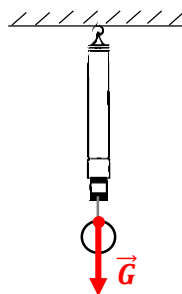
Tablica 3. Eksperimentalni rezultati laboratorijske vježbe Težina.

$m/ \text{kg}$	$G/\text{N}$
0,01	0,1
0,02	0,2
0,03	0,3
0,04	0,4
0,05	0,5
0,06	0,6
0,07	0,7
0,08	0,8
0,09	0,9
0,10	1,0

### Objašnjavanje

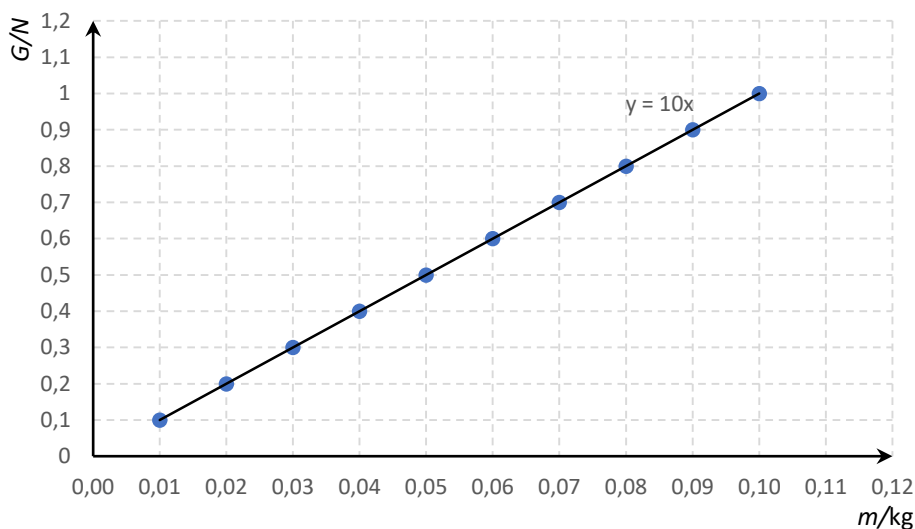
U nastavku su prikazani zadaci koji mogu navesti učenike/studente na zaključivanje o promatranom konceptu i njihova rješenja. Navedeni zadaci mogu se prilagoditi sposobnostima učenika/studenata.

1. Skicirajte vektor težine kojom uteg djeluje na dinamometar u obavljenom pokusu. Gdje se nalazi hvatište težine? U kojem smjeru djeluje težina u odnosu na podlogu? Kakve je orijentacije težina?



Hvatište težine kojom utezi djeluju na dinamometar nalazi se na granici tijela i ovjesa dinamometra. Težina je usmjerena okomito u odnosu na podlogu i orijentirana je prema središtu Zemlje.

2. Grafički prikaži ovisnost težine  $G$  o masi utega  $m$ . Što je grafički prikaz ovisnosti težine o masi utega?



Grafički prikaz ovisnosti težine  $G$  o masi utega  $m$  je pravac.

3. Kakvu ovisnost uočavaš? Zapiši je matematički.

Težina  $G$  razmjerna je masi  $m$  uz koeficijent razmjernosti  $g$ ,  $g = konst.$

$$G \sim m$$

$$G = g \cdot m, g = konst.$$

4. Odredi koeficijent smjera pravca iz grafičkog prikaza u trećem zadatku. Koja je mjerna jedinica koeficijenta smjera pravca? Što on predstavlja?

$$g = 10 \text{ N/kg}$$

Koeficijent smjera pravca iz 2. zadatka predstavlja iznos  $g$  ubrzanja slobodnog pada na mjestu na kojemu je mjerenje izvršeno.

5. Usporedi eksperimentalno dobivenu vrijednost konstante  $g$  s vrijednosti iz udžbenika.

Eksperimentalno dobivena vrijednost ubrzanja slobodnog pada podudara se s teorijskom vrijednosti,  $g \approx 10 \text{ N/kg}$ .

6. Poveća li se masa  $m$  tijela 3 puta, uz konstantno ubrzanje slobodnog pada  $g$ , što će se dogoditi s težinom  $G$  tijela? Zašto?

Poveća li se masa tijela 3 puta, težina tijela će se isto povećati 3 puta. Težina tijela  $G$  razmjerna je masi  $m$  tijela, uz konstantno ubrzanje slobodnog pada  $g$ .

7. Kada bismo isti pokus obavili na polovima Zemlje, bismo li dobili isti iznos ubrzanja slobodnog pada  $g$ ? Zašto?

Ne bismo dobili isti iznos ubrzanja slobodnog pada  $g$  jer se on razlikuje ovisno o položaju na Zemlji. Na polovima Zemlje ubrzanje slobodnog pada  $g$  ima veći iznos nego na području na kojemu se mi nalazimo.

## Razrada

Na temelju dobivenih eksperimentalnih rezultata učenici mogu riješiti sljedeći zadatak stavljen u kontekst svakodnevice.

1. Sestre Marija i Ana izračunale su svoju težinu na području Hrvatske, gdje je ubrzanje slobodnog pada  $g = 9,81 \text{ N/kg}$ . Marija u Hrvatskoj ima težinu od 470 N, a Ana težinu od 500 N. Za vrijeme školskih praznika, Marija i Ana otputovat će s roditeljima u Singapur, državu koja se nalazi na ekvatoru Zemlje. Uz pretpostavku da im se masa nije promijenila, odgovorite na sljedeća pitanja:

a) Hoće li se njihova težina u Singapuru razlikovati od težine u Hrvatskoj? Zašto?

Njihova težina u Singapuru će se razlikovati od težine u Hrvatskoj jer će se u Singapuru nalaziti u blizini ekvatora Zemlje. Na ekvatoru Zemlje iznos ubrzanja slobodnog pada manji je nego u Hrvatskoj.

b) Izračunaj iznos težine koji imaju Marija i Ana u Singapuru koji, ako je u blizini ekvatora

$$g_{\text{Ekvator}} = 9,78 \frac{\text{N}}{\text{kg}}.$$

$$G_{H,1} = 470 \text{ N} \rightarrow \text{iznos Marijine težine u Hrvatskoj}$$

$$G_{H,2} = 500 \text{ N} \rightarrow \text{iznos Anine težine u Hrvatskoj}$$

$$G_{S,1}, G_{S,2} = ? \rightarrow \text{iznosi njihovih težina u Singapuru}$$

Prvo je potrebno izračunati mase sestara. Marijinu masu označimo s  $m_1$ , a Aninu s  $m_2$ .

$$G = m \cdot g \rightarrow m = \frac{G}{g}$$

$$m_1 = \frac{G_{H,1}}{g} = \frac{470 \text{ N}}{9,81 \text{ N/kg}} \approx 47,9 \text{ kg}$$

$$m_2 = \frac{G_{H,2}}{g} = \frac{500 \text{ N}}{9,81 \text{ N/kg}} \approx 50,9 \text{ kg}$$

Zatim je potrebno izračunati težine sestara u Singapuru, gdje je  $g_{\text{Ekvator}} = 9,78 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$ .

$$G_{S,1} = m_1 \cdot g_{\text{Ekvator}} = 47,9 \text{ kg} \cdot 9,78 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \approx 468,5 \text{ N}$$

$$G_{S,2} = m_2 \cdot g_{\text{Ekvator}} = 50,9 \text{ kg} \cdot 9,78 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \approx 497,8 \text{ N}$$



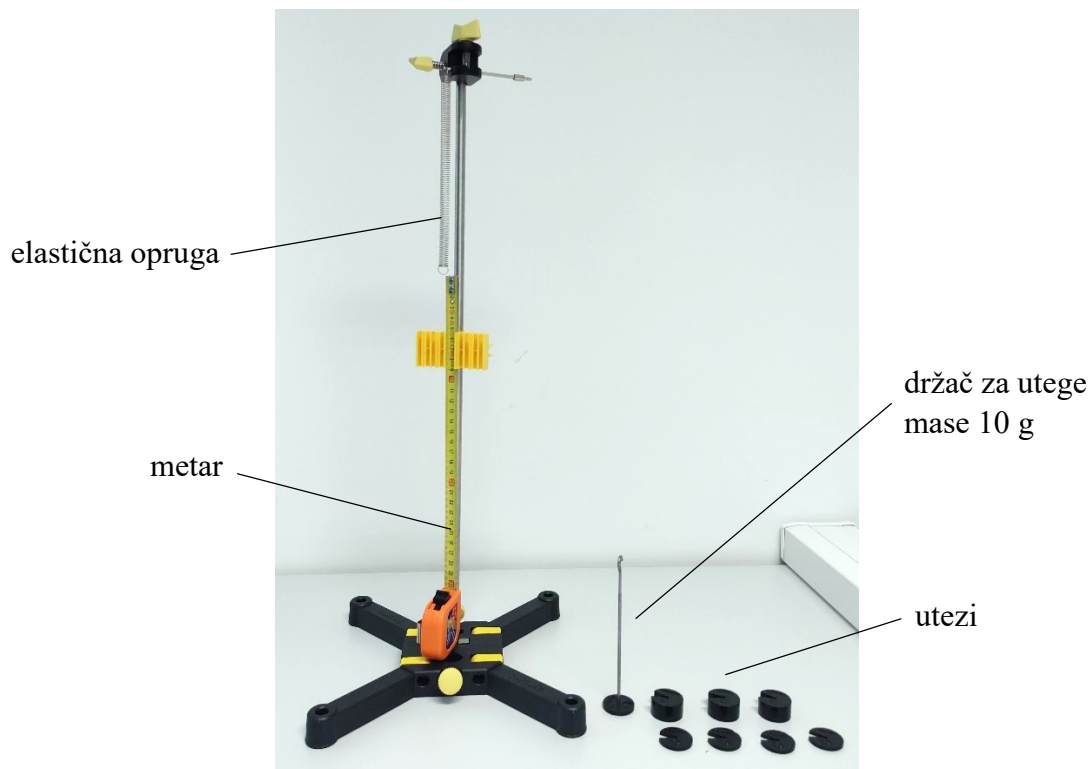
### 4.3. Hookeov zakon

Vježba se temelji na pokusu *Hookeov zakon* [22] te je korišten pribor iz seta PHYWE Mehanika 1 [3] i upute za izvođenje pokusa dostupne uz vježbu. Usporedbom pokusa [22] i nastavnog kurikulumu iz Fizike [1] uočeno je da je ovaj pokus primjeren učenicima 7. razreda osnovne škole, u okviru nastavne jedinice *Elastična sila*. Za razliku od vježbe [22], u ovoj je vježbi korištena samo elastična opruga veće konstante elastičnosti jer su izmjereni podaci u potpunosti odgovarali očekivanjima, dok je s drugom elastičnom oprugom za velike mase došlo do deformacije pa su izmjereni podaci odstupali od očekivanih. Prema [22] ova vježba se može napraviti za obje elastične opruge s ciljem uspoređivanja njihovih konstanti elastičnosti i grafičkog prikaza ovisnosti produljenja opruge o primijenjenoj sili.

#### Motivacija

Učenici se u svakodnevnom životu često susreću s elastičnim tijelima kao što su trake za vježbanje, trampolini, baloni za napuhavanje, gumice za kosu, metalne opruge i sl. Elastična tijela od iznimne su važnosti u tehnici i strojarstvu. Primjerice, elastične opruge imaju široku primjenu u tehničkoj industriji kao neizostavan dio radnih strojeva, a koriste se i kao amortizeri u vozilima [22]. Upravo se elastične opruge koriste za proučavanje elastične sile. Učenicima je iskustveno poznato da ukoliko primjene veću mišićnu silu, elastična opruga će se više produljiti, odnosno ako primjene manju mišićnu silu, opruga će se manje produljiti.

Cilj ovog pokusa jest odrediti ovisnost produljenja elastične opruge o sili koja uzrokuje to produljenje. Vježba se temelji na pokusu [22] u kojemu se za različite iznose vanjske sile koja isteže oprugu mjeri njezino produljenje.



Slika 30. Eksperimentalni postav laboratorijske vježbe Hookeov zakon.

## Istraživanje

Ukoliko je izvođenje pokusa predviđeno kao laboratorijski problem, učenici samostalno postavljaju postav pokusa. Ako je izvođenje pokusa predviđeno kao laboratorijska vježba, onda je učenicima potrebno dati sljedeće upute, odnosno, pripremiti laboratorijsku opremu prateći sljedeće upute.

Stalak se sastavlja prateći upute i Slike 24., 25. i 26. u vježbi *Težina*.

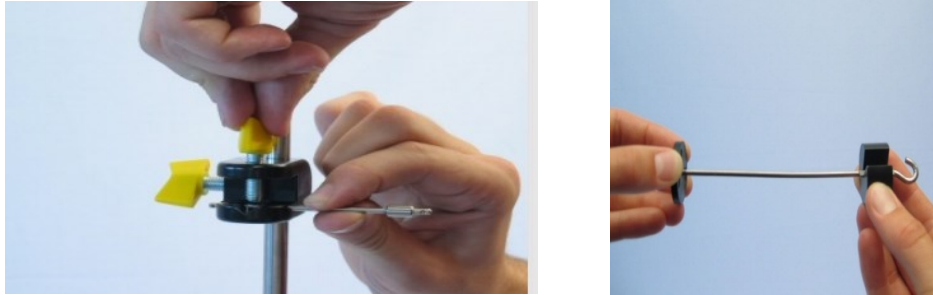
Zatim je potrebno pričvrstiti metar pomoću plastičnog držača kao na Slici 31.



Slika 31. Postavljanje mjerne trake na stalak [22].

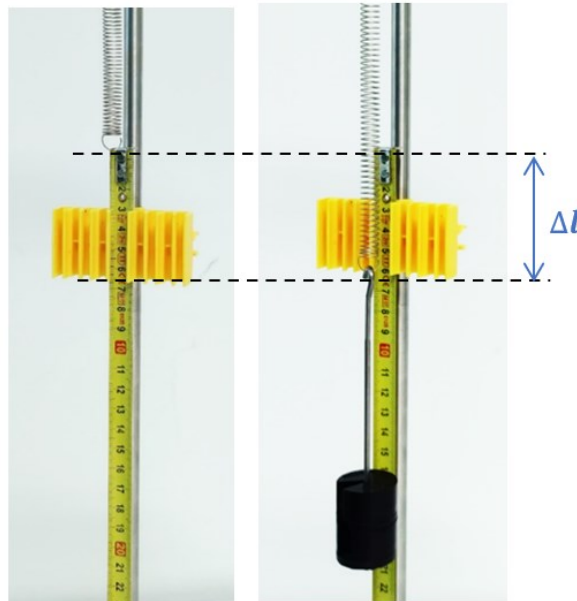
U stezaljku se postavi metalna šipka s rupicom na jednom kraju i zatim se pričvrsti na stalak, što je prikazano na Slici 32.

U stezaljku se postavi metalna šipka s rupicom na jednom kraju i zatim se pričvrsti na stalak, što je prikazano na Slici 32.



Slika 32. Postavljanje metalne šipke na stalak pomoću stezaljke [22]. Slika 33. Slaganje utega na držač za utege mase 10 g [22].

Zatim se ovjesi elastičnu oprugu u rupicu na metalnoj šipki i prilagodi metar tako da se kraj opruge podudara s nulom na mjernoj skali (Slika 34., lijevo). Na držač za utege mase 10 g prikazan na Slici 33. slažu se utezi koji se zatim ovjese na elastičnu oprugu. Za različite iznose mase utega  $m$  očitava se produljenje opruge  $\Delta l$  na mjernoj skali kao što je prikazano na Slici 34.



Slika 34. Produljenje elastične opruge.

Ako učenici/studenti ne trebaju ili ne mogu samostalno izvesti pokus može im se ponuditi sljedeći radni listić s uputama za izvođenje pokusa.

## Radni listić

Ovjesite elastičnu oprugu na stalak i prilagodite metar tako da se kraj opruge podudara s nulom na mjernoj skali. Na kraj opruge ovjesite uteg mase 20 g i na mjernoj skali metra očitajte produljenje opruge  $\Delta l$  i upišite u tablicu. Postupak nastavite postupno povećavajući masu za 20 g dodavanjem utega, tj. za različite iznose mase utega  $m$  očitajte produljenje opruge  $\Delta l$ . Sila koja uzrokuje produljenje jest težina utega, čiji se iznos računa po izrazu (6) i upisuje u Tablicu 4.

Tablica 4. Eksperimentalni rezultati laboratorijske vježbe Hookeov zakon.

$m/ \text{g}$	$G/\text{N}$	$\Delta l/\text{cm}$
0	0	0
20	0,2	1,0
40	0,4	2,0
60	0,6	3,0
80	0,8	4,0
100	1,0	5,0
120	1,2	6,0
140	1,4	7,0
160	1,6	8,0
180	1,8	9,0
200	2,0	10,0

## Objašnjavanje

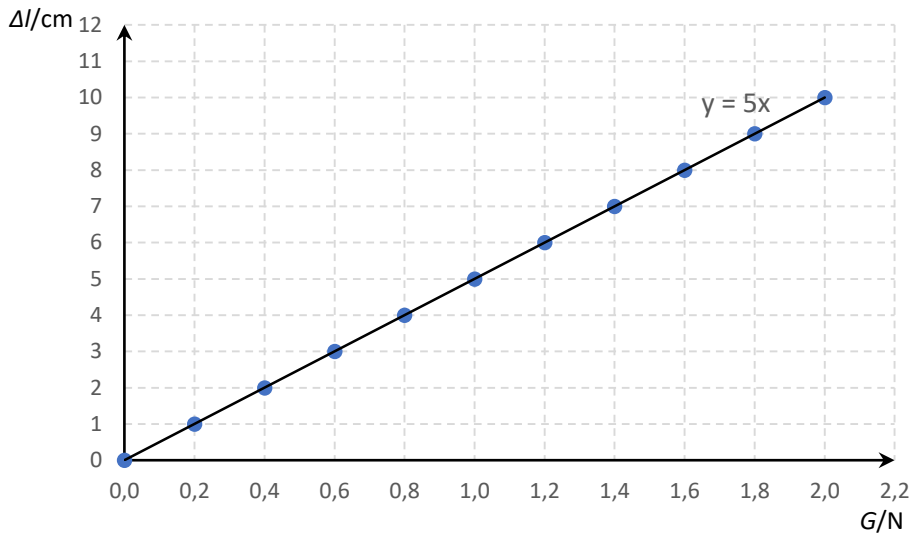
U nastavku su prikazani zadaci koji mogu navesti učenike/studente na zaključivanje o promatranom konceptu i njihova rješenja. Navedeni zadaci mogu se prilagoditi sposobnostima učenika/studenata.

Zadaci:

1. Izračunajte težinu kojom utezi djeluju na elastičnu oprugu pomoću formule  $G = m \cdot g$ , gdje je  $g \approx 10 \text{ N/kg}$ . Podatke unesite u tablicu.

Rješenje se nalazi u tablici.

2. Grafički prikažite ovisnost produljenja elastične opruge o težini. Što je grafički prikaz ovisnosti elastične opruge o težini?



Grafički prikaz ovisnosti produljenja elastične opruge  $\Delta l$  o težini  $G$  je pravac koji sadrži ishodište koordinatnog sustava.

3. Kakvu ovisnost uočavate? Zapišite je matematički.

Produljenje elastične opruge  $\Delta l$  razmjerno je težini  $G$ .

$$\Delta l \sim G$$

$$\Delta l = a \cdot G, a = \textit{konst.}$$

4. Odredite koeficijent smjera  $a$  pravca iz grafičkog prikaza ovisnosti produljenja elastične opruge  $\Delta l$  o težini  $G$ . Što predstavlja recipročna vrijednost koeficijenta smjera tog pravca  $\frac{1}{a}$ ?

$$a = 5 \frac{\text{cm}}{\text{N}}$$

Recipročna vrijednost koeficijenta smjera tog pravca naziva se konstanta elastičnosti opruge i označava se slovom  $k$ :  $k = \frac{1}{a} = \frac{F}{\Delta l}$ .

5. Koji zakon opisuje ovisnost produljenja elastične opruge i sile koja uzrokuje to produljenje? Opišite kako su povezane fizičke veličine koje se spominju u ovoj vježbi, težina utega, produljenje opruge i konstanta elastičnosti opruge.

Hookeov zakon. Produljenje opruge  $\Delta l$  razmjerno je sili  $F$  koja uzrokuje to produljenje s koeficijentom razmjernosti  $\frac{1}{k}$ , gdje je  $k$  konstanta elastičnosti opruge.

6. Izračunajte konstantu elastičnosti  $k$  opruge pomoću izraza iz 4. zadatka. Koja je mjerna jedinica konstante elastičnosti opruge  $k$  iz 4. zadatka?

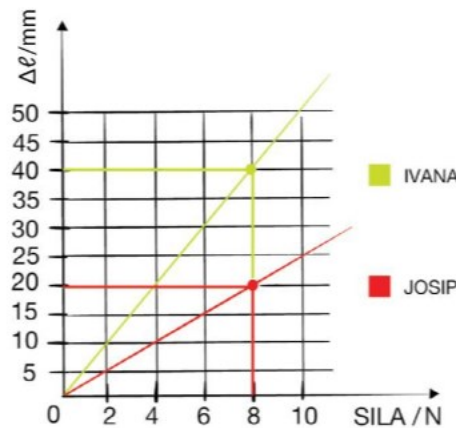
$$a = 5 \frac{\text{cm}}{\text{N}} \rightarrow k = \frac{1}{a} = \frac{1}{5 \frac{\text{cm}}{\text{N}}} = 0,2 \frac{\text{N}}{\text{cm}}$$

Mjerna jedinica konstante elastičnosti opruge  $k$  je N/cm.

## Razrada

Na temelju dobivenih eksperimentalnih rezultata učenici mogu riješiti sljedeći zadatak stavljen u kontekst svakodnevice.

1. Josip i Ivana dobili su dvije opruge za provjeravanje Hookeova zakona. Svatko na svojoj opruzi mjeri kako produljenje opruge ovisi o sili koja je isteže. Svoje su podatke pokazali grafički.



- a) Iz grafičkog prikaza očitajte vrijednost produljenja  $\Delta l$  za silu iznosa 8 N.

Ivana:  $\Delta l = 40 \text{ mm}$

Josip:  $\Delta l = 20 \text{ mm}$

- b) Izračunaj konstante elastičnosti  $k$  za obje opruge. Koja opruga ima veću konstantu elastičnosti opruge  $k$ ?

Dovoljno je odabrati po jednu točku za svaku oprugu koja pripada odgovarajućem pravcu na danom grafičkom prikazu. Prema Hookeovom zakonu:

$$\Delta l = \frac{1}{k} \cdot F \rightarrow k = \frac{F}{\Delta l}$$

Ivana:

$F=8 \text{ N}$

$\Delta l = 40 \text{ mm}$

$$k_1 = \frac{F}{\Delta l} = \frac{8 \text{ N}}{40 \text{ mm}} = 0,2 \text{ N/mm}$$

Josip:

$$F=8 \text{ N}$$

$$\Delta l = 20 \text{ mm}$$

$$k_2 = \frac{F}{\Delta l} = \frac{8 \text{ N}}{20 \text{ mm}} = 0,4 \text{ N/mm}$$

Josipova opruga ima veću konstantu elastičnosti nego Ivanina.

Napomena: Zadatak i slika su preuzeti iz radne bilježnice [20].

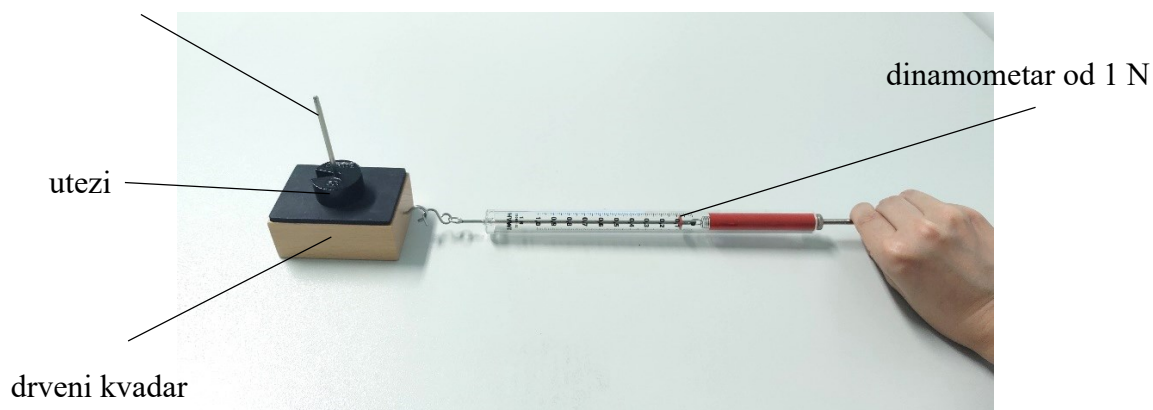
#### 4.4. Određivanje faktora trenja

Vježba se temelji na pokusu *Određivanje faktora trenja* [23] te je korišten pribor iz seta PHYWE Mehanika 1 [3] i Mehanika 2 [4] te upute za izvođenje pokusa dostupne uz vježbu. Usporedbom pokusa [23] i nastavnog kurikuluma iz Fizike [1] uočeno je da je ovaj pokus primjeren učenicima 7. razreda osnovne škole, u okviru istoimene nastavne jedinice *Sila trenja*.

##### Motivacija

Djelovanje sile trenja prisutno je posvuda u svakodnevnom životu. Bez djelovanja sile trenja držanje predmeta, pisanje po ploči, hodanje i primjerice vezanje vezica ne bi bilo moguće. Ponekad je to djelovanje poželjno, npr. pri hodanju, vožnji automobila, ali može biti i nepoželjno kao kod trošenja elemenata radnih strojeva, trošenja noževa i slično [10]. Trenje ovisi o nekoliko različitih čimbenika, kao što su pritisna sila i vrsta materijala u dodiru, odnosno o hrapavosti površine [6]. Ovim laboratorijskim pokusom učenici će istražiti ovisnost sile trenja o pritisnoj sili i eksperimentalno odrediti dinamički faktor trenja između drvenog kvadra i klupe.

metalna šipka za nizanje utega

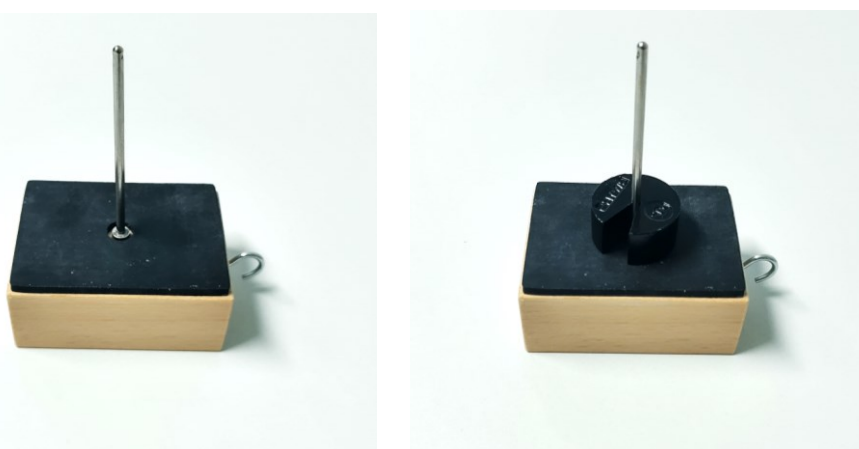


Slika 35. Eksperimentalni postav laboratorijske vježbe Određivanje dinamičkog faktora trenja.

### Istraživanje

Ukoliko je izvođenje pokusa predviđeno kao laboratorijski problem, učenici samostalno postavljaju postav pokusa. Ako je izvođenje pokusa predviđeno kao laboratorijska vježba, onda je učenicima potrebno dati sljedeće upute, odnosno, pripremiti laboratorijsku opremu prateći sljedeće upute.

Prema [23] u drveni kvadar potrebno je umetnuti metalnu šipku koja služi za dodavanje utega (Slika 36.).



Slika 36. Lijevo: drveni kvadar s metalnom šipkom.

Desno: Drveni kvadar s metalnom šipkom i utegom mase 50 g.

Drveni kvadar s metalnom šipkom postavi se na stranu najveće površine, tako da gumena strana kvadra bude okrenuta prema gore. Metalna šipka na vrhu ima rupicu koja služi za vješanje na



dinamometar. Naime, drveni kvadar s metalnom šipkom potrebno je ovjesiti na dinamometar i izmjeriti njihovu težinu  $G$  kao što je to prikazano na Slici 37.



Slika 37. Mjerenje težine drvenog kvadra s metalnom šipkom i utegom od 50 g.

Zatim se na kukicu kvadra zakači dinamometar od 1 N. Dinamometrom se primjenjujući stalnu vučnu silu povlači drveni kvadar po podlozi i očita se sila iznos sile trenja  $F_{tr}$ . Prema [17] mjerenje se ponovi tako da se na metalnu šipku dodaju utezi različitih masa (Slika 36.) i za svaku masu izmjeri se sila trenja.

#### Radni listić

Drveni kvadar s metalnom šipkom postavite na stranu najveće površine, tako da gumena strana kvadra bude okrenuta prema gore. Dinamometrom izmjerite težinu  $G$  drvenog kvadra s metalnom šipkom i upišite u Tablicu 5. Zatim na kukicu kvadra zakačite dinamometar od 1 N. Dinamometrom povlačite kvadar po vodoravnoj plohi stola primjenjujući stalnu vučnu silu i očitajte iznos sile trenja  $F_{tr}$  i upišite u Tablicu 5. Zatim na metalnu šipku kvadra postavite uteg mase 50 g, dinamometrom izmjerite težinu  $G$  opterećenog kvadra i upišite u Tablicu 5. Mjerenje ponovite za utege ukupnih masa 100 g i 150 g. Izmjerene podatke upišite u Tablicu 5.

Tablica 5. Eksperimentalni rezultati laboratorijske vježbe Određivanje faktora trenja.

$G/\text{N}$	$F_{tr}/\text{N}$	$\frac{F_{tr}}{G}$
0,94	0,16	0,1702
1,44	0,25	0,1736
1,94	0,32	0,1649
2,44	0,42	0,1721

### Objašnjavanje

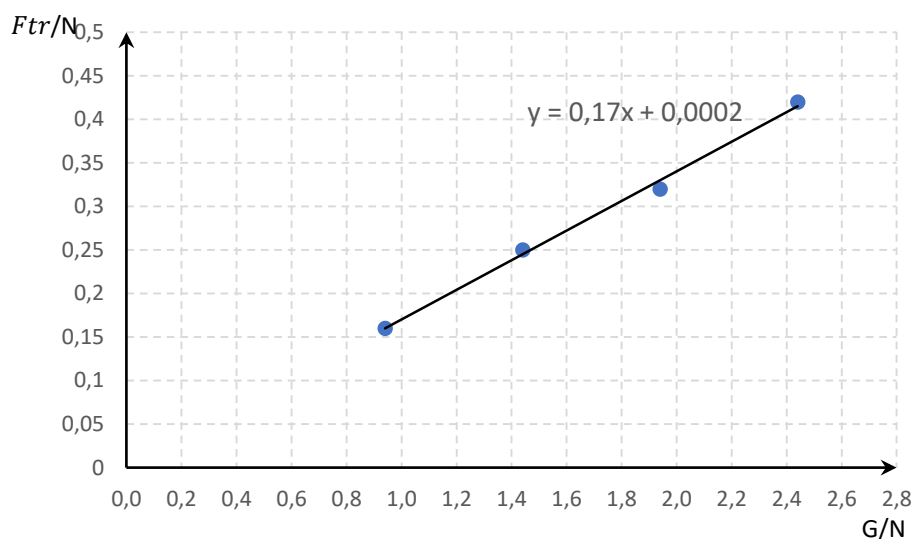
U nastavku su prikazani zadaci koji mogu navesti učenike/studente na zaključivanje o promatranom konceptu i njihova rješenja. Navedeni zadaci mogu se prilagoditi sposobnostima učenika/studentata.

Zadaci:

1. Za svako obavljeno mjerenje izračunajte količnik iznosa sile trenja  $F_{tr}$  i pripadne težine  $G$ . Što uočavate?

Rješenje se nalazi u tablici. Može se uočiti da je količnik iznosa sile trenja  $F_{tr}$  i pripadne težine  $G$  za svako mjerenje približno jednak.

2. Grafički prikaži ovisnost sile trenja  $F_{tr}$  o težini  $G$ . Što je grafički prikaz ovisnosti sile trenja o težini?



Grafički prikaz ovisnosti sile trenja  $F_{tr}$  o težini  $G$  je pravac.

3. Kakvu ovisnost uočavaš? Zapiši je matematički.

Sila trenja  $F_{tr}$  razmjerna je težini  $G$  uz koeficijent razmjernosti  $\mu$ ,  $\mu = konst.$

$$F_{tr} \sim G$$

$$F_{tr} = \mu \cdot G, \mu = konst.$$

4. Odredi koeficijent smjera pravca iz grafičkog prikaza u trećem zadatku. Koja je mjerna jedinica koeficijenta smjera pravca? Što on predstavlja?

$$\mu = 0,17$$

Koeficijent smjera pravca iz 3. zadatka predstavlja faktor trenja između drvenog kvadra i klupe. Faktor trenja nema mjernu jedinicu.

### Razrada

Na temelju dobivenih eksperimentalnih rezultata učenici mogu riješiti sljedeći zadatak stavljen u kontekst svakodnevice.

1. *Misteriozno kamenje*. U Nacionalnom parku Dolina smrti u Kaliforniji, uočen je neobičan fenomen migrirajućih kamenja različitih masa. Ova „utrka kamenja“ događa se na tlu jezera koje svake sezone presuši te oduvijek plijeni pažnju znanstvenika. Kamenje prelazi udaljenost čak i do 500 metara. Iako nikada nije snimljeno kako se kreće, iza sebe ostavlja tragove zbog kojih je vidljivo da su u pokretu. Kao jedan od mogućih uzroka migriranja i onih najmasivnijih kamenja navode se udari vjetra koji bi tijekom povremenih kišnih oluja vukli grubo kamenje po tlu omekšanom od kiše. Prema rezultatima mjerenja, koeficijent trenja između kamenja i mokrog tla iznosi oko 0,8. Izračunajte iznos horizontalne stalne sile kojom bi vjetar trebao djelovati na kamen od 20 kg kako bi on klizao jednoliko po mokrom tlu.



$$m = 20 \text{ kg}$$

$$\mu = 0,8$$

$$G = m \cdot g, g = 10 \text{ N/kg}$$

$$F_v = F_{tr} = \mu \cdot G = 0,8 \cdot 20 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 160 \text{ N}$$

Zadatak i slika preuzeti iz [6].

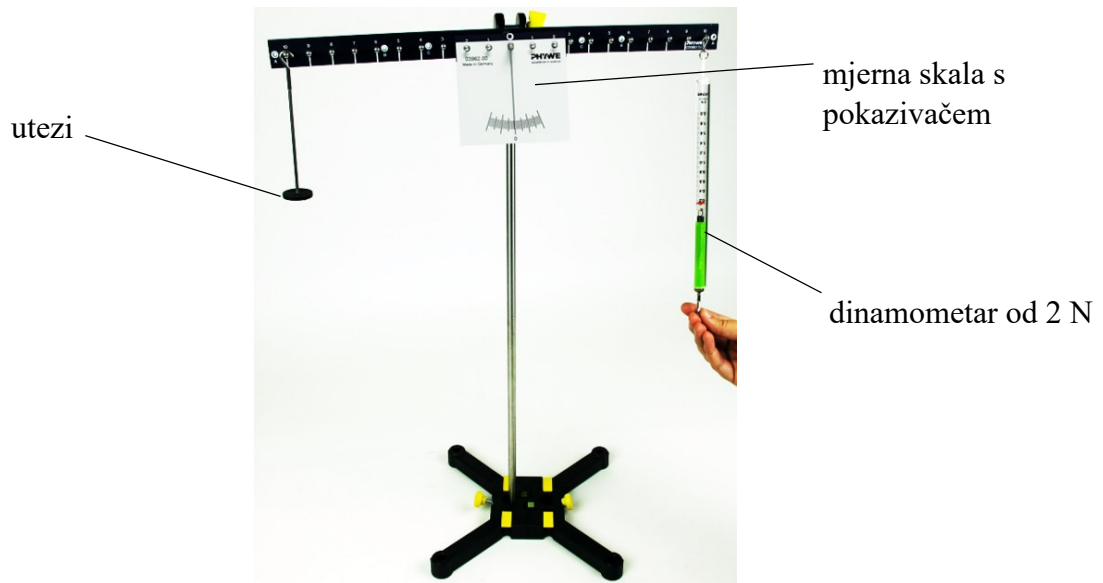
## 4.5. Zakon poluge

Vježba se temelji na pokusu *Dvostrana poluga* [24] te je korišten pribor iz seta PHYWE Mehanika 1 [1] i upute za izvođenje pokusa dostupne uz vježbu. Usporedbom pokusa [24] i nastavnog kurikulumu iz Fizike [1] uočeno je da je ovaj pokus primjeren učenicima 7. razreda osnovne škole, u okviru nastavne jedinice *Dvostrana poluga*. Istraživanje zakona dvostrane poluge pojavljuje se u sva tri analizirana udžbenika [7,10,11]. Za razliku od vježbe [24], u ovoj je vježbi korišten i dio pribora iz vježbe *Mjerenje mase čvrstih tijela* [25] potreban za očitavanje ravnotežnog položaja poluge. Naime, u uputama koje su dostupne uz vježbu nije navedeno kako učenici određuju kada je poluga u ravnotežnom položaju te je iz tog razloga u postav pokusa dodana mjerna skala i pokazivač kojim se očitava odklon od ravnotežnog položaja. Prema [24] ova vježba se može prilagoditi tako da se istražuje ravnoteža jednostrane poluge.

### Motivacija

Većina učenika su se tijekom odrastanja klackala na školskom ili dječjem igralištu. Dječja klackalica je daska koja ima oslonac oko kojega se može zakretati. Klackalica je primjer jednostavne dvostrane poluge. Tisućama se godina ljudi koriste polugom da bi sebi olakšali svakodnevni život. Arhimedu iz Sirakuze (287. – 212. pr. Krista) prema legendi pripisuju se riječi: „Kada bih imao čvrst oslonac u svemiru i dovoljno dugačku motku, pomaknuo bih Zemlju.” [26]. Osim klackalice, učenici i ljudi oko njih se u svakodnevnom životu, možda nesvjesno, često koriste raznim alatima koji rade na načelu poluge: škare, građevinska poluga, veslanje, dizalica pa čak i ljudska ruka [6, 7]. Na primjeru klackalice, učenicima je iskustveno poznato da ukoliko nasuprot njih na jednakoj udaljenosti od oslonca sjedi osoba veće mase, klackalica preteže na tu stranu. Postavlja se pitanje, može li se u tom slučaju, i kako, klackalica dovesti u stanje ravnoteže.

Ovim će laboratorijskim pokusom učenici istražiti uvjet ravnoteže dvostrane poluge poznat kao zakon poluge. Zakon poluge kaže da je dvostrana poluga u ravnoteži kada su umnošci iznosa sila i pripadajućih krakova s obje strane poluge jednaki.

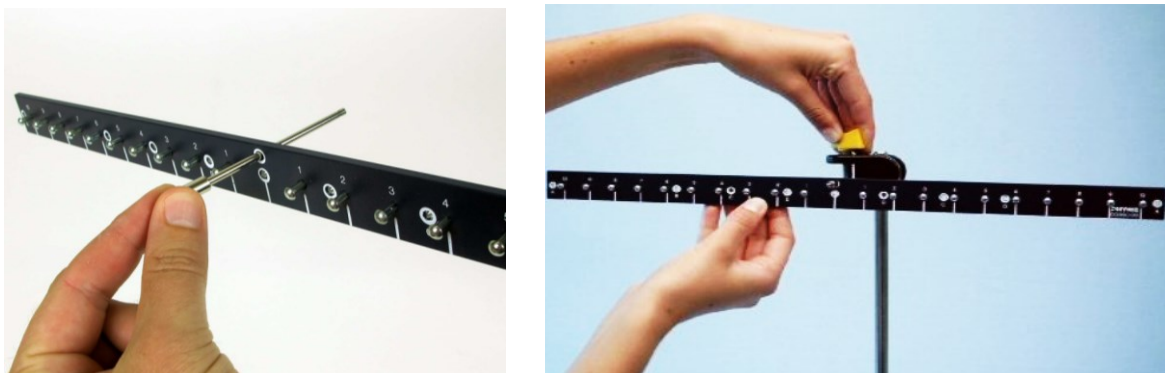


Slika 38. Eksperimentalni postav laboratorijske vježbe Dvostrana poluga.

## Istraživanje

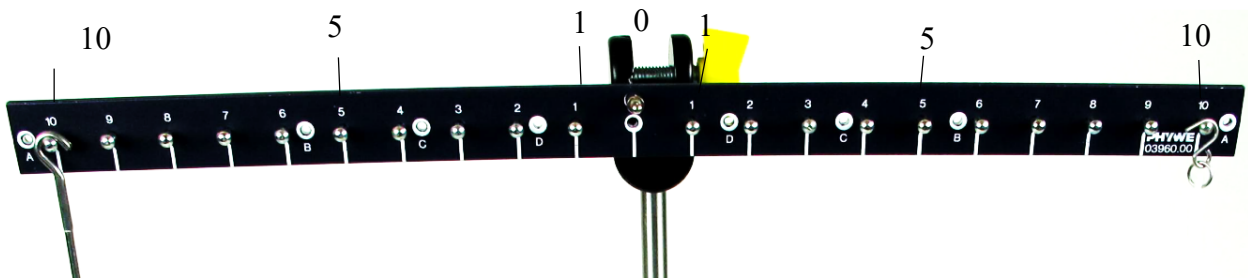
Ukoliko je izvođenje pokusa predviđeno kao laboratorijski problem, učenici samostalno postavljaju postav pokusa. Ako je izvođenje pokusa predviđeno kao laboratorijska vježba, onda je učenicima potrebno dati sljedeće upute, odnosno, pripremiti laboratorijsku opremu prateći sljedeće upute.

Postolje stalka sastavlja se spajanjem dvaju dijelova koji su prikazani na Slici 24. Od dvaju potpornih metalnih šipki sastavi se metalna šipka ukupne duljine 60 cm (Slika 25.). Dobivena šipka postavi se u otvor na postolju stalka i po potrebi stegne pomoćnim vijcima kako bi stajala vertikalno u odnosu na tlo (Slika 26.). Zatim se pomoću stezaljke i metalne šipke pričvrsti poluga tako da metalna šipka prolazi središtem poluge kao na Slici 39.



Slika 39. Postavljanje poluge na stalak [26].

Poluga sa svake strane oslonca ima deset kukica za vješanje utega ili dinamometra, označene brojevima od 1 do 10. (Slika 40.). Pritom, brojem 10 je označena kukica najudaljenija od oslonca. Udaljenost svake dvije kukice iznosi 2 cm.



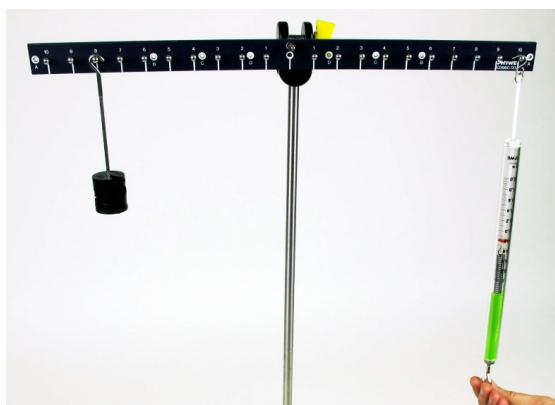
Slika 40. Oznake kukica s obje strane dvostrane poluge.

Radi lakšeg određivanja ravnoteže poluge, u postav pokusa dodane su metalna igla i pripadna skala na kojoj se očitava otklon od ravnotežnog položaja (Slika 41.). Pripadnu mjernu skalu i iglu potrebno je ovjesiti na polugu, tako da metalna igla bude u središtu poluge, tj ispod oznake 0. Poluga je u ravnoteži kada se igla podudara s nulom na mjernoj skali.



Slika 41. Postavljanje igle i mjerne skale za određivanje ravnoteže poluge.

Dinamometar od 2 N preokrene se tako da bude usmjeren vertikalno u odnosu na podlogu i zakrećući vijak dinamometra podese se tako da prikazuje nulu na mjernoj skali (Slika 22.). Na držač za utege mase 10 g dodaju se utezi sve dok ukupna masa ne iznosi 100 g. Držač s utezima ukupne mase 100 g ovjesi se na sami lijevi kraj poluge, neposredno ispod oznake 10. Dinamometrom se zakači drugi kraj poluge, također ispod oznake 10 i povlači sve dok poluga ne bude u ravnoteži. Očita se iznos sile  $F_2$  na dinamometru, odredi udaljenost  $l_1$  hvatišta sile kojom utezi djeluju na lijevi krak poluge od oslonca poluge te udaljenost  $l_2$  točke u kojoj je zakačen dinamometar. Mjerenje se ponavlja pomičući uteg s lijeve strane redom na točke s oznakama 8, 6, 4 i konačno 2, dok dinamometar ostaje s desne strane na poziciji 10 (Slika 42.).



Slika 42. Položaj utega na poziciji 8 s lijeve strane oslonca [26].

Ako učenici/studenti ne trebaju ili ne mogu samostalno izvesti pokus može im se ponuditi sljedeći radni listić s uputama za izvođenje pokusa.

#### Radni listić

Držač s utezima ukupne mase 100 g ovjesite na lijevi kraj poluge, na udaljenost  $l_1 = 20$  cm od oslonca poluge. Pri mjerenju udaljenosti od oslonca možete koristiti metar. Sila  $F_1$  kojom uteg djeluje na lijevi krak poluge jest njegova težina. Dinamometrom zakačite drugi kraj poluge, također na udaljenost  $l_2 = 20$  cm od oslonca i povlačite ga vertikalno prema dolje sve dok poluga ne bude u ravnoteži. Poluga je u ravnoteži kada igla prikazuje nulu. Na dinamometru očitajte iznos sile  $F_2$  koja uravnotežuje polugu i upišite u Tablicu 6. Mjerenje ponovite pomičući uteg s lijeve strane redom na udaljenosti 16 cm, 12 cm, 8 cm i 4 cm od oslonca, dok dinamometar ostaje s desne strane na udaljenosti 20 cm.

Tablica 6. Eksperimentalni rezultati laboratorijske vježbe Dvostrana poluga.

Lijeva strana poluge			Desna strana poluge		
$F_1/\text{N}$	$l_1/\text{cm}$	$F_1 \cdot l_1/\text{Ncm}$	$F_2/\text{N}$	$l_2/\text{cm}$	$F_2 \cdot l_2/\text{Ncm}$
1,0	20	20	1,0	20	20
1,0	16	16	0,8	20	16
1,0	12	12	0,6	20	12
1,0	8	8	0,4	20	8
1,0	4	4	0,2	20	4

## Objašnjavanje

U nastavku su prikazani zadaci koji mogu navesti učenike/studente na zaključivanje o promatranom konceptu i njihova rješenja. Navedeni zadaci mogu se prilagoditi sposobnostima učenika/studenata.

Zadaci:

1. Kojom silom djeluje uteg na lijevi krak poluge? Kojom vi silom djelujete povlačeći desni krak poluge?

Utezi djeluju težinom na lijevi krak poluge, a mi djelujemo vučnom silom na desni krak poluge.

2. Izračunajte iznos sile  $F_1$  kojom utezi ukupne mase 100 g djeluju na lijevi krak poluge pomoću formule  $F_1 = m \cdot g$ , gdje je  $g \approx 10 \text{ N/kg}$ . Podatke unesite u tablicu.

Rješenje se nalazi u tablici.

3. Izračunajte umnožak iznosa sile  $F_1$  i udaljenosti  $l_1$  od oslonca s lijeve strane poluge za svako obavljeno mjerenje. Podatke unesite u tablicu.

Rješenje se nalazi u tablici.

4. Izračunajte umnožak iznosa sile  $F_2$  i udaljenosti  $l_2$  od oslonca s lijeve strane poluge za svako obavljeno mjerenje. Podatke unesite u tablicu.

Rješenje se nalazi u tablici.

5. Usporedi umnoške sila i pripadajućih krakova s obiju strana poluge za svako obavljeno mjerenje. Rezultate unesi u tablicu. Što uočavaš, kada je poluga u ravnoteži?

Rješenje se nalazi u tablici.

Može se uočiti da je poluga u ravnoteži kada su umnošci sila i pripadajućih krakova s obiju strana poluge jednaki za pojedino obavljeno mjerenje.

6. Koji zakon opisuje uvjet ravnoteže poluge? Zapiši ga matematički.

Zakon poluge.

$F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2$ , gdje su  $F_1, F_2$  iznosi sila, a  $l_1, l_2$  krakovi sila.

7. Ako je sila  $F_1$  četiri puta veća od sile  $F_2$ , u kakvom odnosu moraju biti krakovi  $l_1$  i  $l_2$  da bi poluga bila u ravnoteži?

$$F_1 = 4F_2$$

Zakon poluge:  $F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2$

$$4F_2 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2 \rightarrow l_2 = 4l_1$$

Krak  $l_2$  treba biti četiri puta veći od kraka  $l_1$ .



## Razrada

Na temelju dobivenih eksperimentalnih rezultata učenici mogu riješiti sljedeći zadatak stavljen u kontekst svakodnevice.

1. Elizabeta i Filip klackaju se u dječjem parku. Elizabeta ima triput veću masu od Filipa. Na koju će udaljenost od oslonca klackalice sjesti Filip ako Elizabeta sjedi udaljena 1,5 m od oslonca.

$m_1 \rightarrow$  Elizabetina masa

$m_2 \rightarrow$  Filipova masa

$m_1 = 3 m_2$

$l_1 = 1,5 \text{ m}$

Dvostrana poluga je u ravnoteži kada je umnožak iznosa sile  $F_1$  i kraka te sile  $l_1$  na jednoj strani oslonca jednak umnošku iznosa sile  $F_2$  i kraka sile  $l_2$  na drugoj strani poluge:

$$l_1 \cdot F_1 = l_2 \cdot F_2.$$

Sile kojima Elizabeta i Filip djeluju na krakove poluge su njihove težine pa vrijedi:

$$F_1 = m_1 \cdot g = 3 m_2 \cdot g = 3F_2.$$

$$l_1 \cdot F_1 = l_2 \cdot F_2 \rightarrow l_2 = \frac{l_1 \cdot F_1}{F_2} = \frac{1,5 \text{ m} \cdot 3F_2}{F_2} = 4,5 \text{ m}$$

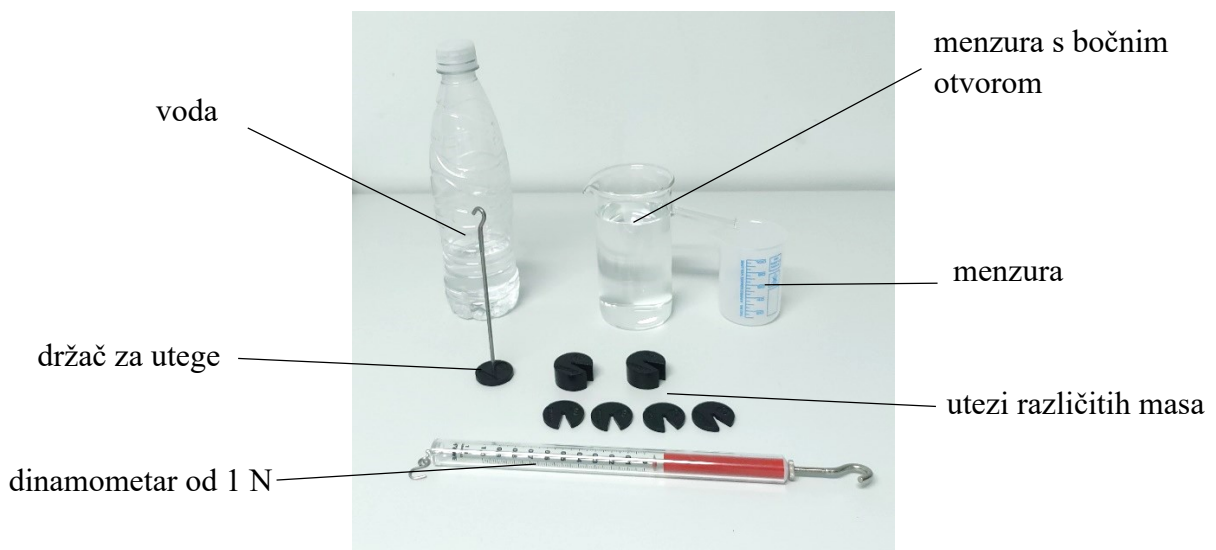
## 4.6. Arhimedovo načelo

Vježba se temelji na pokusu *Arhimedovo načelo* [28] te je korišten pribor iz seta PHYWE Mehanika 1 [3] i Mehanika 2 [4] te upute za izvođenje pokusa dostupne uz vježbu [17]. Usporedbom pokusa [28] i nastavnog kurikulumuma iz Fizike [1] uočeno je da je ovaj pokus primjeren učenicima 7. razreda osnovne škole, u okviru istoimene nastavne jedinice *Arhimedovo načelo*. Od korištenih udžbenika za sedmi razred osnovne škole, ova vježba se jedino pojavljuje u udžbeniku *Otkrivamo fiziku 7* [7], u nastavnoj jedinici *Sila teža i težina*.

## Motivacija

Učenici se u svakodnevnom životu često susreću s djelovanjem sile uzgona. Učenicima je iskustveno poznato da ukoliko plivaju u moru, osjećaju kako ih voda potiskuje uvis. Također, za podizanje kamena u vodi potrebno je primijeniti silu manjeg iznosa u odnosu na silu potrebnu za podizanje kamena izvan vode. Odgovor se krije u tzv. Arhimedovom načelu. Učenici sedmog

razreda kao dodatni sadržaj obrađuju pojam sile uzgona i Arhimedovo načelo. Pritom, pojam sile uzgona opisuju samo u tekućini te je stoga važno učenicima napomenuti da uzgon postoji i u zraku, tj. u plinovima. Motivacija za temu uzgona može biti pitanje zašto veliki teretni brod koji je napravljen od željeza ne potone nego pluta na moru. Crtanjem vektora sila koje djeluju na tijelo u tekućini, učenici mogu doći do zaključka da osim sile teže koja djeluje prema dolje, mora postojati neka sila suprotne orijentacije od sile teže koja održava brod na površini vode. Na taj način učenici dolaze do zaključka o postojanju sile uzgona koja djeluje na tijelo vertikalno prema gore.



Slika 43. Eksperimentalni postav laboratorijske vježbe Arhimedovo načelo.

### Istraživanje

Dinamometrom se izmjeri težina  $G_Z$  u zraku držača s utezima ukupne mase 50 g, 100 g i 150 g. Zatim se velika menzura s bočnim otvorom napuni vodom do visine na kojoj se nalazi otvor, ali tako da se voda ne prelijeva. Mala menzura se postavi neposredno ispod bočnog otvora velike menzure. Zatim se dinamometrom potpuno uroni uteg mase 50 g i očita težina  $G_V$  utega u vodi (Slika 44).



Slika 44. Mjerenje težine utega u vodi.

Pritom se određena količina vode prelila iz velike menzure u malu. Na maloj se menzuri očita volumen  $V_t$  istisnute tekućine (vode). Prije ponovnog izvođenja mjerenja za uteg mase 100 g, potrebno je u potpunosti osušiti malu menzuru, a veliku ponovo napuniti vodom do visine na kojoj se nalazi otvor i to tako da se voda ne prelijeva. Mjerenje se ponovi i za uteg mase 150 g. Ako učenici/studenti ne trebaju ili ne mogu samostalno izvesti pokus može im se ponuditi sljedeći radni listić s uputama za izvođenje pokusa.

#### Radni listić

Veliku menzuru s bočnim otvorom napunite vodom do visine na kojoj se nalazi otvor, ali tako da se voda ne prelijeva. Malu menzuru postavite neposredno ispod bočnog otvora velike menzure. Dinamometrom potpuno uronite uteg mase 50 g i očitajte težinu  $G_V$  utega u vodi. Uočite da se određena količina vode prelila iz velike menzure u malu. Na maloj menzuri očitajte volumen  $V_t$  istisnute tekućine (vode) i podatke upišite u tablicu. Prije ponovnog izvođenja mjerenja za uteg mase 100 g, potpuno osušite malu menzuru, a veliku napunite vodom do visine na kojoj se nalazi otvor i to tako da se voda ne prelijeva. Ponovite mjerenje i za uteg mase 150 g. Izmjerene podatke zapišite u tablicu.

Tablica 7. Eksperimentalni rezultati laboratorijske vježbe Arhimedovo načelo.

m/kg	$G_Z/N$	$G_V/N$	$F_u/N$	$V_{tek}/cm^3$	$m_{tek}$	$G_{tek}$
0,05	0,5	0,40	0,10	10	0,010	0,10
0,10	1,0	0,80	0,20	20	0,020	0,20
0,15	1,5	1,20	0,30	30	0,030	0,30

## Objašnjavanje

U nastavku su prikazani zadaci koji mogu navesti učenike na zaključivanje o promatranom konceptu i njihova rješenja. Navedeni zadaci mogu se prilagoditi sposobnostima učenika/studenata.

1. Usporedite težinu utega izmjerenu u zraku  $G_Z$  i težinu utega uronjenog u vodu  $G_V$ . Što uočavate?

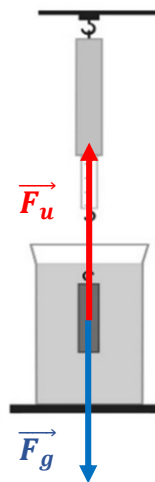
Težina utega uronjenog u vodu manjeg je iznosa nego težina utega u zraku za sva tri obavljena mjerenja.

2. Zašto je težina utega uronjenog u vodu manja od težine utega u zraku? Kojom silom voda djeluje na uronjeni uteg?

Pri uranjanju utega u vodu na uteg djeluje sila suprotnog smjera od težine, a naziva se sila uzgona.

3. Koje sile djeluju na uteg uronjen u vodi? Ukoliko uteg miruje, u kakvom su one međusobnom odnosu? Skiciraj dijagram sila koje djeluju na uteg uronjen u vodu.

Budući da uteg miruje u vodi, rezultatna sila na uteg jednaka je nuli. Na uteg djeluje sila teža vertikalno prema središtu Zemlje i sila uzgona istog smjera, ali suprotne orijentacije od sile teže. Iznos sile teže u ovom je slučaju jednak iznosu sile uzgona.



4. Izračunaj iznos sile uzgona na uronjeni uteg za sva tri mjerenja i podatke upiši u tablicu. Rješenje se nalazi u tablici.

5. Izračunaj masu istisnute tekućine za sva tri obavljena mjerenja, koristeći izraz za gustoću  $\rho_{tek} = \frac{m_{tek}}{V_{tek}}$ , gdje je  $m_t$  masa, a  $V_{tek}$  volumen istisnute tekućine. Gustoća vode iznosi  $1 \text{ g/cm}^3$ . Masu istisnute vode iskaži u kilogramima.

Rješenje se nalazi u tablici.

6. Izračunaj težinu istisnute tekućine koristeći izraz  $G_{tek} = g \cdot m_{tek}$ , gdje je  $m_{tek}$  masa istisnute tekućine, a  $g$  je ubrzanje slobodnog pada i iznosi 10 N/kg.

Rješenje se nalazi u tablici.

7. Usporedi iznose sile izгона i težinu istisnute tekućine za svako pojedino mjerenje. Što uočavaš? Zapiši zaključak matematički.

Težina istisnute tekućine jednaka je iznosu sile uzгона za svako pojedino mjerenje.

Sila uzгона jednaka je težini tekućine što ju istisne uteg, tj:

$$F_u = m_t \cdot g$$

8. Tko je otkrio zakonitost iz 6. zadatka? Kako se ona naziva.

Tu zakonitost otkrio je Arhimed pa je po njemu nazvana Arhimedovo načelo.

## Razrada

Na temelju dobivenih eksperimentalnih rezultata učenici mogu riješiti sljedeći zadatak stavljen u kontekst svakodnevice.

1. Utég mase 100 g ovjesimo na dinamometar i uronimo u vodu. Dinamometar pokazuje da je težina utega u vodi 0,75 N. Izračunajte silu uzгона koja djeluje na uteg.

$$m = 100 \text{ g}$$

$$G_v = 0,75 \text{ N}$$

$$G_z = 1 \text{ N}$$

$$F_u = G_z - G_v = 1 \text{ N} - 0,75 \text{ N} = 0,25 \text{ N}$$

2. Dominik s lakoćom podigne Anu u moru. Koliko prividno iznosi Anina težina ako na nju djeluje sila uzгона iznosa 150 N, a njezina masa je 70 kg.

$$m = 70 \text{ kg}$$

$$G_z = m \cdot g = 70 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 700 \text{ N}$$

$$F_u = 150 \text{ N}$$

$$G_{prividna} = G_z - F_u = 700 \text{ N} - 150 \text{ N} = 550 \text{ N}.$$

## ZAKLJUČAK

U počecima učenja fizike u sedmom razredu osnovne škole naglasak bi trebao biti na stjecanju vještina istraživanja pojava i rješavanja problema jer će tim vještinama učenici zapravo učiti i usvajati znanja iz fizike. Kako je tradicionalan oblik nastave Fizike uglavnom pogodan za prenošenje informacija, ali ne i za razvijanje učeničkog razumijevanja složenih koncepata ili sposobnosti znanstvenog zaključivanja, preporuka je da nastava Fizike bude istraživačka. Upravo iz tog razloga, u ovom je radu metodički oblikovano šest pokusa iz područja mehanike iz sedmog razreda osnovne škole, a koji mogu poslužiti nastavnicima Fizike u uvođenju ili poboljšanju istraživačke nastave Fizike. U ovom radu su uključene prve četiri faze. Odabrane su vježbe koje spadaju u mehaniku, a obuhvaćaju pojmove: sila, elastična sila, težina, sila trenja, sila uzgona i zakon poluge. Osmišljene laboratorijske vježbe uglavnom se izvode u redovnoj nastavi Fizike te se pomoću njih formiraju zakoni, koncepti i veze među fizičkim veličinama. Vježbe su oblikovane koristeći model u istraživačkoj nastavi koji se naziva 5 E, a koji obuhvaća faze motivacije, istraživanja, objašnjavanja, razrade i evaluacije. Također, sve su vježbe metodički oblikovane u skladu s nastavnim kurikulumom Fizike i udžbenicima za sedmi razred osnovne škole. Za izvođenje pokusa korišten je pribor iz paketa PHYWE Mehanika 1 i 2. Primjeri ovako metodički oblikovanih laboratorijskih vježbi mogu poslužiti srednjoškolskim nastavnicima kao i sveučilišnim nastavnicima uvodnih kolegija fizike i fizičkih praktikuma.

## LITERATURA

- [1] Ministarstvo znanosti i obrazovanja RH, Odluka o donošenju kurikuluma za nastavni predmet Fizike za osnovne škole i gimnazije u Republici Hrvatskoj (2019), Narodne novine, dostupno na: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019\\_01\\_10\\_210.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019_01_10_210.html)
- [2] M. Mirosav, Istraživačka nastava fizike - Metodičko oblikovanje odabranih laboratorijskih vježbi iz mehanike, Završni rad, Fakultet za fiziku, Sveučilište u Rijeci, Rijeka, 2019., URL: <urn:nbn:hr:194:857716>
- [3] PHYWE, Student set Mechanics 1, TESS advanced Physics, URL: [https://www.phywe.com/experiments-sets/student-experiment-sets-tess/student-set-mechanics-1-tess-advanced-physics\\_11519\\_12552/](https://www.phywe.com/experiments-sets/student-experiment-sets-tess/student-set-mechanics-1-tess-advanced-physics_11519_12552/) (Datum pristupa: 20.9.2023.)
- [4] PHYWE, Student set Mechanics 2, TESS advanced Physics, URL: [https://www.phywe.com/experiments-sets/student-experiment-sets-tess/student-set-mechanics-2-tess-advanced-physics\\_2234\\_3165/](https://www.phywe.com/experiments-sets/student-experiment-sets-tess/student-set-mechanics-2-tess-advanced-physics_2234_3165/) (Datum pristupa: 20.9.2023.)
- [5] V. Mešić, Uvod u didaktiku fizike, Coron's d.o.o., Sarajevo, 2015.
- [6] D. Halliday, R. Resnik, Fundamentals of Physics, John Wiley & Sons, Inc, USA, 2013.
- [7] S. Prelovšek Peroš, B. Milotić, I. Aviani, Otkrivamo fiziku 7, udžbenik fizike u sedmom razredu osnovne škole, drugo izdanje, Školska knjiga, Zagreb, 2020.
- [8] Struna, Hrvatsko strukovno nazivlje, Definicija vektora, URL: <http://struna.ihjj.hr/naziv/vektor/32706/> (Datum pristupa: 9.9.2023.)
- [9] Vektori, Matematika 8, Edutorij- digitalni obrazovni sadržaji, URL: [https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/d2d61772-7e7a-4f5b-98f9-6bbb5d5d13ca/html/4870\\_Vektori.html](https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/d2d61772-7e7a-4f5b-98f9-6bbb5d5d13ca/html/4870_Vektori.html) (Datum pristupa: 9.9.2023.)
- [10] M. Dropuljić, S. Ivković, T. Paris, I. Petričević, S. Tuhtan, D. Takač, I. Zakanji, Fizika 7, udžbenik za istraživačku nastavu Fizike u sedmom razredu osnovne škole, Profil Klett, 1. izdanje, Zagreb, 2019.
- [11] V. Paar, S. Martinko, T. Čulibrk, Fizika oko nas, udžbenik fizike u sedmom razredu osnovne škole, 2. izdanje, Školska knjiga, Zagreb, 2020.
- [12] V. Lopac, Težina i sila teža- teškoće sa značenjima definicijama, članak, URL: <https://hrcak.srce.hr/file/152529> (Datum pristupa: 8.9.2023.)

- [13] Težina, Wikipedija, URL: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Te%C5%BEina> (Datum pristupa: 25.8.2023.)
- [14] Sila teža i težina, Fizika 7, Edutorij- digitalni obrazovni sadržaji, URL: [https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/9fa73ce9-74d3-4c51-9a14-c976650188a6/html/25086\\_Sila\\_teza\\_i\\_tezina\\_tijela.html](https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/9fa73ce9-74d3-4c51-9a14-c976650188a6/html/25086_Sila_teza_i_tezina_tijela.html) (Datum pristupa: 20.8.2023.)
- [15] A. Dulčić, Mehanika, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno matematički fakultet, Fizički odsjek, Zagreb, 2012.
- [16] Poluga, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, URL: <https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=49280> (Datum pristupa 20.8.2023.)
- [17] A. Zelić, Analiza teme uzgona u osnovnoškolskoj i srednjoškolskoj nastavi fizike, Diplomski rad, Odjel za fiziku, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Splitu, 2021., URL: <urn:nbn:hr:166:271713>
- [18] Uzgon, Fizika 7, Edutorij- digitalni obrazovni sadržaji, URL: [https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/9fa73ce9-74d3-4c51-9a14-c976650188a6/html/25105\\_Dodatni\\_sadrzaj\\_Uzgon.html](https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/9fa73ce9-74d3-4c51-9a14-c976650188a6/html/25105_Dodatni_sadrzaj_Uzgon.html) (Datum pristupa: 2.9.2023.)
- [19] PHYWE, Force aligned in the same and opposite direction, upute za izvođenje vježbe, URL: [https://www.phywe.com/experiments-sets/student-experiments/force-aligned-in-the-same-and-opposite-direction\\_8986/](https://www.phywe.com/experiments-sets/student-experiments/force-aligned-in-the-same-and-opposite-direction_8986/) (Datum pristupa: 15.7.2023.)
- [20] V. Paar, S. Martinko, T. Čulibrk, M. Klaić, Fizika oko nas, radna bilježnica za fiziku u sedmom razredu osnovne škole, 3. izdanje, Školska knjiga, Zagreb, 2021.
- [21] PHYWE, Weight, upute za izvođenje vježbe, URL: [https://www.phywe.com/experiments-sets/student-experiments/weight\\_9682/](https://www.phywe.com/experiments-sets/student-experiments/weight_9682/) (Datum pristupa: 15.7.2023.)
- [22] PHYWE, Hooke's law, upute za izvođenje vježbe, URL: [https://www.phywe.com/experiments-sets/student-experiments/hooke-s-law\\_9044/](https://www.phywe.com/experiments-sets/student-experiments/hooke-s-law_9044/) (Datum pristupa: 20.9.2023.)
- [23] PHYWE, Coefficient of friction, upute za izvođenje vježbe, URL: [https://www.phywe.com/experiments-sets/student-experiments/coefficient-of-friction\\_9684/](https://www.phywe.com/experiments-sets/student-experiments/coefficient-of-friction_9684/) (Datum pristupa: 18.7.2023.)



- [24] PHYWE, Double-sided lever, upute za izvođenje vježbe, URL: [https://www.phywe.com/experiments-sets/student-experiments/double-sided-lever\\_10008/](https://www.phywe.com/experiments-sets/student-experiments/double-sided-lever_10008/) (Datum pristupa: 23.7.2023.)
- [25] PHYWE, Determination of the mass of solid and liquid bodies, upute za izvođenje vježbe, URL: [https://www.phywe.com/experiments-sets/student-experiments/determination-of-the-mass-of-solid-and-liquid-bodies\\_10003\\_10934/](https://www.phywe.com/experiments-sets/student-experiments/determination-of-the-mass-of-solid-and-liquid-bodies_10003_10934/) (Datum pristupa: 9.9.2023.)
- [26] Poluga, Fizika 7, Edutorij- digitalni obrazovni sadržaji, URL: [https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/9fa73ce9-74d3-4c51-9a14-c976650188a6/html/25095\\_Poluga.html](https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/9fa73ce9-74d3-4c51-9a14-c976650188a6/html/25095_Poluga.html) (Datum pristupa: 9.9.2023.)
- [27] PHYWE, Force reduction with a two-sided lever, upute za izvođenje vježbe, URL: [https://www.phywe.com/experiments-sets/experiments-for-beginners/force-reduction-with-a-two-sided-lever\\_11049\\_12082/](https://www.phywe.com/experiments-sets/experiments-for-beginners/force-reduction-with-a-two-sided-lever_11049_12082/) (Datum pristupa: 9.9.2023.)
- [28] PHYWE, Archimedes' principle, upute za izvođenje vježbe, URL: [https://www.phywe.com/experiments-sets/student-experiments/archimedes-principle\\_9051/](https://www.phywe.com/experiments-sets/student-experiments/archimedes-principle_9051/) (Datum pristupa: 9.9.2023.)

## POPIS SLIKA

Slika 1. Grafički prikaz djelovanja sile $F$ na tijelo [11].	7
Slika 2. Grafičko i računsko određivanje rezultante dviju sila jednakog smjera i orijentacije [10].	7
Slika 3. Grafičko i računsko određivanje rezultante dviju sila jednakog smjera i suprotne orijentacije [10].	8
Slika 4. Iznos ubrzanja sile teže na ekvatoru, polovima i području Hrvatske [14].	9
Slika 5. Hvatište težine i sile teže [7].	10
Slika 6. Produljenje elastične opruge.	11
Slika 7. Grafički prikaz ovisnosti produljenja opruge $\Delta l$ o sili $F$ .	12
Slika 8. Djelovanje sile trenja.	14
Slika 9. Dvostrana poluga.	15
Slika 10. Djelovanje pritisne sile na tijelo uronjeno u tekućinu.	17
Slika 11. Djelovanje sile uzgona na tijelo uronjeno u tekućinu.	18
Slika 12. Eksperimentalni postav laboratorijske vježbe Slaganje sila jednakog smjera i orijentacije.	21
Slika 13. Sastavljanje postolja stalka pomoću metalne šipke [19].	22
Slika 14. Sastavljanje metalne šipke [19].	22
Slika 15. Postavljanje hvataljke za dinamometar na stalak [19].	22
Slika 16. Postavljanje metalne šipke u postolje stalka [19].	22
Slika 17. Postavljanje dinamometara na stalak i njihov međusobni položaj [19].	22
Slika 18. Konopci s formiranim petljama [19].	23
Slika 19. Slaganje utega na držač za utege [19].	23
Slika 20. Mijenjanje međusobnog položaja dinamometara [19].	24
Slika 21. Eksperimentalni postav laboratorijske vježbe Slaganje sila istog smjera i suprotne orijentacije.	26
Slika 22. Podešavanje mjerne skale na nulu preokrenutog dinamometra od 2 N [19].	27
Slika 23. Eksperimentalni postav laboratorijske vježbe Težina.	30
Slika 24. Sastavljanje metalne šipke duljine 60 cm [21].	31
Slika 25. Sastavljanje postolja stalka [21].	31
Slika 26. Postavljanje metalne šipke u postolje stalka [21].	31
Slika 27. Postavljanje hvataljke za dinamometar pomoću stezaljke na stalak [21].	32
Slika 28. Sastavljanje hvataljke stalka za dinamometar [21].	32
Slika 29. Postavljanje dinamometra na stalak [21].	32

Slika 30. Eksperimentalni postav laboratorijske vježbe Hookeov zakon. ....	37
Slika 31. Postavljanje mjerne trake na stalak [22]. ....	37
Slika 32. Postavljanje metalne šipke na stalak pomoću stezaljke [22]. ....	38
Slika 33. Slaganje utega na držač za utege mase 10 g [22]. ....	38
Slika 34. Produljenje elastične opruge. ....	<b>Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.</b>
Slika 35. Eksperimentalni postav laboratorijske vježbe Određivanje dinamičkog faktora trenja. ....	43
Slika 36. Lijevo: drveni kvadar s metalnom šipkom. ....	43
Slika 37. Mjerenje težine drvenog kvadra s metalnom šipkom i utegom od 50 g. ....	44
Slika 38. Eksperimentalni postav laboratorijske vježbe Dvostrana poluga. ....	48
Slika 39. Postavljanje poluge na stalak [26]. ....	48
Slika 40. Oznake kukica s obje strane dvostrane poluge. ....	49
Slika 41. Postavljanje igle i mjerne skale za određivanje ravnoteže poluge. ....	49
Slika 42. Položaj utega na poziciji 8 s lijeve strane oslonca [26]. ....	50
Slika 43. Eksperimentalni postav laboratorijske vježbe Arhimedovo načelo. ....	53
Slika 44. Mjerenje težine utega u vodi. ....	54