

Jakov Labor
Jasmina Zelenko Paduan

Fizika 1

Udžbenik iz fizike za prvi 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

Likovno i grafičko oblikovanje

Irena Lenard

Tri jedan d. o. o.

Ilustracija

Igor Vilagoš

Tri jedan d. o. o.

autori

shutterstock.com

Fotografija

shutterstock.com

autori

Digitalno izdanje

Alfa d. d.

Mozaik Education Ltd.

Tehnička priprema

Alfa d. d.

Tisak

Denona d. o. o.

Proizvedeno u Republici Hrvatskoj, EU

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

KLASA: **602-09/19-03/00045**, URBROJ: **533-06-19-0002**, od **7. lipnja 2019. godine**.

CIP zapis dostupan je u računalnome katalogu Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu pod brojem **001214288**.

OPSEG PAPIRNATOG IZDANJA	MASA PAPIRNATOG IZDANJA	KNJIŽNI FORMAT
152 str.	335 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*, digitalne proizvode, sadržaje i usluge proizvedene neovisno o nakladniku Alfa d. d.

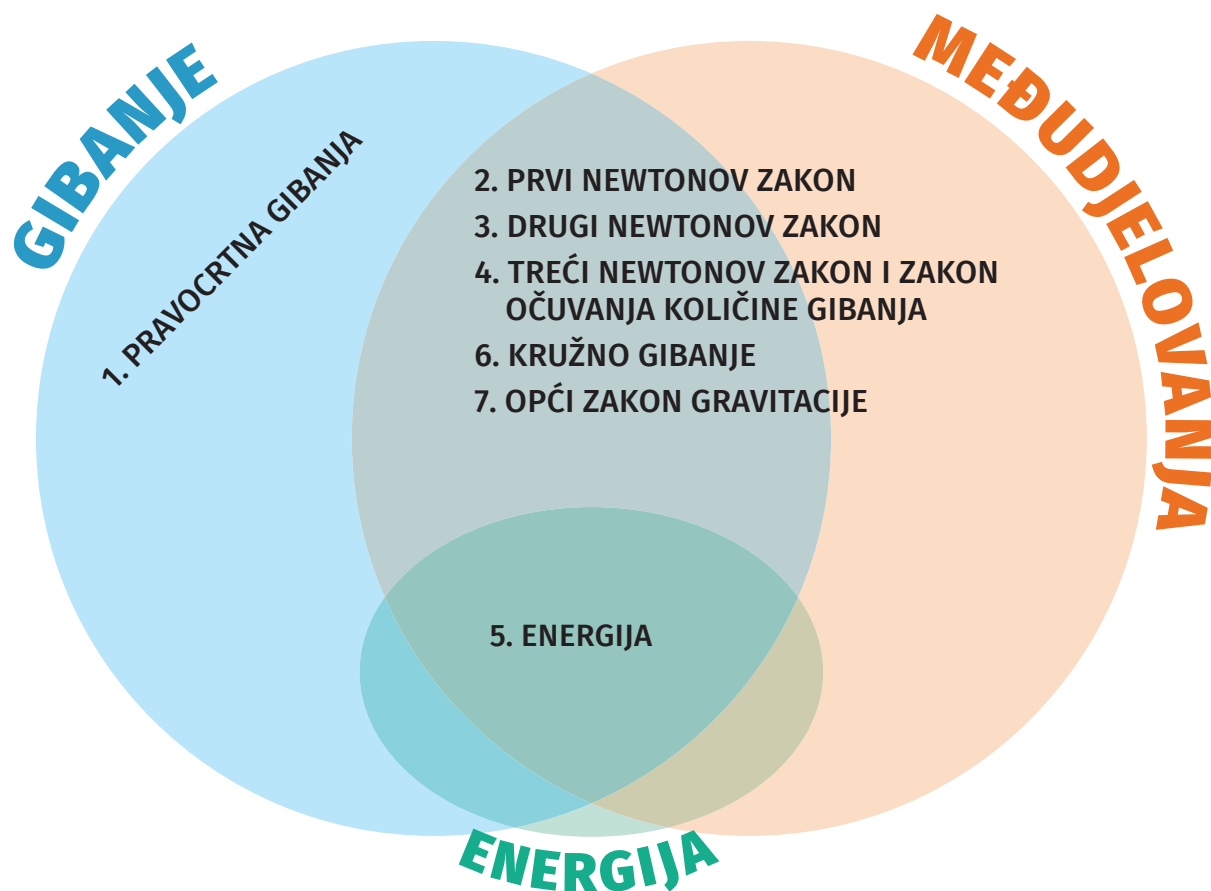
Sadržaj

Pravocrtna gibanja	Put i pomak.....	8
	Brzina.....	10
	Akceleracija.....	13
	Jednoliko pravocrtno gibanje.....	15
	Jednoliko ubrzano pravocrtno gibanje.....	19
	Jednoliko usporeno pravocrtno gibanje.....	24
Prvi Newtonov zakon	Sila i masa.....	30
	Zbrajanje sila.....	32
	Rastavljanje sile na komponente.....	35
	Prvi Newtonov zakon.....	36
Drugi Newtonov zakon	Drugi Newtonov zakon.....	42
	Slobodni pad i sila teža.....	45
	Vertikalni hitac (I2).....	50
	Horizontalni hitac (I2).....	53
	Elastična sila, sila napetosti i sila reakcije podloge.....	57
	Sila trenja.....	59
	Gibanje na kosini (I3).....	63
Treći Newtonov zakon i zakon očuvanja količine gibanja	Treći Newtonov zakon.....	70
	Količina gibanja.....	74
	Impuls sile.....	79
Energija	Rad.....	84
	Kinetička energija.....	87
	Gravitacijska potencijalna energija pri Zemljinoj površini.....	89
	Elastična potencijalna energija.....	91
	Očuvanje energije u mehaničkim sustavima.....	94
	Vrste i pretvorbe energije.....	97
	Snaga.....	103
	Korisnost.....	105
	Energija, energetika i ekologija.....	107
Kružno gibanje	Jednoliko gibanje po kružnici.....	112
	Centripetalna sila i centripetalna akceleracija.....	115
Opći zakon gravitacije	Razvoj ideje o gibanju nebeskih tijela.....	124
	Opći zakon gravitacije.....	127
	Kružno gibanje i gravitacija (I2).....	130
	Gravitacija u svemiru.....	135
	Odgovori na pitanja.....	140
	Međupredmetna povezanost i povezanost s međupredmetnim temama.....	147

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 s tri, odnosno dva sata tjedno.

Sadržaj udžbenika razvrstan je u sedam cjelina koje pokrivaju domene **Gibanje**, **Međudjelovanja** i **Energija**. Na slici su zorno prikazane cjeline i njihova pripadnost međusobno preklapajućim domenama.



Jedna je od vrlo raširenih pojava koje fizika istražuje – gibanje. Najjednostavniji su oblik gibanja **pravocrtna gibanja**. Uzrok promjene gibanja tijela jest **sila**. Bez sile nema promjene brzine tijela (**prvi Newtonov zakon**). Mijenja li se brzina tijela, brzina njezine promjene proporcionalna je ukupnoj sili na tijelo (**drugi Newtonov zakon**). Sile kojima međusobno djeluju dva tijela jednakih su iznosa i suprotnih orijentacija (**treći Newtonov zakon**). U sustavima koji ne međudjeluju s okolinom otkrivene su veličine koje se ne mijenjaju, bez obzira na druge promjene u sustavu. Jedna je od takvih veličina **energija**, a druga **količina gibanja**. Nakon pravocrtnih gibanja upoznat ćemo zakonitosti **kružnog gibanja**. Zakon koji govori o čemu i kako ovisi gravitacijska sila kojom se dva tijela međusobno privlače naziva se **opći zakon gravitacije**.

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 nalazi se na samom kraju udžbenika. Veći dio nastavnih tema otvara **problemsko pitanje** iz svakodnevice, čime se podupire problemski usmjerena nastava. Nastavna tema sažeto je obrađena na učenicima pristupačan način. Tipične neznanstvene predrasude i česta zastranjivanja u razmišljanju naglašena su i razotkrivena u odlomcima naziva „Izbjegni pogrešku”. Tema završava **riješanim primjerima** te **pitanjima za samoprocjenu** koji obuhvaćaju sve razine znanja. Povezanost tema sa svakodnevnim situacijama naglašena je u okviru „Primjena u svakodnevici”. Zbog važnosti eksperimenta u nastavi Fizike vizualno su naglašeni **demonstracijski pokusi**, a na kraju teme nalaze se prijedlozi **samostalnih učničkih pokusa** koje svaki učenik izvodi kod kuće, u prijevoznom sredstvu ili na otvorenom uz lako dostupan pribor. Osim toga mnogo je **prijedloga projekata** koji su složeniji od učničkih pokusa i u pravilu se izvode timski. Detalje projekata učenici trebaju dogovoriti sa svojim profesorima. Učnički pokusi i projekti povezuju teme s učenikovim iskustvima, suočavaju ga s neprerađenom, neidealiziranom stvarnošću, razvijaju njegove kompetencije i prirodoslovno-znanstveni način razmišljanja. Na kraju cjeline jest **Sažetak – pregled fizičkih izraza** po temama u obliku mentalne mape.

Uz naslove sadržaja i uz odgojno-obrazovne ishode koji su izborni u školama s dvosatnim tjednim fondom stoji (I 2), a (I 3) ako se radi o školama s trosatnim tjednim fondom. U modelu 3x2 ne obrađuju se sadržaji uz koje stoji (I3), kao ni oni uz koje stoji (3). Navedene oznake vrijede i za **zbirku zadataka**, koja prati i razrađuje gradivo udžbenika konceptualnim i numeričkim zadacima, razvrstanim po stupnju složenosti, kao i testovima za samoprocjenu na kraju svake cjeline.

Autori

U elektroničkom udžbeniku nalaze se 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. *Pravocrtna gibanja*



- PUT I POMAK
- BRZINA
- AKCELERACIJA
- JEDNOLIKO PRAVOCRTNO GIBANJE
- JEDNOLIKO UBRZANO PRAVOCRTNO GIBANJE
- JEDNOLIKO USPORENO PRAVOCRTNO GIBANJE

UVOD U CJELINU

I samo površan pogled na svakodnevne događaje ne ostavlja sumnju u važnost gibanja. Gibaju se nogometne lopte, ljudi, automobili, Mjesec, cijeli naš planet, Sunce...

U prvom poglavlju nećemo još istraživati uzroke gibanja, nego ćemo ih samo potanko opisati. Ograničit ćemo se na gibanja po pravcu.

Automobil može voziti brzo, a čovjek je u odnosu na njega spor. Neki automobil za 8 sekundi postigne brzinu 100 kilometara na sat, a neki drugi jednaku brzinu za 6 sekundi. Koje veličine opisuju navedena gibanja? Kako se te veličine mijenjaju u vremenu i ima li u tome pravilnosti?

Pronalazeći odgovore na ta pitanja, postaviti ćemo temelje za proučavanje gibanja, definirati ćemo fizičke veličine potrebne za njihov opis, ispitati njihove odnose i načine prikazivanja tih odnosa – jednačinom, grafom i tablicom. U želji za maksimalnom vizualizacijom crtati ćemo čak i vrijeme.

ODGOJNO-OBRAZOVNI ISHODI 1. POGLAVLJA

Učenik:

- ▶ identificira i razlikuje položaj, put, pomak (C.1.1.)
- ▶ razlikuje osnovne i izvedene mjerne jedinice i međusobno ih pretvara (C.1.8.)
- ▶ razlikuje srednju i trenutnu brzinu (C.1.1.)
- ▶ prikazuje i interpretira s - t , v - t i a - t graf pravocrtnih gibanja: jednolikog, jednoliko ubrzanog (iz mirovanja i s početnom brzinom) i jednoliko usporenog (C.1.1.)
- ▶ interpretira nagib s - t i v - t grafa (C.1.1.)
- ▶ interpretira površinu ispod v - t i a - t grafa (C.1.1.)
- ▶ računa iznos fizičke veličine zadane grafom (C.1.8.)
- ▶ analizira pravocrtna gibanja na temelju zapisa gibanja (C.1.1.)
- ▶ odabire odgovarajuću jednačinu za zadani problem (C.1.8.)
- ▶ prepoznaje i opisuje proporcionalnost i proporcionalnost s kvadratom veličina koje opisuju pojedino pravocrtno gibanje (C.1.8.)
- ▶ interpretira grafove nejednolikih gibanja (C.1.1.)
- ▶ kvalitativno zaključuje rješavajući zadani problem (C.1.8.)
- ▶ istražuje jednoliko ubrzano gibanje pomoću snimljenog demonstracijskog pokusa (C.1.9.)
- ▶ računa srednju vrijednost i apsolutnu pogrešku (C.1.9.)
- ▶ istražuje jednoliko i jednoliko ubrzano gibanje izvodeći učeničke pokuse (C.1.9.)
- ▶ istražuje jednoliko i jednoliko ubrzano gibanje izvodeći učeničke projekte (C.1.9.)

Put i pomak

Kada kažemo da se tijelo giba, onda pod tim smatramo da ono mijenja položaj u odnosu na druga tijela. Prikladno je umjesto „drugih tijela” odabrati koordinatni sustav. Tada možemo reći da se tijelo giba ako se mijenjaju njegove koordinate. Koordinatni sustav u kojem pratimo i opisujemo gibanje nazivamo **referentnim koordinatnim sustavom**. Najčešće se uzima referentni sustav povezan s tlom.

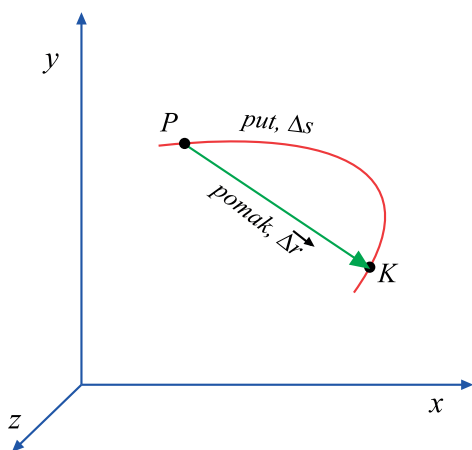
Ako se svi dijelovi tijela gibaju jednako, pri opisivanju gibanja tijela njegove dimenzije možemo zanemariti i zamišljati ga kao točku. Tako zamišljenu tvorevinu nazivamo **materijalnom točkom**.

Skup točaka kroz koje materijalna točka prolazi pri gibanju čine **stazu** ili **putanju**. Zamislimo tijelo koje se pomaklo iz početnog položaja P u konačni položaj K (slika 1.1.a).

Udaljenost konačnog položaja tijela od početnog položaja mjerena duž staze (putanje) po kojoj se tijelo gibalo nazivamo putom (Δs). Put je veličina bez orijentacije i tijekom gibanja uvijek se povećava. Veličine koje nemaju orijentaciju (usmjerenje), nego samo iznos, nazivamo **skalarnim** veličinama ili skalarima. Postoje i fizičke veličine koje uz iznos imaju i orijentaciju. To su **vektorske** veličine.

Vektor usmjeren od početnog položaja prema konačnom položaju, a iznosom jednak udaljenosti tih dvaju položaja (slika 1.1.a), nazivamo pomakom ($\Delta \vec{r}$). Na slici 1.1.b prikazani su cestovni put (878 km) i pomak (326 km) od Osijeka do Dubrovnika.

Pri gibanju se iznos pomaka može povećavati ili smanjivati. Povećava se udaljavanjem tijela od njegova početnog položaja, a smanjuje se kada se tijelo približava početnom položaju.



a)



b)

Slika 1.1. Put i pomak

S obzirom na oblik putanje, gibanje može biti **pravocrtno** ili **krivocrtno**. Pri opisivanju pravocrtnoga gibanja koordinatni sustav obično odabiremo tako da se njegova os x poklapa s pravcem gibanja. Pomak tada obilježavamo s Δx . U tom nam slučaju preostale dvije koordinatne osi nisu potrebne.

Promotrimo tijelo koje se giba duž osi x (**slika 1.2.**) tako da se pomakne iz početnog položaja P s koordinatom $x_p = 1$ m najprije u položaj s koordinatom $x = 4$ m, a zatim iz tog položaja u konačni položaj K s koordinatom $x_k = -4$ m.

Put je:

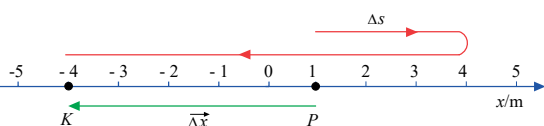
$$\Delta s = 3 \text{ m} + 8 \text{ m} = 11 \text{ m},$$

a pomak:

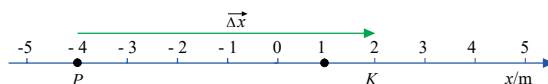
$$\Delta x = x_k - x_p = -4 \text{ m} - 1 \text{ m} = -5 \text{ m}.$$

Pri pravocrtnom gibanju pomak može imati samo dvije međusobno suprotne orijentacije. Zato njegovo vektorsko obilježje možemo istaknuti samo predznakom, pozitivnim ili negativnim.

Primijetimo da je iznos pomaka jednak prijeđenom putu ako se u promatranom vremenskom intervalu orijentacija brzine ne mijenja. Uzmimo za primjer da se tijelo pomaklo iz početnog položaja P s koordinatom $x_p = -4$ m u konačni položaj K s koordinatom $x_k = 2$ m (**slika 1.3.**). Prijeđeni put i pomak iznose 6 m.

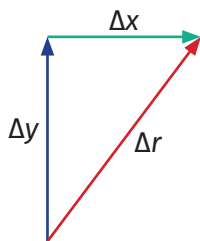


Slika 1.2. Grafički prikaz puta i pomaka



Slika 1.3. Kada se ne mijenja orijentacija brzine, iznos pomaka jednak je putu.

Primjer: Gibamo se 40 m prema sjeveru, a zatim 30 m prema istoku. Izračunajmo put i pomak.



Rješenje:

$$\Delta y = 40 \text{ m}$$

$$\Delta x = 30 \text{ m}$$

$$\Delta s = ? \quad \Delta r = ?$$

$$\Delta s = \Delta y + \Delta x = 40 \text{ m} + 30 \text{ m}, \quad \Delta s = 70 \text{ m}$$

$$\Delta r = \sqrt{(\Delta y)^2 + (\Delta x)^2} = \sqrt{(40 \text{ m})^2 + (30 \text{ m})^2}$$

$$\Delta r = 50 \text{ m}$$

Pitanja:

1. Kako nazivamo koordinatni sustav pomoću kojeg opisujemo položaj i gibanje tijela?
2. Što mjeri brojač kilometara u automobilu: pomak ili put?

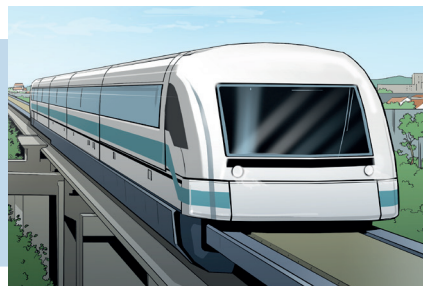
Izmjeri površinu svog radnog stola. Duljinu i širinu stola izmjeri 5 puta. Primijetit ćeš da rezultati mjerenja nisu jednaki. Pokušaj otkriti razloge. Površinu izrazi u cm^2 i m^2 pazeći pri zaokruživanju na pouzdane znamenke. Izračunaj srednju vrijednost površine te maksimalnu apsolutnu i maksimalnu relativnu pogrešku.

POKUS

U digitalnoj inačici udžbenika nalaze se upute o mjerenju, srednjoj vrijednosti i pogreškama mjerenja.

Brzina

Vlak putuje od Zagreba do Osijeka srednjom brzinom 50 km h^{-1} , a vožnja traje 4,5 sata. Kada bi ta dva grada bila povezana prugom za maglev vlak (**slika 1.4.**) koji vozi srednjom brzinom 300 km h^{-1} , koliko bi tada trajala vožnja?



Slika 1.4. Maglev

Srednja brzina. Dok promatramo tijela oko sebe, opažamo da se neka od njih gibaju brže, a neka sporije. Na temelju čega zaključujemo da je neko tijelo brže od nekog drugog tijela? Brže tijelo u određenom vremenskom intervalu prijeđe duži put nego sporije tijelo u jednakom vremenskom intervalu. Raspolažemo li podacima o putovima što su ih tijela prešla i pripadajućim vremenima, možemo i bez promatranja gibanja tijela saznati koje se tijelo brže gibalo. Treba samo izračunati i usporediti putove što su ih tijela prešla u istom vremenskom intervalu. Koji ćemo vremenski interval uzeti, u načelu je svejedno, ali obično uzimamo jedinični vremenski interval, tj. onaj koji traje jednu sekundu. Kako ćemo dobiti put što ga tijelo prijeđe u jednoj sekundi (jedinici vremena)? Uzmimo da je tijelo prešlo 20 m za 4 s. To znači da je tijelo svake sekunde prelazilo prosječno 5 m. Kažemo prosječno jer tijelo ne mora svake sekunde prelaziti jednake putove. Do tog rezultata dolazimo dijeljenjem prijeđenog puta (20 m) s pripadajućim vremenom (4 s). Dakle, put što ga tijelo prijeđe u jedinici vremena jednak je kvocijentu prijeđenog puta i vremena za koje je taj put prijeđen. Što je taj kvocijent veći, tijelo je brže, ima veću brzinu.

Kvocijent prijeđenog puta (Δs) i pripadajućeg vremena (Δt) nazivamo srednjom brzinom po putu ($\bar{v}$):

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

Podijelimo li pomak vremenom za koje ga tijelo ostvari, dobit ćemo **srednju brzinu po pomaku:**

$$\vec{v} = \frac{\vec{\Delta x}}{\Delta t}$$

Srednja brzina po putu skalarna je veličina, dok je srednja brzina po pomaku vektorska veličina koja ima orijentaciju pomaka.

Ako se pri gibanju orijentacija pomaka ne mijenja, iznosi srednjih brzina po putu i pomaku jednaki su jer se tada iznosi pomaka i puta tijekom vremena mijenjaju na isti način. U tom slučaju, kad govorimo o srednjoj brzini, nije potrebno isticati „po putu” i „po pomaku”. Dovoljno je reći „srednja brzina”.

Trenutačna brzina (brzina). Vremenski interval u kojem promatramo gibanje možemo razdijeliti na kraće vremenske intervale i naći srednje brzine u svakom od njih. Ako u opisu gibanja navedemo srednje brzine u tim kraćim vremenskim intervalima, takav opis više govori o gibanju nego onaj u kojemu poznajemo samo srednju brzinu u ukupnom vremenu gibanja. Opis gibanja precizniji je što su vremenski intervali s poznatim srednjim brzinama kraći. **Srednja brzina u jako malom vremenskom intervalu jest trenutačna brzina.** Uobičajeno je trenutačnu brzinu zvati samo brzina (v).

Brzina je kvocijent pomaka ostvarenog u vrlo malom vremenskom intervalu i tog vremenskog intervala. Tako definirana brzina ima jednak iznos po putu i po pomaku jer je iznos pomaka u vrlo malom vremenskom intervalu jednak putu.

Mjerna jedinica za brzinu je metar u sekundi, što zapisujemo kao $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ ili m s^{-1} .

U svakodnevnom životu brzinu iskazujemo i kilometrima na sat: $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ ili km h^{-1} .

Pri rješavanju zadataka najčešće je potrebno pretvarati km h^{-1} u m s^{-1} .

Neke tipične brzine dane su u **tablici 1.1**.

Ovisnost brzine o izboru referentnog sustava. Brzina ovisi o izboru referentnog sustava. Uzmimo za primjer sustav povezan s vlakom koji se giba po tračnicama brzinom 70 km h^{-1} i sustav povezan s tračnicama. Putnici koji sjede u vlaku miruju u sustavu povezanom s vlakom, dok se u sustavu povezanom s tračnicama gibaju brzinom 70 km h^{-1} . Ako brzina konduktera u sustavu povezanom s vlakom ima orijentaciju brzine vlaka i iznosi 2 km h^{-1} , njegova brzina u sustavu povezanom s tračnicama iznosi 72 km h^{-1} .

Pozitivna i negativna brzina. Poput pomaka, i brzina može imati pozitivan i negativan predznak. Pomak i pripadajuća brzina istoga su predznaka. Pozitivnog kada se tijelo giba prema položaju s koordinatom većom od koordinate početnog položaja (gibanje udesno), a negativnog kada je koordinata položaja prema kojem se tijelo giba manja od koordinate početnog položaja (gibanje ulijevo). Tako se na **slici 1.2** tijelo prva 3 metra giba brzinom pozitivnog predznaka, a idućih 8 metara brzinom negativnog predznaka.

Primjer 1:

Neki automobil giba se brzinom 108 km h^{-1} .
Kolika je brzina automobila iskazana u m s^{-1} ?

Rješenje:

$$108 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 108 \cdot \frac{1\,000 \text{ m}}{3\,600 \text{ s}} = 30 \text{ m s}^{-1}$$

Primjer 2:

Brzina vjetra iznosi 15 m s^{-1} .
Kolika je brzina vjetra iskazana u km h^{-1} ?

Rješenje:

$$15 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 15 \cdot \frac{\frac{1}{3\,600} \text{ km}}{\frac{1}{1\,000} \text{ h}} = 15 \cdot \frac{3\,600 \text{ km}}{1\,000 \text{ h}} = 54 \text{ km h}^{-1}$$

rast ljudske kose	$3 \cdot 10^{-9} \text{ m s}^{-1}$
rast biljaka	$2 \cdot 10^{-7} \text{ m s}^{-1}$
krv u žilama	$0,07 \text{ m s}^{-1}$
pješak	$1,4 \text{ m s}^{-1}$ (5 km h^{-1})
trkač	10 m s^{-1}
biciklist	6 m s^{-1} (20 km h^{-1})
automobil	45 m s^{-1} (160 km h^{-1})
zvuk u zraku	340 m s^{-1}
točka na ekvatoru	465 m s^{-1}
puščani metak	800 m s^{-1}
Mjesec oko Zemlje	$1\,000 \text{ m s}^{-1}$
Zemlja oko Sunca	$3 \cdot 10^4 \text{ m s}^{-1}$
svjetlost u vakuumu	$3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$

Tablica 1.1. Neke tipične brzine

Primjer 3:

Automobil prijeđe 120 km srednjom brzinom 60 km h^{-1} , a zatim 80 km srednjom brzinom 70 km h^{-1} . Kolika je srednja brzina automobila na cijelom putu?

Rješenje:

$$s_1 = 120 \text{ km}$$

$$\bar{v}_1 = 60 \text{ km h}^{-1}$$

$$s_2 = 80 \text{ km}$$

$$\bar{v}_2 = 70 \text{ km h}^{-1}$$

$$\bar{v} = ?$$

$$t_1 = \frac{s_1}{\bar{v}_1} = \frac{120 \text{ km}}{60 \text{ km h}^{-1}} = 2 \text{ h}$$

$$t_2 = \frac{s_2}{\bar{v}_2} = \frac{80 \text{ km}}{70 \text{ km h}^{-1}} = 1,14 \text{ h}$$

$$\bar{v} = \frac{s_1 + s_2}{t_1 + t_2} = \frac{120 \text{ km} + 80 \text{ km}}{2 \text{ h} + 1,14 \text{ h}}$$

$$\bar{v} = 63,69 \text{ km h}^{-1}$$

Pitanja

1. Koju brzinu mjeri brzinomjer u automobilu?
2. Kada je srednja brzina po putu jednaka srednjoj brzini po pomaku?
3. Može li trenutačna brzina biti veća od srednje?
4. Automobil A giba se po ravnoj cesti brzinom 80 km h^{-1} . Njemu u susret se giba automobil B brzinom 50 km h^{-1} . Kolika je brzina automobila B za vozača u automobilu A? Kolika bi bila brzina automobila B za vozača u automobilu A kada bi brzine automobila imale istu orijentaciju?
5. Ako je srednja brzina automobila 62 km h^{-1} , znači li to da se automobil češće gibao tom brzinom nego drugim brzinama? Znači li to da je u prvom satu vožnje, koja je trajala 2,5 h, automobil prešao 62 km? Znači li to da je automobil u bilo kojem satu vožnje prešao 62 km?
6. U Velikoj Britaniji promet se snima dvjema kamerama međusobno udaljenim 2 km. Svaka od kamera snimi tablicu automobila i trenutak u kojem automobil prolazi pokraj kamere. Provjerava li se na taj način srednja ili trenutačna brzina automobila? Koja se brzina provjerava u Hrvatskoj?

**UČENIČKI POKUS:**

- Izmjeri svoju srednju brzinu pri uobičajenom hodanju i najbržem trčanju. Za mjerenje puta koristi pogodnu aplikaciju na mobitelu.
- Izmjeri svoju srednju brzinu po putu i pomaku pri gibanju od kuće do školske zgrade.

PROJEKT

Izmjeri a) srednju brzinu nekoliko dizala, b) brzinu pokretnih stepenica i c) svoju brzinu dok se uspinješ pokretnim stepenicama. Unaprijed u razredu odlučite o načinu mjerenja visine između katova i duljine pokretnih stepenica. Sve brzine izrazite u m s^{-1} i km h^{-1} . Usporedite ih s tipičnom brzinom hoda.

Akceleracija

Vozači kamiona i osobnog automobila nastoje svoja vozila ubrzati iz mirovanja do brzine 100 km h^{-1} u što manjem vremenskom intervalu. Hoće li vremena ubrzavanja vozila biti jednaka?

U kojem se slučaju brzina brže mijenja?

Fizička veličina koja iskazuje kako se brzo brzina mijenja naziva se akceleracija.

Srednja akceleracija ($\bar{a}$) kvocijent je promjene brzine (Δv) i pripadnog vremenskog intervala (Δt):

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v - v_0}{t - t_0}$$

S v_0 smo obilježili brzinu na početku intervala (u trenutku t_0), a s v brzinu na kraju intervala (u trenutku t).

Kvocijent promjene brzine koja se dogodila u vrlo malom vremenskom intervalu i tog vremenskog intervala nazivamo **trenutačnom akceleracijom** (a) ili samo **akceleracijom**.

Mjernu jedinicu za akceleraciju izvodimo tako da u definicijski izraz za srednju akceleraciju umjesto fizičkih veličina napišemo njihove mjerne jedinice:

$$\frac{\frac{\text{m}}{\text{s}}}{\text{s}} = \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \text{m s}^{-2}.$$

Izvedeni zapis mjerne jedinice za akceleraciju čitamo: metar u sekundi na kvadrat.

Iz definicije akceleracije vidimo da je ona vektorska veličina i da ima orijentaciju vektora promjene brzine (Δv).

Akceleraciju pri ubrzanom gibanju nazivamo i ubrzanjem, a usporenom gibanju usporenjem ili deceleracijom. Akceleracija može biti pozitivna (kada je $v > v_0$) i negativna (za $v < v_0$).

Izbjegni pogrešku!

Od dvaju tijela, brže se giba ono koje ima veću trenutačnu akceleraciju.

Trenutačna akceleracija ne daje informaciju o trenutačnoj brzini, nego o brzini promjene brzine. Biciklist koji kreće iz mirovanja ima veću akceleraciju od automobila koji projuri pokraj njega konstantnom brzinom.

Primjer:

Odredi srednju akceleraciju automobila koji brzinu 100 km h^{-1} postigne za samo 2 s . Pokušaj otkriti o kojem se modelu automobila radi.

Rješenje:

$$v_0 = 0$$

$$v = 100 \text{ km h}^{-1} = 27,78 \text{ m s}^{-1}$$

$$\Delta t = 2 \text{ s}$$

$$\bar{a} = ?$$

$$\bar{a} = \frac{v - v_0}{\Delta t} = \frac{27,78 \text{ m s}^{-1} - 0}{2 \text{ s}}$$

$$\bar{a} = 13,89 \text{ m s}^{-2}$$

Pitanja:

1. Mogu li brzina i akceleracija imati suprotne orijentacije? Ako mislite da mogu, navedite primjer gibanja pri kojem su one tako orijentirane.
2. Tijelo se u promatranom vremenu t giba stalnom brzinom iznosa v . Njegova je akceleracija a : pozitivnog predznaka, negativnog predznaka, jednaka $a = \frac{v}{t}$ ili jednaka nuli?

UČENIČKI POKUS:

Izmjeri srednju akceleraciju ubrzavajućeg prijevoznog sredstva po izboru (automobil, autobus, tramvaj).



Jednoliko pravocrtno gibanje

Od pravocrtnih gibanja najjednostavnije je ono pri kojemu tijelo u jednakim vremenskim intervalima prelazi jednake putove. Put se jednoliko povećava, a iznos i orijentacija brzine se ne mijenjaju ($\vec{v} = \text{konst.}$). Tako se, primjerice, giba automobil na cesti bez krivina, kada vozač nema potrebu ubrzavati automobil niti kočiti. **Gibanje brzinom stalnog iznosa i orijentacije nazivamo jednoliko pravocrtno gibanje.**

Brzina je u svakom trenutku jednaka srednjoj brzini, pa se računa prema izrazu:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s - s_0}{t - t_0}.$$

gdje je s_0 put prijeđen do početka intervala (t_0), a s put prijeđen do kraja intervala (t). Počinjemo li vrijeme mjeriti u trenutku t_0 , tada je $t_0 = 0$. Ako tijelo u tom trenutku prolazi ishodištem referentnog sustava, prijeđeni je put do tog trenutka $s_0 = 0$ pa gornji izraz prelazi u:

$$v = \frac{s}{t}.$$

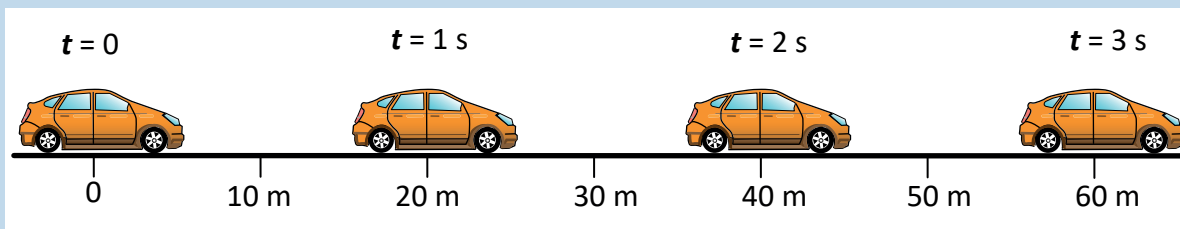
Iz toga slijedi:

$$s = vt.$$

Ako je tijelo do početnog trenutka prešlo put s_0 , tada je:

$$s = s_0 + vt.$$

Na **slici 1.5.** prikazani su položaji nekog automobila koji se giba jednoliko po pravcu. Uz položaje su navedena i pripadajuća vremena.

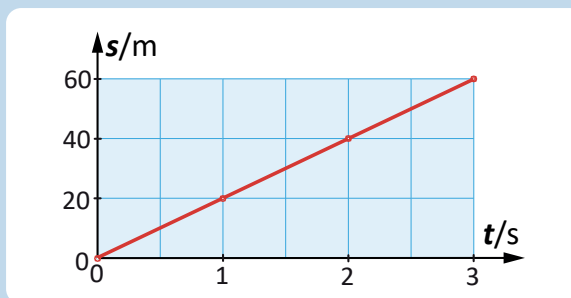


Slika 1.5. Jednoliko gibanje automobila uz $s_0 = 0$

Podatke o vremenu i putu možemo prikazati tablično (**tablica 1.2.**) i grafički (**slika 1.6.**). Ako na os apscisa naneseemo vrijeme, a na ordinatu naneseemo vrijednosti puta, dobiveni graf zovemo s-t graf. On prikazuje ovisnost puta o vremenu.

t/s	s/m
0	0
1	20
2	40
3	60

Tablica 1.2.



Slika 1.6. s-t graf jednolikog gibanja

Automobil svake sekunde prijeđe 20 m, što znači da mu je brzina 20 m s^{-1} .

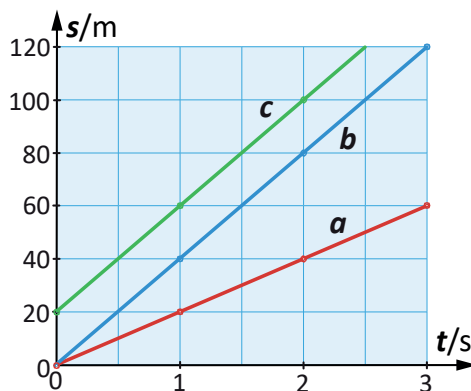
Izbjegni pogrešku!

s-t graf (x-t graf) je putanja tijela.

s-t graf (x-t graf) nije krivulja u prostoru, nego grafički prikaz ovisnosti puta, odnosno pomaka o vremenu.

Graf puta automobila nalazi se i na **slici 1.7.** (graf **a**). Na istoj su slici još dva grafa, **b** i **c**.

Kolika je brzina tijela čije je gibanje opisano grafom **b**? To tijelo svake sekunde prijeđe 40 metara, pa mu je brzina 40 m s^{-1} . Uočimo da je nagib grafa veći što je brzina veća.



Slika 1.7. Grafovi ovisnosti puta o vremenu

Usporedimo sada nagibe grafova **b** i **c**. Oni su jednaki, što znači da je brzina gibanja opisana grafom **c** također 40 m s^{-1} . To možemo provjeriti očitavajući iz grafa **c** putove prijeđene svake sekunde. Oni stvarno iznose 40 m.

Iz grafova se također vidi da se za jednaka povećanja vremena i put povećava za međusobno jednake iznose. Kraće, **pri jednolikom gibanju put se tijekom vremena jednoliko povećava.**

Ako je put u početnom trenutku jednaki nuli, put je **proporcionalan** vremenu. Koliko se puta poveća vrijeme, toliko se puta poveća i put.

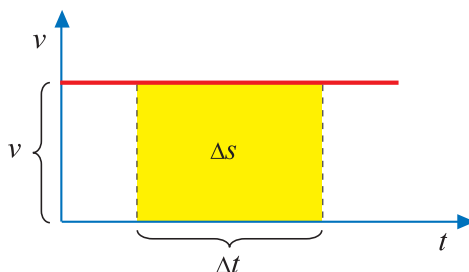
Izbjegni pogrešku!

Dvije su veličine proporcionalne kada se jednolikim povećanjem jedne od njih i druga jednoliko povećava.

Proporcionalnost je više od navedene (rastuće linearne) ovisnosti. Dvije su veličine proporcionalne kada je njihov **omjer konstantan**. Drugim riječima, koliko se puta poveća jedna od veličina, toliko se puta poveća i druga veličina.

Budući da je brzina stalna, graf ovisnosti brzine o vremenu (**v-t** graf) dio je pravca paralelnog apscisnoj (vremenskoj) osi (**slika 1.8.**). Iz **slike 1.8.** vidimo da je umnožak brzine i vremenskog intervala brojčano

jednak površini pravokutnika stranica **v** i Δt . Prema izrazu $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$, odnosno $\Delta s = v\Delta t$, taj je umnožak jednak prijađenom putu. **Prijađeni je put brojčano jednak površini pravokutnika ispod odgovarajućega dijela v-t grafa.**



Slika 1.8. Graf ovisnosti brzine o vremenu za jednoliko gibanje

Izbjegni pogrešku!

t/s	v/m s ⁻¹
0	0
1	20
2	20
3	20

Brojevi u tablici odnose se na jednoliko gibanje automobila sa **slike 1.5.**

Prema brojevima u tablici, brzina se u prvoj sekundi povećala od 0 do 20 m s⁻¹, dok je pri jednolikom gibanju automobila njegova brzina 20 m s⁻¹ u svakom trenutku, uključujući i t = 0.

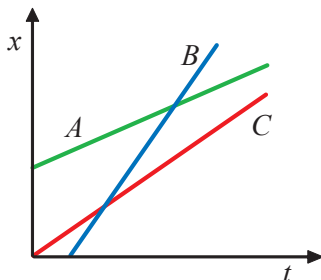
Budući da se brzina pri jednolikom pravocrtnom gibanju ne mijenja ($\Delta v = 0$), kolika je akceleracija? Graf ovisnosti akceleracije o vremenu (**a-t** graf) prikazan je na **slici 1.9.**



Slika 1.9. Graf ovisnosti akceleracije o vremenu za jednoliko gibanje

Pitanja:

1. Automobil se 10 minuta giba jednoliko pravocrtno brzinom od 100 km h^{-1} . Koliko iznosi akceleracija automobila?
2. Koja fizička veličina ima iznos jednak koeficijentu smjera (nagibu) s - t grafa ili x - t grafa?
3. Grafovi na slici prikazuju ovisnost pomaka o vremenu za tijela A, B i C. Poredajte brzine tijela počevši od najmanje.



4. Koju fizičku veličinu prikazuje površina između grafa i apscisne osi u v - t koordinatnom sustavu?
5. Jedan metar definiran je kao udaljenost koju prijeđe svjetlost u vakuumu u $0,00333564095$ milijuntiniki sekunde. Kolika je brzina svjetlosti u vakuumu?
6. Na slici je prikazana ovisnost položaja tijela o vremenu.
 - a. Opišite gibanje tijela tijekom 7 s.
 - b. Koliki je put tijelo prešlo za 7 s?
 - c. Koliko je tijelo udaljeno od početnog položaja nakon 7 s?

PRIMJENA U
SVAKODNEVNICI
definicija
metra



7. Na slici 1.7. (str 16.) grafovima a , b i c prikazana su gibanja triju tijela. Na koja se gibanja primjenjuje izraz za brzinu $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$, a na koja izraz $v = \frac{s}{t}$?

PROJEKT

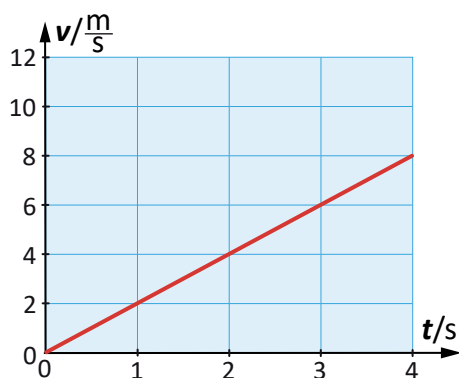
U prvom dijelu projekta treba izmjeriti brzinu kojom učenik hoda brojeći korake, mjereći vrijeme i duljinu jednog koraka. U drugom dijelu projekta sudjeluju tri učenika. Prvi učenik stane na neku udaljenost ispred drugoga. Na znak trećeg učenika prva dvojica počnu hodati konstantnim brzinama, prvi učenik manjom, a drugi većom. Treći učenik mjeri vrijeme potrebno da drugi učenik sustigne prvog. U analizi mjerenja treba u istom x - t koordinatnom sustavu prikazati gibanje obojice učenika, odrediti trenutak sustizanja i usporediti ga s izmjerenim.

Jednoliko ubrzano pravocrtno gibanje

Upoznali smo gibanje sa stalnom brzinom (jednoliko pravocrtno gibanje). Prijeđimo sada na gibanje pri kojem se brzina povećava, ali ne bilo kako, nego jednoliko, tj. u jednakim vremenskim intervalima za jednake iznose.

Gibanje duž pravca pri kojem se brzina u jednakim vremenskim intervalima povećava za jednake iznose nazivamo jednoliko ubrzano pravocrtno gibanje.

Jednoliko ubrzano pravocrtno gibanje bez početne brzine. Razmotrit ćemo najprije jednostavniji slučaj jednoliko ubrzanoga pravocrtnoga gibanja, kada tijelo u početnom trenutku nema brzine. Na **slici 1.10.** nalazi se graf ovisnosti brzine o vremenu za jedno takvo gibanje.



Slika 1.10. Graf ovisnosti brzine o vremenu za jednoliko ubrzano gibanje bez početne brzine

Izračunajte i usporedite srednje akceleracije u trima različitim vremenskim intervalima.

Koliko iznosi akceleracija u svakom trenutku?

Pri jednolikom ubrzanom pravocrtnom gibanju **akceleracija je stalna** ($\vec{a} = \text{konst.}$) i jednaka je srednjoj akceleraciji u bilo kojem vremenskom intervalu:

$$a = \bar{a} = \frac{v - v_0}{t - t_0} = \text{konst.} > 0$$

Grafički prikaz ovisnosti akceleracije o vremenu nalazi se na **slici 1.11.** Iz toga grafa možemo odrediti promjenu brzine tijela (Δv) u danom vremenskom intervalu (Δt). Promjena brzine brojčano je jednaka površini pravokutnika sa stranicama a i Δt .

Uzmemo li da je $t_0 = 0$, tada je i $v_0 = 0$ pa gornji izraz prelazi u:

$$a = \frac{v}{t}$$

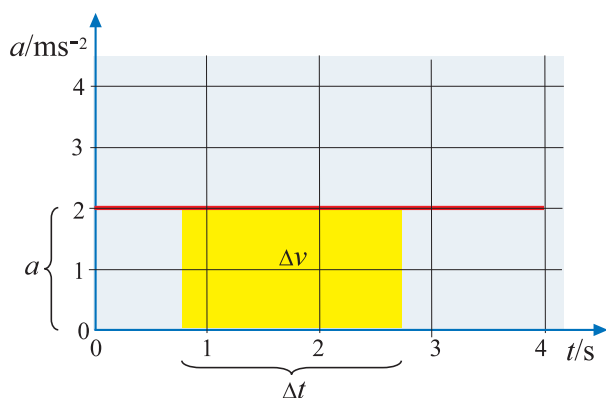
Dakle, kada je riječ o jednoliko ubrzanom pravocrtном gibanju bez početne brzine, akceleraciju možemo dobiti tako da brzinu v podijelimo vremenom t za koje je ta brzina postignuta. Posljednji se izraz može još pisati kao:

$$v = at,$$

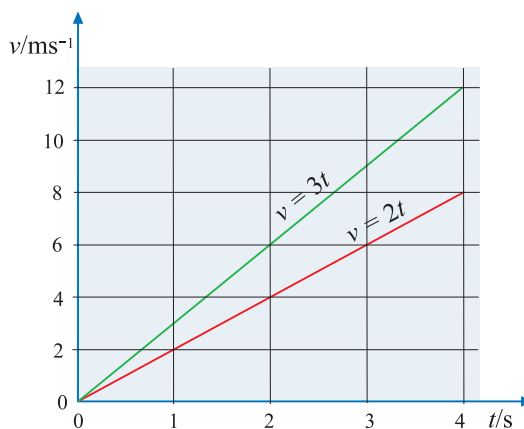
a u našem primjeru ($a = 2 \text{ m s}^{-2}$) izraz glasi:

$$v = 2t.$$

To je jednadžba grafa prikazanog na **slici 1.10**. Na **slici 1.12**, prikazan je taj graf i graf koji se odnosi na gibanje akceleracijom od 3 m s^{-2} . Vidimo da je nagib grafa veći za veću akceleraciju. Iznos akceleracije jednak je koeficijentu smjera pravca na kojem leži graf ovisnosti brzine o vremenu.



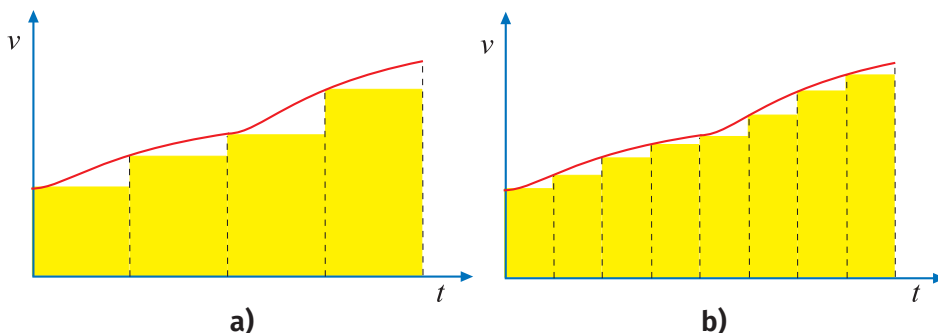
Slika 1.11. Graf ovisnosti akceleracije o vremenu za jednoliko ubrzano gibanje



Slika 1.12. Graf ovisnosti brzine o vremenu pri većoj akceleraciji ima veći nagib.

Pri jednolikom pravocrtном gibanju pokazali smo da je put brojčano jednak površini pravokutnika određenoga grafom u v - t koordinatnom sustavu i apscisnom osi (**slika 1.8**). **Površina lika između v - t grafa i apscisne osi uvijek predočuje prijeđeni put.** To ćemo sada i pokazati.

Na **slici 1.13.a** prikazana je ovisnost brzine o vremenu pri nekom nejednolikom gibanju. Razdijelimo vrijeme gibanja na vremenske intervale. Uzmimo da se tijelo unutar svakog intervala giba stalnom brzinom. Put prijeđen u nekom od intervala predočen je površinom pravokutnika iznad toga intervala, a ukupni put zbrojem površina svih pravokutnika. Ta je površina manja od površine ispod grafa. Na **slici 1.13.b** smanjili smo vremenske intervale na polovinu prijašnjeg iznosa. Vidimo da je sada iznos površine svih pravokutnika bliži iznosu površine ispod grafa. Te bi dvije površine postale jednake kada bismo vrijeme gibanja razdijelili na jako male vremenske intervale. Na taj način složenijim matematičkim računom ili računalom možemo izračunati put i pri nejednolikim gibanjima.



Slika 1.13. Smanjivanjem vremenskih intervala površina pravokutnika sve se manje razlikuje od površine ispod grafa.