

Jakov Labor
Jasmina Zelenko Paduan

Fizika 2

Udžbenik iz fizike za drugi razred gimnazije

3. IZDANJE



2024.



Nakladnik

ALFA d. d. Zagreb
Nova Ves 23a

Za nakladnika

Ivan Petric

Direktorica nakladništva

mr. sc. Daniela Novoselić

Urednik za Fiziku u srednjoj školi

Jakov Labor

Recenzija

prof. dr. sc. Ivica Orlić

mr. sc. Josip Paić

Lektura

Kristina Ferenčina

Korektura

Marina Novak

Likovno i grafičko oblikovanje

Irena Lenard

Ilustracija

Igor Bojan Vilagoš, shutterstock.com; arhiva Alfe

Fotografija

shutterstock.com; arhiva Alfe

Digitalno izdanje

Alfa d. d.

Mozaik Education Ltd.

Tehnička priprema

Alfa d. d.

Tisak

Denona

Proizvedeno u Republici Hrvatskoj, EU

Udžbenik je uvršten u Katalog odobrenih udžbenika rješenjem Ministarstva znanosti i obrazovanja Republike Hrvatske:

KLASA: UP/I-602-09/20-03/00007, URBROJ: 533-06-20-0002, od 30. travnja 2020. godine.

CIP zapis dostupan je u računalnome katalogu Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu pod brojem 001214291.

OPSEG PAPIRNATOG IZDANJA	MASA PAPIRNATOG IZDANJA	KNJIŽNI FORMAT
220 str.	459 g	265 mm (v) x 210 mm (š)

Digitalno izdanje dostupno je na internetskoj adresi **hr.mozaweb.com** ili putem aplikacije **mozaBook** za pametne uređaje s operativnim sustavima Android i iOS.

© Alfa

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

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

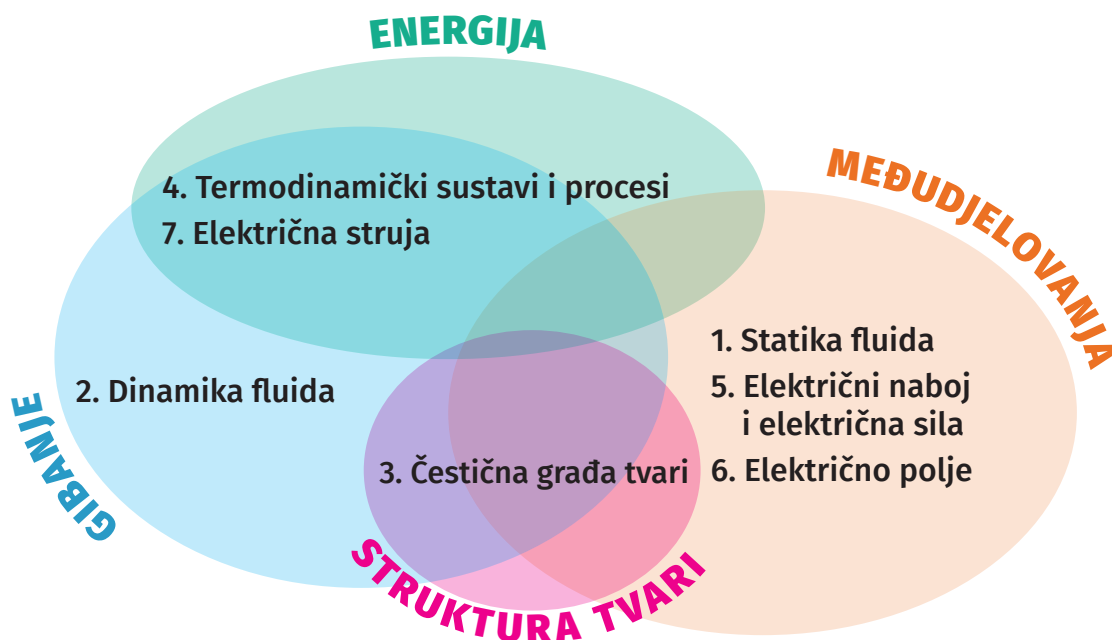
Sadržaj

	Predgovor	4
STATIKA	Hidrostatski tlak.....	8
FLUIDA	Hidraulički tlak.....	13
	Atmosferski tlak	16
	Sila uzgona	20
DINAMIKA	Jednadžba kontinuiteta.....	28
FLUIDA (3)	Bernoullijeva jednadžba.....	31
ČESTIČNA	Čestična građa tvari	40
GRAĐA TVARI	Linearno toplinsko rastezanje.....	46
	Plošno i volumno toplinsko širenje	51
	Tlak idealnog plina.....	56
	Izobarna promjena stanja plina.....	61
	Izohorna promjena stanja plina	66
	Izotermna promjena stanja plina	69
	Jednadžba stanja idealnog plina	72
TERMODINAMIČKI	Unutarnja energija i toplota	80
SUSTAVI I PROCESI	Unutarnja energija idealnog plina	85
	Promjene agregacijskih stanja	87
	Prijenos topline.....	93
	Promjena unutarnje energije radom	97
	Prvi zakon termodinamike	101
	Kružni proces.....	104
	Toplinski strojevi	107
	Rashladni stroj i toplinska pumpa	112
	Drugi zakon termodinamike	114
ELEKTRIČNI NABOJ	Električni naboj.....	120
I ELEKTRIČNA SILA	Coulombov zakon	126
ELEKTRIČNO POLJE	Električno polje.....	134
	Električno polje metalne kugle i dviju paralelnih metalnih ploča.....	139
	Električni napon.....	145
	Gibanje nabijene čestice u električnom polju	151
	Kondenzator i kapacitet.....	154
	Spajanje kondenzatora (3).....	161
ELEKTRIČNA	Električna struja.....	168
STRUJA	Ohmov zakon i električni otpor	172
	Opasnost od električne struje.....	179
	Rad i snaga električne struje	182
	Strujni krug.....	186
	Spajanje otpornika.....	192
	Kirchhoffova pravila (I3).....	197
	Odgovori na pitanja	202

PREDGOVOR

Udžbenik je napisan prema Kurikulumu nastavnoga predmeta Fizika za osnovne škole i gimnazije (NN 10/2019), a namijenjen je učenicima gimnazija u kojima je Fizika zastupljena četiri godine, s tri, odnosno dva sata tjedno.

Sadržaj udžbenika razvrstan je u sedam cjelina koje pokrivaju sve četiri sadržajne domene: *Gibanje*, *Međudjelovanje*, *Energija* i *Struktura tvari*. Na slici su zorno prikazane cjeline i njihova pripadnost međusobno preklapajućim domenama.



Fluid je naziv koji obuhvaća i tekućine i plinove. Ako fluid miruje, tlak i sile na tijelo u fluidu proučava **statika fluida**. Kada razlika tlakova pokrene fluid, primjenjuju se zakoni **dinamike fluida**. **Čestičnom građom tvari** uzroci pojava u makrosvijetu istražuju se dinamikom mikrosvijeta. Tako se objašnjavaju toplinsko širenje tijela u trima agregacijskim stanjima, pojam tlaka i temperature te međuovisnosti tlaka, volumena i temperature idealnog plina. Iz unutarnje energije toplinskim se procesima može dobiti mehanički rad. Mogućnosti i ograničenja koja se pritom pojavljuju formuliraju I. i II. zakon termodinamike (**Termodinamički sustavi i procesi**). Međudjelovanje električnih naboja može se opisati silom (**Električni naboj i električna sila**) ili još temeljnijim pojmom od sile – **električnim poljem**. Kada nabijene čestice kontrolirano pokrenemo u strujnom krugu, javlja se **električna struja**, jedna od pojava koja je duboko promijenila način života ljudi.

Na početku je svake cjeline **motivirajući uvod** s najavom fizičkih koncepata koje cjelina obuhvaća te popis **nastavnih tema** i **ishoda** koje učenik može očekivati baveći se temama iz cjeline. Međupredmetna povezanost i povezanost s međupredmetnim temama navedena je na samom kraju udžbenika. Svaka je cjelina raščlanjena na nastavne teme. Svaku temu otvara **problemsko pitanje** iz svakodnevice, čime se podupire problemski usmjerena nastava. Nastavna tema sažeto je obrađena na učenicima pristupačan način. Tipične neznanstvene predrasude naglašene su i razotkrivene u odlomcima naziva „Izbjegni pogrešku”. Tema završava **riješanim primjerima** te **pitanjima za samoprocjenu** koja obuhvaćaju sve razine znanja, a odgovori na pitanja navedeni su na kraju udžbenika. U elektroničkom su udžbeniku u nastavnu temu uklopljeni interaktivni zadaci višestrukog izbora, redanja i kratkih odgovora, koji olakšavaju svladavanje koncepata. Povezanost tema sa svakodnevnim situacijama označena je plavom oznakom u okviru „**Primjena u svakodnevici**”, povezanost s međupredmetnim temama žutom, a međupredmetna povezanost zelenom oznakom, kao na dnu stranice. Zbog važnosti eksperimenta u nastavi Fizike vizualno su naglašeni **demonstracijski pokusi**, a na kraju teme nalaze se prijedlozi **samostalnih učeničkih pokusa** koje izvodi svaki učenik uz lako dostupan pribor. Ako je pokus virtualan, poveznica na predloženu interaktivnu simulaciju je dana i u tiskanom i u elektroničkom udžbeniku. Osim toga mnogo je **prijedloga projekata** koji su složeniji od učeničkih pokusa i u pravilu se izvode timski. Detalje projekata učenici trebaju dogovoriti sa svojim profesorima. Učenički pokusi i projekti povezuju teme s učenikovim iskustvima, suočavaju ga s neprerađenom, neidealiziranom stvarnošću, razvijaju njegove kompetencije i prirodoslovno-znanstveni način razmišljanja. Zahtjevniji projekti, predviđeni za nadarene učenike, kao i zahtjevnija pitanja i primjeri, označeni su zvjezdicom. Na kraju cjeline jest **Sažetak – pregled fizičkih koncepata i zakona** po temama u obliku mentalne mape. Ona pomaže učenicima u objedinjavanju i povezivanju koncepata i zakona unutar te cjeline, a i uspoređivanju istih u međusobno srodnim cjelinama. Uz naslove sadržaja i uz odgojno-obrazovne ishode koji su predviđeni samo za škole s trosatnim tjednim fondom stoji (3), odnosno (13) ako su u tim školama izborni.

Autori



U elektroničkom se udžbeniku nalaze ikone koje sadrže informacije, pitanja i zadatke te snimke pokusa (video) i poveznice na virtualne simulacije:



INFORMACIJE, PITANJA I ZADATCI



SNIMLJENI POKUSI



VIRTUALNE SIMULACIJE

1.

Statika fluida



- **HIDROSTATSKI TLAK**
- **HIDRAULIČKI TLAK**
- **ATMOSFERSKI TLAK**
- **SILA UZGONA**

UVOD U CJELINU

Živimo na jedinom planetu Sunčeva sustava čija je površina većinom tekućina – voda. Nije čudno da je većina ljudskog tijela također voda. Da smo bliže Suncu, oceani bi isparili u plin. Da smo dalje od Sunca, voda bi se smrznula u led. U ovoj cjelini postaju važna agregacijska stanja tvari.

Iako je voda tekućina, a zrak plin te je voda je mnogo gušća od zraka, voda i zrak, za razliku od čvrstih tijela, poprimaju oblik posude u kojoj se nalaze. Mnogi pojmovi i zakoni primjenjuju se na jednak način i na tekućine i na plinove, koje zajednički nazivamo fluidi.

Važnost koju za čvrsto tijelo ima sila, za fluid ima tlak. Upotrijebit ćemo fluid da silu primijenjenu na njega uvećamo (i naravno pritom platimo određenu cijenu za to) pa ćemo moći zaustaviti automobil i čak ga podignuti.

Ako ronimo sve dublje u moru, osjećamo sve veći hidrostatski tlak. Ako se od morske površine popnemo na planinu, osjećamo smanjeni atmosferski tlak. Krvni je tlak (srećom) kombinacija obaju navedenih tlakova, pa golemi atmosferski tlak ne osjećamo kao teret na plećima.

Upravo pomoću hidrostatskog tlaka objasniti ćemo zašto čelični brod pluta na površini vode, a mali komad čelika odmah potone. To objašnjava Arhimedov zakon, najstariji fizički zakon koji se i danas izriče u nepromijenjenom obliku kao i kada je otkriven, prije otprilike 1700 godina. Prva posljedica tog zakona bila je slavna uzrečica: „Heureka!” Druga je posljedica bila da je jedan nepošteni zlatar glavom platio pokušaj prijevare svog kralja.

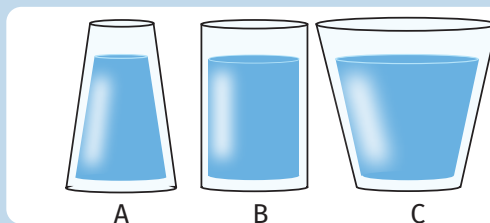
ODGOJNO-OBRAZOVNI ISHODI 1. POGLAVLJA

Učenik primjenjuje zakone statike fluida (FIZ SŠ B.2.1.), to jest:

- ▶ opisuje pojam tlaka i razlikuje ga od pritiskne sile
- ▶ objašnjava porijeklo hidrostatskog i atmosferskog tlaka
- ▶ istražuje hidrostatski tlak izводеći učenički pokus
- ▶ objašnjava Pascalov zakon
- ▶ objašnjava rad hidraulične dizalice i kočnica
- ▶ istražuje hidrostatski, hidraulički i atmosferski tlak pomoću demonstracijskog pokusa
- ▶ opisuje utjecaj promjene vanjskog tlaka na ljudsko tijelo i moguće opasnosti
- ▶ crta dijagram sila na tijelo uronjeno u tekućinu
- ▶ istražuje Arhimedov zakon pomoću demonstracijskog pokusa
- ▶ objašnjava uvjete tonjenja, lebdenja ili plutanja
- ▶ istražuje silu uzgona izводеći učenički projekt
- ▶ rješava fizičke probleme iz statike fluida
- ▶ objašnjava povezanost ekonomskih aktivnosti sa stanjem u okolišu i društvu (odr A.3.4.)
- ▶ samostalno određuje ciljeve učenja, odabire pristup učenju te planira učenje (uku B.4/5.1.)
- ▶ kritički odabire odgovarajuću digitalnu tehnologiju (ikt A.4.1.)

Hidrostatski tlak

Posude A, B i C na **slici 1.1.** imaju jednake površine dna. U sve je posude nalivena ista tekućina do jednakih visina. Što bismo ustanovili važući posude s tekućinom, a što uspoređujući sile kojima tekućina djeluje na dna posuda?



Slika 1.1.

Koja agregacijska stanja tvari susrećemo u svakodnevnom životu?

Tekućine i plinovi mogu teći i zbog toga ih svojstva zovemo **fluidima**. Iako se znatno razlikuju po stlačivosti, tekućine i plinovi imaju niz zajedničkih svojstava.

Pojave vezane uz mirujuće i gibajuće fluide predmet su proučavanja **mehanike fluida**. **Statika fluida**, kao dio mehanike fluida, proučava mirujuće fluide, a **dinamika fluida** njihovo gibanje.

POKUS

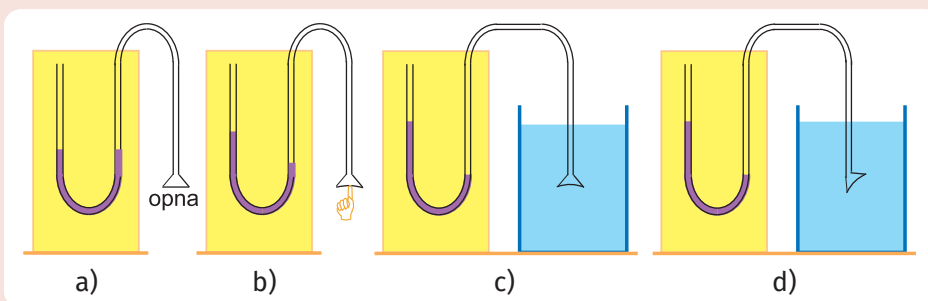
Na **slici 1.2.a** prikazana je cijev oblika slova U djelomice ispunjena obojenom tekućinom. Na desni kraj te cijevi natakuta je gumena cijev zatvorena malim lijevkom s elastičnom opnom. Pritisnemo li opnu prstom, razina tekućine u desnom će se dijelu U-cijevi spustiti, a u lijevom podignuti (**slika 1.2.b**).

Tekućina u cijevi pomaknut će se i kada opnu uronimo u vodu (**slika 1.2.c**).

Što sada pritišće elastičnu opnu?

Okrenemo li opnu prema gore ili je postavimo u kosi položaj ne mijenjajući dubinu, vidjet ćemo da se visinska razlika među razinama tekućine u cijevi neće promijeniti (**slika 1.2.d**).

Kako je sila kojom voda djeluje na opnu usmjerena u odnosu na opnu?



Slika 1.2. Opažanje sile na opnu

Iz pokusa vidimo da je sila, tzv. pritisna sila, kojom tekućina (i općenito fluid) djeluje na stijenku posude (ili opnu) okomita na stijenku. Kvocijent pritisne sile (F) i površine (S) na koju fluid okomito djeluje nazivamo **tlakom** (p):

$$p = \frac{F}{S}$$

Tlak iskazujemo paskalima ($\text{Pa} = \text{N m}^{-2}$). Uz paskal je dopuštena upotreba još jedne jedinice za tlak, a to je bar:

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}.$$

Izbjegni pogrešku!

Tlak i pritisak su sinonimi.

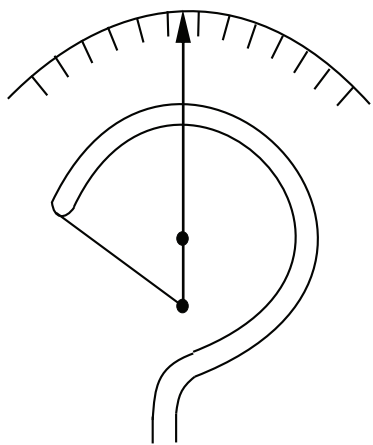
Pritisak je pritisna sila pa je različita fizička veličina od tlaka.

Izbjegni pogrešku!

Tlak na **slici 1.2.c** ima orijentaciju prema gore, a na **slici 1.2.d** ukoso, okomito na opnu.

Tlak nije vektor i nema orijentaciju. Tlak je proporcionalan iznosu pritisne sile. Navedene orijentacije nema tlak, nego pritisna sila kojom fluid djeluje na opnu.

Mjerenje tlaka. Uređaji pomoću kojih mjerimo tlak nazivaju se **manometri**. Na **slici 1.3.a** prikazano je načelo mjerenja tlaka manometrom s Bourdonovom cijevi. Savijena se cijev pri većem tlaku više ispravlja, što se odgovarajućim mehanizmom prenosi na kazaljku koja se zakreće.



a)

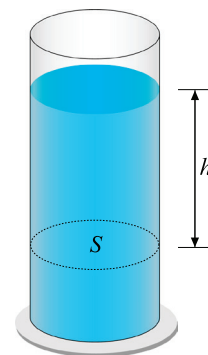


b)

Slika 1.3. Načelo (a) i fotografija (b) manometra s Bourdonovom cijevi

Hidrostatski tlak. Zamislimo valjkastu posudu napunjenu tekućinom (**slika 1.4.**). Tekućina djeluje na dno posude silom koja je po iznosu jednaka sili teži. Podijelimo li tu silu s površinom dna, dobit ćemo tlak tekućine na dno posude. Taj tlak zovemo **hidrostatskim tlakom**. Promatrana ploha na koju tekućina djeluje može biti bilo koja ploha unutar tekućine.

Izvedimo izraz za hidrostatski tlak (**slika 1.4.**).



Slika 1.4. Tekućina iznad plohe površine S djeluje na tu plohu silom koja je po iznosu jednaka sili teži i uzrokuje tlak nazvan hidrostatski tlak.

U definicijski izraz za tlak uvrstimo izraz za silu težu (mg), zatim masu zamijenimo umnoškom gustoće (ρ) i volumena (V), a nakon toga volumen (valjka) zamijenimo umnoškom površine osnove valjka (S) i visine (h) stupca tekućine iznad osnove:

$$p = \frac{F}{S} = \frac{mg}{S} = \frac{\rho Vg}{S} = \frac{\rho Shg}{S}$$

Konačno je izraz za hidrostatski tlak:

$$p = \rho gh$$

Hidrostatski je tlak proporcionalan s dubinom i s gustoćom tekućine.

Sada možemo odgovoriti na uvodno pitanje (**slika 1.1**). Najveći broj očitali bismo važući posudu C, a najmanji posudu A. Međutim, sile kojima tekućina djeluje na dno svake od posuda bile bi jednake! Svaka ta sila jednaka je umnošku tlaka i površine dna posude. Zbog jednakih visina tekućine u posudama jednaki su i tlakovi na njihova dna. Ako su tlak i površina dna u svim posudama jednaki, tada i sila kojom tekućina djeluje na dno u svim posudama ima jednak iznos. Kako je moguće da su sile na dna posuda A i C jednake kada je masa vode u posudi C veća? U posudi C dio pritiskne sile preuzimaju kose stijenke posude.

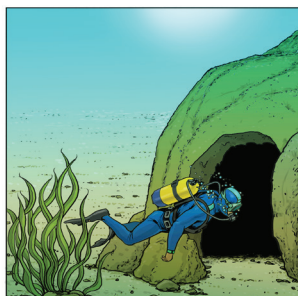
Spojene posude. Posljednji nam izraz pokazuje da je hidrostatski tlak određene tekućine ovisan samo o visini stupca tekućine. To možemo provjeriti pomoću spojenih posuda. Posude se razlikuju oblikom i volumenom. Budući da tekućina miruje, tlakovi su u dnu posuda jednaki (**slika 1.5.**). Uz to, visine su stupaca tekućine u posudama jednake. Dakle, hidrostatski su tlakovi tekućine u posudama jednaki uz jednake visine stupaca, bez obzira na oblik i volumen posude. Iz toga slijedi da je hidrostatski tlak u određenoj tekućini zaista ovisan samo o visini stupca tekućine.



Slika 1.5. Hidrostatski tlak u spojenim posudama ovisi samo o visini stupca tekućine.

Izbjegni pogrešku!

Ronilac mora biti oprezan pri horizontalnom ulasku u podvodnu špilju (slika) jer se tada hidrostatski tlak naglo smanji.



Ulazeći u špilju, ronilac neće doživjeti nikakvu promjenu tlaka. Visina stupca tekućine (mjerena od površine vode), a time i hidrostatski tlak, jednaki su izvan i unutar špilje. Da je tlak u špilji manji nego izvan nje, voda bi ulazila u špilju.

Primjer: Neka sisaljka podiže vodu na visinu 45 m. Kolikom silom sisaljka djeluje na otvor ventila ako je njegova površina 8 cm^2 ?

Rješenje:

$$h = 45 \text{ m}$$

$$S = 8 \text{ cm}^2 = 8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$F = ?$$

$$p = \frac{F}{S}$$

Sisaljka mora proizvoditi tlak koji je najmanje jednak hidrostatskom tlaku vode:

$$p = \rho gh$$

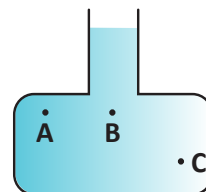
pa je:

$$F = \rho ghS = 1000 \text{ kg m}^{-3} \cdot 9,81 \text{ m s}^{-2} \cdot 45 \text{ m} \cdot 8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

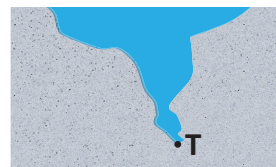
$$F = 353,16 \text{ N}$$

Pitanja:

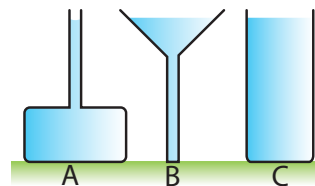
1. Kako definiramo tlak? Kojim ga jedinicama iskazujemo?
2. Je li tlak vektorska ili skalarna veličina?
3. Mjeri li manometar tlak relativno prema atmosferskom tlaku ili mjeri apsolutni tlak?
4. Koji tlak nazivamo hidrostatskim? O čemu on ovisi?
5. Usporedite hidrostatski tlak u Vranskom jezeru s hidrostatskim tlakom u Jadranskom moru na jednako dubini i geografskoj širini.
6. Usporedite hidrostatske tlakove krvi u vratnim žilama i u žilama potkoljenice.
7. Usporedite hidrostatske tlakove u točkama A, B i C na priloženoj slici.
8. Ronilac pliva pod vodom bez promjene dubine i vrti glavom. Osjeća li on pritom promjenu tlaka u ušima?
9. Objasnite presjek brane hidroelektrane (slika).



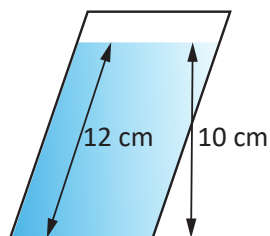
10. Malo jezero na Mljetu ima presjek kao na slici. Točka T je na dubini 46 m. Da je cijelo jezero svagdje duboko 46 m, bi li tlak u točki T bio manji, jednak ili veći?



11. Tri su vodotornja ispunjena vodom do jednake visine. Ako iz svakoga vodotornja istekne jednaki volumen vode, u kojem će tornju promjena hidrostatskog tlaka biti najmanja?



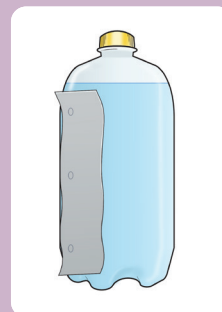
- 12.* Koliko iznosi visina stupca tekućine u posudi na slici?



UČENIČKI POKUS:

Izbuši tri mala otvora u praznoj plastičnoj boci volumena 2 L. Sva tri otvora zatvori ljepljivom trakom, nalij vodu do vrha i jednim potezom odlijepi traku. Promatraj domete mlazova. Objasni razliku među njima. Izmjeri domet mlaza iz najnižeg otvora kada visina stupca tekućine iznad njega iznosi 20 cm.

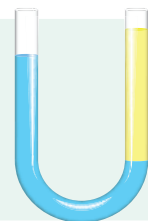
Upotrijebi i manju bocu drukčijeg oblika te na isti način izmjeri domet za istu visinu stupca tekućine. Ovisi li domet o obliku boce?



PROJEKT

MJERENJE GUSTOĆE ULJA

Pomoću cijevi u obliku slova U (slika) i ranala s mjernom ljestvicom izmjerite gustoću ulja. U cijev prvo ulijte vodu, a zatim ulje.



UČENIČKI VIRTUALNI POKUS:

IZRAZ ZA HIDROSTATSKI TLAK

Na mrežnoj stranici https://phet.colorado.edu/sims/html/under-pressure/latest/under-pressure_hr.html klikni na Atmosfera: isključena i na Pomoćne crte. Izmjeri ovisnost hidrostatskog tlaka o dubini, gustoći tekućine i o akceleraciji sile teže g . Svaku ovisnost prikaži tablično i grafički.

Hidraulički tlak

Na koji način mala sila kojom vozač djeluje na papučicu kočnice (**slika 1.6.**) izaziva silu iznosa tako velikog da zaustavi automobil?



Slika 1.6.

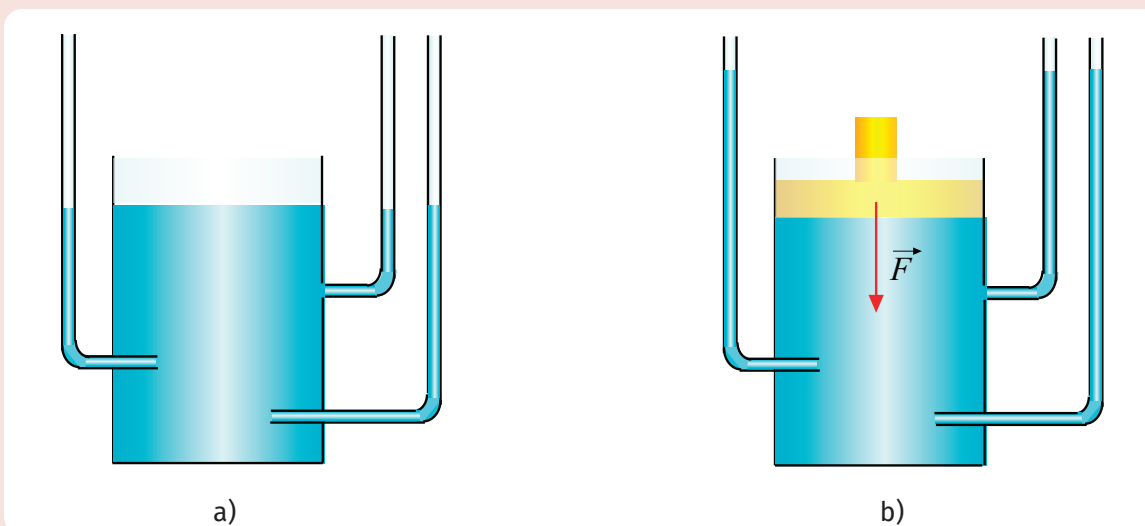
U posudu iz koje izlaze cjevčice razmještene na različitim dubinama i stranama posude (**slika 1.7.a**) ulijemo tekućinu (obojenu vodu).

Stavimo li na slobodnu površinu tekućine klip (**slika 1.7.b**) i preko njega djelujemo silom na slobodnu površinu tekućine, stupac se tekućine u cjevčicama poveća. To znači da se tlak koji smo prouzročili djelujući na površnu tekućine prenio od površine tekućine do mjesta iz kojih izlaze cjevčice.

Usporedite povećanje visine stupca tekućine u cjevčicama.

Jednako povećanje stupca tekućine u svim cjevčicama znači da je i povećanje tlaka u tekućini na svim mjestima iz kojih izlaze cjevčice jednako. Ovakav rezultat pokusa očitovanje je zakona koji glasi: **Tlak prouzročen na bilo kojem mjestu u tekućini zatvorenoj u posudi prenosi se nesmanjen jednako u svim smjerovima.** Zakon je nazvan Pascalovim, prema Blaisu Pascalu koji ga je prvi jasno formulisao.

POKUS



Slika 1.7. Vanjsko djelovanje na tekućinu uzrokuje jednako povećanje tlaka u svim njezinim dijelovima.

Tlak u tekućini prouzročen vanjskim djelovanjem na tekućinu zovemo **hidrauličkim tlakom**.

Pascalov zakon primjenjujemo u uređajima pomoću kojih manjom silom izazivamo veću. Ti se uređaji u osnovi sastoje od dviju spojenih posuda različitih poprečnih presjeka (**slika 1.8.**).

Djelujemo li na klip koji zatvara užu posudu površine presjeka S_1 silom F_1 , izazvat ćemo tlak:

$$p_1 = \frac{F_1}{S_1}.$$

Zbog toga će se na većem klipu površine S_2 pojaviti sila F_2 i tlak:

$$p_2 = \frac{F_2}{S_2}.$$

Usporedite iznose tlakova p_1 i p_2 .

Prema Pascalovu zakonu vrijedi:

$$p_1 = p_2,$$

odnosno:

$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$$

iz čega slijedi:

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1}.$$

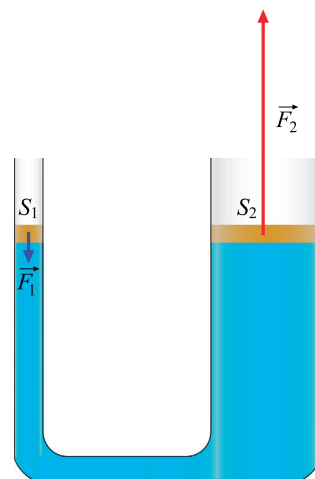
Sila kojom tekućina djeluje na veći klip veća je od sile kojom djelujemo na manji klip onoliko puta koliko je puta površina presjeka većeg klipa veća od površine presjeka manjeg klipa.

Je li i rad tekućine na većem klipu veći od rada obavljenog na manjem klipu?

Nije, jer to nije u skladu sa zakonom očuvanja energije.

Usporedite putove što ih za isto vrijeme prijeđu manji i veći klip.

Mehanizam za kočenje u automobilu jest hidraulički uređaj, gdje je sila na manji klip jednaka sili kojom vozač djeluje na papučicu kočnice, dok je sila na kotač jednaka sili na veći klip.



Slika 1.8. Mala sila na mali klip ima za posljedicu veliku silu na veliki klip.

Hidraulička dizalica. Pri podizanju tereta pomoću hidrauličke dizalice (**slika 1.9.**), teret se nalazi na većem klipu.



Slika 1.9. Podizanje automobila hidrauličkom dizalicom

PRIMJENA U
SVAKODNEVICI
**hidraulička
dizalica**

Primjer: Površina presjeka manjeg klipa hidrauličke dizalice iznosi 4 cm^2 , a većeg 80 cm^2 . Kolikom najmanjom silom moramo djelovati na manji klip da bismo podizali teret od 1 t koji se nalazi na većem klipu?

Rješenje:

$$m = 1 \text{ t} = 1\,000 \text{ kg}$$

$$S_1 = 4 \text{ cm}^2$$

$$S_2 = 80 \text{ cm}^2$$

$$F_1 = ?$$

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1}$$

Sila F_2 kojom tekućina djeluje na veći klip mora biti najmanje jednaka sili teži na teret (mg):

$$\frac{mg}{F_1} = \frac{S_2}{S_1}$$

$$F_1 = \frac{mgS_1}{S_2} = \frac{1\,000 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m s}^{-2} \cdot 4 \text{ cm}^2}{80 \text{ cm}^2}$$

$$F_1 = 490,5 \text{ N}$$

Pitanja:

1. Koji tlak zovemo hidrauličkim?
2. Djelujući na slobodnu površinu tekućine, proizveli smo tlak 10 kPa . Za koliko se zbog toga poveća tlak u tekućini na mjestu koje je od slobodne površine tekućine udaljeno: **a.** 10 cm , **b.** 50 cm ?
3. Promjer većeg klipa hidrauličkog uređaja iznosi 10 cm , a promjer manjeg klipa 5 cm . Ako sila na manji klip iznosi 10 N , koliki je iznos sile na veći klip?
4. Staklenu bocu površine dna 5 dm^2 napunimo do vrha vodom i začepimo plutenim čepom površine baze 5 cm^2 . Udarimo čekićem o čep nevelikom silom iznosa 10 N , a dno se boce uz prasak odvoji od boce i voda se izlije. Kolika je sila djelovala na dno boce?
- 5* Kada iz zračne puške pogodimo tvrdo kuhano jaje, na njemu će ostati otvor kroz koji je prošao metak. Međutim, ako jednakim metkom pogodimo sirovo jaje, ono će se rasprsnuti. Objasnite razliku učinaka.

Napravite model hidraulične dizalice od sisaljki različitih volumena i gumene cijevi. Izmjerite omjer površina klipova i putove koji su klipovi prešli. Izmjerite korisnost svog modela.

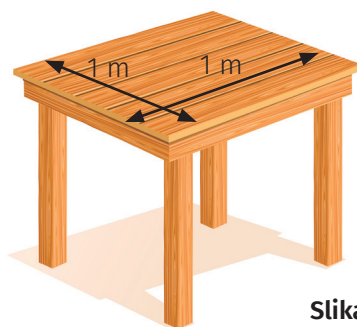
PROJEKT



Blaise Pascal (1623. – 1662.) francuski je filozof, matematičar i fizičar. Otkrio je da se vanjski tlak u tekućini širi na sve strane jednako (Pascalov zakon). Na osnovi Pascalova zakona konstruiran je 1796. godine hidraulički tijesak. Po Pascalu je nazvana jedinica za tlak. Konstruirao je i prvi mehanički stroj za zbrajanje velikih brojeva.

Atmosferski tlak

Procijeni iznos sile kojom Zemljina atmosfera djeluje na gornju plohu stola (**slika 1.10.**). Je li ona približno nula, 100 N ili 100 000 N?

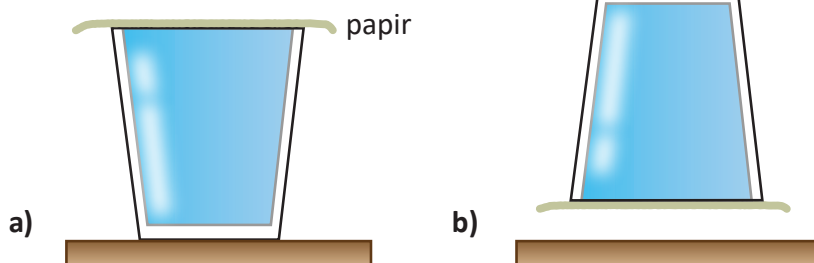


Slika 1.10.

POKUS

Čašu napunimo vodom i pokrijemo je listom tvrdog papira (**slika 1.11.a**). Pidrživajući jednom rukom papir, drugom rukom uhvatimo čašu i brzo je okrenemo otvorom prema dolje. Odmaknemo li ruku kojom pridržavamo papir, on će ostati priljubljen uz čašu, a voda se iz čaše neće proliti (**slika 1.11.b**).

Znamo da na papir s gornje strane djeluje voda. Zašto se onda papir ne odvoji od čaše kada ga prestanemo pridržavati?



Slika 1.11. I nakon okretanja čaše (b.) papir se od nje ne odvaja.

Na papir s donje strane silom djeluje zrak, odnosno atmosfera. **Atmosfera djeluje silom okomito na svaku plohu koja se u njoj nalazi.** Pripadajući tlak nazivamo **atmosferskim tlakom** ili **tlakom zraka**. Njegov bismo iznos dobili kada bismo silu težu na stupac atmosfere iznad neke horizontalne površine podijelili s tom površinom.

Izbjegni pogrešku!

Zemlja nacrtana olovkom kao kružnica polumjera 10 cm ima atmosferu debljine 2-3 cm.

Oko 99 % Zemljine atmosfere nalazi se unutar 30 km od površine Zemlje. To je samo 0,5 % Zemljina polumjera (koji iznosi 6 370 km). Na opisanom crtežu Zemlje debljina atmosfere bila bi jednaka debljini traga olovke.



Barometar. Atmosferski tlak mjerimo pomoću **barometra**. Opisat ćemo načelno izradu živina barometra. Usku staklenu cijev, dugu oko 1 m, postavimo u vertikalni položaj i njezin donji kraj uronimo u posudu sa živom (**slika 1.12.a**).

Usporedite tlakove u cijevi i izvan cijevi.

Gornji kraj staklene cijevi spojimo sa sisaljkom. Kada iz cijevi isišemo nešto zraka, razina žive u cijevi podigne se iznad razine u posudi (**slika 1.12.b**).

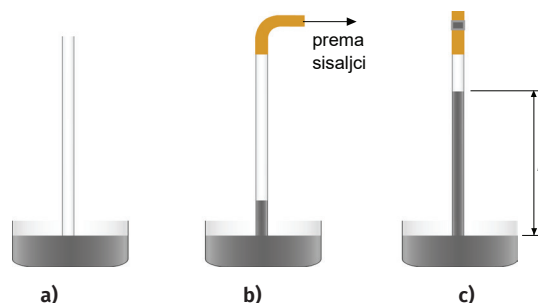
Usporedite tlak zraka u cijevi s atmosferskim tlakom izvan cijevi.

Koji tlak osim tlaka zraka postoji u cijevi?

Usporedite ukupni tlak u cijevi s atmosferskim tlakom izvan cijevi.

Koji je tlak preostao u cijevi kada iz nje isišemo sav zrak (**slika 1.12.c**)?

Usporedite taj tlak s atmosferskim tlakom izvan cijevi.



Slika 1.12. Izrada barometra

Kada iz cijevi isišemo sav zrak, hidrostatski tlak živina stupca u cijevi (ρgh) jednak je atmosferskom tlaku (p_a) izvan cijevi:

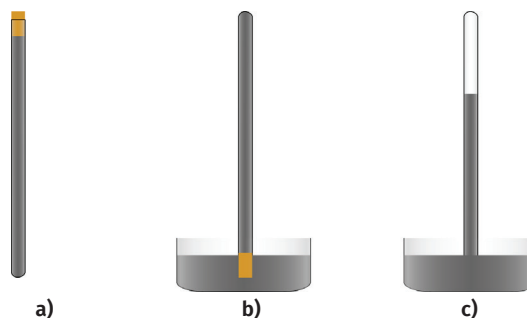
$$p_a = \rho gh$$

Kada je visina stupca žive u barometru 760 mm pri temperaturi 0 °C, atmosferski tlak blizu morske površine iznosi 101 325 Pa i nazivamo ga **normiranim** ili **normalnim**.

Barometar možemo napraviti i bez upotrebe sisaljke. Cijev dugu oko 1 m zatvorenu s jedne strane napunimo živom i začepimo je (**slika 1.13.a**), a onda je okrenemo i začepljeni kraj uronimo u posudu sa živom (**slika 1.13.b**). Izvadimo li čep, živa će izlaziti iz cijevi (**slika 1.13.c**). Zašto?

Kada će izlaženje žive prestati?

Slika 1.13. Jednostavniji put do živina barometra



Izbjegni pogrešku!

Kada liječnik, mjereći tlak pacijentu, očitava visinu stupca žive u tlakomjeru $h = 120$ mm, to znači da je tlak krvi u žilama tog pacijenta $p = 13\,600 \text{ kg m}^{-3} \cdot 9,81 \text{ m s}^{-2} \cdot 0,12 \text{ m} = 16\,010 \text{ Pa}$.

Navedeni iznos tlaka od 16 010 Pa jest razlika tlaka krvi u žilama i atmosferskog tlaka.

Utjecaj vanjskog tlaka na ljudsko tijelo. Budući da je naš organizam naviknut na atmosferski tlak oko normalnog iznosa, pri visokogorskom planinarenju možemo osjetiti određene tegobe. Zbog manje gustoće zraka, disanjem u organizam unosimo manje kisika nego što smo navikli pri normalnom tlaku. Da bi nadoknadio manjak kisika u stanicama, organizam reagira ubrzanim disanjem te povećanjem proizvodnje eritrocita. Najveća visina na kojoj se ljudski organizam može prilagoditi na smanjeni tlak ovisi o osobi, a za najizdržljiviji organizam iznosi oko 7 000 m.

Izlaganje tijela vanjskom tlaku znatno većem od normalnog atmosferskog tlaka također može biti opasno. Vanjski tlak koji može ugroziti organizam javlja se, primjerice, pri dubinskom ronjenju.



Da bismo razumjeli zbog čega dubinsko ronjenje može biti opasno, prisjetimo se kako se neka pića zapjene kada otvorimo bocu u kojoj se nalaze. U pjenu se nalazi ugljikov dioksid, koji je prije otvaranja boce bio apsorbiran u piću. Količina ugljikova dioksida koju tekućina može apsorbirati ovisi o tlaku na tekućinu i pri većem je tlaku veća. Otvaranjem boce smanjili smo tlak na tekućinu i tako omogućili izlazak ugljikova dioksida u obliku mjehurića. U krvi su apsorbirani plinovi iz zraka, koji u krv dopijevaju disanjem. Ova se apsorpcija zbiva pri normalnom tlaku. Pri dubinskom ronjenju krv ronioca, zbog većeg tlaka, apsorbira znatno više plina, uglavnom dušika. Kada bi ronilac naglo izronio, apsorbirani bi se dušik iz krvi oslobodio u obliku mjehurića, što bi izazvalo štetne posljedice nazvane **dekompresijska bolest**. U najgorem slučaju mjehurići plina mogu začepiti žilu i izazvati smrt. Da se to ne dogodi, ronioci polako i postupno izlaze na površinu.

Za liječenje dekompresijske bolesti razvijeni su rekompresijski postupci kojima je cilj ponovno otopiti slobodne mjehuriće plina i kisikom ih preko pluća izbaciti iz organizma. To se postiže boravkom oboljelog ronioca u tzv. **barokomori**, gdje je tlak veći od normalnog atmosferskog tlaka (hiperbarična komora).

Pri ronjenju je opasnosti izložen i bubnjić u uhu. Pod velikim vanjskim tlakom mogao bi prsnuti. To se neće dogoditi ako ronilac izjednači tlak zraka s unutarnje strane bubnjića s vanjskim tlakom. Za to je potrebno zatvoriti usta i nos, a onda zrak iz usne šupljine potisnuti kroz Eustahijevu cijev u uho.

Primjer: Koliki je tlak u moru na dubini 15 m? Kolika je sila na prozor podmornice promjera 6 cm na toj dubini? Gustoća je morske vode $1\,030\text{ kg m}^{-3}$.

Rješenje:

$h = 15\text{ m}$
 $\rho = 1\,030\text{ kg m}^{-3}$
 $d = 6\text{ cm} = 0,06\text{ m}$
 $p = ?, F = ?$

Na površinu mora djeluje atmosfera tlakom koji se prenosi tekućinom (Pascalov zakon) i prisutan je na svim dubinama u moru. Zato je ukupni tlak na nekoj dubini jednak zbroju atmosferskog i hidrostatskog tlaka:

$$p = p_a + \rho gh.$$

Za atmosferski tlak uvrstit ćemo njegovu normiranu vrijednost ($101,3\text{ kPa} = 101,3 \cdot 10^3\text{ Pa}$)

$$p = 101,3 \cdot 10^3\text{ Pa} + 1\,030\text{ kg m}^{-3} \cdot 9,81\text{ m s}^{-2} \cdot 15\text{ m}, p = 2,529 \cdot 10^5\text{ Pa}.$$

Na prozor s unutarnje strane djeluje zrak iz podmornice koji je pod atmosferskim tlakom. Tlak na vanjsku stranu prozora jednak je zbroju atmosferskog i hidrostatskog tlaka. Ukupni tlak na prozor jednak je samo hidrostatskom tlaku.

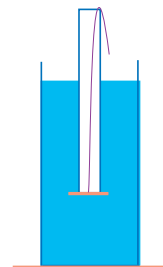
Silu ćemo dobiti iz:

$$p = \frac{F}{S} \text{ i } p = \rho gh$$

$$F = \rho gh \cdot \frac{d^2 \pi}{4} = 1\,030\text{ kg m}^{-3} \cdot 9,81\text{ m s}^{-2} \cdot 15\text{ m} \cdot \frac{(0,06\text{ m})^2 \cdot \pi}{4}, F = 428,32\text{ N}.$$

Pitanja:

1. Je li atmosferski tlak na vrhu neke planine jednak atmosferskom tlaku pri morskoj površini? Zašto? Da biste odgovorili, usporedite mase atmosferskog zraka iznad neke površine na vrhu planine i iznad jednake površine pri površini mora te iznose akceleracije slobodnog pada na vrhu planine i pri morskoj površini.
2. Zašto atmosferski tlak ne zgnječi naše tijelo?
3. Usporedite tlak krvi žirafe i čovjeka.
4. Zašto krvni tlak mjerimo na nadlaktici, u razini srca?
5. Napetom niti držimo pločicu čvrsto priljubljenu uz otvor cijevi. Cijev u vertikalnom položaju unesemo u posudu s vodom i nit pustimo (slika). Pločica ne otpada. Zašto? Koliko bi vode trebalo uliti u cijev da pločica otpadne?
6. Nalazite se u prostoriji površine 20 m^2 , a visina stropa je $2,5 \text{ m}$. Ako je gustoća zraka $1,3 \text{ kg m}^{-3}$, kolika je masa zraka u prostoriji?
7. Visina Zemljine atmosfere je oko 30 km . Čovjek se nalazi u prostoriji visine stropa 3 m . Kolika je visina stupca zraka koji na čovjeka djeluje atmosferskim tlakom?
8. Koje je orijentacije sila kojom atmosfera djeluje na donju plohu stola: prema dolje, prema gore ili horizontalno?
9. Kada bi u barometru umjesto žive bila voda, koliko bi puta visina vodenog stupca bila veća od visine živina stupca?
10. Pijete sok slamkom. Je li lakše, jednako ili teže piti sok:
 - a. ako se s visoke planine spustimo uz more,
 - b. tanju slamku zamijenimo debljom,
 - c. kraću slamku zamijenimo duljom?



Osmisli, izvedi u razredu i objasni nekoliko pokusa koji demonstriraju atmosferski tlak. Budi spreman za razgovor s ostalim učenicima i objašnjenje prikazanih pokusa.

PROJEKT



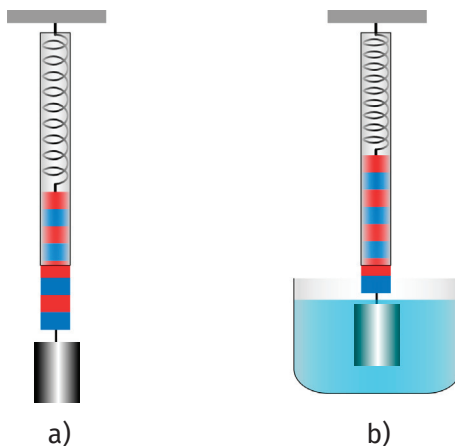
Evangelista Torricelli (1608. – 1647.) talijanski je fizičar i matematičar. Konstruirao je barometar i objasnio da se stupac žive u njemu uzdiže djelovanjem atmosferskog tlaka, a ne težnjom prirode da otkloni nastali vakuum, kako se do tada smatralo. Otkrio je zakon istjecanja tekućine kroz mali otvor.

Sila uzgona

Kako to da metalni brod pluta na vodi (**slika 1.14.**) kada je gustoća metala veća od gustoće vode?



Iz svakodnevnog je iskustva poznato da je tijelo lakše podizati kada je u vodi nego u zraku. Zašto? Očito je da voda djeluje na uronjeno tijelo silom orijentiranom suprotno orijentaciji sile teže. Silu kojom fluid djeluje na tijelo koje se nalazi u njemu nazivamo **silom uzgona** ili samo **uzgonom** (F_u). Silu uzgona na neko tijelo možemo izmjeriti dinamometrom. U tu svrhu tijelo ovjesimo o dinamometar (**slika 1.15.a**) i očitamo silu, a potom tijelo uronimo u tekućinu (**slika 1.15.b**) i očitamo novi iznos sile. Iznos je uzgona jednak razlici sila što ih pokazuje dinamometar dok je tijelo u zraku i kada je u tekućini.



Slika 1.15. Kada tijelo uronimo u tekućinu, dinamometar, zbog uzgona, pokazuje manju silu.

Izvest ćemo izraz za silu uzgona uz pomoć **slike 1.16**.

U tekućinu je uronjeno tijelo valjkasta oblika. Tekućina tlači na osnovice valjka i na njegovu bočnu (oblu) plohu.

Kolika je rezultanta sila na bočnu plohu valjka?