1 Gibanje

Što ću naučiti?

- **opisati gibanje**
- **tumačiti pojmove položaja i vremenskog intervala**
- **tumačiti pojmove puta i pomaka**
- **tumačiti pojam brzine**
- **opisati i grafički prikazati jednoliko pravocrtno gibanje**
- **tumačiti pojam akceleracije**
- **opisati i grafički prikazati jednoliko ubrzano gibanje**

1.1. Fizički sustav, fizičke pojave i fizičke veličine

Ključni pojmovi

- vremenski interval
- gibanje
- referentni sustav
- skalar
- vektor
- put
- položaj
- pomak
- brzina
- akceleracija

Pri proučavanju fizičkih pojava u laboratoriju, u sobi na stolu, u praktikumu, govorimo o *fizičkom sustavu*. Fizički sustav može biti vrlo jednostavan: stol s dvije kuglice koje se gibaju, no može biti i sklop mjernih uređaja: lasera, brojača ili drugih instrumenata.

U fizičkom sustavu promatramo *fizičke procese* ili *fizičke pojave*. Vrlo jednostavni fizički proces ili fizička pojava je padanje tijela ili, prilično komplicirano, sudar automobila na raskrižju cesta.

U fizičkoj pojavi tražimo *fizičke veličine* koje predstavljaju mjerljiva svojstva tog fizičkog procesa. Tako pri proučavanju padanja tijela zaključujemo da je nužno izmjeriti visinu s koje tijelo pada da bismo nešto mogli kazati o padanju tijela. Dakle, visina je fizička veličina. Također, zaključujemo da treba mjeriti i vrijeme padanja, drugu fizičku veličinu, što će također omogućiti analizu te fizičke pojave.

Napomena

Iz jedinice za duljinu izvodimo jedinicu za ploštinu, m^2 (metar kvadratni) i jedinicu za obujam, m^3 (metar kubični).

Jedinice za duljinu i vrijeme

Dakle, za razumijevanje fizičkih procesa moramo imati pribor za mjerenja i način iskazivanja rezultata mjerenja. To su prije svega jedinice koje pripadaju pojedinoj fizičkoj veličini. Nakon dugih dogovaranja, svjetski su znanstvenici dogovorno postigli da svi, u cijelom znanstvenom svijetu, mjerenja iste fizičke veličine iskazujemo istim jedinicama. Takav dogovoreni sustav jedinica – Međunarodni sustav jedinica (SI) opisan je u dodatku ovog udžbenika. Ovdje nas prije svega zanima jedinica za mjerenje udaljenosti, razmaka, visine, dubine itd. dakle jedinica za mjerenja dimenzije duljine. To je metar, vrlo precizno određena jednica, kako to pokazuje dodatak. Znak za metar je m.

Napomena

U današnjem dinamičnom svijetu prometa ljudi i dobara vrlo je važno razumjeti odnose pojedinih (fizičkih) veličina. Valja se sjetiti da se, primjerice, cijene nafte utvrđuju po galonu, da se još uvijek energijske vrijednosti nekih namirnica određuju u kalorijama, da se temperature često očitavaju u farenhajtima itd. U poduzetništvu se razmatra odnos dolara, eura i jena, a preračunavanja jednih u druge nisu ništa drugo nego preračunavanje jedinica koje ovdje razmatramo. Prema tome, problem preračunavanja jedinica, energije, cijena, potrošnje i sličnog prestaje biti (uzak) problem fizike, već postaje dio funkcioniranja pojedinca u svjetskom društvu pa se stoga tome problemu valja posvetiti.

S obzirom na to da je nespretno kazati da je Beč udaljen 560 000 metara ili da je udaljenost od Zemlje do Sunca 150 000 000 000 metara, bilo je praktično uzeti prefiks kilo, dodati ga na metar i dobiti kilometar, odnosno 1000 metara. Jednako je nespretno mjeriti debljinu daske od iverice metrima. Stoga su ljudi smislili prefiks mili, dodali ga na metar i dobiven je milimetar, odnosno jedna tisućinka metra pa je iverica debela 25 mm, 25 tisućinki metra. U posljednjem poglavlju ovog udžbenika možete naći niz važnih i zanimljivih podataka o mjerama i zapisima brojeva (tablica 4, poglavlje "Mjerenja u fizici").

Također nas ovdje zanima i jedinica za mjerenja vremena, a to je sekunda čiji je znak s.

Mi, zapravo, pri mjerenju vremena mjerimo **vremenske intervale**, odnosno vremenske razmake. Ako je netko otišao u 10 sati i 15 minuta i vratio se u 10 sati i 25 minuta, najčešće ćemo kazati da se vratio *za 10 minuta*. Taj vremenski interval napisali bismo ovako: $\Delta t = 10$ minuta. Veliko grčko slovo Δ označava da smo uzeli razliku konačne i početne vrijednosti nečega pa Δt ovdje znači da smo od konačnog vremena (povratka) $t_2 = 10$ sati i 25 minuta oduzeli vrijeme (odlaska) $t_1 = 10$ sati i 15 minuta i dobili $\Delta t = t_2 - t_1 = 10$ minuta.

Vremenski interval je vremenski razmak između dvaju događaja.

Tako radi i naš zaporni sat: u trenutku kada ga pokrenemo, on pokazuje $t_1 = 0{,}00$ sekundi, a nakon zaustavljanja pokazuje, primjerice $t_2 = 1{,}23$ s pa kažemo da je izmjereni vremenski interval jednak $\Delta t = t_2 - t_1 = 1{,}23$ s.

Jasno je da su svi gornji podatci dobiveni u općenitom postupku mjerenja. Trenutak kada su promatrači (fizičkih) pojava osjetili potrebu da ih izmjere, trenutak je stvaranja eksperimentalne metode. Fizika kao eksperimentalna znanost počiva na rezultatim pokusa, a oni se baziraju na mjerenjima. Znanost je u današnjem, modernom smislu počela kad su ljudi počeli eksperimentirati, izvoditi pokuse u kojima su mjerili. Povjesničari taj "trenutak" smještaju negdje na početak 16. stoljeća. Bez pokusa nema fizike, nema znanosti, a bez mjerenja nema pokusa. Stoga je važno znati mjeriti fizičke veličine – razmake, udaljenosti, pomake, mase, vremena, jakosti polja, intenzitete itd.

Ovim uvodnim pričama započeli smo proučavanje fizičkih pojava povezanih s promjenama položaja tijela, proučavanje brzina, ubrzanja, zaustavljanja, jednostavno, proučavanje *gibanja*.

O fizičkim veličinama i mjernim jedinicama više možete saznati u petom poglavlju ove knjige "Mjerenja u fizici".

Napomena

Vrijeme mjerimo u sekundama (oznaka s), minutama (oznaka min) ili satima (oznaka h).

Pritom vrijedi:

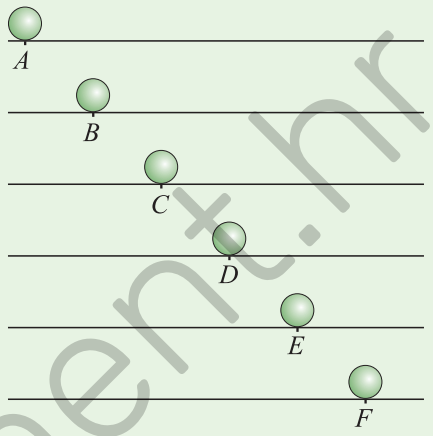
$$1\ \text{h} = 60\ \text{min} = 3600\ \text{s}$$

$$1\ \text{dan} = 24\ \text{h} = 1440\ \text{min} = 86\,400\ \text{s}.$$

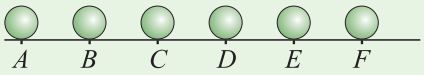
Primjer 1.

Analiza gibanja postaje posebno zanimljiva ako se omogući uzastopno fotografiranje tijela u malim vremenskim razmacima – vremenskim intervalima. Fotoaparat ostaje na jednom mjestu i prati gibanje tijela.

Na slici desno prikazan je niz od 6 slika napravljenih mirnom kamerom (fotoparatom) u vremenskim razmacima od 1 s, tj. napisali bismo da je $\Delta t = 1$ s. Iz niza je vidljivo da tijelo – materijalna točka u istim vremenskim razmacima od 1 s prevaljuje iste udaljenosti. To postaje očiglednije na donjoj slici, gdje su slike poslagane "jedna preko druge".



Sitno tijelo – materijalna točka, snimljeno je u malim vremenskim intervalima.



Fotografije s prethodne slike složene su "jedna preko druge" (superponirane).


stroboskopska snimka balerine

Stroboskop

Jednostavan elektronski sklop povezan s bljeskalicom omogućuje uzastopne bljeskove u kontroliranim jednakim vremenskim razmacima. Promatranje, primjerice, plesa na sasvim mračnoj pozornici osvijetljenoj stroboskopskom bljeskalicom proizvodi zanimljive efekte i vrlo se često rabi u glazbenim videospotovima. Međutim, bljeskovi proizvedeni stroboskopom ponekad mogu izazvati teške smetnje kod osjetljivih osoba te se često na televiziji pojavi upozorenje da takve osobe trebaju izbjegavati gledanje određenog sadržaja.

Zadatci 1.1.

1. Pretvorite mjerne jedinice:

a) 12,2 h u minute
b) 30 d u sate
c) 0,1 min u sekunde
d) 0,022 s u milisekunde.

2. Pretvorite mjerne jedinice:

a) 8,2 m^3 u kubične decimetre

b) 0,25 m^3 u kubične milimetre

c) 35 cm^3 u kubične metre

d) 0,02 m^3 u litre.

3. Pretvorite mjerne jedinice:

a) 0,028 km^2 u kvadratne metre

b) 345,27 mm^2 u kvadratne decimetre

c) 250 dm^3 u kubične metre
d) 175 mL u kubične metre.

4. Srednja udaljenost od Zemlje do Mjeseca iznosi 384 400 km. Koliko je to astronomskih jedinica? Jedna astronomska jedinica (AU) iznosi 149 597 870 700 m.

5. Akvarij ima duljinu 56 cm, širinu 32 cm i visinu 25 cm. Koliko litara vode u njega stane?

6. Udaljenost astronomskih objekata mjerimo u parsecima (pc) i svjetlosnim godinama (ly), pri čemu vrijedi: $1\ \text{pc} = 3{,}0857 \cdot 10^{16}\ \text{m}$, $1\ \text{ly} = 9{,}4607 \cdot 10^{15}\ \text{m}$. Koliko svjetlosnih godina odgovara jednom parseku?

7. Zagrebačka katedrala visoka je 105 m. Izrazite tu visinu u stopama. Jedna stopa odgovara udaljenosti od 0,3048 m.

8. Duljina olovke je 175 mm. Izrazite tu duljinu u cm, dm, m, i km.

9. Svemir je star 13,8 milijardi godina. Koliko je to sekundi?

10. Kap vode ima obujam od 0,05 mL. Koliko kapi ima u čaši vode obujma 2 dL?

1.2. Pojam gibanja

Gibanje je mijenjanje položaja jednog tijela u odnosu na neko drugo tijelo. Pritom je važan zadnji dio ove rečenice – u odnosu na drugo tijelo. Primjerice, vozeći se u automobilu ne gibamo se u odnosu na suvozača ili suputnike, ali gibamo se u odnosu na pješaka koji stoji uz rub ceste. Kažemo da se gibamo relativno u odnosu na nešto ili u odnosu na nekoga.

> Gibanje je mijenjanje položaja tijela u odnosu na drugo tijelo.

Gibanje, očigledno, opisujemo *položajem* tijela, ali, manje očigledno, i *vremenom*. Tako naš sugovornik može biti "stalno" okrenut nama i to "stalno" znači "cijelo vrijeme". Međutim, naš sugovornik može gledati malo nas, a malo sat na zidu. To znači *kako vrijeme prolazi*, on mijenja orijentaciju svoje glave ili svojeg lica. Vidimo da gibanje moramo opisati i kao *promjenu položaja ili orijentacije u vremenu*, odnosno u nekom vremenskom intervalu.

Kazaljka sata koja pokazuje sekunde mijenja svoju orijetaciju *svake sekunde*. Vjetrokaz pokazuje smjer vjetra koji vrlo rijetko zadržava stalan smjer: vjetrokaz je uvijek na istom mjestu (na krovu, na kući) ali "svaki čas" mijenja svoju orijentaciju.

Vidimo da je pojam gibanja relativan – ovisi u odnosu na koga se odvija to gibanje. Zato je pri proučavanju gibanja nužno izabrati neko izdvojeno područje ili mjesto (automobil, sobu, površinu stola, brod ili bilijarski stol) u kojem mjerimo sve promjene položaja tijela. To ćemo mjesto zvati **referentni sustav**.

> Referentni sustav je odabrano tijelo u odnosu na koje opisujemo položaj drugih tijela. Općenito, referentni sustav uključuje koordinatni sustav i uru kojom mjerimo vrijeme.

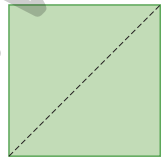
U njega smještamo onaj poznati koordinatni sustav iz matematike. On služi za opis položaja tijela i za opis promjena njihovih položaja. Važan je i zato što nam omogućava precizan opis fizičke situacije.

Vektori i skalari

Sl. 1.1. a) Broj bobica u voću je skalarna veličina
b) Dječak pokazuje u kojem smjeru i koliko daleko treba ići. On određuje pomak koji je vektorska veličina.

Kada kažemo da je netko od nas udaljen dva metra, tada je on negdje u krugu od dva metra i mi ne možemo doći do njega zatvorenih očiju. Ali ako dobijemo uputu – dva metra ravno naprijed ili dva metra nadesno, tada znamo kuda krenuti. To nas odmah vodi na zaključak: položaj tijela nije sasvim jednostavna veličina pa tako ni gibanje u odnosu na to tijelo. Moramo, osim o udaljenosti, kazati nešto i o smjeru. Veličine za čiji opis ne trebamo samo veličinu (dva metra), nego i smjer (nadesno) i orijentaciju (naprijed) nazivamo vektorima. Položaj tijela je vektor. Kada se tijelo giba u odnosu na naš referentni sustav, tada njegove pomake mjerimo u koordinatnom sustavu. Za potpuni nam je opis gibanja osim koordinatnog sustava potrebna i ura kojom mjerimo vrijeme. Ura miruje u odnosu na koordinatni sustav, a zajedno s njime čini referentni sustav. Referentni sustav je odabrano tijelo u odnosu na koje opisujemo položaj drugih tijela. Općenito, referentni sustav uključuje koordinatni sustav i uru kojom mjerimo vrijeme.

Konceptualni zadatak 1. Vlasnik polja kvadratnog oblika duljine stranice $10\ \mathrm{m}$, obiđe polje za $40\ \mathrm{s}$. Ako je krenuo iz jednog od vrhova kvadrata, nakon $2\ \mathrm{min}$ i $20\ \mathrm{s}$ hodanja oko polja, njegov pomak od početnog položaja je



a) $20\ \mathrm{m}$ **b)** $10\ \mathrm{m}$ **c)** $10\sqrt{2}\ \mathrm{m}$ **d)** $40\ \mathrm{m}$.

Pri tom obilasku on je prevalio udaljenost od

a) $120\ \mathrm{m}$ **b)** $(40 + 10\sqrt{2})\ \mathrm{m}$

c) $10\sqrt{2}\ \mathrm{m}$ **d)** $140\ \mathrm{m}$.

Primjer 2.

U rokovniku možemo pročitati podatke: udaljenost od Rijeke do Beča je 510 km, a od Rijeke do Trsta je 70 km. Razmislite malo o uporabivosti tih podataka, a zatim pročitajte donji tekst.

Podatci su važni ako želimo procijeniti, primjerice, koliko ćemo goriva potrošiti ako vozimo do Beča, a koliko do Trsta. Ali podatci nas mogu navesti i na krivi zaključak: "Odlično, putem do Beča zaustavit ćemo se u Trstu, jer je on bliže pa ćemo prvo stići do njega. Poslije nastavljamo do Beča." Jasno, to je razmišljanje pogrešno, jer podatci ne sadrže smjerove. Položaji Beča i Trsta su vektori.

Osim njihove veličine, koju u fizici ili matematici nazivamo *iznosom vektora*, moramo zadati i *smjer*. Potrebno je znati da ćemo do Beča stići krenemo li na sjever, a ako idemo na zapad, stići ćemo do Trsta. Zadali smo i iznos i smjer. Odredili smo vektore položaja. Koliko nam je vremena potrebno za putovanja? To je povezano s brzinom, o čemu ćemo govoriti u nastavku poglavlja.

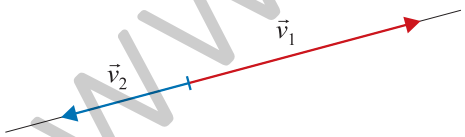
Veličine za čije potpuno određenje trebamo samo jedan brojčani podatak, iznos, zovemo **skalari**. Takve su veličine primjerice temperatura, količina vode u posudi ili širina rijeke pa za njih kažemo da su skalarne veličine.

Skalar je veličina opisana samo iznosom.

Međutim, neke veličine osim iznosa za potpuno određenje zahtijevaju i podatak o smjeru. Ako igrač potrči iz središta igrališta i trči 10 sekundi brzinom od $5\ \mathrm{m/s}$, ne znamo točno gdje ćemo ga naći. Znamo samo da se $50\ \mathrm{m}$ udaljio od polazišta. Za točno određenje moramo znati smjer brzine, primjerice "nadesno, prema golu" ili "ukoso, prema zastavici". Prema tome, brzini moramo nekako zadati i smjer pa kažemo da je brzina vektorska veličina. Time uvodimo **vektore**, odnosno veličine koje su određene iznosom, smjerom i orijentacijom.

Vektor je veličina opisana iznosom, smjerom i orijentacijom.

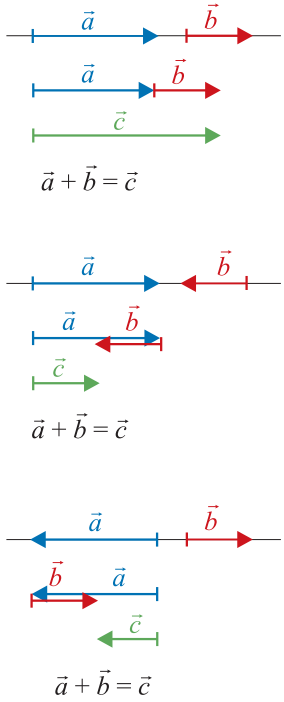
Smjer vektora određuje pravac na kojem "leži" vektor, a moramo zadati i njegovu orijentaciju na tom pravcu. Na slici 1.2 nalaze se dva vektora istog pravca, ali suprotne orijentacije.



Sl. 1.2. Dva vektora na istom pravcu koji određuje njihov smjer. Orijentacija određuje kamo gledaju vektori: vektor pokazuje "nadesno gore", a vektor "nalijevo dolje".

Vektore najčešće označavamo strelicom iznad simbola, poput $\vec{v}$, $\vec{F}$, $\overrightarrow{AB}$, itd. Katkad ih označavamo samo uspravnim masnim slovima, poput **v** ili **F**. Mi ćemo za oznake vektora rabiti strelice, a za njihove iznose jednostavno simbol bez strelice, poput v ili F, iako katkad iznos pišemo i $|\vec{v}|$ ili $|\vec{F}|$. Nadalje, uobičajeno je vektore većih iznosa nacrtati dulje od vektora manjih iznosa, vodeći računa o njihovoj relativnoj veličini. Primjerice, na slici 1.2 je $v_1 = 2v_2$, odnosno iznos vektora $\vec{v}_1$ dvostruko je veći od iznosa vektora $\vec{v}_2$ pa su na taj način i vektori (strelice koje ih prikazuju) i nacrtani.

Vektore koji leže na istom pravcu nazivamo kolinearnim vektorima. Takvi su vektori na slici 1.2. Vektori $\vec{v}_1$ i $-\vec{v}_2$ su kolinearni vektori različitog iznosa i suprotne orijentacije.



Sl. 1.3. Zbrajanje kolinearnih vektora koji leže na istom pravcu

Zbrajanje vektora

Vektori se mogu međusobno zbrajati te množiti skalarom. Zbroj dvaju vektora $\vec{a}$ i $\vec{b}$ jednostavno se piše ovako:

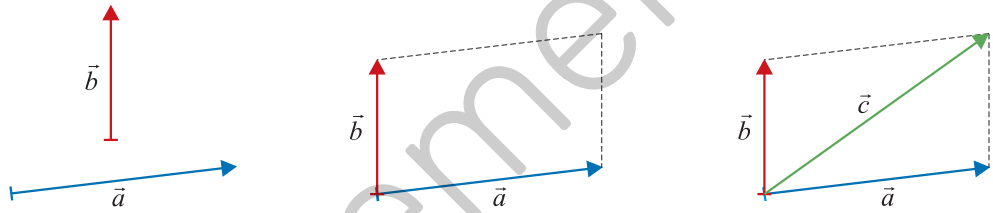
$$\vec{a}+\vec{b}=\vec{c},$$

pri čemu vektor $\vec{c}$ nazivamo rezultantnim vektorom.

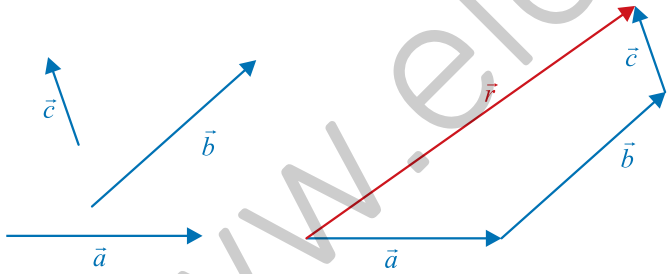
Ako su vektori kolinearni, tada rezultantni vektor $\vec{c}$ crtanjem nalazimo tako da vektor $\vec{b}$ translatiramo po pravcu na način da se kraj vektora $\vec{a}$ (kraj vektora je rubna točka sa strelicom) poklapa s početkom vektora $\vec{b}$ (početak vektora je rubna točka bez strelice). Vektor $\vec{c}$ počinje na početku vektora $\vec{a}$ i završava na kraju vektora $\vec{b}$.

Ako vektori nisu kolinearni, tada ih zbrajamo tako da translatiramo vektore po njihovim pravcima tako da njihove početne točke – njihova hvatišta – dovedemo u zajedničku točku. Tada "po pravilu paralelograma", kroz kraj prvog vektora (vektor $\vec{a}$ na slici 1.4) povučemo pravac paralelan s

drugim vektorom (vektorom $\vec{b}$), a zatim kroz kraj drugog vektora povučemo pravac paralelan s prvim vektorom. Rezultantni vektor $\vec{c}$ je dijagonala tako nacrtanog paralelograma: hvatište rezultante je u zajedničkom hvatištu (ishodištu), a kraj je u drugom vrhu paralelograma.



Sl. 1.4. Zbrajanje više nekolinearnih vektora pravilom paralelograma



Sl. 1.5. Zbrajanje više nekolinearnih vektora pravilom poligona

Ako moramo zbrojiti više od dva vektora, možemo ići postupno pa zbrojiti dva i njihovoj rezultanti dodati sljedeći vektor itd. Međutim, zbrajanje možemo provesti i tako da vektore jednostavno vežemo "u poligon", kako je prikazano na slici 1.5.

Konceptualni zadatak 2. Od triju vektora dobijemo jedan koji ima isti učinak kao originalni vektori. Taj se vektor zove

a) radijus-vektor **b)** jedinični vektor

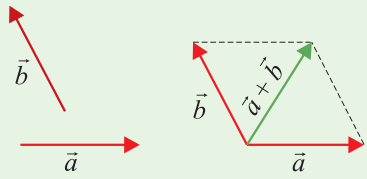
c) rezultantni vektor **d)** komponentni vektor.

Primjer 3.

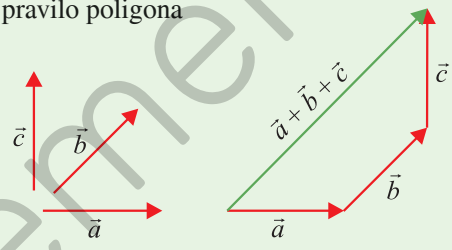
Odredimo zbroj vektora (rezultantu) na donjim slikama.

Primjenom pravila paralelograma u slučaju a) i pravila poligona u slučaju b) lako je dobiti tražene rezultante.

a) pravilo paralelograma



b) pravilo poligona



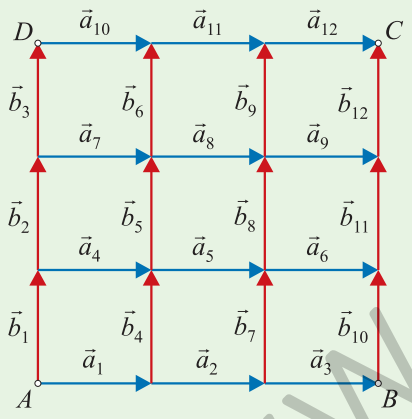
Riješite sada zadatak na obrnuti, nešto teži, način: pravilom poligona u slučaju a) i pravilom paralelograma u slučaju b).

Konceptualni zadatak 3. Kada su dva vektora antiparalelni, tada je kut među njima jednak

a) 0° **b)** 90° **c)** 180° **d)** 360° .

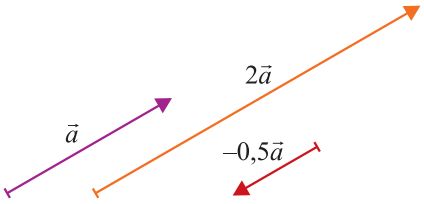
Primjer 4.

Uzmimo polje za igru "križić-kružić", prema slici. Svakoj stranici pridružen je vektor koji pokazuje ili nadesno (vektori $\vec{a}_1$, $\vec{a}_2$ ...) ili nagore (vektori $\vec{b}_1$, $\vec{b}_2$ ...). Nađimo rezultantu – zbroj svih vektora.



Zadatak možemo riješiti na mnogo načina. Jedan od jednostavnijih je uočavajući da prvo možemo zbrojiti kolinearne vektore prvog donjeg horizontalnog retka $\vec{a}_1 + \vec{a}_2 + \vec{a}_3$ i dobiti vektor $\overrightarrow{AB}$. Isto možemo napraviti s prvim vertikalnim stupcem, tj. $\vec{b}_1 + \vec{b}_2 + \vec{b}_3 = \overrightarrow{AD}$. Zbroj vektora $\overrightarrow{AB}$ i $\overrightarrow{AD}$ dat će vektor $\overrightarrow{AC}$. Zatim sve ponovimo s drugim horizontalnim retkom odozdo, tj. $\vec{a}_4 + \vec{a}_5 + \vec{a}_6$ i s drugim vertikalnim stupcem $\vec{b}_4 + \vec{b}_5 + \vec{b}_6$. Taj postupak daje još jedan vektor $\overrightarrow{AC}$ po pravilu paralelograma. Sve to ponovimo još dva puta pa ćemo dobiti konačni zbroj svih vektora, koji je jednak $4\overrightarrow{AC}$. Svakako, to nije jedini način na koji je moguće riješiti taj problem. Možemo, primjerice, uočiti da je $\vec{a}_1 = \vec{a}_2 = \vec{a}_3 = \ldots = \vec{a}_{12} \equiv \vec{a}$ (svi plavi vektori su isti pa smo ih nazvali jednim imenom $\vec{a}$). Isto tako $\vec{b}_1 = \vec{b}_2 = \vec{b}_3 = \ldots = \vec{b}_{12} \equiv \vec{b}$. Konačno, rezultantu možemo pisati kao $12(\vec{a} + \vec{b})$.

Množenje vektora skalarom



Sl. 1.6. Množenje vektora skalarom: vektor $\vec{a}$ prvo je pomnožen sa 2, a zatim sa $-\frac{1}{2}$.

Rezultat množenja vektora skalarom je ponovno vektor. Tako primjerice, množenjem vektora $\vec{a}$ brojem dva dobijemo novi vektor $\vec{b}$ čiji je iznos dvostruko veći od iznosa vektora $\vec{a}$. To pišemo: $2\vec{a} = \vec{b}$. Općenito, $k\vec{a}$ je vektor čiji je iznos ka, a orijentacija ovisi o skalaru k. Ako je k pozitivan broj, tada je orijentacija vektora $k\vec{a}$ jednaka orijentaciji vektora $\vec{a}$. Ako je k negativan broj, orijentacija vektora $k\vec{a}$ je suprotna orijentaciji vektora $\vec{a}$.

Rastavljanje vektora na komponente

Vrlo je važno u nizu fizičkih situacija znati rastaviti neki vektor na komponente u zadanom smjeru, odnosno iz rezultante dobiti one vektore čiji je zbroj dao tu rezultantu. Pri tom se postupku ide unatrag po pravilu paralelograma, vodeći računa o tome da je zadani vektor dijagonala paralelograma čije su stranice vektori koje želimo odrediti. Za bolje razumijevanje, dobro proučite sljedeće primjere.

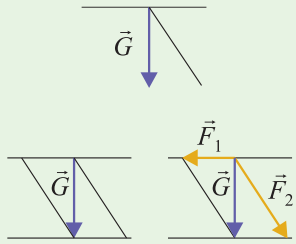
Dok je zbroj vektora jedinstven (postoji samo jedan rezultantni vektor), rastavljanje vektora na komponente to nije (postoji bezbroj načina na koje se može izvesti).

Konceptualni zadatak 4. Zbrajanjem dvaju vektora čiji su iznosi 30 i 40 jedinica, a koji zatvaraju kut od 90° dobijemo vektor iznosa

a) 30 jedinica **b)** 40 jedinica
c) 70 jedinica **d)** 50 jedinica.

Primjer 5.

Rastavimo vektor $\vec{G}$ na dvije komponente koje leže na pravcima nacrtanima na slici.



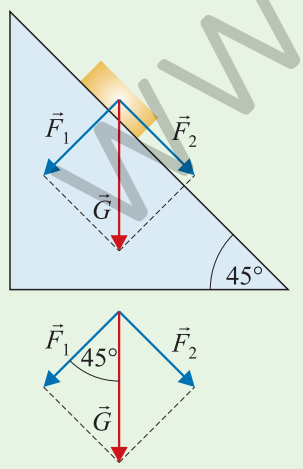
Prema pravilu paralelograma, $\vec{G}$ je rezultantni vektor koji predstavlja dijagonalu paralelograma čije stranice leže na ucrtanim pravcima. Prema tome, kroz kraj vektora $\vec{G}$ vučemo paralele sa zadanim pravcima i u presjecištu dobivamo vrhove paralelograma, odnosno dobili smo vektore $\vec{F}_1$ i $\vec{F}_2$, zbrajanjem kojih se dobiva vektor $\vec{G}$.

Konceptualni zadatak 5. Dva vektora istih iznosa se zbroje i dobije se vektor koji ima isti iznos kao prvi, odnosno drugi vektor. Kut između dvaju vektora je

a) 45° **b)** 120° **d)** 90° **c)** 180°.

Primjer 6.

Rastavimo vektor $\vec{G}$ na dvije komponente, $\vec{F}_1$ i $\vec{F}_2$, prema slici. Iz geometrijskih odnosa izračunajte iznose vektora $\vec{F}_1$ i $\vec{F}_2$ ako je iznos vektora $\vec{G}$ jednak 20,0 jedinica.



Vektor $\vec{G}$ rastavit ćemo na komponente tako da konstruiramo paralelogram na način opisan u tekstu. Zbog zadanih geometrijskih odnosa, problem se svodi na jednostavan račun u kvadratu, prema slici. Komponenta $\vec{F}_1$ je stranica kvadrata čija je dijagonala vektor $\vec{G}$, a komponenta $\vec{F}_2$ je druga stranica kvadrata. Iz Pitagorina poučka slijedi:

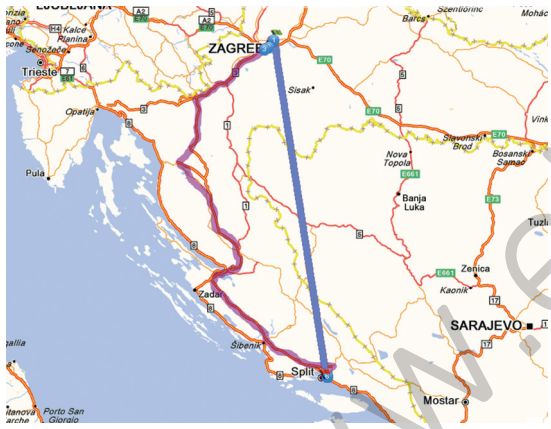
$$G^2 = F_1^2 + F_2^2$$

$$G = F_1\sqrt{2} \implies F_1 = \frac{G}{\sqrt{2}} = 14{,}1 \text{ jedinica.}$$

Za zadanu vrijednost vektora $\vec{G}$ iznosi vektora $\vec{F}_1$ i $\vec{F}_2$ su 14,1 jedinica. Valja odmah uočiti da ne vrijedi skalarno $G = F_1 + F_2$, ali vrijedi vektorski $\vec{G} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$.

Konceptualni zadatak 6. Najmanji broj vektora koji imaju različite iznose, a čiji je zbroj jednak nuli iznosi

a) 1 **b)** 2 **c)** 4 **d)** 3.



Crvenom bojom prikazan je put, a plavom pomak od Zagreba do Splita

Put i pomak

Podatci iz primjera 2 o udaljenostima gradova zapravo sadržavaju podatak o cestovnim udaljenostima. Naime, ceste krivudaju pa moramo razlikovati cestovne udaljenosti od onoga što se često u svakodnevnom govoru zove zračna linija. Duljina koju tijelo prijeđe, prijeđeni **put**, nije ujedno i najmanji razmak.

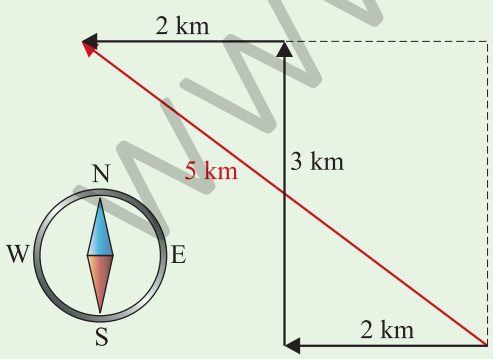
Put je skalar koji opisuje ukupnu duljinu koju tijelo prijeđe.

Konceptualni zadatak 7. Fizičar promatra fizičku pojavu i pri tome pronalazi fizičke veličine kao mjerljiva svojstva koja opisuju fizičku pojavu. U sljedećim situacijama odredite radi li se o fizičkoj pojavi (P) ili fizičkoj veličini (V) ili i o jednom i drugom (PV).

a) zagrijavanje tijela na plameniku
b) ubrzavanje tijela pri sklizanju niz kosinu
c) hitcem uvis postignuta je visina H
d) klizanje paka po ledenoj površini trajalo je t vremena do zaustavljanja
e) tijelo ima temperaturu jednaku temperaturi tekućine
f) brzina zagrijavanja tijela jednaka je τ °C s^{-1}
g) elektron u ciklotronu ima brzinu v_c
h) dovođenje topline tijelima ima za posljedicu njihovo toplinsko širenje

Primjer 7.

Čovjek hoda 2 km u smjeru zapada, zatim 3 km prema sjeveru te ponovno 2 km na zapad. Koliki je ukupno prijeđeni put? Koliko iznosi ukupni pomak?



Ukupni put je zbroj svih prijeđenih putova:

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = 2\ \text{km} + 3\ \text{km} + 2\ \text{km} = 7\ \text{km}.$$

Pomak je vektorska veličina. Osim iznosa, važan je njegov smjer. Prvi i treći pomak, oba u smjeru zapada, su vektori koji leže na usporednim pravcima pa ih zbrajamo poput skalara. Ukupni pomak u smjeru zapada je 4 km. Ukupni pomak prema sjeveru je 3 km. Kako su smjerovi sjevera i zapada međusobno okomiti, zadatak se svodi na pronalaženje hipotenuze pravokutnog trokuta čije su katete 3 km i 4 km:

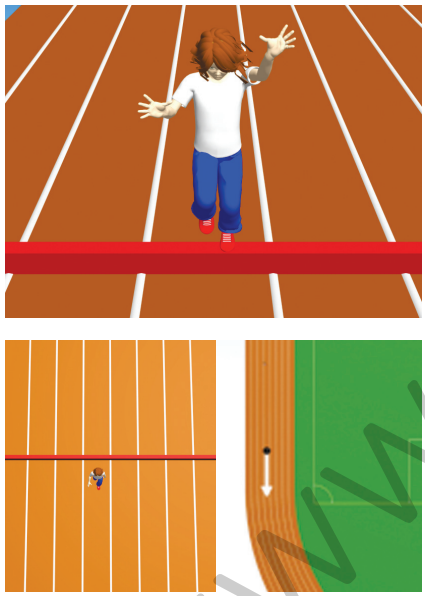
$$d = \sqrt{(3\ \text{km})^2 + (4\ \text{km})^2} = \sqrt{25\ \text{km}^2} = 5\ \text{km}.$$

Vektor pomaka

U fizici uvodimo pomak kao najmanju udaljenost od jednog do drugog mjesta. Ako krenemo iz mjesta A i krivudajući cestom dođemo do mjesta B, tada smo prevalili put jednak duljini krivudavih cesta. Razmak između mjesta A i B je put koji bi ptica preletjela leteći ravno, bez skretanja, zračnom linijom. Taj je razmak određen početnom i konačnom točkom pa govorimo o vektoru pomaka koji započinje u A i završava u B. Njegova je duljina jednaka duljini zračne linije, dakle ravne spojnice. Govorimo o iznosu vektora pomaka.

Mjesto na kojem se tijelo nalazi, s obzirom na drugo tijelo, nazivamo **položajem**. Zasad razmatramo samo jako sitna tijela, čija je veličina zanemariva s obzirom na druge udaljenosti o kojima govorimo. Takva tijela nazivamo točkastim tijelima. Tada je položaj naprosto točka, s obzirom na drugu točku. Ta "druga točka", ili referentna točka, je najčešće ishodište odabranog koordinatnog sustava. Dio pravca od ishodišta do materijalne točke je dužina. Ako tu dužinu usmjerimo tako da ishodište dogovorno bude početna točka, a materijalna točka bude završna točka onda smo dobili usmjerenu dužinu ili vektor. Taj vektor nazivamo vektorom položaja.

Dodatni sadržaj – animacija
ele-udzbenik.hr



Sl. 1.7. Gledan s velike visine, dječak koji trči na atletskoj stazi odgovara materijalnoj točki

Položaj je mjesto na kojem se nalazi materijalna točka s obzirom na ishodište.

Prema tome, umjesto prijeđenog puta, koji u našim primjerima predstavlja duljinu putanje, možemo uvesti **pomak**. Naime, automobil je, primjerice, mogao krivudati cestom i prevaliti kilometre od početnog do konačnog položaja, a da se pri tome baš i nije jako udaljio od položaja A. Također, trkač na 400 m (sjetimo se da puni krug atletske staze upravo ima duljinu 400 metara) nakon što pretrči cijeli krug postigne pomak jednak nuli, jer se vratio na početnu točku, a pomak upravo definiramo kao udaljenost od početne do konačne točke pri gibanju. Pomak je po iznosu jednak toj udaljenosti, a po smjeru pokazuje od početnog prema konačnom položaju pa vidimo da je pomak vektorska veličina, odnosno govorimo o vektoru pomaka.

Pomak je vektor koji opisuje promjenu položaja u odnosu na prethodni položaj.

Na slici 1.7 i na animaciji vidimo da malog trkača na atletskoj stazi možemo shvatiti kao točkasto tijelo, materijalnu točku kojoj određujemo položaj, pomak i brzinu. Gledajući s velike visine, vidimo samo malu točku koja se giba. Općenito, kad u fizici razmatramo gibanje tijela čija je veličina zanemariva u odnosu na veličinu prostora u kojem se tijelo giba, govorimo o materijalnoj točki. Primjerice, materijalna točka može biti i zvijezda.

Primjer 8.

Neka je naš referentni sustav šahovska ploča. Na ploču postavimo koordinatni sustav tako da osi budu položene duž stranica ploče. U donjem lijevom crnom polju, koje šahisti zovu a1, nalazi se top. On se po šahovskim pravilima može kretati samo gore-dolje i lijevo-desno, a ukoso se može kretati primjerice lovac. Ako top odluči doći do krajnjeg gornjeg desnog crnog polja (h8), izračunajmo njegov vektor pomaka ako je duljina jednog polja 10,0 cm. Potrebno je izračunati najmanji prijeđeni put do tog pomaka i još jedan mogući put. Uočite da ima, možemo slobodno reći, bezbroj putova, odnosno načina da se dođe od a1 do h8!

Pomak je vektor čiji je iznos jednak udaljenosti od početne do konačne točke – položaja. Ovdje se radi o duljini dijagonale kvadrata. Šahovska ploča ima osam puta osam polja. Obje su stranice, katete jednakokračnog trokuta, jednake 80 cm. Iznos vektora pomaka je po Pitagorinu poučku jednak dijagonali kvadrata, što iznosi:

$$D = \sqrt{a^2 + a^2} = a\sqrt{2} = 113 \text{ cm}.$$

Vektor pomaka $\vec{D}$ potrebno je nekako slikovito opisati: on se pruža od mjesta "lijevo-dolje" prema mjestu "desno-gore" pod kutom od $45°$. Top će učiniti najmanji put tako da ide udesno osam polja i osam polja prema gore ili obratno: prvo gore, a zatim desno. Tako će njegov minimalni prijeđeni put biti 160 cm, a pomaknut će se za 113 cm. Drugi način za postizanje istog vektora pomaka je, na primjer, otići osam polja desno, zatim jedno polje gore, osam polja lijevo, jedno polje gore i tako dalje, sve dok ne dođe do konačnog polja i postigne, nakon iscrpljujućeg putovanja, isti vektor pomaka iznosa 113 cm.

Zadatci 1.2.

1. Što je točno?

a) Pomak je vektor koji pokazuje od konačnog prema početnom položaju.

b) Pomak je vektor koji ima jedinicu $\mathrm{m/s}$.

c) Pomak je vektor čiji iznos odgovara putu.

d) Pomak je vektor koji pokazuje od početnog prema konačnom položaju.

2. Ptica leti $3{,}0\ \mathrm{km}$ prema zapadu, zatim $4{,}0\ \mathrm{km}$ prema sjeveru i konačno $6{,}0\ \mathrm{km}$ prema istoku.

a) Koliki je njezin rezultantni pomak?

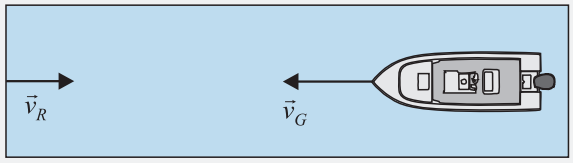
b) Koliki je ukupni put koji ptica preleti?

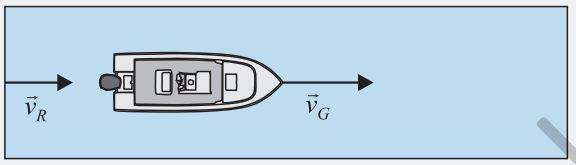
3. Utrka na $100\ \mathrm{m}$ trči se na kružnoj stazi opsega $200\ \mathrm{m}$. Trkači počinju trčati prema istoku, a potom skreću prema jugu. Koliko iznosi pomak?

4. Mrav zaobilazi pravokutnu zapreku, prijeđe $10\ \mathrm{cm}$, skrene pod pravim kutom te prijeđe još $25\ \mathrm{cm}$. Koliki su put i pomak mrava?

5. Najveća je brzina motornog čamca, u odnosu na vodu, $10\ \mathrm{m\,s^{-1}}$. Koliku udaljenost, u odnosu na obalu, čamac prođe ako rijekom vozi nizvodno jednu minutu najvećom brzinom? Brzina rijeke je $5\ \mathrm{m\,s^{-1}}$.

6. Najveća je brzina motornog čamca, u odnosu na mirnu vodu, $10\ \mathrm{m\,s^{-1}}$. Koliku udaljenost, u odnosu na obalu, čamac prođe ako rijekom vozi uzvodno jednu minutu najvećom brzinom? Brzina rijeke je $5\ \mathrm{m\,s^{-1}}$.

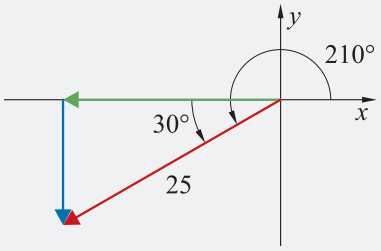




7. Gliser uzvodno plovi rijekom brzinom od $22\ \mathrm{km\,h^{-1}}$, s obzirom na obalu. Brzina rijeke je $2\ \mathrm{km\,h^{-1}}$. Kojom bi brzinom gliser plovio nizvodno, uz istu snagu motora?

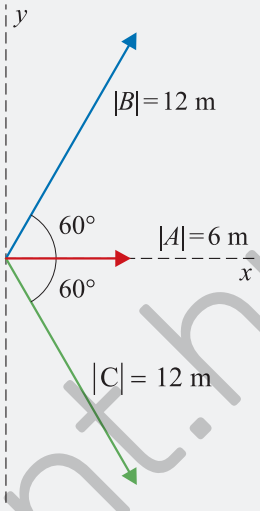
8. Vektor $\vec{A}$ ima iznos 29 jedinica i usmjeren je u pozitivnom smjeru osi y. Kad se vektoru $\vec{A}$ doda vektor $\vec{B}$, rezultantni vektor $\vec{A}+\vec{B}$ usmjeren je u negativnom smjeru osi y, s iznosom od 14 jedinica. Odredite iznos i smjer vektora $\vec{B}$.

9. Izračunajte komponente x i y pomaka od $25\ \mathrm{m}$ pod kutom od $210°$.

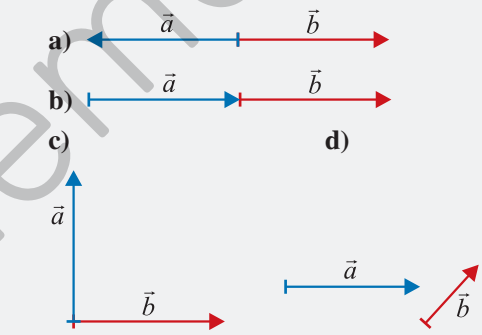


10. Za vektore prikazane na slici nacrtajte:

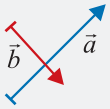
a) $\vec{A}+\vec{B}+\vec{C}$ **b)** $\vec{A}+\frac{1}{2}(\vec{B}-\vec{C})$.



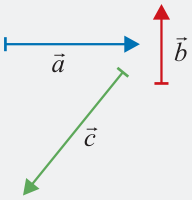
11. Zadani su vektori kao na slici. Odredite njihov zbroj.



e)

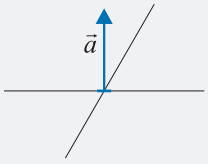


f)



12. Zadani su vektori kao na slici. Rastavite vektore na komponente koje leže na ucrtanim pravcima.

a)



b)