

Jakov Labor

FIZIKA 1

UDŽBENIK ZA **PRVI RAZRED SREDNJIH ŠKOLA**
S TROGODIŠNJIM PROGRAMOM FIZIKE



6. izdanje
Zagreb, 2022.

Nakladnik
Alfa d.d.
Zagreb, Nova Ves 23a

Za nakladnika
Ivan Petric

Urednik
dr. sc. Dragan Roša

Recenzenti
prof. dr. sc. Ivica Orlić
Stjepan Knežević, prof. savjetnik

Likovna urednica
Irena Lenard

Likovno i grafičko oblikovanje
Darija Vuković

Lektorica i korektorka
Kristina Ferenčina

© Alfa d.d. Zagreb, 2022.

Nijedan dio ove knjige ne smije se umnožavati,
fotokopirati ni na bilo koji način reproducirati
bez nakladnikova pismenog dopuštenja.

Udžbenik je uvršten u Katalog odobrenih udžbenika
rješenjem Ministarstva znanosti, obrazovanja i sporta Republike Hrvatske:
KLASA: UP/I-602-09/14-01/00029
URBROJ: 533-26-14-0002, od 15. svibnja 2014.

CIP zapis dostupan u računalnome katalogu Nacionalne
i sveučilišne knjižnice u Zagrebu pod brojem 001125853.

Tisak
Tiskara Zelina d. d.

Jakov Labor

FIZIKA 1

UDŽBENIK ZA **PRVI RAZRED SREDNJIH ŠKOLA**
S TROGODIŠNJIM PROGRAMOM FIZIKE



6. izdanje
Zagreb, 2020.

Sadržaj

GIBANJE

Pomak i put	8
Brzina	11
Akceleracija	14
Jednoliko pravocrtno gibanje	15
Jednoliko ubrzano pravocrtno gibanje	17
Jednoliko usporeno pravocrtno gibanje	21
Slobodni pad	23
<i>Horizontalni hitac</i>	25
<i>Vertikalni hitac</i>	28
Translacija i rotacija	30

SILE I POLJA

Sila i masa	38
Prvi Newtonov zakon	43
Drugi Newtonov zakon	44
Treći Newtonov zakon	47
Količina gibanja	49
<i>Impuls sile</i>	52
Gravitacijska sila i polje	54
Električna sila	58
Električno polje	63
Magnetsko polje	67
Elastična sila, sila napetosti i sila podloge	70
Sila trenja	73
Centripetalna sila	76
<i>Inercijski i neinercijski sustavi</i>	79
<i>Moment sile</i>	81
<i>Rotacija krutog tijela, moment tromosti</i>	83
<i>Kutna količina gibanja</i>	86
<i>Ravnoteža krutog tijela</i>	88
Tlak	91
<i>Vanjski ili hidraulički tlak</i>	93
<i>Atmosferski tlak</i>	95
<i>Uzgon</i>	98
<i>Površinska napetost i viskoznost</i>	101

RAD I ENERGIJA U MEHANIČKIM SUSTAVIMA

Rad i snaga	108
Mehanička energija	112
Očuvanje mehaničke energije	117
Zakon očuvanja energije	120
<i>Rad, snaga i kinetička energija pri rotaciji</i>	124
Mehanička prednost i djelotvornost	125
<i>Protjecanje fluida</i>	129
<i>Posebni slučajevi i primjene Bernoullijeve jednadžbe</i>	133

Predgovor

Fizika nastoji rastumačiti prirodne pojave, iznaći zakonitosti njihova zbivanja i izučiti opća svojstva i građu tvari. Pritom fizičari rabe različite metode istraživanja: opažanje, mjerenje, računanje. Do mnogih otkrića fizike došlo se teorijskim putem, do nekih i slučajno. No sva su ona zahtijevala eksperimentalnu provjeru. S tog je gledišta fizika u osnovi eksperimentalna znanost.

Prema nastavnom programu fizike za srednje škole u kojima se fizika uči tri godine, ovaj udžbenik sadrži sljedeće nastavne cjeline:

1. Gibanje
2. Sile i polja
3. Rad, energija i snaga.

Promatrajući tijela koja nas okružuju, vidimo da se ona gibaju. Sva se tijela gibaju, od najsitnijih čestica iz svijeta atoma do onih najvećih koja opažamo u svemiru. Zato možemo reći da je **gibanje** jedno od osnovnih svojstava tvari. Opisujemo ga veličinama kao što su: put, vrijeme, brzina, akceleracija. Uzajamnu ovisnost tih veličina iskazujemo algebarskim izrazima i grafičkim prikazima.

Tijela uzajamno djeluju i pritom jedna drugima mijenjaju gibanje. Uzajamno djelovanje tijela opisujemo fizičkom veličinom koju nazivamo **sila**. Sile koje opažamo u prirodi nazivamo različitim imenima, no sve su one posljedica samo četiriju temeljnih sila. Područje u kojem se očituje djelovanje neke sile nazivamo **poljem** te sile. Tako se, primjerice, u gravitacijskom polju očituje djelovanje gravitacijske sile, a u električnom polju djelovanje električne sile.

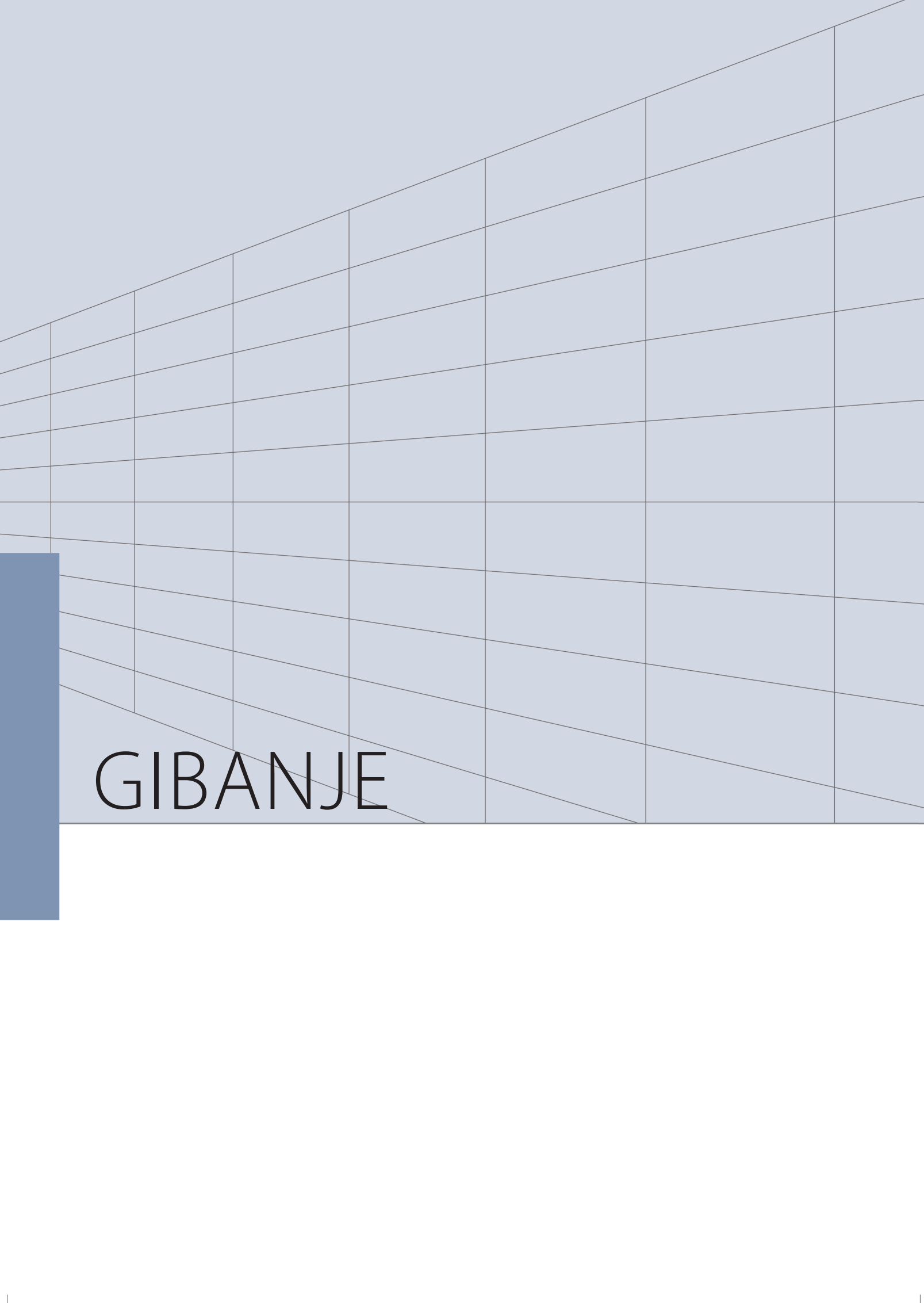
Kada se neko tijelo giba pod utjecajem sile, kažemo da sila obavlja **rad**. Za tijelo koje može djelovati silom na drugo tijelo i obavljati rad kažemo da ima **energiju**. Radom se energija prenosi s tijela na tijelo. Postoji više oblika energije koji se mogu međusobno izmjenjivati. Zanimljivo je da je pritom ukupna energija očuvana. Moguća je i pretvorba mase u energiju i obratno. Prijenos energije radom može se obaviti za kraće i dulje vrijeme. Fizičku veličinu koja pokazuje kako se brzo obavlja rad nazivamao **snaga**.

Nastavno je gradivo u udžbeniku raščlanjeno na nastavne jedinice i sažeto izloženo na učenicima pristupačan način. Prošireni i izborni sadržaji tiskani su *kosim slovima*.

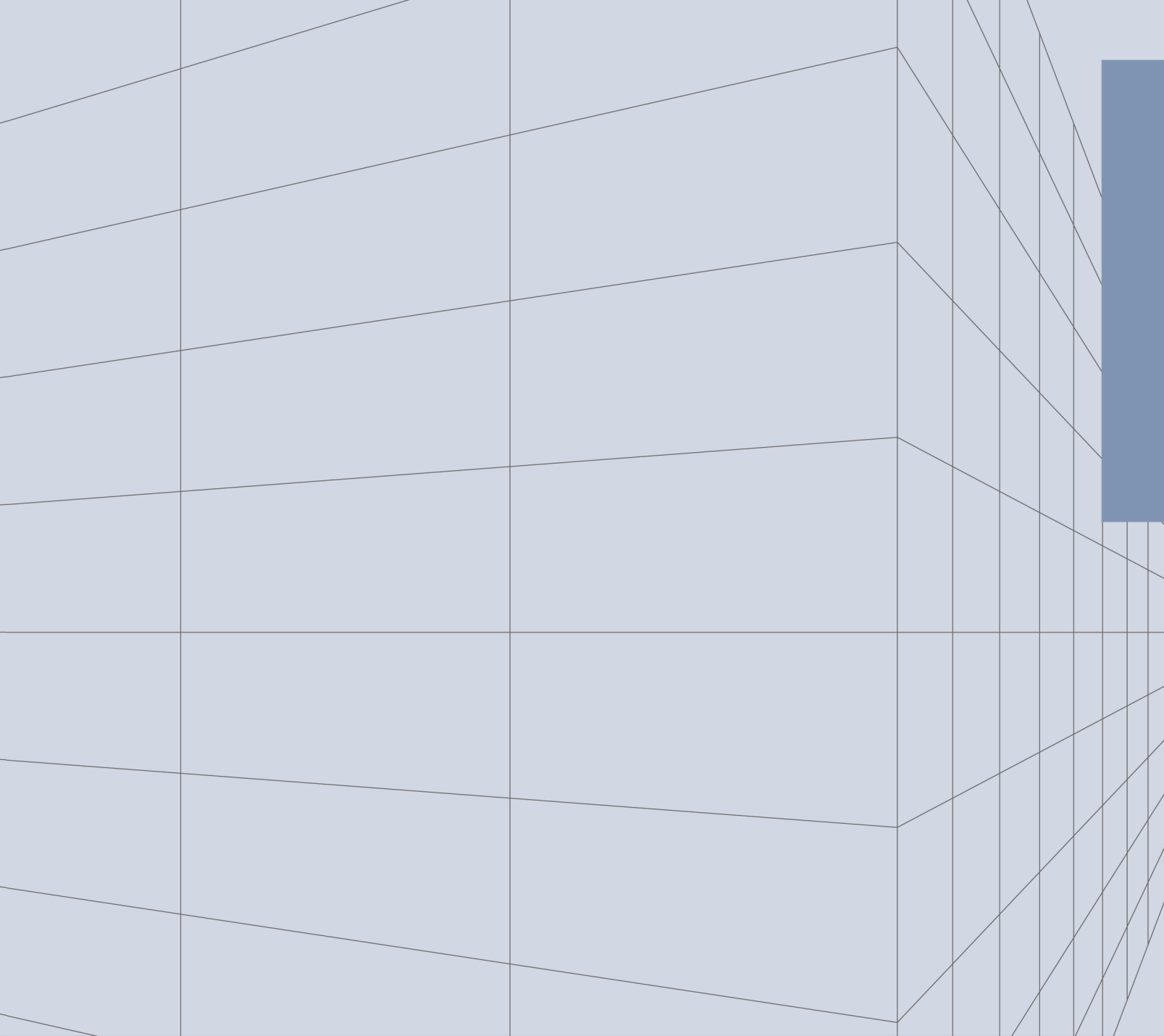
Unutar nastavnih jedinica nalaze se i riješeni primjeri te pitanja i zadaci iz izloženoga gradiva. Zamišljeno je da učenicima posluže kao domaća zadaća koju nastavnik pregledava na početku nastavnog sata. Odgovarajući samostalno na ponuđena pitanja učenici mogu provjeriti koliko su obrađeno gradivo usvojili i razumjeli. Odgovori na pitanja nisu navedeni u udžbeniku, ali su sadržani u tekstu pa time potiču učenike na njegovo pažljivije čitanje. Rjeđa su pitanja koja zahtijevaju malo višu razinu znanja i u tekstu nemaju izravnog odgovora. Imaju li poteškoća s takvim pitanjima, učenici mogu zatražiti pomoć nastavnika.

Na kraju udžbenika nalaze se rješenja zadataka kako bi učenici mogli provjeriti ispravnost vlastitih rješenja.

Autor



GIBANJE



Pomak i put	8
Brzina	11
Akceleracija	14
Jednoliko pravocrtno gibanje	15
Jednoliko ubrzano pravocrtno gibanje	17
Jednoliko usporeno pravocrtno gibanje	21
Slobodni pad	23
<i>Horizontalni hitac</i>	25
<i>Vertikalni hitac</i>	28
Translacija i rotacija	30

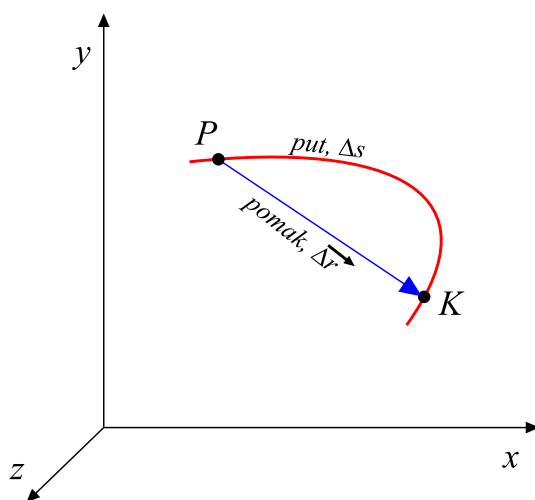
Pomak i put

Kada kažemo da se tijelo giba, onda pod tim smatramo da ono mijenja položaj u odnosu na druga tijela. Pogodno 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**.

Pri opisivanju gibanja tijela njegove dimenzije često možemo zanemariti i zamišljati ga točkom u kojoj je skupljena sva masa tijela. Tako zamišljenu tvorevinu nazivamo **materijalnom točkom**.

Zamislimo tijelo koje se pomaklo iz položaja P u položaj K (slika 1.1.). Vektor usmjeren od početnog položaja prema konačnom, a iznosom jednak udaljenosti tih dvaju položaja, nazivamo pomak ($\vec{\Delta r}$). Pri gibanju se iznos pomaka može povećavati ili smanjivati. Povećava se udaljavanjem tijela od svoga početnog položaja, a smanjuje se kada se tijelo približava početnom položaju.

Put (Δs) udaljenost je konačnog od početnog položaja tijela mjerena duž staze (putanje) po kojoj se tijelo gibalo. Put je skalarna veličina i tijekom gibanja se uvijek povećava.



Slika 1.1.
Pomak i put

Primjer:

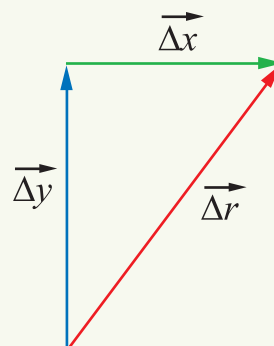
Gibamo se 40 m prema sjeveru, a zatim 30 m prema istoku. Izračunajmo pomak i put.

Rješenje:

$$\begin{array}{l} \Delta y = 40 \text{ m} \\ \Delta x = 30 \text{ m} \\ \Delta r = ? \\ \Delta s = ? \end{array}$$

$$\Delta r = \sqrt{(\Delta y)^2 + (\Delta x)^2} = \sqrt{(40 \text{ m})^2 + (30 \text{ m})^2}, \Delta r = 50 \text{ m}$$

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



S obzirom na oblik putanje, gibanje može biti **pravocrtno** ili **krivocrtno**. Pri opisivanju pravocrtne gibanja koordinatni sustav obično odabiremo tako da se njegova os x poklapa s pravcem gibanja. Pomak tada obilježavamo s $\overrightarrow{\Delta x}$. U ovom nam slučaju preostale dvije koordinatne osi nisu potrebne.

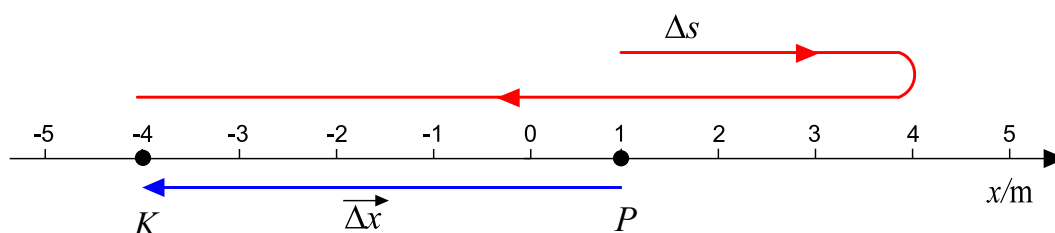
Promotrimo tijelo koje se giba duž osi x (slika 1.2.) tako da se pomakne iz početnog položaja P s koordinatom 1 m najprije u položaj s koordinatom 4 m, a zatim iz tog položaja u konačni položaj K s koordinatom -4 m. Pomak je:

$$\Delta x = x_K - x_P = -4 \text{ m} - 1 \text{ m} = -5 \text{ m},$$

a put:

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

Kod pravocrtne gibanja pomak može imati samo dva uzajamno suprotna smjera. Zato ćemo njegovo vektorsko obilježje (usmjerenost) istaknuti samo predznakom, pozitivnim ili negativnim.



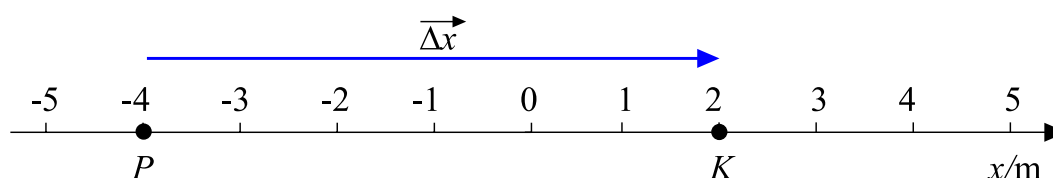
Slika 1.2.
Primjer pomaka i puta

Primijetimo da je iznos pomaka jednak prijeđenu putu ($|\Delta x| = \Delta s$) ako se u promatranom vremenskom intervalu smjer pravocrtne gibanja ne mijenja. Uzmimo za primjer da se tijelo pomaklo iz početnog položaja P s koordinatom -4 m u konačni položaj K s koordinatom 2 m (slika 1.3.). Iznos pomaka je:

$$|\Delta x| = |2 \text{ m} - (-4 \text{ m})| = |6 \text{ m}| = 6 \text{ m}$$

Toliki je i prijeđeni put:

$$\Delta s = 6 \text{ m}.$$



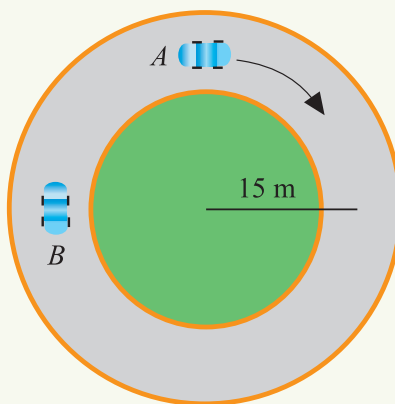
Slika 1.3.
Kada se ne mijenja smjer pravocrtne gibanja, iznos pomaka jednak je putu

Pitanja:

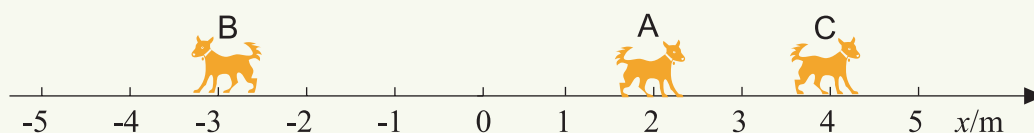
1. Kako zovemo koordinatni sustav pomoću kojeg opisujemo gibanje tijela?
2. Koliko se koordinata tijela mijenja pri pravocrtnom gibanju?
 - a) Jedna.
 - b) Dvije.
 - c) Tri.
 - d) Nijedna.
3. Materijalna točka:
 - a) ima obujam i masu.
 - b) nema ni obujam ni masu.
 - c) ima obujam, a nema masu.
 - d) nema obujam, a ima masu.
4. Koja je od navedenih tvrdnji ispravna?
 - a) Pomak je vektorska veličina, a put nije.
 - b) Put je vektorska veličina, a pomak nije
 - c) Put i pomak su vektorske veličine.
 - d) Put i pomak nisu vektorske veličine.
5. Koja je od navedenih tvrdnji ispravna?
 - a) Iznos je pomaka uvijek veći od iznosa puta.
 - b) Iznos je pomaka uvijek manji od iznosa puta.
 - c) Iznosi pomaka i puta mogu biti jednaki.
 - d) Iznosi pomaka i puta ne mogu biti jednaki.

Zadaci:

1. Na slici su prikazana dva položaja automobila koji se giba po kružnom toku.
 - a) Koliki je put prešao automobil gibajući se iz položaja A u položaj B?
 - b) Koliki je pomak pritom ostvario?



2. Pas na slici giba se duž pravocrtne staze mijenjajući smjer gibanja.
 - a) Koliki put prijeđe pas kada iz položaja A ode najprije u položaj B, a onda iz B u C?
 - b) Koliki je pomak učinio pas prešavši iz položaja A u položaj C?



Brzina

Srednja brzina. Promatrajući 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 negoli sporije tijelo u jednakom vremenskom intervalu. Raspolažemo li podacima o putovima što su ih tijela prešla i pripadajućim vremenima, možemo i ne promatrajući gibanje 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 upotrijebiti 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 prosječno svake sekunde prelazilo 5 m. Kažemo prosječno jer tijelo ne mora svake sekunde prelaziti jednake putove. Do tog rezultata dolazimo dijeljenjem prijeđenog puta (20 m) 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** ($\bar{v}$):

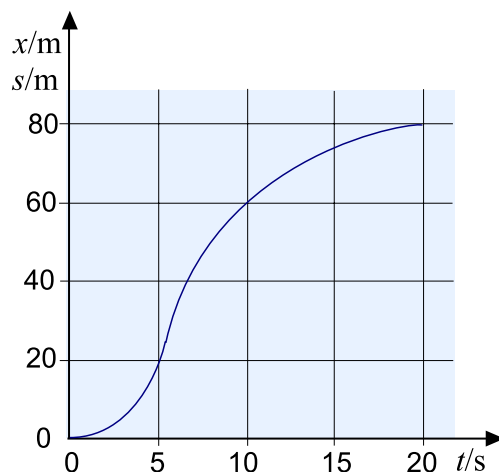
$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}.$$

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 smjer pomaka.

Pri gibanju nepromjenjiva smjera iznosi srednjih brzina po putu i pomaku jednaki su jer se tada iznosi pomaka i puta tijekom vremena mijenjaju na isti način (slika 1.4.). U tom slučaju kad govorimo o srednjoj brzini nije potrebno isticati „po putu” i „po pomaku”. Dovoljno je reći srednja brzina.



Slika 1.4.

Pri gibanju nepromjenjiva smjera iznosi pomaka i puta tijekom vremena se mijenjaju na isti način

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 je bolji što su vremenski intervali s poznatim srednjim brzinama kraći. Srednja brzina u jako malom vremenskom intervalu zapravo je trenutačna brzina. Uobičajeno je trenutačnu brzinu zvati samo brzina (v).

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

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} .

Rast ljudske kose	$3 \cdot 10^{-9} \text{ m s}^{-1}$
Rast biljaka	$2 \cdot 10^{-7} \text{ m s}^{-1}$
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})
Automobili	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	1000 m s^{-1}
Zemlja oko Sunca	$3 \cdot 10^4 \text{ m s}^{-1}$
Svjetlost u vakumu	$3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$

Tablica 1.1. Neke tipične brzine

Primjer 1:

Neki se automobil giba brzinom od 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:

Pretvorimo 15 m s^{-1} u km h^{-1} .

Rješenje:

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

Primjer 3:

Automobil prijeđe 120 km brzinom od 60 km h⁻¹, a zatim 80 km brzinom od 70 km h⁻¹. Kolika je srednja brzina automobila na cijelom putu?

Rješenje:

$$\begin{array}{l} s_1 = 120 \text{ km} \\ v_1 = 60 \text{ km h}^{-1} \\ s_2 = 80 \text{ km} \\ v_2 = 70 \text{ km h}^{-1} \\ \hline \bar{v} = ? \end{array}$$

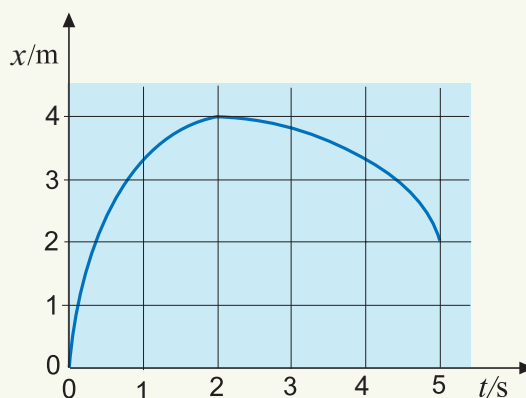
$$\begin{aligned} t_1 &= \frac{s_1}{v_1} = \frac{120 \text{ km}}{60 \text{ km h}^{-1}} = 2 \text{ h} & \bar{v} &= \frac{s_1 + s_2}{t_1 + t_2} = \frac{120 \text{ km} + 80 \text{ km}}{2 \text{ h} + 1,14 \text{ h}} \\ t_2 &= \frac{s_2}{v_2} = \frac{80 \text{ km}}{70 \text{ km h}^{-1}} = 1,14 \text{ h} & \bar{v} &= 63,69 \text{ km h}^{-1}. \end{aligned}$$

Pitanja:

1. Kako definiramo srednju, a kako trenutnu brzinu po putu i po pomaku?
2. Kada je srednja brzina po putu jednaka srednjoj brzini po pomaku?

Zadaci:

1. Iz grafa na slici 1.4. odredite srednju brzinu između: 0 s i 5 s, 0 s i 10 s, 0 s i 20 s, 5 s i 10 s.
2. Koliko metara svake sekunde prijeđe automobil koji se giba brzinom od 100 km h⁻¹?
3. Maratonac trči srednjom brzinom od 5,4 m s⁻¹. Izrazite tu brzinu u km h⁻¹.
4. Biciklist se giba brzinom od 360 m min⁻¹. Kolika je brzina biciklista izražena u m s⁻¹?
5. Pješak napravi 240 koraka za dvije minute. Kolika je brzina pješaka u m s⁻¹ ako je duljina koraka 70 cm?
6. Autobus se 2 h giba srednjom brzinom od 60 km h⁻¹, a zatim 3 h srednjom brzinom od 50 km h⁻¹. Kolika je srednja brzina autobusa na cijelom putu?
7. Graf na slici prikazuje kako se tijekom vremena mijenja položaj tijela koje se giba pravocrtno duž osi x . Odredite srednju brzinu:
 - a) po putu,
 - b) po pomaku.



Akceleracija

Promjena brzine u određenom vremenskom intervalu može biti veća ili manja, tj. brzina se može mijenjati brže ili sporije. Fizička veličina koja pokazuje kako se brzo brzina mijenja naziva se **akceleracija**.

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

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_1 - v_0}{t_1 - t_0}.$$

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 jako malom vremenskom intervalu i tog vremenskog intervala nazivamo **trenutačna akceleracija** ($\vec{a}$) ili samo **akceleracija**.

Akceleraciju iskazujemo metrima u sekundi na kvadrat: $\frac{m}{s^2} = m s^{-2}$.

Iz definicije akceleracije vidimo da je ona vektorska veličina.

Akceleraciju kod ubrzanoga gibanja nazivamo još **ubrzanje**, a kod usporenog **usporenje** ili **deceleracija**. Akceleracija može biti pozitivna i negativna, što ovisi o predznaku promjene brzine.

Primjer 1:

Brzina se nekog automobila za 5 s povećala od 70 km h^{-1} do 90 km h^{-1} . Kolikom se srednjom akceleracijom ubrzavao automobil?

Rješenje:

$$v_0 = 70 \text{ km h}^{-1} = 19,44 \text{ m s}^{-1}$$

$$v = 90 \text{ km h}^{-1} = 25 \text{ m s}^{-1}$$

$$\Delta t = 5 \text{ s}$$

$$\bar{a} = ?$$

$$\bar{a} = \frac{v - v_0}{\Delta t} = \frac{25 \text{ m s}^{-1} - 19,44 \text{ m s}^{-1}}{5 \text{ s}}$$

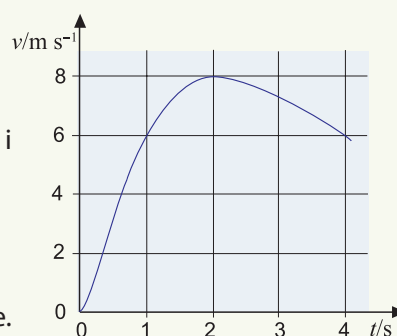
$$\bar{a} = 1,11 \text{ m s}^{-2}.$$

Pitanja:

1. Što je srednja, a što trenutačna akceleracija?
2. Iz grafa na slici odredite srednju akceleraciju između: 0 s i 1 s, 0 s i 2 s, 1 s i 2 s, 2 s i 4 s.

Zadaci:

1. Brzina se vlaka smanji od 72 km h^{-1} na 36 km h^{-1} za pola minute. Kolika je srednja akceleracija vlaka u m s^{-2} ?
2. Ubrzavanje nekog automobila iz mirovanja do brzine od 100 km h^{-1} traje 17,1 s. Kolikom se srednjom akceleracijom ubrzavao automobil?
3. Automobil počinje pretjecati pri brzini od 80 km h^{-1} ubrzavajući srednjom akceleracijom od 2 m s^{-2} . Kolika je brzina automobila kada završi pretjecanje koje je trajalo 6 s?



Jednoliko pravocrtno gibanje

Od pravocrtnih gibanja razmatrat ćemo ona sa stalnom akceleracijom, uključujući i slučaj kada je akceleracija jednaka nuli. Pri gibanju akceleracijom jednakom nuli brzina je tijela stalnog iznosa i smjera. Takvo gibanje nazivamo **jednoliko pravocrtno gibanje**. Brzina je u svakom trenutku jednaka srednjoj brzini pa se računa prema formuli:

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

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 jednoliko gibanje tijela počinje upravo u tom trenutku, prijeđeni je put do tog trenutka $s_0 = 0$ pa gornji izraz prelazi u:

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

Iz toga slijedi:

$$s = vt.$$

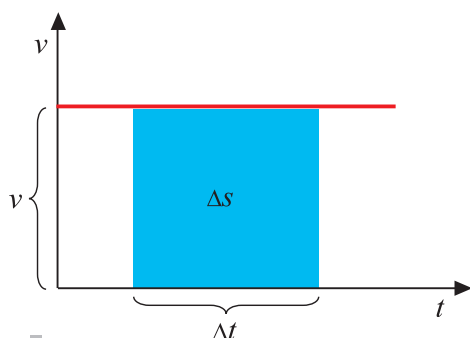
Ako je tijelo do početnog trenutka prešlo put s_0 , tada je:

$$s = s_0 + vt.$$

Grafički prikaz ovisnosti brzine o vremenu dio je pravca paralelnog apscisnoj (vremenskoj) osi (slika 1.5.). Iz slike 1.5. 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 prijeđenom putu. Prijeđeni je put brojčano jednak površini pravokutnika ispod odgovarajućega dijela grafa.

Budući da se brzina kod jednolikog pravocrtnoga gibanja ne mijenja ($\Delta v = 0$), akceleracija je jednaka nuli ($a = 0$). Ovisnost akceleracije o vremenu prikazana je na slici 1.6.



Slika 1.5.
Graf ovisnosti brzine o vremenu
za jednoliko pravocrtno gibanje



Slika 1.6.
Graf ovisnosti akceleracije o vremenu
za jednoliko pravocrtno gibanje

Znamo li brzinu, do grafa koji prikazuje ovisnost puta o vremenu možemo doći služeći se izrazom $s = vt$. Uzmimo za primjer gibanje brzinom od 1 m s^{-1} . Tada izraz za put glasi:

$$s = 1 (\text{m s}^{-1}) t.$$

Pomoću ovoga izraza računamo putove prijedene do odabranih vremenskih trenutaka. Parove vrijednosti vremena i puta unesemo kao točke u s, t -koordinatni sustav i prema njima nacrtamo graf (slika 1.7., graf *a*).

Primjenom istog postupka možemo dobiti i graf ovisnosti puta o vremenu za gibanje brzinom od 2 m s^{-1} (slika 1.7., graf *b*). Podaci o putovima i vremenima nalaze se u srednjoj tablici. Uočimo da je nagib grafa veći što je brzina veća. Iznos brzine je jednak koeficijentu smjera pravca na kojem leži graf ovisnosti puta o vremenu. Grafovi ovisnosti puta o vremenu za gibanja jednakim brzinama međusobno su paralelni. Dva takva gibanja prikazana su grafovima *b* i *c* na slici 1.7. Podatke o prijednim putovima za gibanje prikazano grafom *c* (treća tablica) dobijemo pomoću jednadžbe:

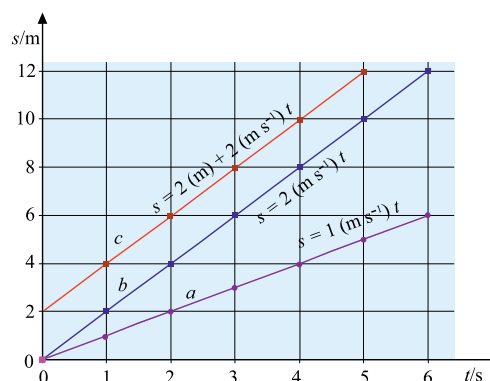
$$s = s_0 + vt$$

uvrštanjem $s_0 = 2 \text{ m}$ i $v = 2 \text{ m s}^{-1}$.

t/s	0	1	2	3	4	5	6
s/m	0	1	2	3	4	5	6

s/m	0	1	2	3	4	5	6
t/s	0	2	4	6	8	10	12

t/s	0	1	2	3	4	5	6
s/m	2	4	6	8	10	12	14



Slika 1.7.
Grafovi ovisnosti puta o vremenu za različite brzine

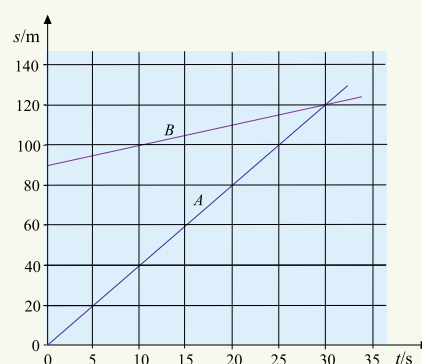
Graf ovisnosti pomaka o vremenu oblikom je jednak grafu ovisnosti puta o vremenu jer je kod pravocrtnoga gibanja stalnog smjera iznos pomaka jednak prijednom putu.

Pitanja:

- Što možete reći o brzini, a što o akceleraciji tijela koje se giba jednoliko pravocrtno?
- O čemu ovisi nagib grafa koji prikazuje ovisnost puta o vremenu kod jednoliko pravocrtnoga gibanja? Koliki je nagib grafa koji prikazuje mirovanje tijela?
- Čime je predodčen put u v, t -koordinatnom sustavu?

Zadaci:

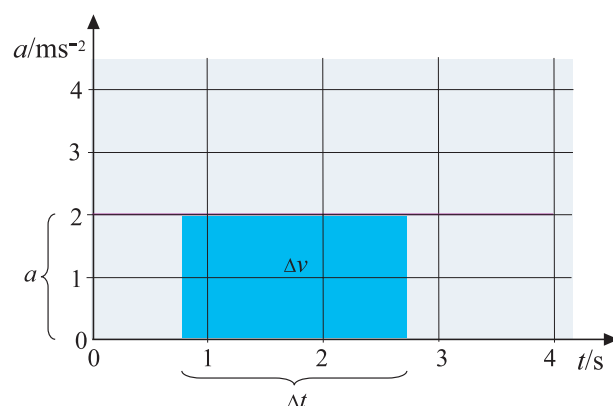
- Gibajući se stalnom brzinom duž rijeke, motorni čamac u 10 sati i 15 minuta prođe ispod mosta. U 10 sati i 17 minuta čamac je od mosta udaljen 1 200 m. Kolika je brzina čamca?
- Slika prikazuje grafove ovisnosti puta o vremenu za dva tijela koja se gibaju po istom pravcu.
 - Kolike su brzine tijela?
 - Kolika je početna udaljenost među tijelima?
 - Kada će tijelo A sustići tijelo B?
 - Kolike će putove dotad tijela prijeći?
 - Napišite jednadžbe grafova kako je to učinjeno na slici 1.7.



Jednoliko ubrzano pravocrtno gibanje

Upoznali smo gibanje s akceleracijom jednakom nuli (jednoliko pravocrtno gibanje). Prijeđimo sada na gibanje sa stalnom akceleracijom pozitivnog predznaka.

Grafički prikaz ovisnosti akceleracije o vremenu nalazi se na slici 1.8. 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 .



Slika 1.8.

Graf ovisnosti akceleracije o vremenu za jednoliko ubrzano gibanje

Budući da je akceleracija stalna, ona je u svakom trenutku jednaka srednjoj akceleraciji:

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

Ako je u početnom trenutku ($t_0 = 0$) tijelo krenulo, tada je i $v_0 = 0$ pa posljednji izraz prelazi u:

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

iz čega je:

$$v = at.$$

U posebnom slučaju za, primjerice, $a = 2 \text{ m s}^{-2}$ izraz glasi:

$$v = 2(\text{m s}^{-2}) t.$$

Pomoću ovog izraza možemo izračunati brzine u nekoliko vremenskih trenutaka i nacrtati graf ovisnosti brzine o vremenu (donji graf na slici 1.9). Iz grafa vidimo da se brzina jednoliko povećava, stoga gibanje sa stalnom pozitivnom akceleracijom zovemo **jednoliko ubrzano pravocrtno gibanje**.

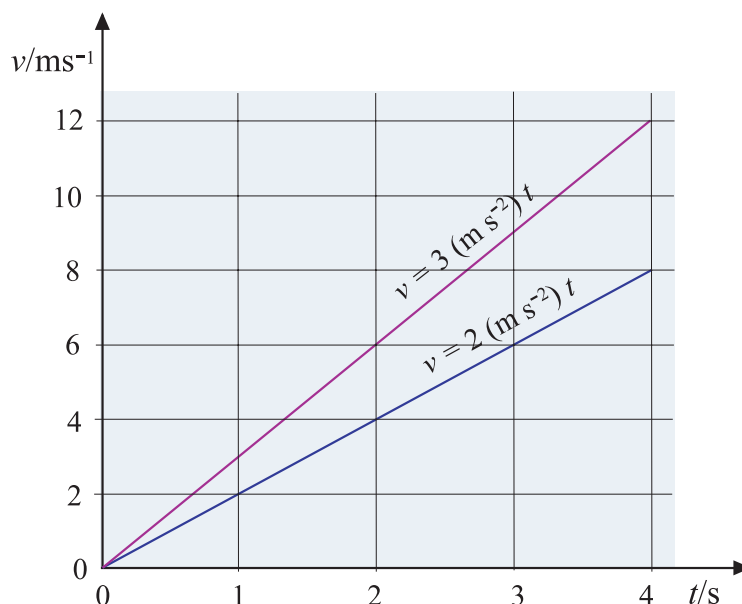
Na slici 1.9. se osim grafa gibanja akceleracijom 2 m s^{-2} nalazi i graf koji se odnosi na gibanje akceleracijom od 3 m s^{-2} . Vidimo da je nagib grafa veći za veću akceleraciju. Iznos akceleracija je koeficijent smjera pravca na kojem leži graf ovisnosti brzine o vremenu.

$$v = 2(\text{m s}^{-2}) t$$

t/s	0	1	2	3	4
$v/\text{m s}^{-1}$	0	2	4	6	8

$$v = 3(\text{m s}^{-2}) t$$

t/s	0	1	2	3	4
$v/\text{m s}^{-1}$	0	3	6	9	12

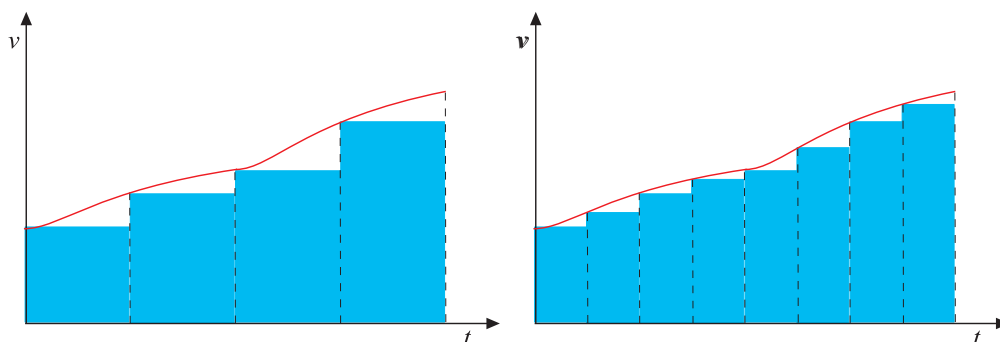


Slika 1.9.

Grafovi ovisnosti brzine o vremenu za jednoliko ubrzana pravocrtna gibanja različitim akceleracijama

Kod jednolikog pravocrtnoga gibanja pokazali smo da je put brojčano jednak površini pravokutnika određenoga grafom u v, t -koordinatnom sustavu i apscisnom osi (slika 1.5.). Lik između grafa u tom koordinatnom sustavu i apscisne osi nije kod svih gibanja pravokutnik, no iznos njegove površine uvijek predočuje prijeđeni put. To ćemo i pokazati.

Na slici 1.10.a prikazana je ovisnost brzine o vremenu kod nekog nejednolikoga gibanja. 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 1.10.b smanjili smo vremenske intervale na polovinu prijašnje vrijednosti. Vidimo da je sada iznos površine svih pravokutnika bliži iznosu površine ispod grafa. Te bi dvije površine postale gotovo 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 1.10.

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

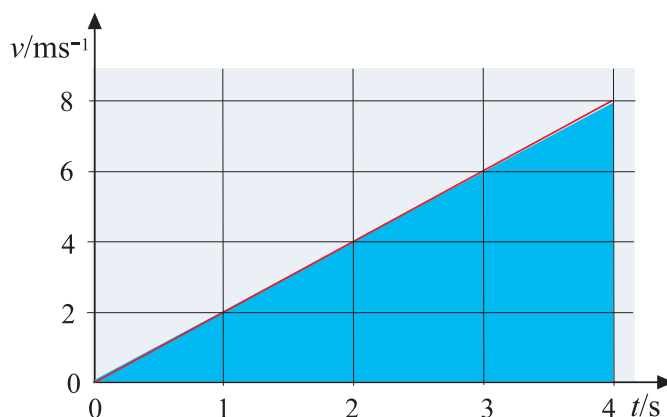
Kod jednoliko ubrzanoga pravocrtnoga gibanja bez početne brzine površina koja predočuje put ima oblik trokuta (slika 1.11.). Možemo je izračunati tako da umnožak brzine i vremena podijelimo s dva:

$$s = \frac{8 \text{ m s}^{-1} \cdot 4 \text{ s}}{2} = 16 \text{ m.}$$

(Sjetimo se da je površina trokuta jednaka polovini umnoška osnovice i visine)

Dakle, brzina v što ju je tijelo postiglo za vrijeme t i put s prijeđen za to vrijeme povezani su relacijom:

$$s = \frac{vt}{2}.$$



Slika 1.11.

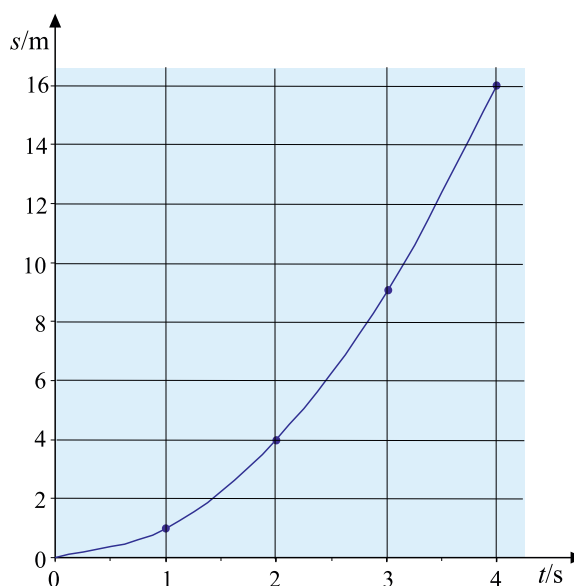
Put je predodređen površinom lika (trokuta) ispod grafa

Iz izraza $v = at$ i $s = \frac{vt}{2}$ proizlaze još dva izraza koji povezuju veličine jednoliko ubrzanoga pravocrtnoga gibanja bez početne brzine:

$$s = \frac{at^2}{2} \quad \text{i} \quad v^2 = 2as.$$

Pomoću izraza $s = \frac{at^2}{2}$ možemo nacrtati graf koji prikazuje ovisnost puta o vremenu (slika 1.12.). Vrijednosti puta u priloženoj tablici izračunate su za akceleraciju od 2 m s^{-2} , koliko je ona iznosila u našem slučaju.

t/s	0	1	2	3	4
s/m	0	1	4	9	16

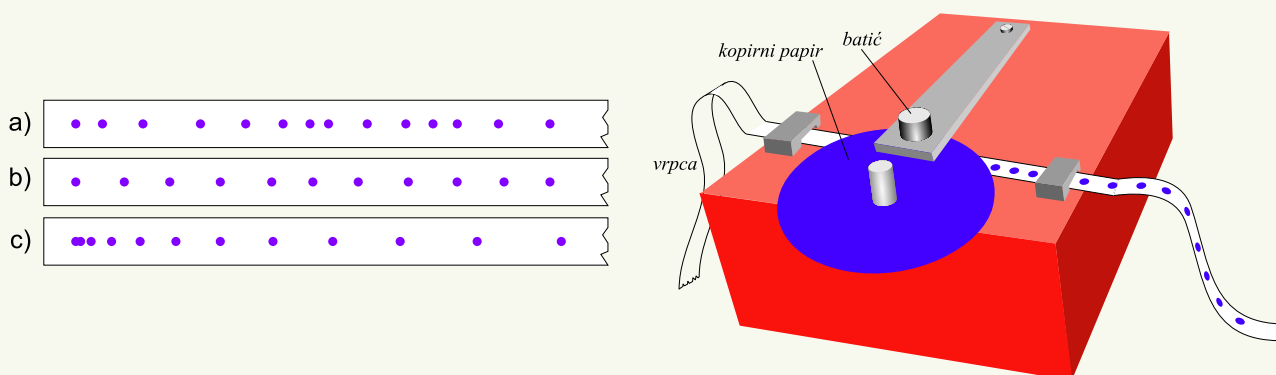


Slika 1.12.

Graf ovisnosti puta o vremenu za jednoliko ubrzano pravocrtno gibanje

Pitanja:

1. Što možete reći o brzini i akceleraciji tijela koje se giba jednoliko ubrzano pravocrtno?
2. Što predodžuje površina ispod grafa ovisnosti akceleracije o vremenu?
3. Kakva je oblika graf ovisnosti brzine o vremenu za jednoliko ubrzano pravocrtno gibanje?
O čemu ovisi njegov nagib?
4. Što od navedenoga vrijedi za jednoliko ubrzano pravocrtno gibanje?
 - a) Postignuta je brzina razmjerna kvadratu vremena.
 - b) Za dvostruko dulje vrijeme tijelo prijeđe četverostruko dulji put.
 - c) Za dvostruko dulje vrijeme tijelo prijeđe dvostruko dulji put.
 - d) Udvostručenjem prijeđenog puta postignuta se brzina učeterostruči.
5. Gibanje tijela možemo pomoću elektromagnetskog tipkala (slika) snimiti na vrpca. Tijelo koje se giba vuče papirnatu vrpcu ispod batića tipkala. Batić preko kopirnog papira ostavlja na vrpici točkaste tragove. Koja se od priloženih vrpca odnosi na jednoliko ubrzano pravocrtno gibanje?



Zadaci:

1. Automobil se giba jednoliko ubrzano iz mirovanja te za 8 s prijeđe 100 m. Kolika je brzina automobila nakon ubrzavanja?
2. Pri polasku sa stanice tramvaj se giba jednoliko ubrzano akceleracijom 1 m s^{-2} . Na kojem putu tramvaj postigne brzinu 10 m s^{-1} ?
3. Gibajući se jednoliko ubrzano iz mirovanja, automobil prijeđe 90 m za 6 s. Kolikom se akceleracijom ubrzavao automobil?
4. Skijaš iz mirovanja jednoliko ubrzava akceleracijom 6 m s^{-2} . Za koje vrijeme postigne brzinu 100 km h^{-1} ?
5. Neki automobil kreće akceleracijom od 4 m s^{-2} . U tom ga trenutku preteče drugi automobil koji se giba jednoliko brzinom od 108 km h^{-1} . Koliko su automobili daleko jedan od drugoga deset sekunda nakon pretjecanja?
6. Trkač i automobilist krenu usporedno i u istom trenutku prelaziti stazu dugu 100 m. Pritom trkač cijelu stazu prelazi brzinom od 10 m s^{-1} , a automobilist akceleracijom od $1,5 \text{ m s}^{-2}$. Tko će koga čekati na cilju i koliko dugo?
7. Na slici su grafovi gibanja dvaju automobila koji se u početnom trenutku nalaze jedan pokraj drugoga. Automobili se gibaju pravocrtno u istom smjeru.
 - a) Kolike su akceleracije automobila?
 - b) Koliko su automobili udaljeni jedan od drugoga nakon 10 s?

