Fizika: uvod

- FIZIKA: fundamentalna znanost
- osnova za inženjerstvo i tehnologiju!

Eksperimentalna znanost: opažamo fenomene u prirodi i pronalazimo model za povezivanje fenomena

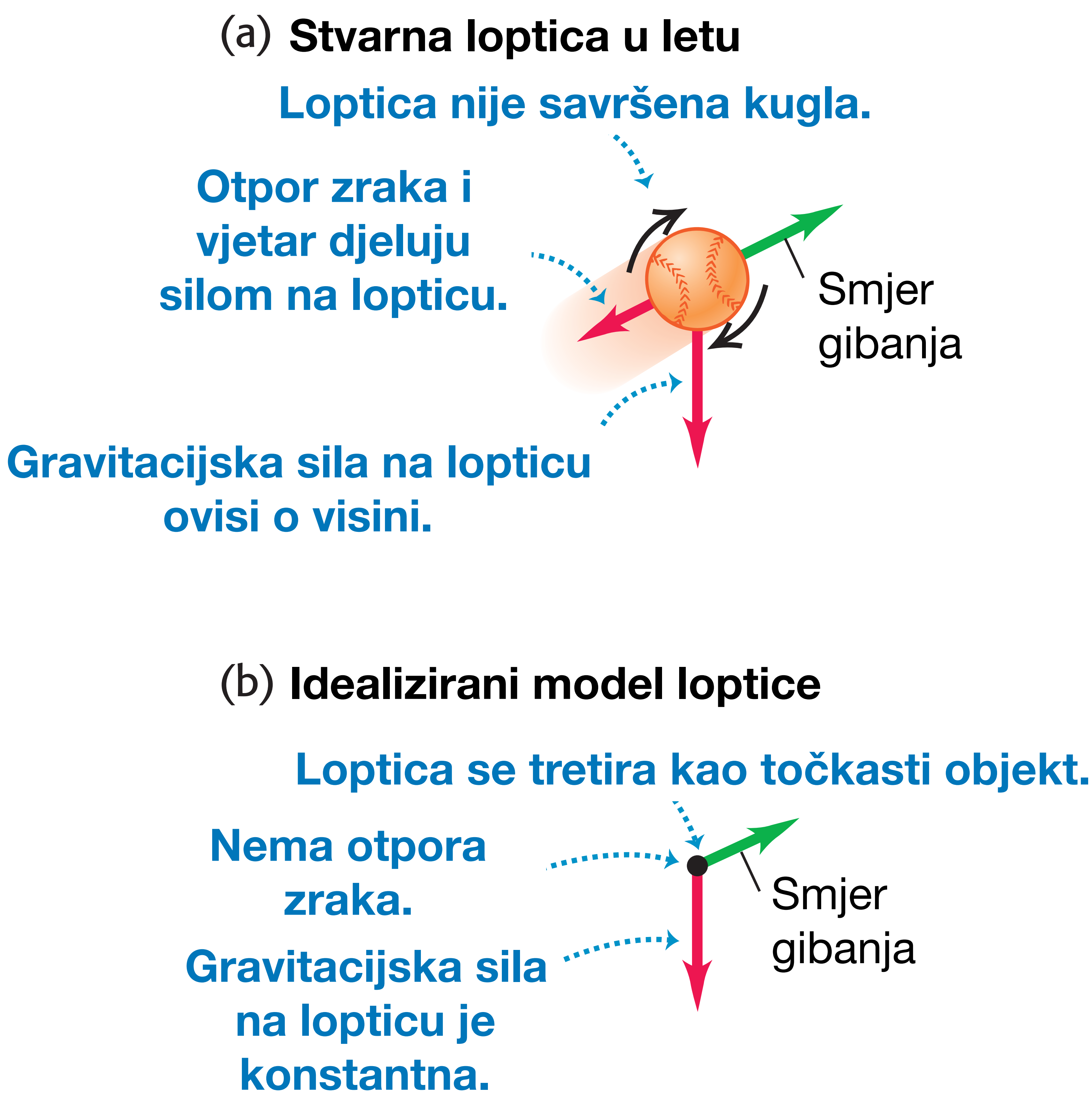
Razvoj fizikalne teorije: **u kojem rasponu veličina vrijedi naša teorija?**

Young & Freedman University Physics

Galileo Galilei (1564 - 1642):
vrijeme padanja objekata raličitih masa je jednako

Fizika: uvod

- idealizirani modeli u fizici



Young & Freedman University Physics

Sustav jedinica

- fizikalne pojave kvantificiramo pomocu fizikalnih veličina

FIZIKALNA VELIČINA = {A} [A]

mjerni broj fizikalna jedinica

FIZIKALNA VELIČINA	OZNAKA	MJERNA JEDINICA	OZNAKA
duljina	L	metar	m
masa	m	kilogram	kg
vrijeme	t	sekunda	s
termodinamička temperatura	T	kelvin	K
električna struja	I	amper	A
jakost svjetlosnog izvora	I_V	candela	cd
količina tvari	n	mol	mol

- "SI" = *Système international d'unités*

Sustav jedinica

- fizikalne pojave kvantificiramo pomocu fizikalnih veličina

FIZIKALNA VELIČINA = {A} [A]

mjerni broj fizikalna jedinica

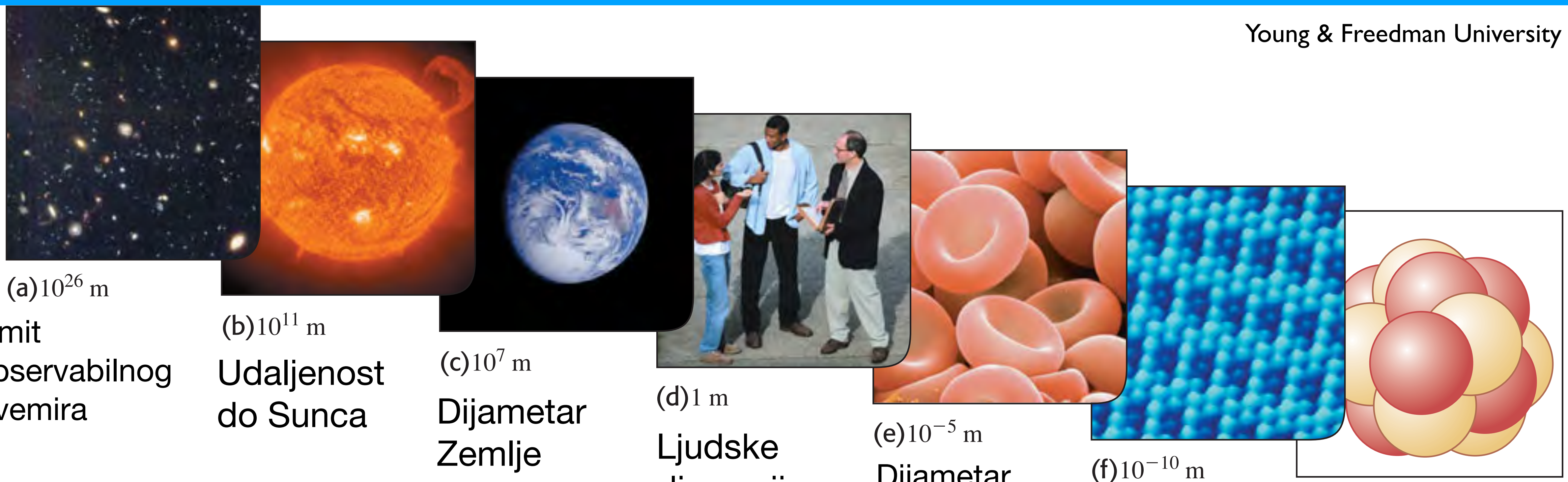
- DIMENZIJE U MEHANICI:

Osnovne fizikalne veličine:
- masa (m), duljina (L), vrijeme (t)

Dimenzije ostalih fizikalnih veličina su izvedene:
- [brzina] = duljina/vrijeme = L/t
- [sila] = masa x duljina / vrijeme^2 = mLt^{-2}
- [bilo koja mehanicka veličina] = $m^aL^bt^c$

Sustav jedinica: prefiksi

Young & Freedman University Physics



(a) 10^{26} m
Limit opservabilnog Svemira

(b) 10^{11} m
Udaljenost do Sunca

(c) 10^{7} m
Dijametar Zemlje

(d) 1 m
Ljudske dimenzije

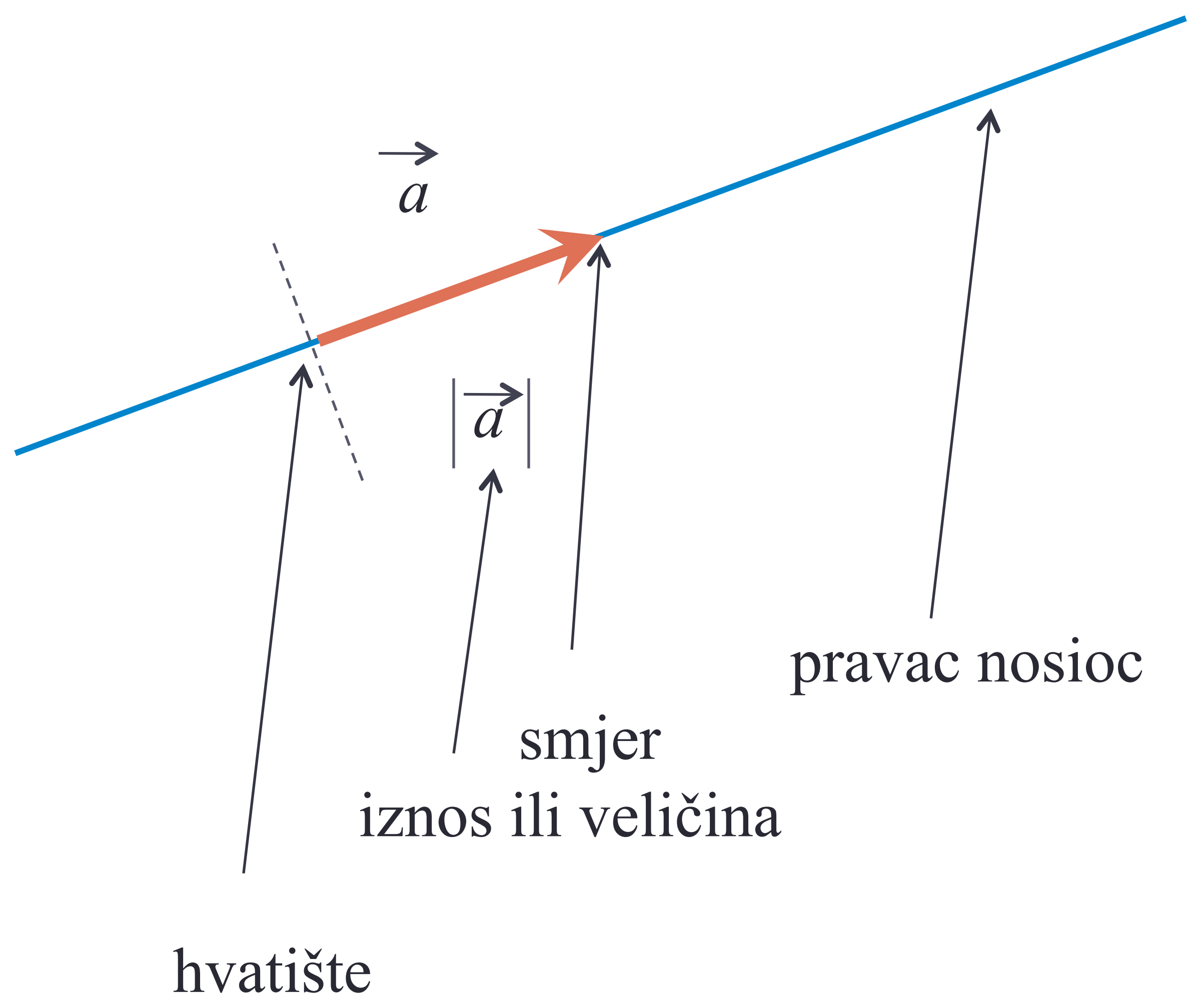
(e) 10^{-5} m
Dijametar stanica krvi

(f) 10^{-10} m
Radijus atoma

(g) 10^{-14} m
Radijus atomske jezgre

naziv	simbol	faktor
tera	T	1 000 000 000 000
giga	G	1 000 000 000
mega	M	1 000 000
kilo	k	1 000
hecto	h	100
deci	d	0.1
centi	c	0.01
mili	m	0.001
micro	m	0.000 001
nano	n	0.000 000 001

Vektori



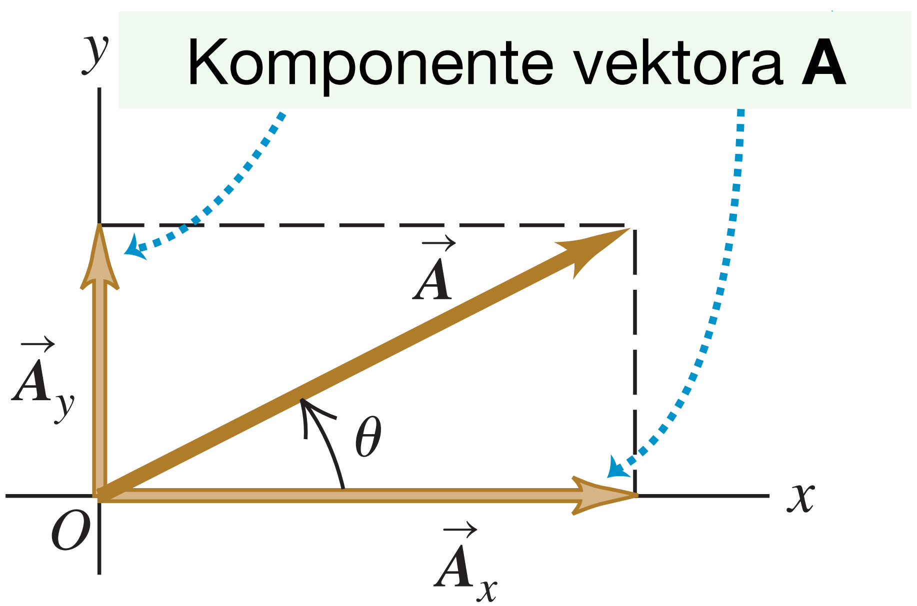
Komponente vektora

$$\vec{A} = \vec{A}_x + \vec{A}_y$$

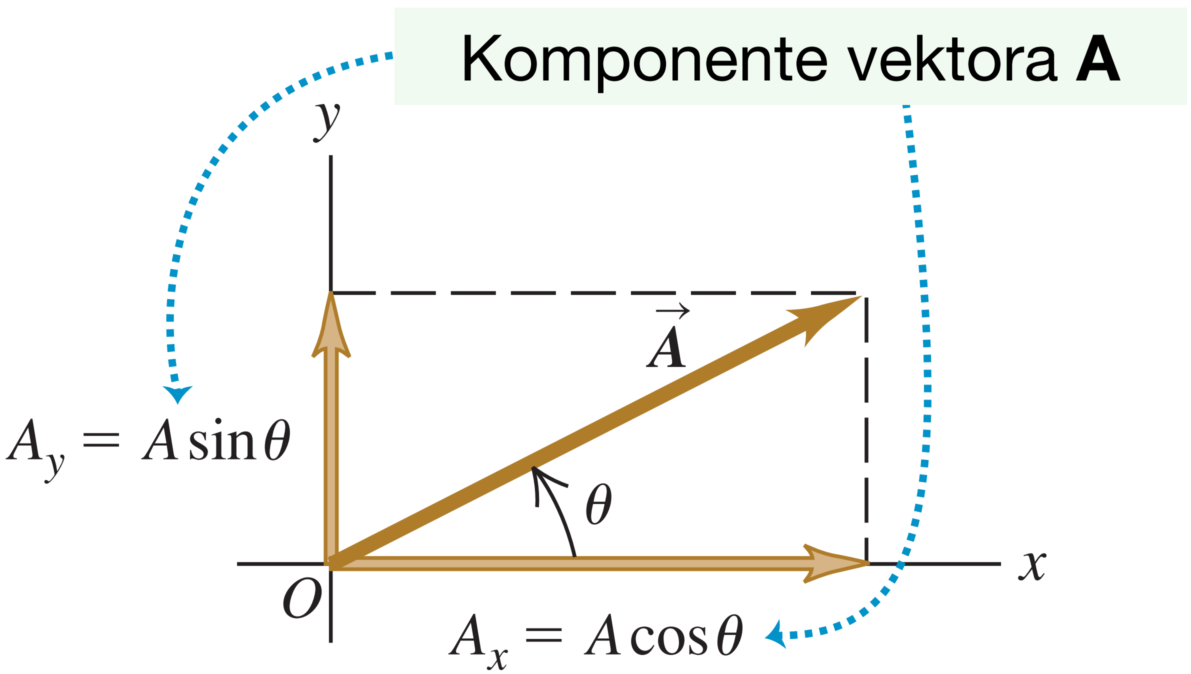
$$A = \sqrt{A_x^{\,2} + A_y^{\,2}}$$

$$\tan\theta = \frac{A_y}{A_x}$$

(a)



(b)



Young & Freedman University Physics

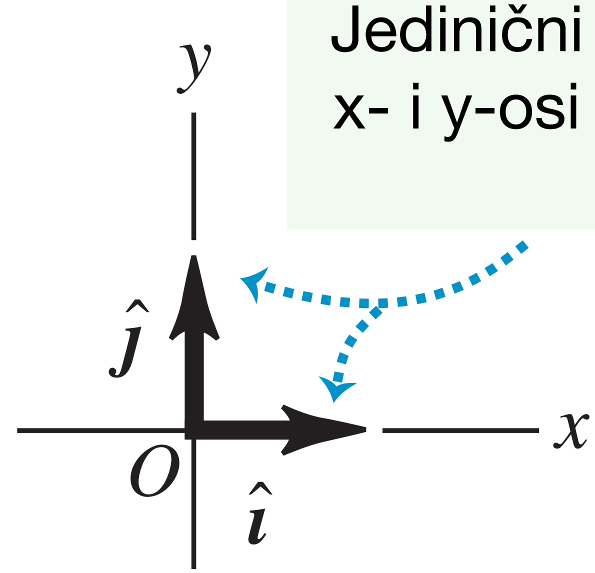
Jednični vektori

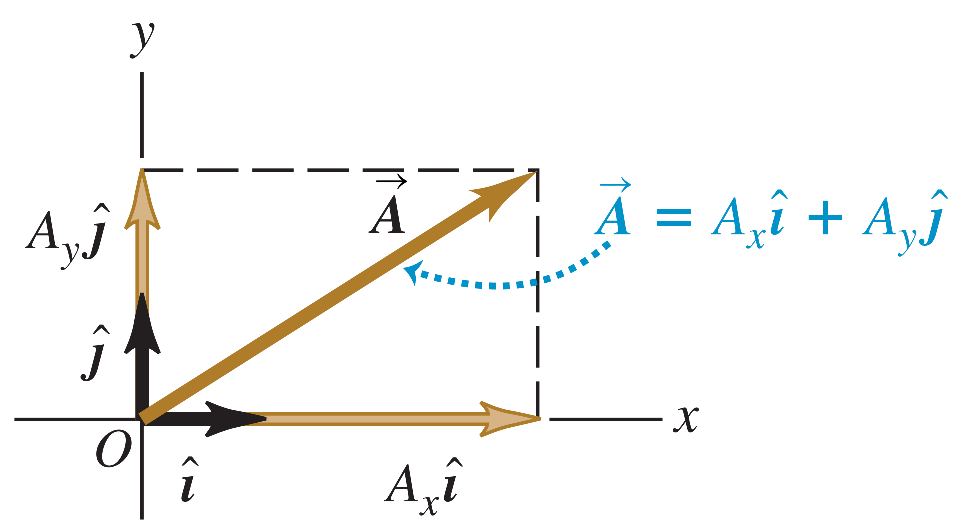
$$\vec{A}_x = A_x\hat{\imath}$$

$$\vec{A}_y = A_y\hat{\jmath}$$

$$\vec{A} = A_x\hat{\imath} + A_y\hat{\jmath}$$

Jednični vektori **i, j** usmjereni su duž x- i y-osi , i njihova duljina jednaka je 1.



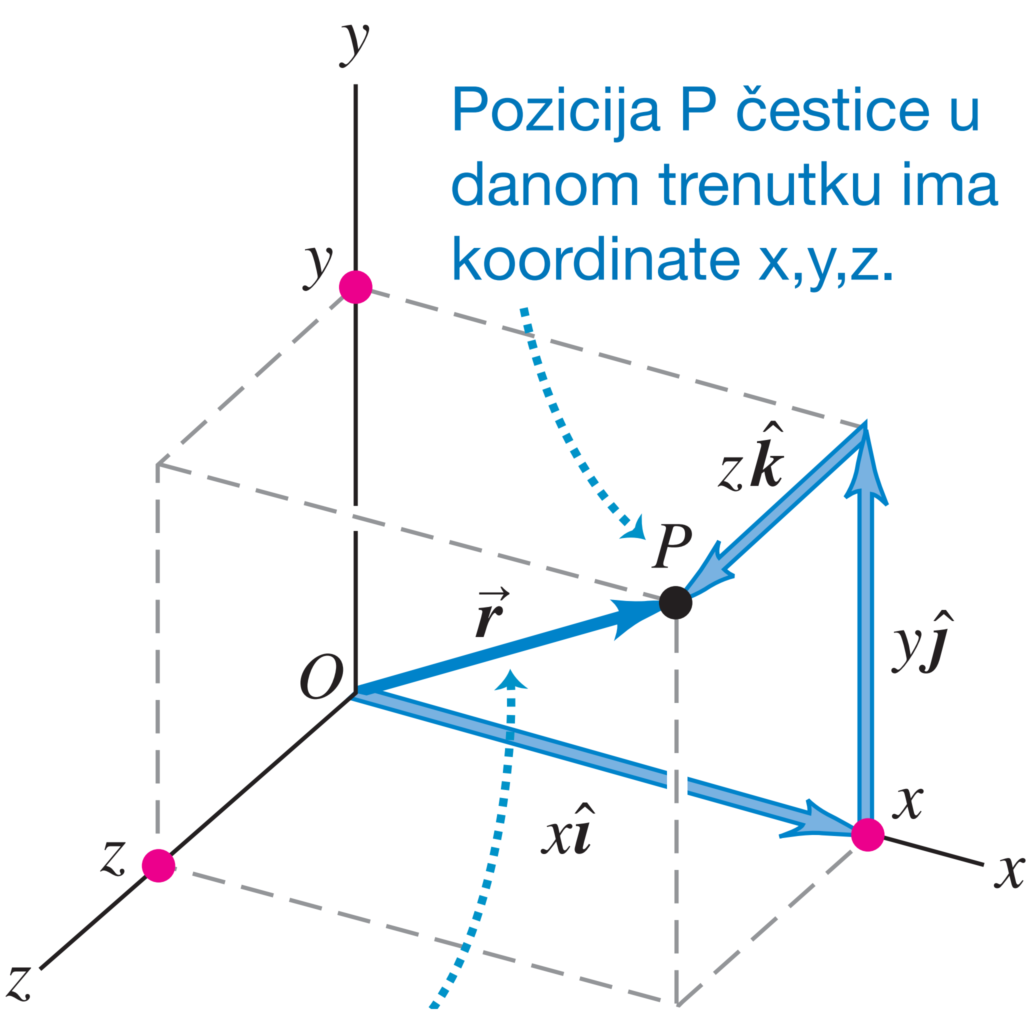


Young & Freedman University Physics

Koordinatni sustav

- da bismo odredili mjesto nekog fizikalnog događaja, moramo dogovorno odrediti mjesto od kojeg ćemo mjeriti sve udaljenosti u prostoru: ishodište koordinatnog sustava
- osi koordinatnog sustava omogućuju da jednoznačno odredimo položaj u prostoru

Pozicija P čestice u danom trenutku ima koordinate x,y,z.

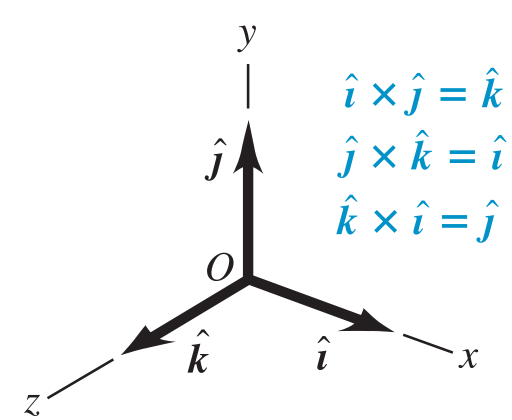


Vektor položaja točke P ima komponente x,y,z:

$$\vec{r} = x\hat{\imath} + y\hat{\jmath} + z\hat{k}.$$

$$\vec{r} = x\hat{\imath} + y\hat{\jmath} + z\hat{k}.$$

- **Jedinični vektori:** pokazuju duž osi (x, y, z) i imaju uvijek iznos 1

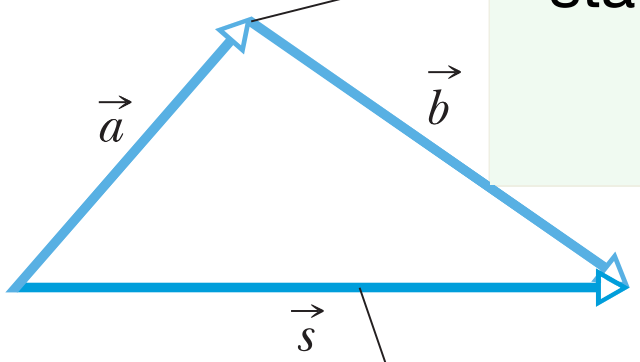


Young & Freedman University Physics

Zbrajanje i oduzimanje vektora

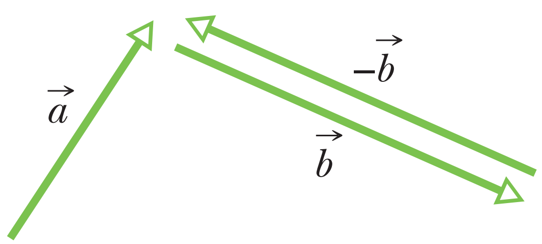
$$\vec{s} = \vec{a} + \vec{b},$$

Na kraj vektora **a** stavljamo početak vektora **b**

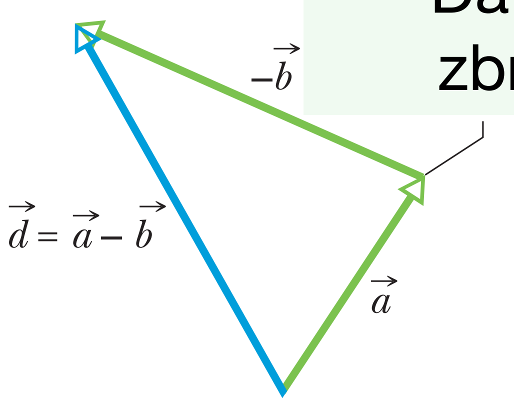


Zbroj vektora **a** i **b**.

$$\vec{d} = \vec{a} - \vec{b} = \vec{a} + (-\vec{b})$$



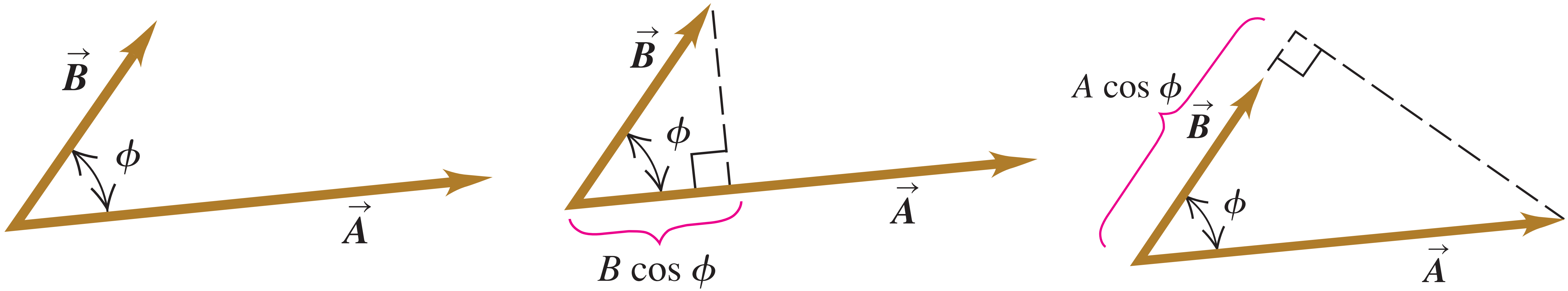
Da bismo od **a** oduzeli **b,** zbrajamo vektor **a** sa **-b.**



Halliday, Resnick & Walker: Fundamentals of Physics

Skalarno množenje

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = AB\cos\phi = |\vec{A}||\vec{B}|\cos\phi$$



$$\hat{\imath} \cdot \hat{\imath} = \hat{\jmath} \cdot \hat{\jmath} = \hat{k} \cdot \hat{k} = (1)(1)\cos 0^\circ = 1$$

$$\hat{\imath} \cdot \hat{\jmath} = \hat{\imath} \cdot \hat{k} = \hat{\jmath} \cdot \hat{k} = (1)(1)\cos 90^\circ = 0$$

$$\begin{aligned}
\vec{A} \cdot \vec{B} &= (A_x\hat{\imath} + A_y\hat{\jmath} + A_z\hat{k}) \cdot (B_x\hat{\imath} + B_y\hat{\jmath} + B_z\hat{k}) \\
&= A_xB_x\hat{\imath} \cdot \hat{\imath} + A_xB_y\hat{\imath} \cdot \hat{\jmath} + A_xB_z\hat{\imath} \cdot \hat{k} \\
&\quad + A_yB_x\hat{\jmath} \cdot \hat{\imath} + A_yB_y\hat{\jmath} \cdot \hat{\jmath} + A_yB_z\hat{\jmath} \cdot \hat{k} \\
&\quad + A_zB_x\hat{k} \cdot \hat{\imath} + A_zB_y\hat{k} \cdot \hat{\jmath} + A_zB_z\hat{k} \cdot \hat{k}
\end{aligned}$$

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = A_xB_x + A_yB_y + A_zB_z$$

Vektorsko množenje

$$\vec{C} = \vec{A} \times \vec{B}$$

$$C = AB\sin\phi$$

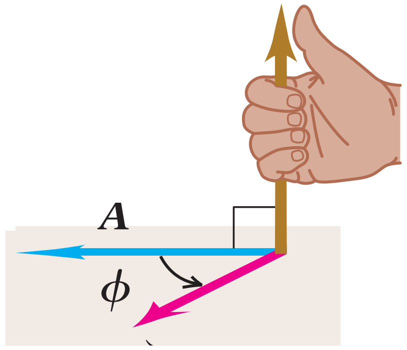
$$\vec{A} \times \vec{B} = -\vec{B} \times \vec{A}$$

$$\hat{\imath} \times \hat{\imath} = \hat{\jmath} \times \hat{\jmath} = \hat{k} \times \hat{k} = 0$$

$$\hat{\imath} \times \hat{\jmath} = -\hat{\jmath} \times \hat{\imath} = \hat{k}$$

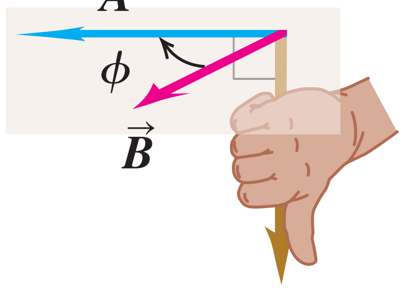
$$\hat{\jmath} \times \hat{k} = -\hat{k} \times \hat{\jmath} = \hat{\imath}$$

$$\hat{k} \times \hat{\imath} = -\hat{\imath} \times \hat{k} = \hat{\jmath}$$



$$\vec{A} \times \vec{B} = (A_x\hat{\imath} + A_y\hat{\jmath} + A_z\hat{k}) \times (B_x\hat{\imath} + B_y\hat{\jmath} + B_z\hat{k})$$

$$\vec{A} \times \vec{B} = (A_yB_z - A_zB_y)\hat{\imath} + (A_zB_x - A_xB_z)\hat{\jmath} + (A_xB_y - A_yB_x)\hat{k}$$



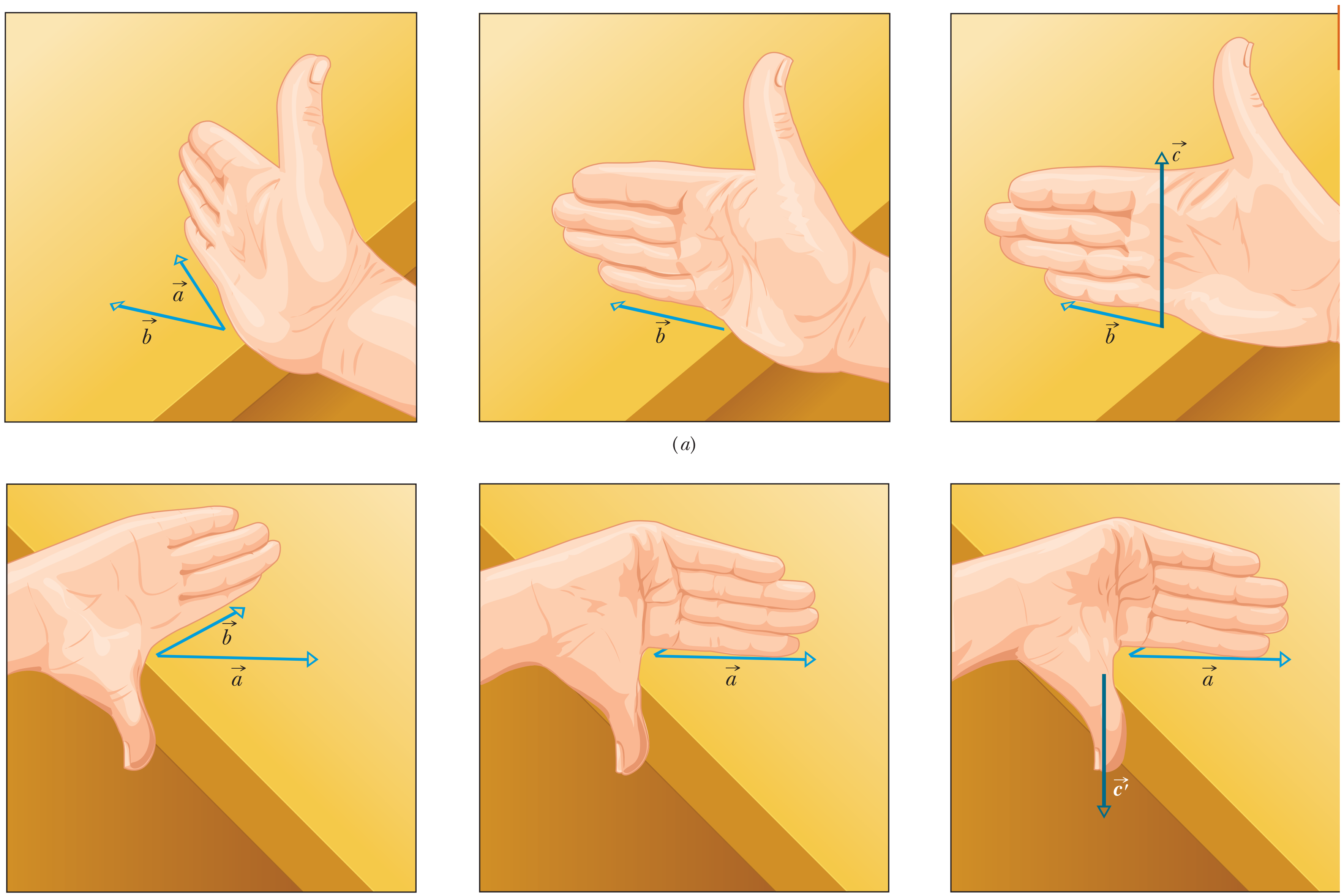
$$\vec{A} \times \vec{B} = \begin{vmatrix} \hat{\imath} & \hat{\jmath} & \hat{k} \\ A_x & A_y & A_z \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix}$$

Vektorsko množenje

$$\vec{A} \times \vec{B} = -\vec{B} \times \vec{A}$$

$\vec{a} \times \vec{b}.$

$\vec{b} \times \vec{a}$

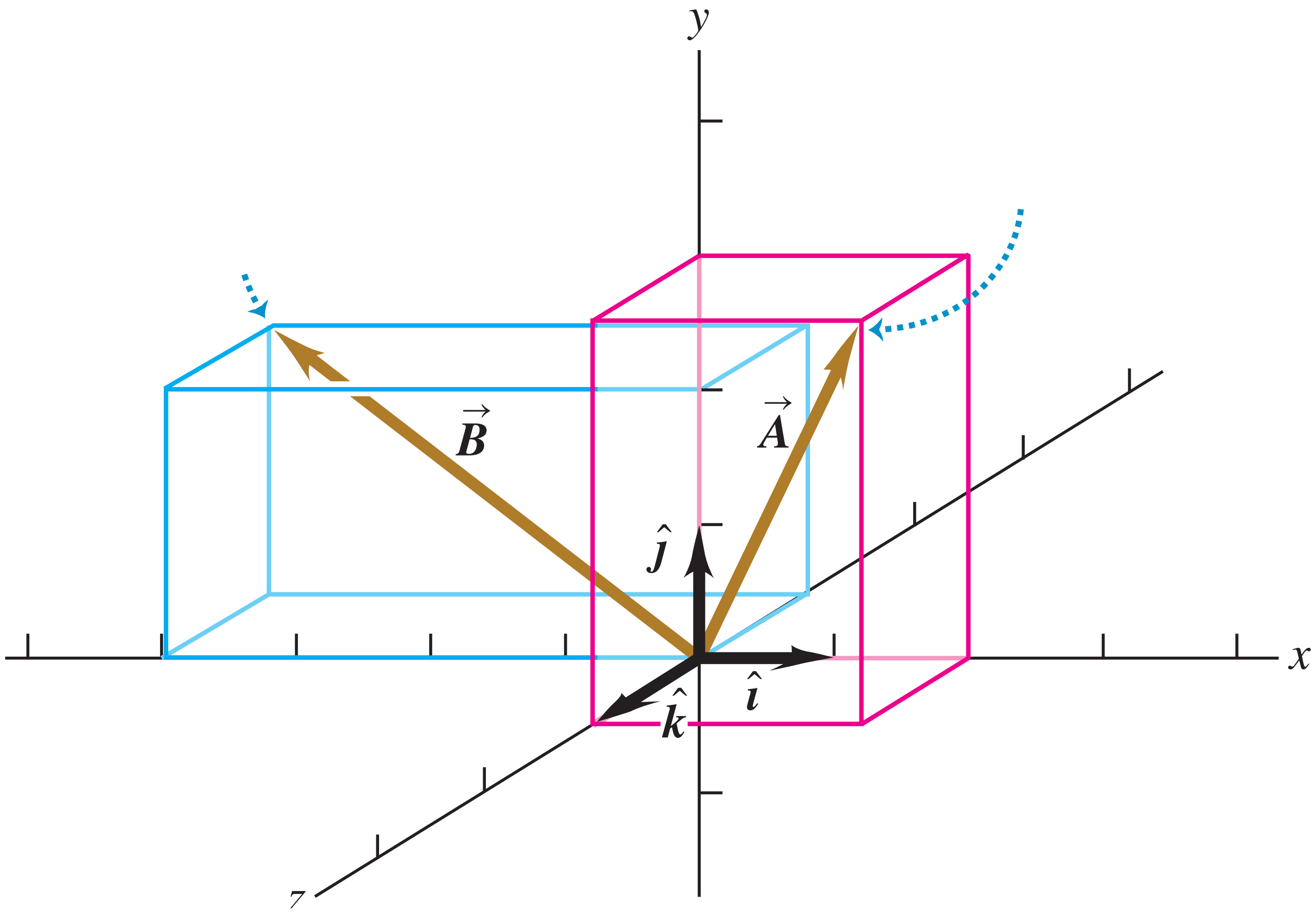


Halliday, Resnick & Walker: Fundamentals of Physics

Zadatak

- Odredi kut između vektora:

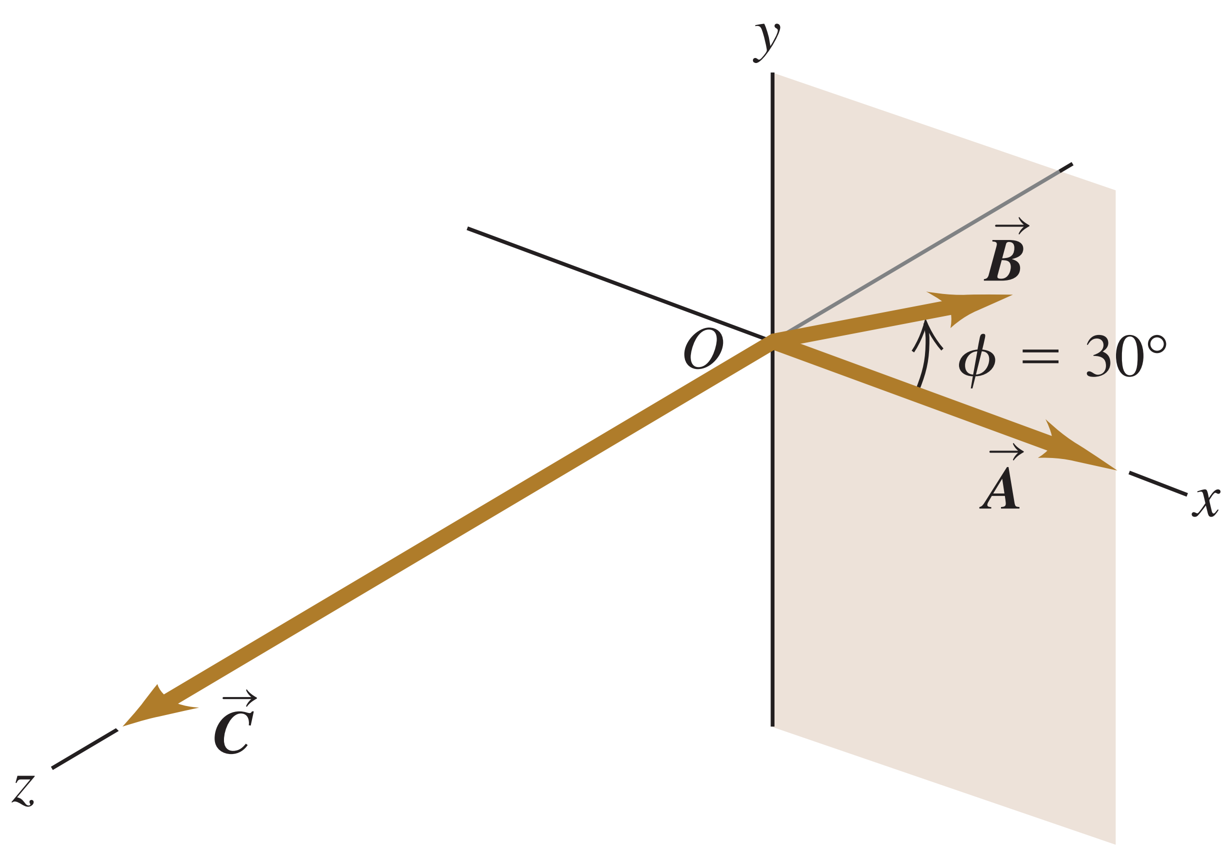
$$\vec{A} = 2.00\hat{\imath} + 3.00\hat{\jmath} + 1.00\hat{k}$$
$$\vec{B} = -4.00\hat{\imath} + 2.00\hat{\jmath} - 1.00\hat{k}$$



Young & Freedman University Physics

Zadatak

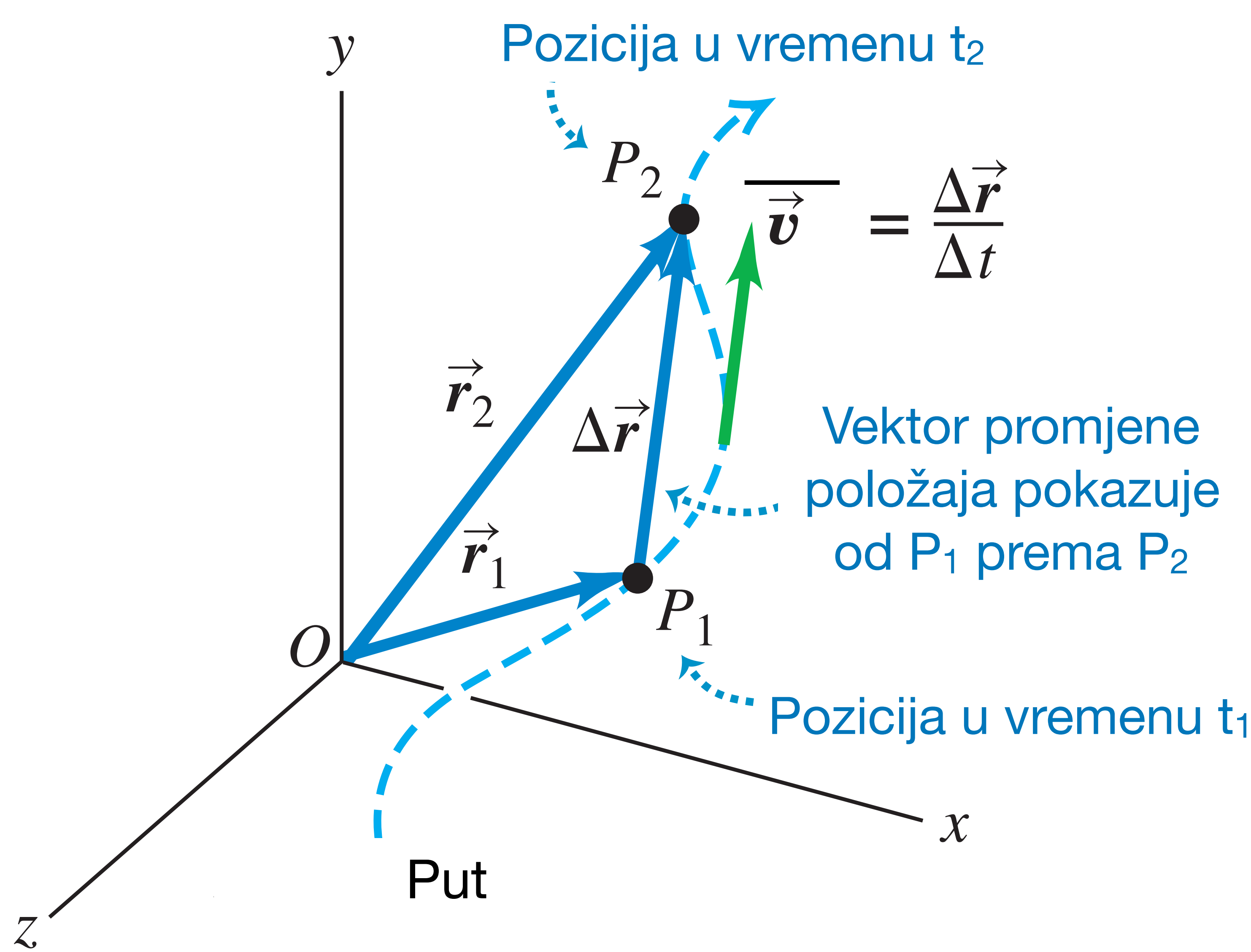
- Vektor **A** ima duljinu 6 i usmjeren je duž x-osi. Vektor **B** ima duljinu 4 i leži u xy ravnini, pod kutom od 30° u odnosu na x-os. Nađi vektorski produkt **C** = **A** x **B**.



Young & Freedman University Physics

Srednja i trenutna brzina

- materijalna točka kojoj se koordinate mijenjaju u vremenu Δt:



$$\overline{\vec{v}} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$$

$$\Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$$

SREDNJA BRZINA

$$\overline{\vec{v}} = \frac{\vec{r}_2 - \vec{r}_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$$

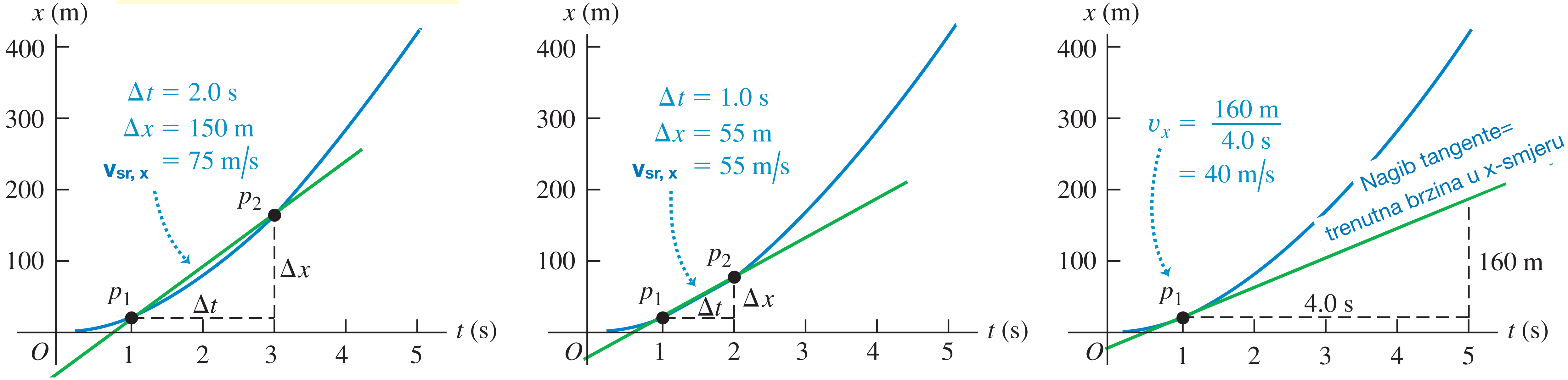
Young & Freedman University Physics

Srednja i trenutna brzina

- za svaki vremenski interval mozemo izračunati srednju brzinu:

(a) $$v_{sr,\,x} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

(b) (c)



Kako je srednja brzina u x-smjeru računata na sve kraćim i kraćim vremenskim intervalima…

… njena komponenta Δx/Δt se približava trenutnoj brzini.

Trenutna brzina v_x u bilo kojoj točki jednaka je **nagibu tangente** na x-t krivulju u toj točki.

- Trenutna brzina:

$$v_x = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt}$$

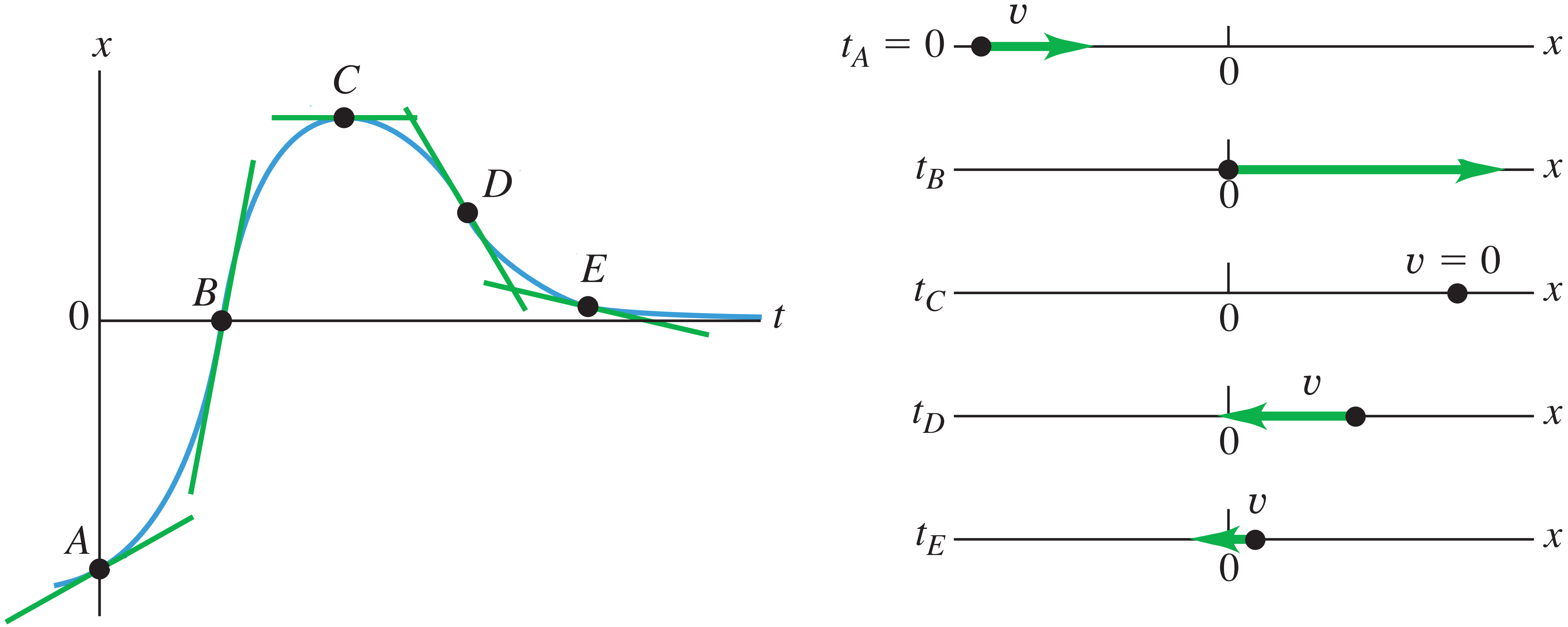
$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{dx}{dt}\hat{\imath} + \frac{dy}{dt}\hat{\jmath} + \frac{dz}{dt}\hat{k}$$

$$|\vec{v}| = v = \sqrt{v_x^{\,2} + v_y^{\,2} + v_z^{\,2}}$$

Young & Freedman University Physics

Razumijevanje

- Na slici je dan x-t grafikon gibanja nekog tijela. Što se moze zaključiti o brzini tijela u točkama A, B, C, D, E na grafikonu?

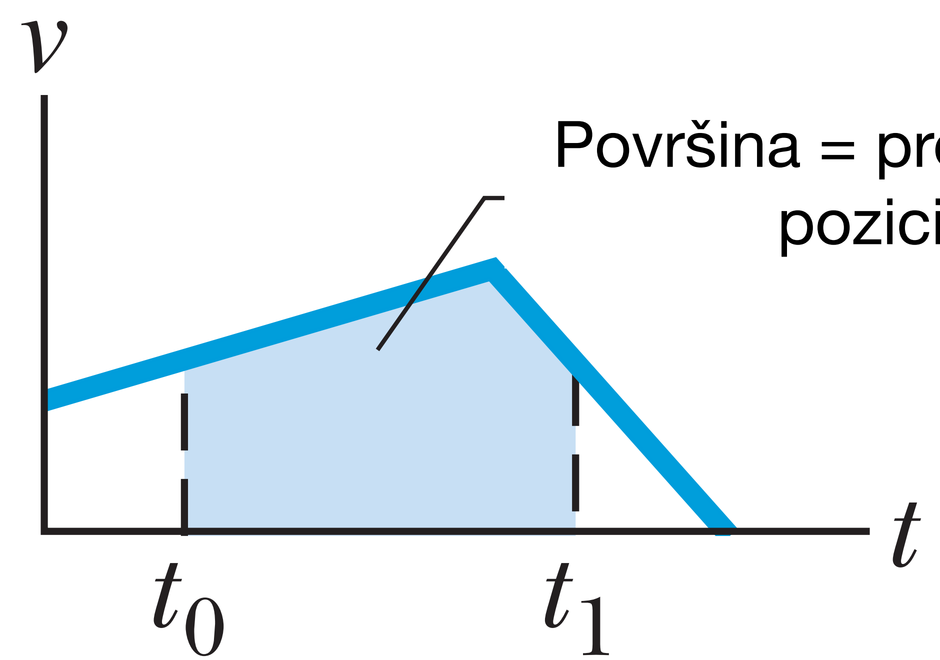


$$v_x = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt}$$

Young & Freedman University Physics

Površina u v-t grafikonu

$$v_x = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt}$$



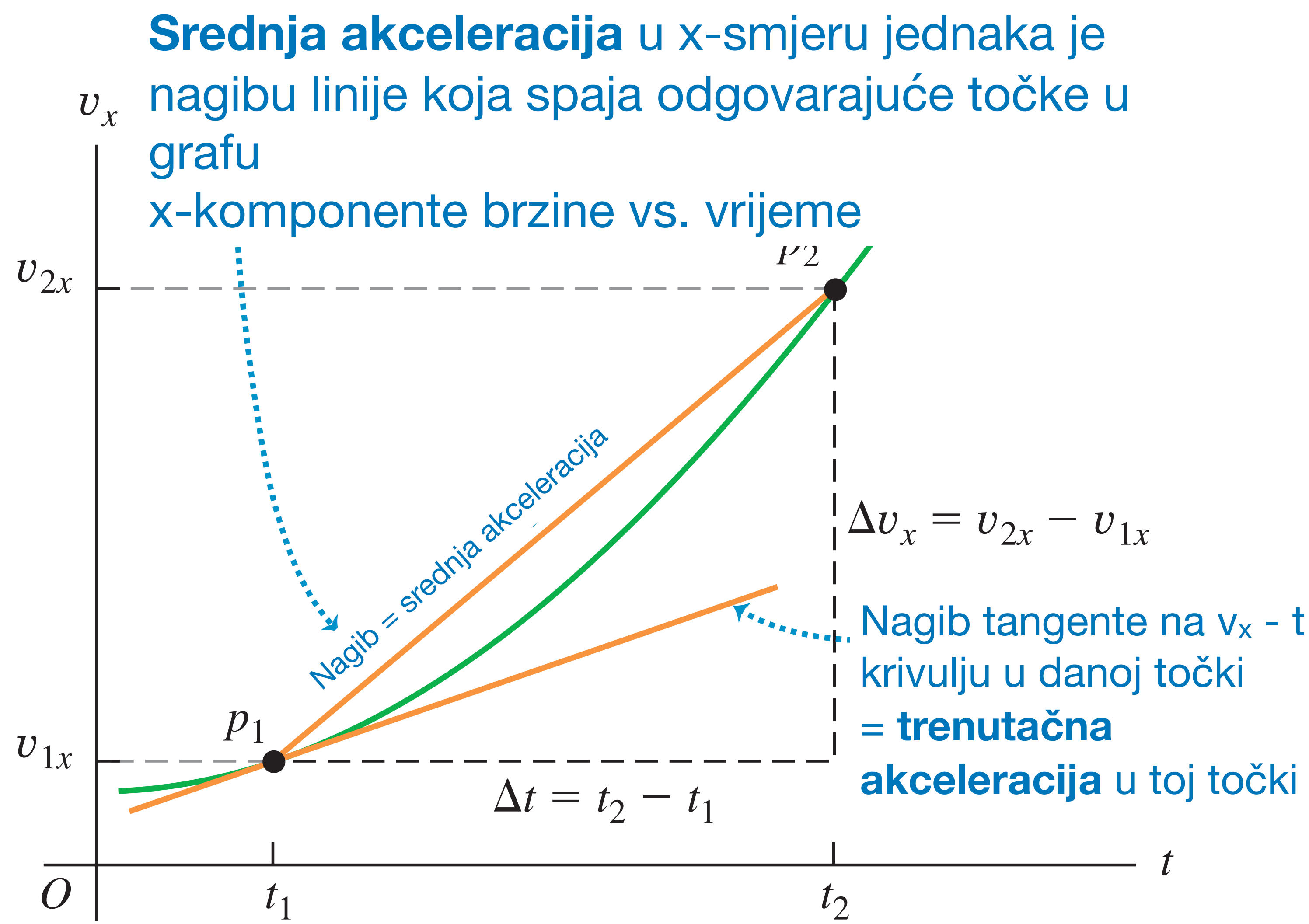
$$x_1 - x_0 = \int_{t_0}^{t_1} v \, dt$$

Halliday, Resnick & Walker: Fundamentals of Physics

Srednja i trenutna akceleracija

SREDNJA AKCELERACIJA:
promjena u trenutačnoj brzini podijeljena sa vremenskim intervalom $\Delta t = t_2 - t_1$

$$\vec{\bar{a}} \equiv \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\Delta v_x}{\Delta t}\hat{i} = \frac{(v_{2x} - v_{1x})}{\Delta t}\hat{i} = \bar{a}_x \hat{i}$$



Ako brzina ima komponente (v_x, v_y, v_z):

$$\overline{\vec{a}} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}.$$

Young & Freedman University Physics

Srednja i trenutna akceleracija

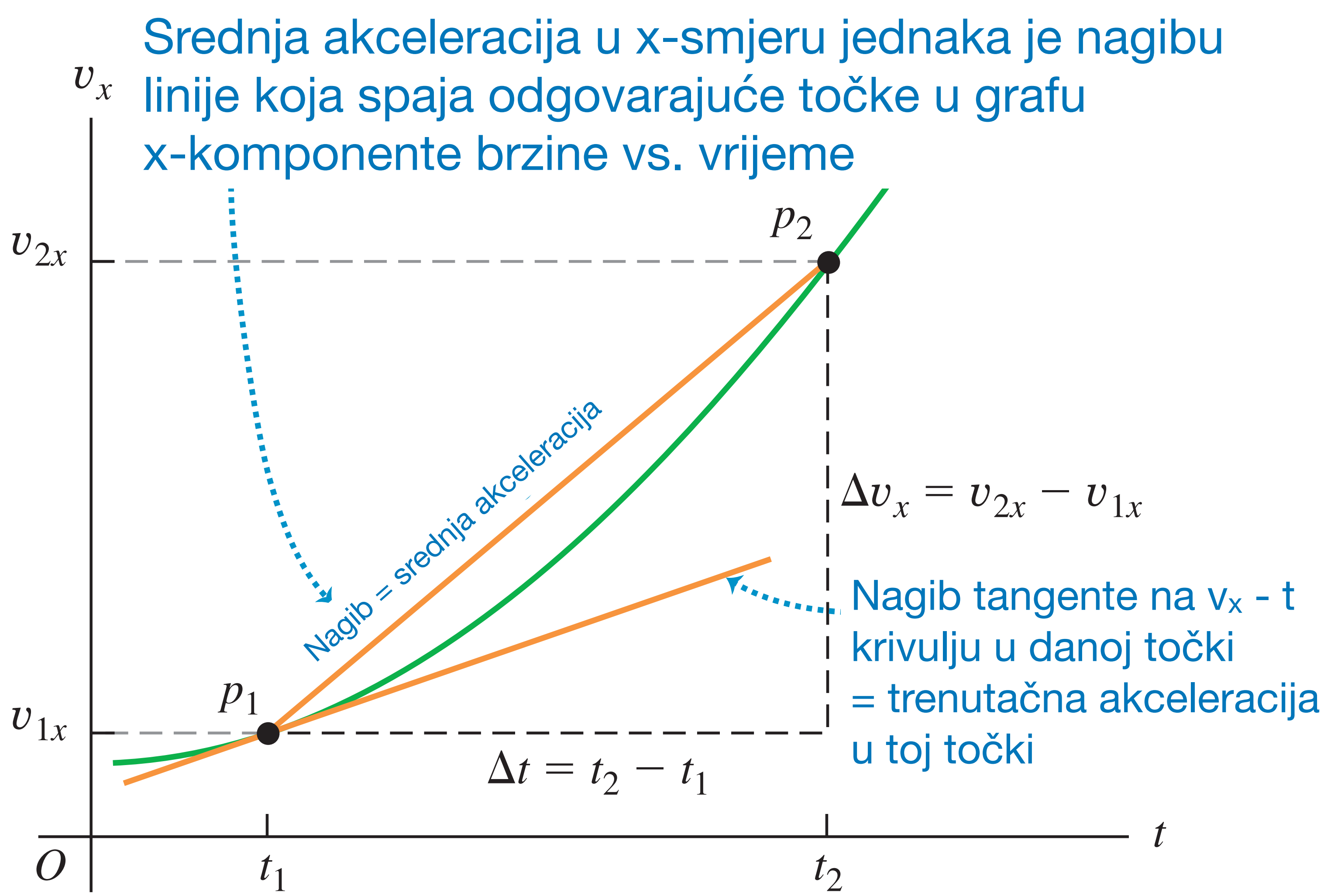
TRENUTNA AKCELERACIJA:

$$a_x(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{v_x(t+\Delta t) - v_x(t)}{\Delta t} = \frac{dv_x}{dt}$$

$$\vec{a} = \frac{d}{dt}(v_x\hat{\imath} + v_y\hat{\jmath} + v_z\hat{k})$$

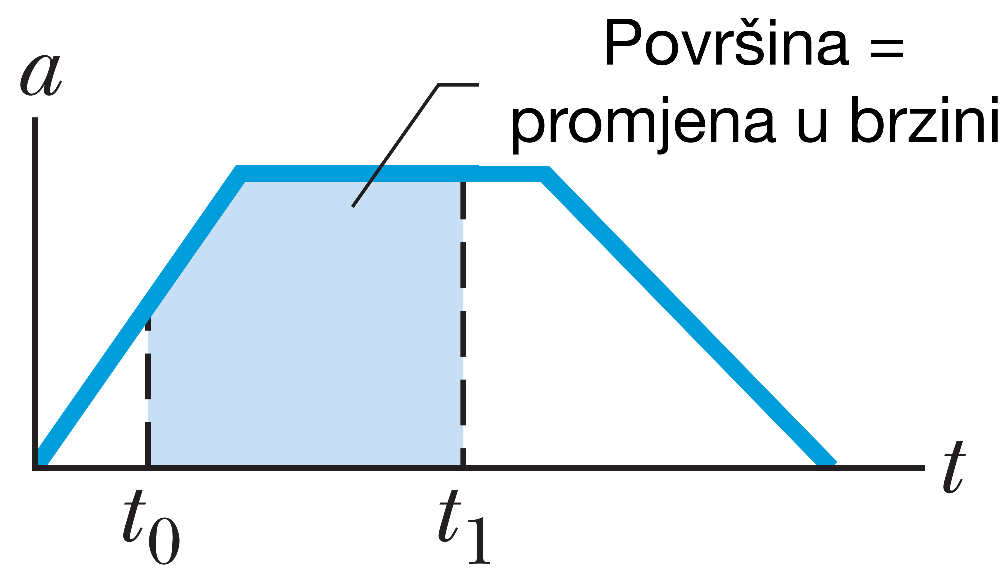
$$= \frac{dv_x}{dt}\hat{\imath} + \frac{dv_y}{dt}\hat{\jmath} + \frac{dv_z}{dt}\hat{k}.$$

$$\vec{a} = \frac{d^2x}{dt^2}\hat{\imath} + \frac{d^2y}{dt^2}\hat{\jmath} + \frac{d^2z}{dt^2}\hat{k}$$



Površina u a-t grafikonu

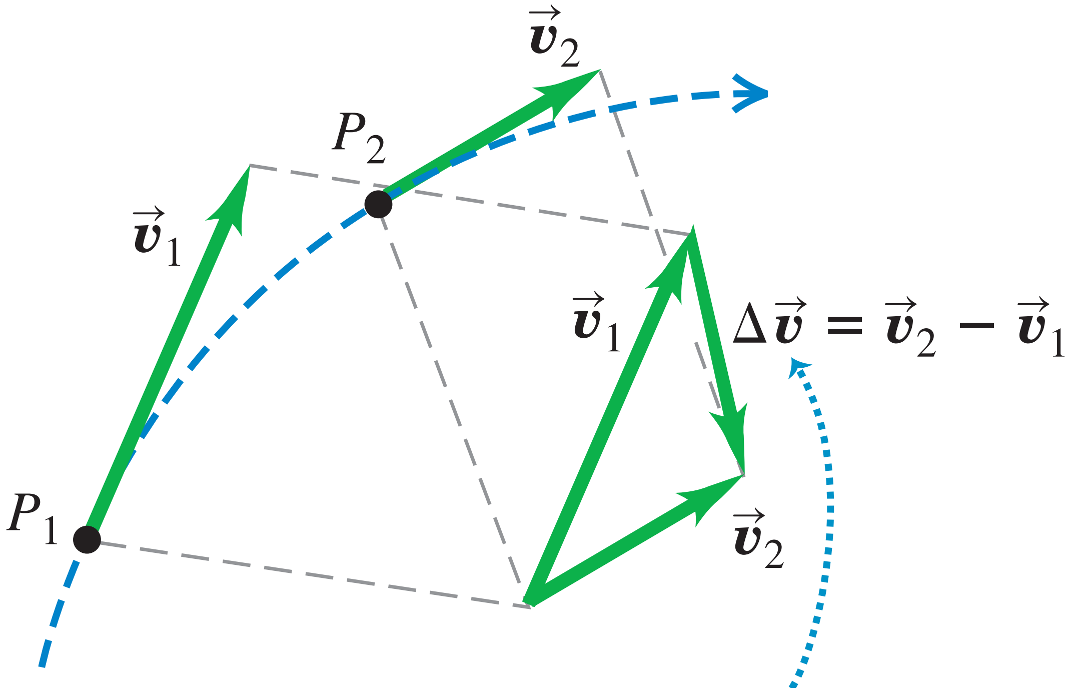
$$a_x(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{v_x(t+\Delta t) - v_x(t)}{\Delta t} = \frac{dv_x}{dt}$$

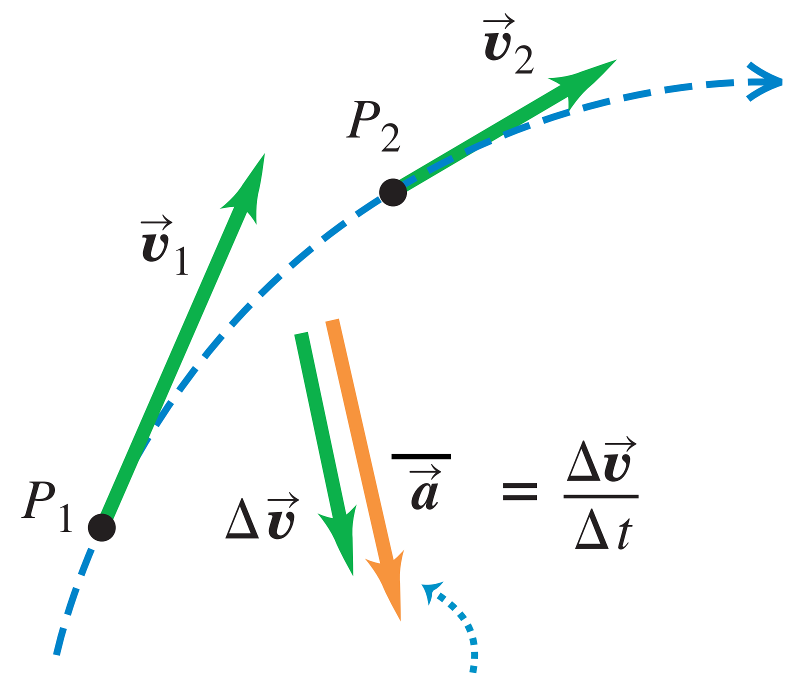


$$v_1 - v_0 = \int_{t_0}^{t_1} a\, dt.$$

Smjer akceleracije: primjer

$$\overline{\vec{a}} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$$





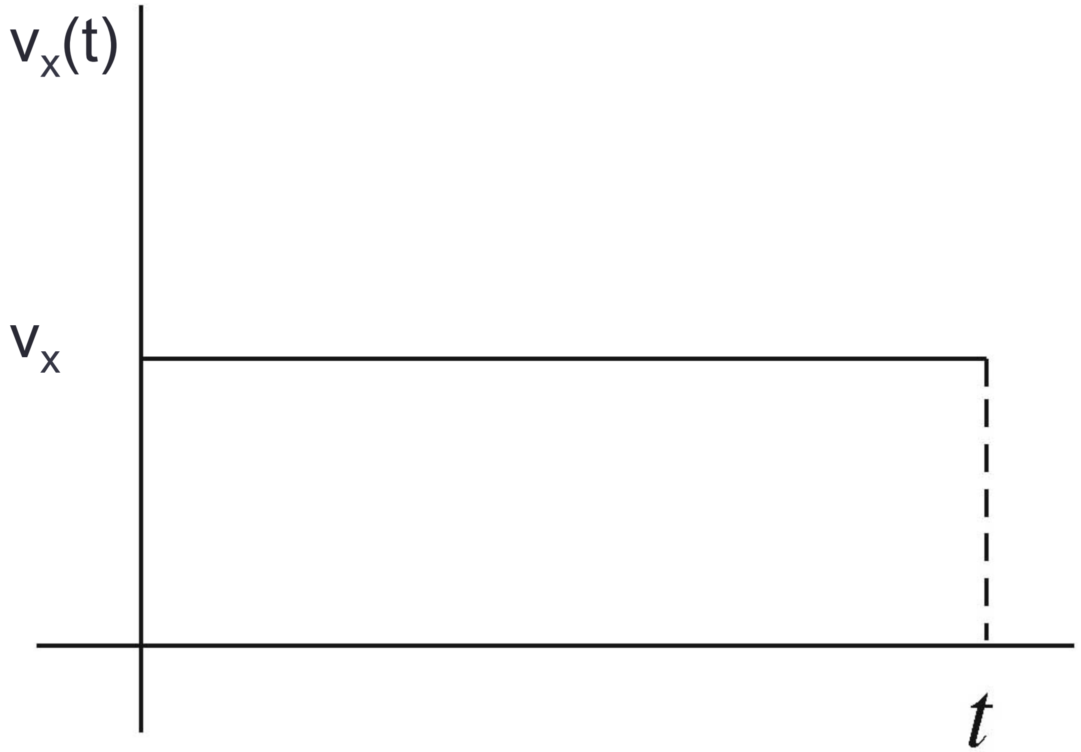
Young & Freedman University Physics

Jednoliko pravocrtno gibanje

- Brzina je stalna u vremenu:

t=0: $\mathbf{x_0}$, v=$\mathbf{v_x}$

t: **x(t)**, v=$\mathbf{v_x}$

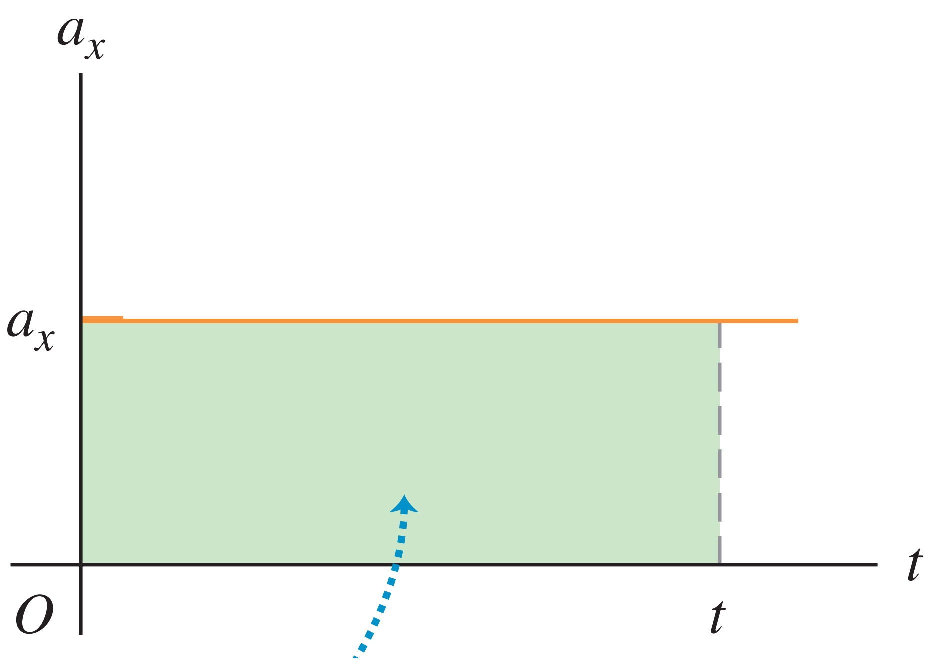


$$\Delta x \equiv x(t) - x_0 = \bar{v}_x t = v_x t$$

$$x(t) = x_0 + v_x t$$

$\boxed{\Delta x = S(v_x, t) \quad \text{povrsina u v-t grafikonu}}$

Konstantna akceleracija

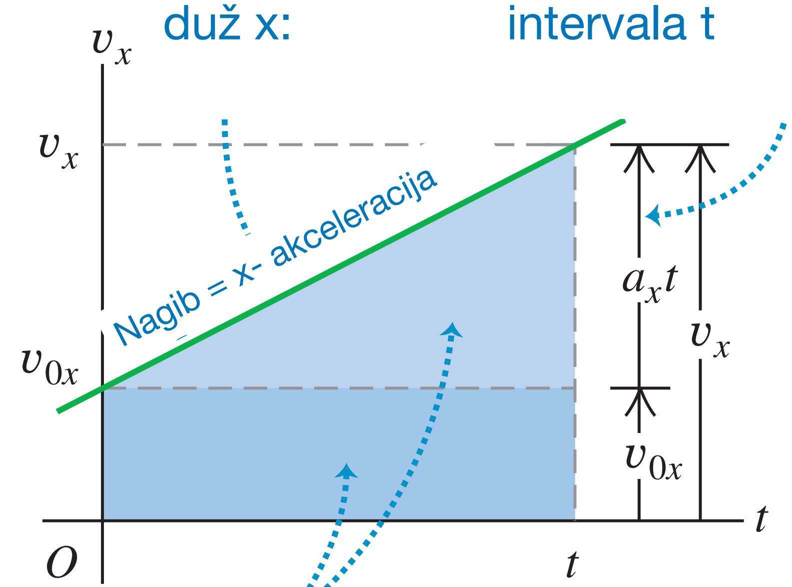


Površina ispod a_x - t krivulje $= v_x - v_{0x}$

$=$ promjena u brzini duž x u vremenu 0 do t

Konstantna akceleracija duž x:

Promjena brzine duž x za vrijeme intervala t



Površina ispod v_x - t grafikona = x - x_0

= promjena u x-koordinati od vremena 0 do t

$$a_x = \bar{a}_x = \frac{\Delta v_x}{\Delta t} = \frac{v_x(t) - v_{x,0}}{t}$$

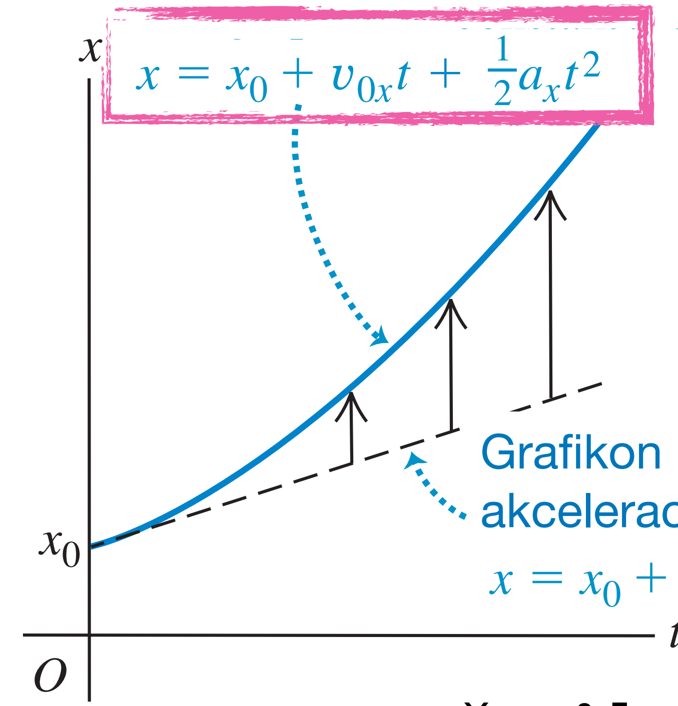
$$\boxed{v_x(t) = v_{x,0} + a_x t}$$

Površina:

$$S(v_x, t) = v_{x,0} t + \frac{1}{2}(v_x(t) - v_{x,0})t$$

$$S(v_x, t) = v_{x,0} t + \frac{1}{2}(v_{x,0} + a_x t - v_{x,0})t = v_{x,0} t + \frac{1}{2} a_x t^2$$

$$\boxed{x = x_0 + v_{0x} t + \tfrac{1}{2} a_x t^2}$$



Grafikon koji bismo dobili za akceleraciju = 0:

$x = x_0 + v_{0x} t$

Young & Freedman University Physics

Zadatak

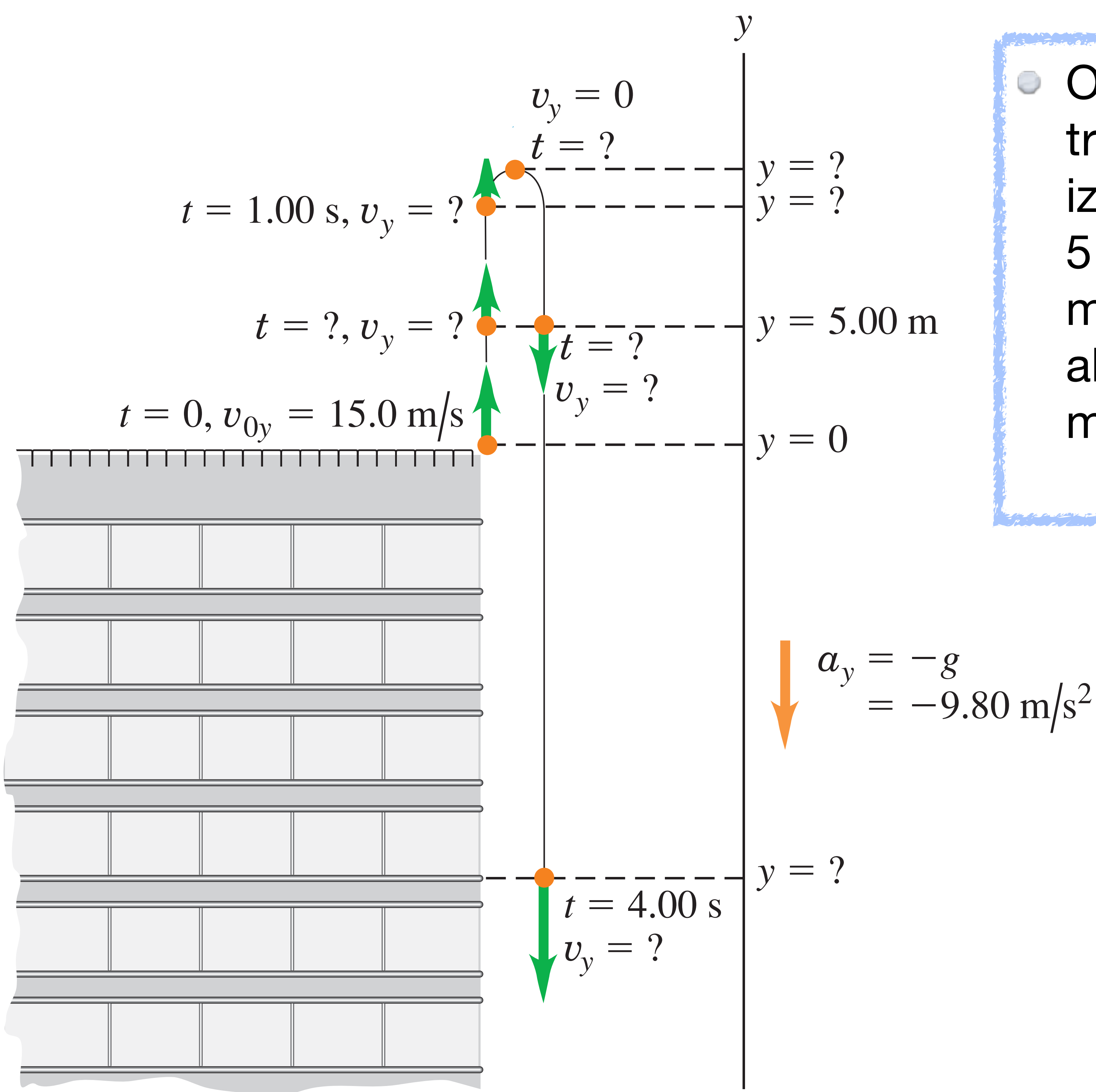
- Tijelo se giba u ravnini na način da mu je pozicija kao funkcija vremena dana sa:

  $$x = -0.31\,t^2 + 7.2\,t + 28$$
  $$y = 0.22\,t^2 - 9.1\,t + 30$$

  Odredite vektor pozicije **r**, te vektore brzine **v** i akceleracije **a,** u vremenu $t = 15$ s.

Zadatak

- Lopta je izbačena vertikalno prema gore sa ruba zgrade brzinom 15 m/s. Nakon što je dosegla maksimalnu visinu, slobodno pada prema dolje (vidi sliku).



- Odredi: (a) poziciju lopte i brzinu u trenutku 1s i 4 s nakon što je izbačena; (b) brzinu lopte na visini 5m iznad ruba zgrade; (c) maksimalnu visinu koju postiže; (d) akceleraciju lopte kada se nalazi na maksimalnoj visini.

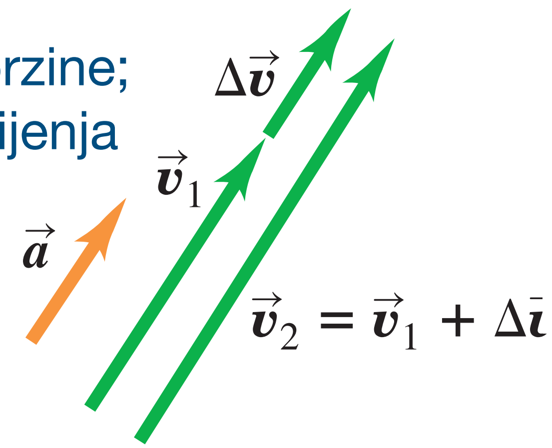
Young & Freedman University Physics

Kružno gibanje

- Kružno gibanje je gibanje čija je putanja kružni luk radijusa r

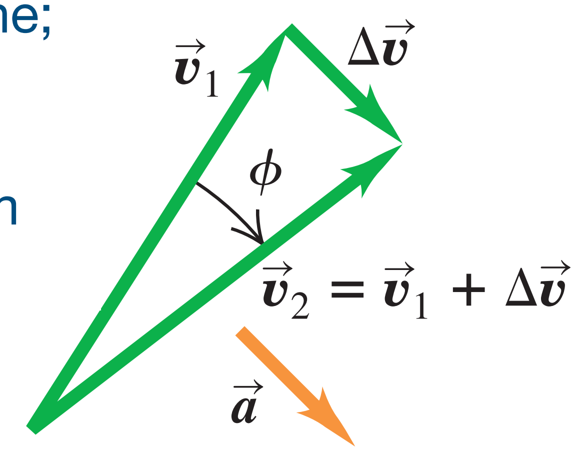
(a) Akceleracija je paralelna brzini

Mijenja samo **iznos** brzine;
smjer brzine se ne mijenja



(b) Akceleracija je okomita na brzinu

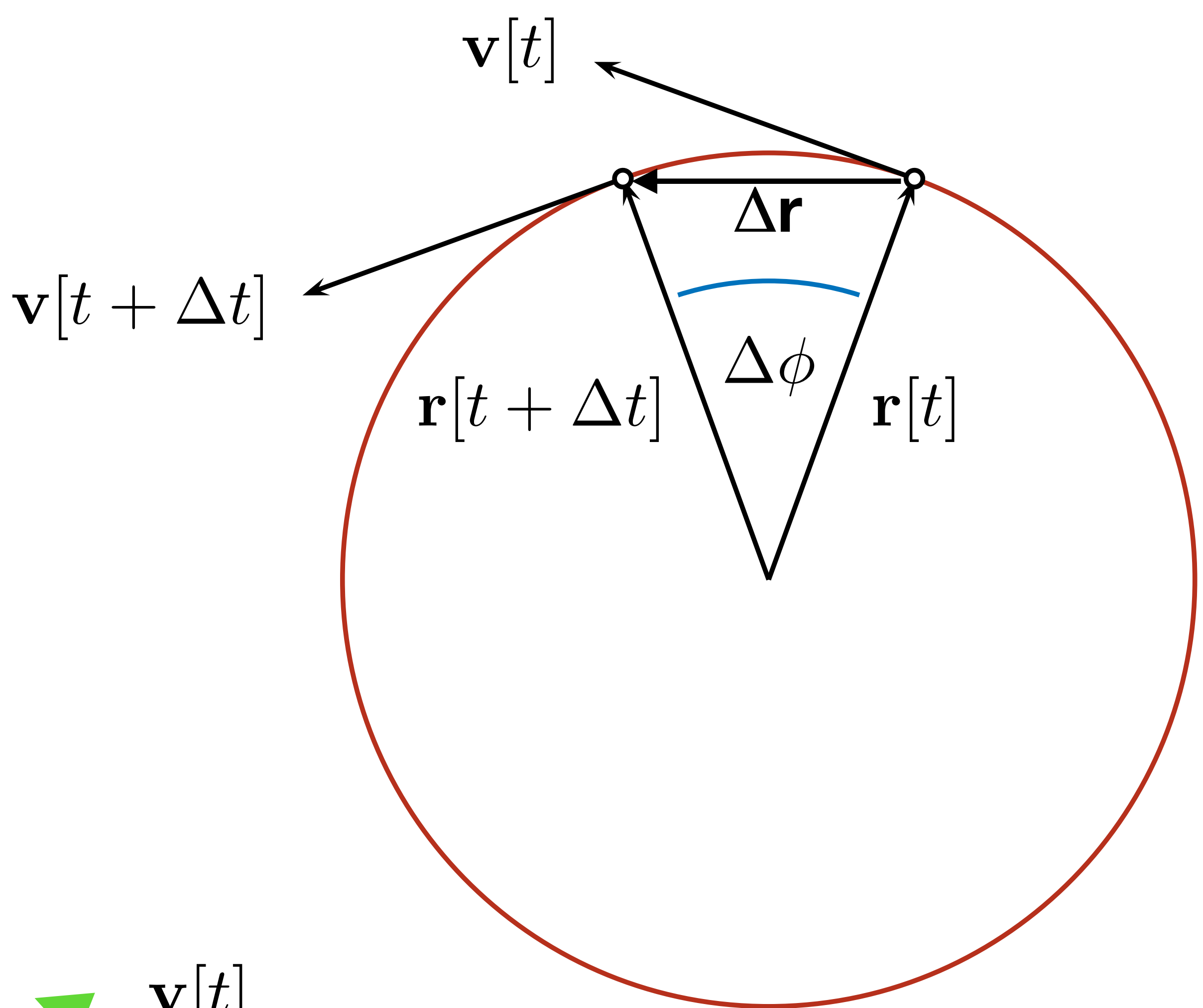
Mijenja samo **smjer** brzine;
čestica ima zakrivljenu
putanju
sa konstantnim iznosom
brzine



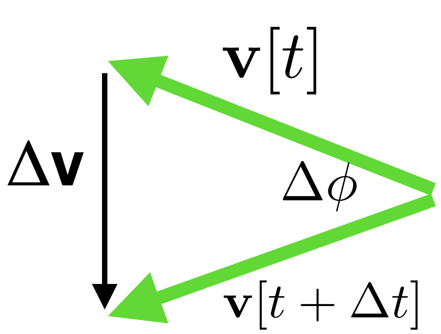
Young & Freedman University Physics

Kružno gibanje

- Umjesto koordinate položaja x u trenutku t te prijeđenog puta Δs u vremenskom intervalu Δt kod pravocrtnog gibanja, kod kružnog gibanja promatra se kutna koordinata ϕ (položajni kut, faza) u trenutku t te opisani (prebrisani) kut $\Delta\phi$, što ga vektor položaja **r** prebriše u vremenskom intervalu Δt

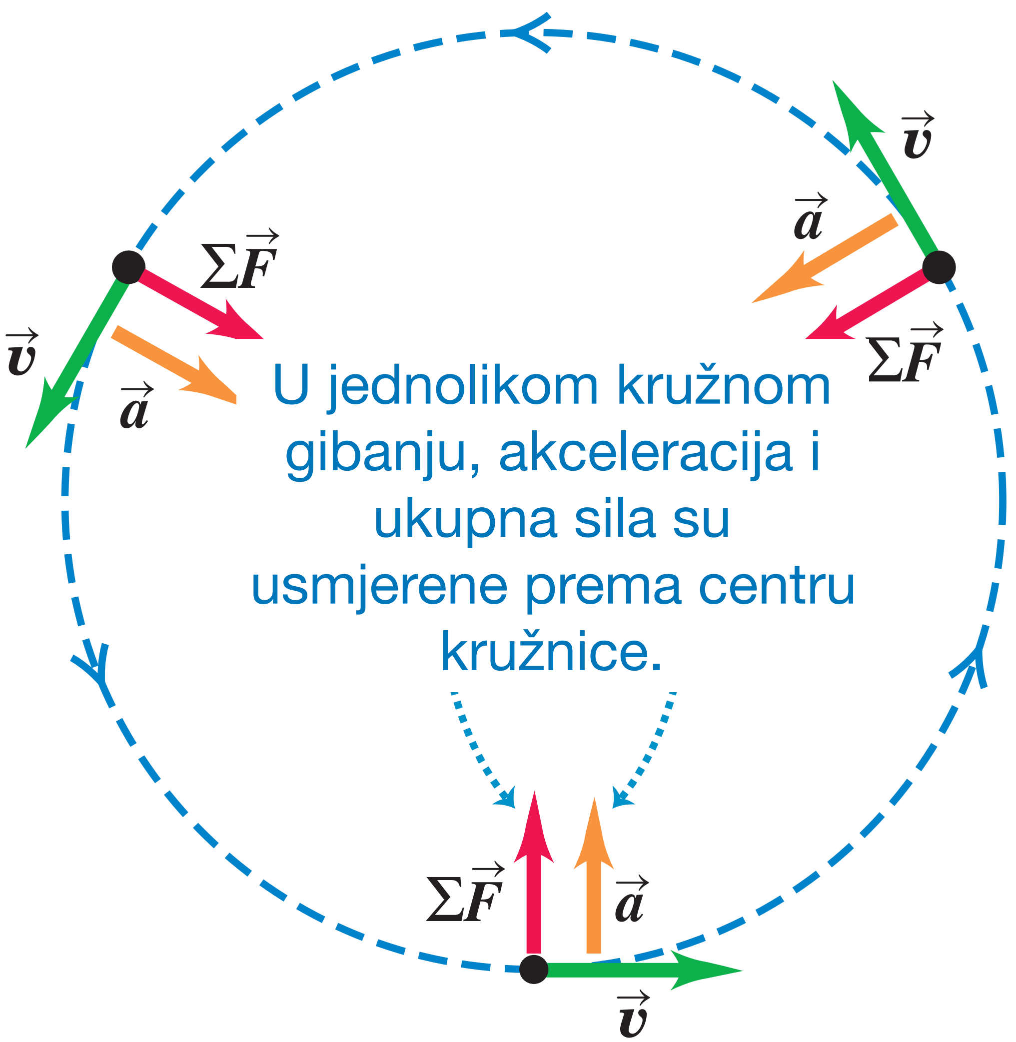


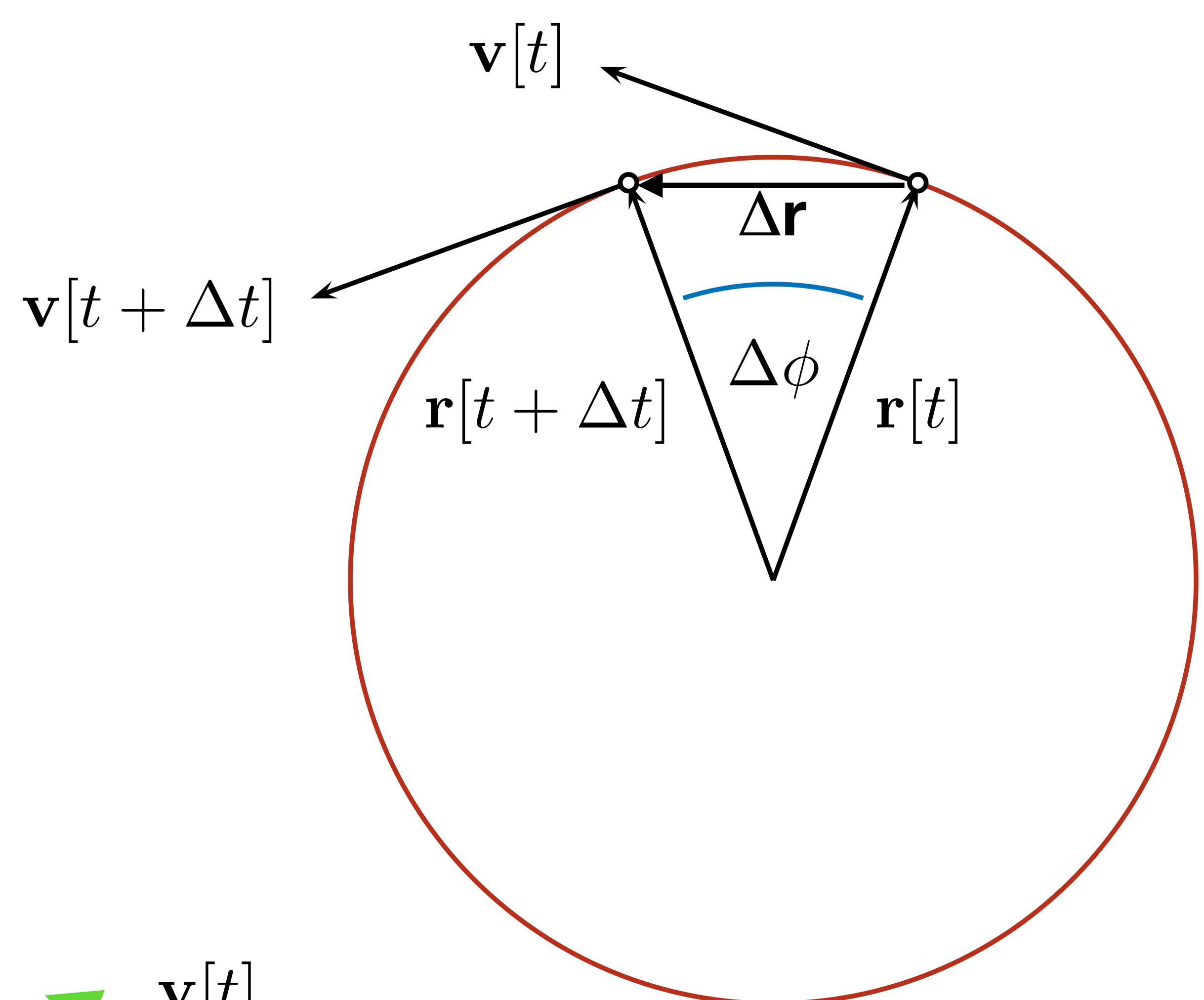
- Vektor pozicije mijenja smjer, ali ne i veličinu
- Smjer **obodne** (tangencijalne) brzine je okomit na smjer pozicije i čini tangentu na kruznu orbitu
- Smjer obodne brzine se stalno mijenja

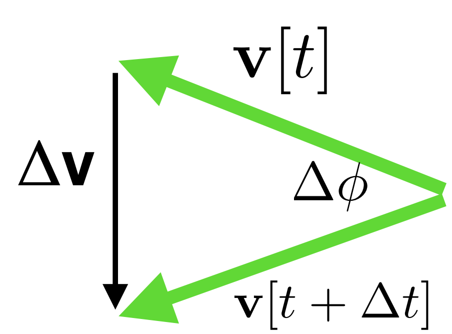


Centripetalno (radijalno) ubrzanje

- Tijelo dobiva radijalnu (ili centripetalnu) akceleraciju kada sila djeluje okomito na brzinu
- Jednoliko kružno gibanje: gibanje se odvija duž putanje koja ima oblik kružnice i to **brzinom stalnog iznosa**





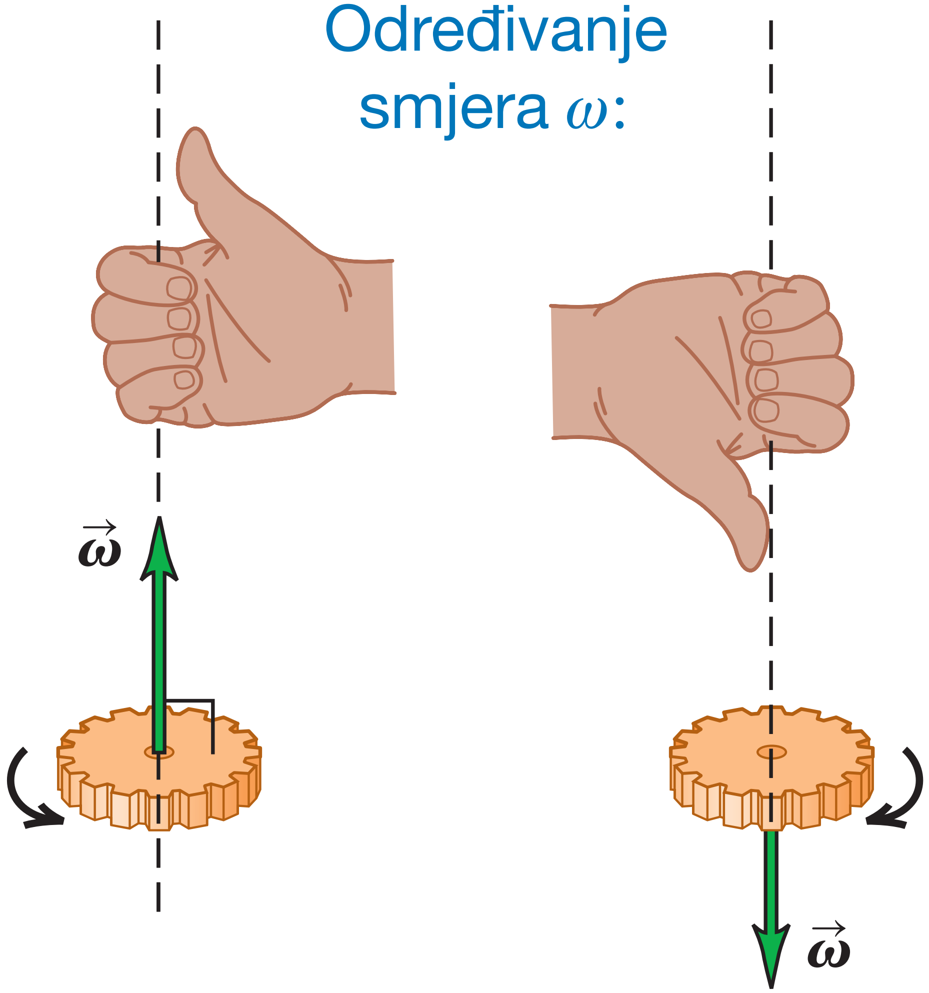


Young & Freedman University Physics

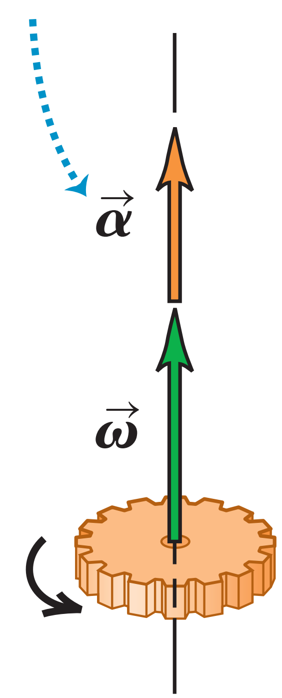
Kružno gibanje

- Kada se tijelo giba po kružnoj putanji, **smjer brzine** se mijenja, ali se i **iznos brzine** može mijenjati
- za kružno gibanje, **ubrzanje uvijek ima radijalnu komponentu zbog promjene smjera brzine**
- *ubrzanje može imati i tangencijalnu komponentu a_t ako se iznos brzine mijenja.* Kada je $a_t = 0$, iznos brzine ostaje konstantan
- vektor ubrzanja **a** se može rastaviti na dvije komponente: radijalnu (centripetalnu) $\mathbf{a_r}$ i tangencijalnu $\mathbf{a_t}$

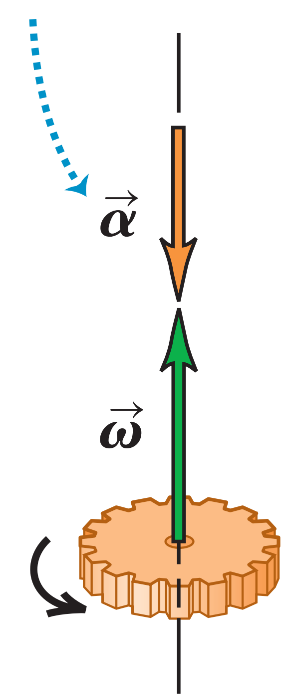
Određivanje smjera ω:



Rotacija se ubrzava:



Rotacija se usporava:



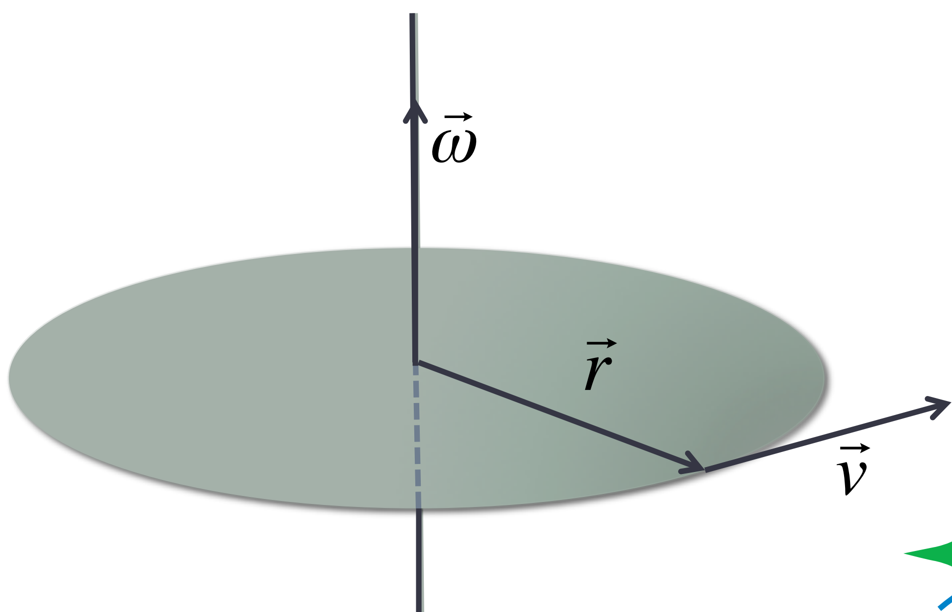
Young & Freedman University Physics

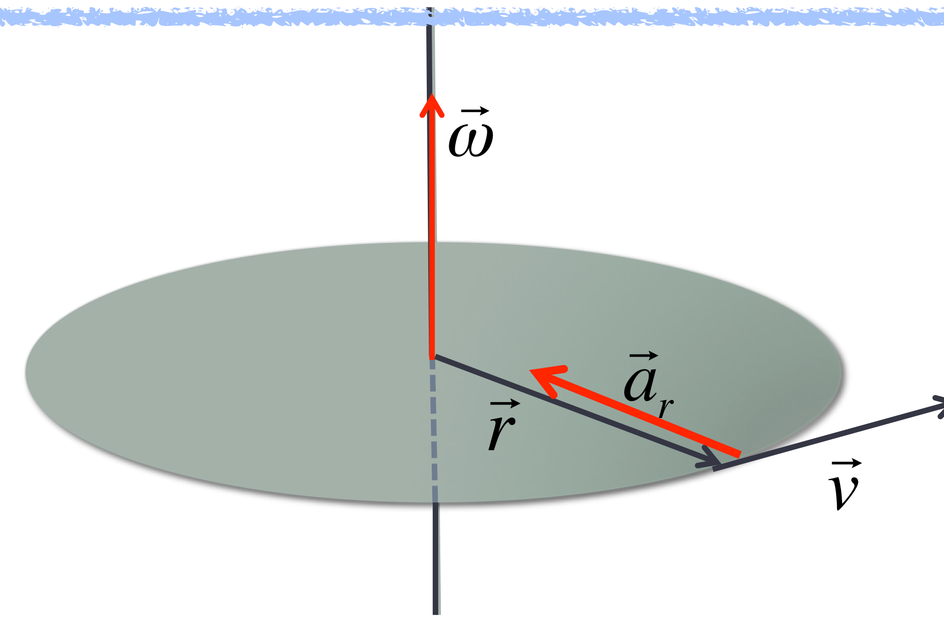
Zadatak

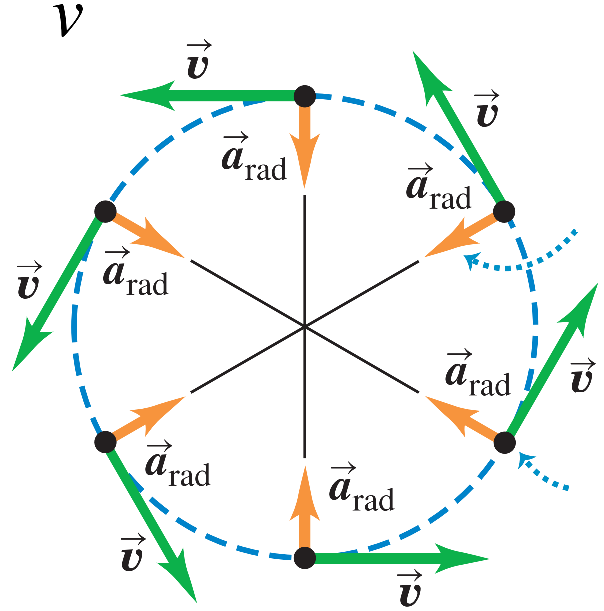
- Kolika je brzina čestice koja se nalazi na rubu kružne ploče polumjera 40 cm i koja se okreće 10 puta u minuti?

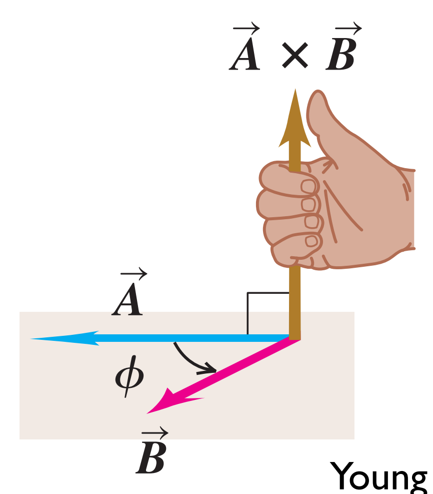
Kružno gibanje

- Kada se tijelo giba po kružnoj putanji, **smjer brzine** se mijenja, ali se i **iznos brzine** može mijenjati
- za kružno gibanje, **ubrzanje uvijek ima radijalnu komponentu zbog promjene smjera brzine**
- *ubrzanje može imati i tangencijalnu komponentu a_t ako se iznos brzine mijenja.* Kada je $a_t = 0$, iznos brzine ostaje konstantan
- vektor ubrzanja **a** se može rastaviti na dvije komponente: radijalnu (centripetalnu) $\mathbf{a_r}$ i tangencijalnu $\mathbf{a_t}$





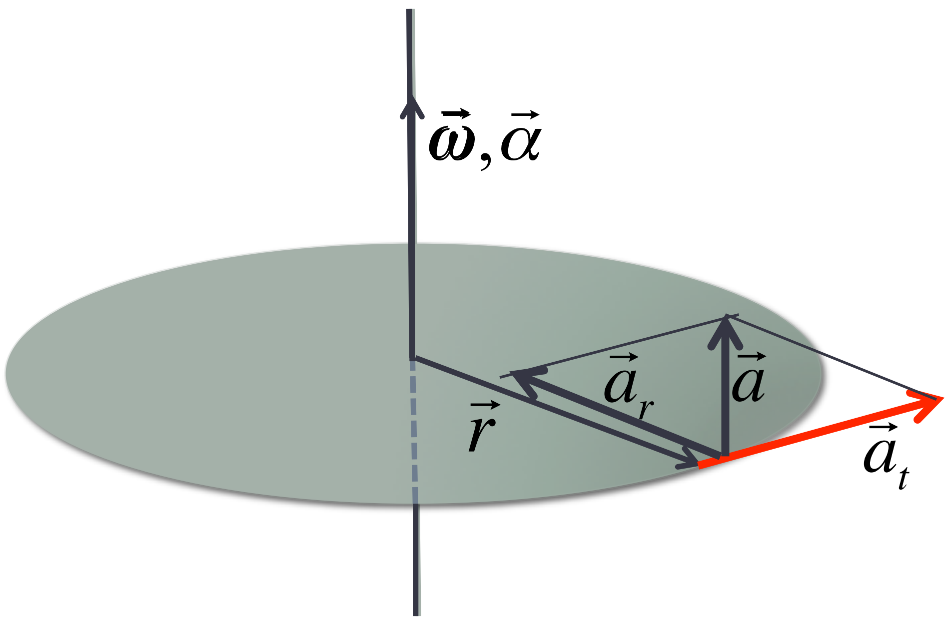


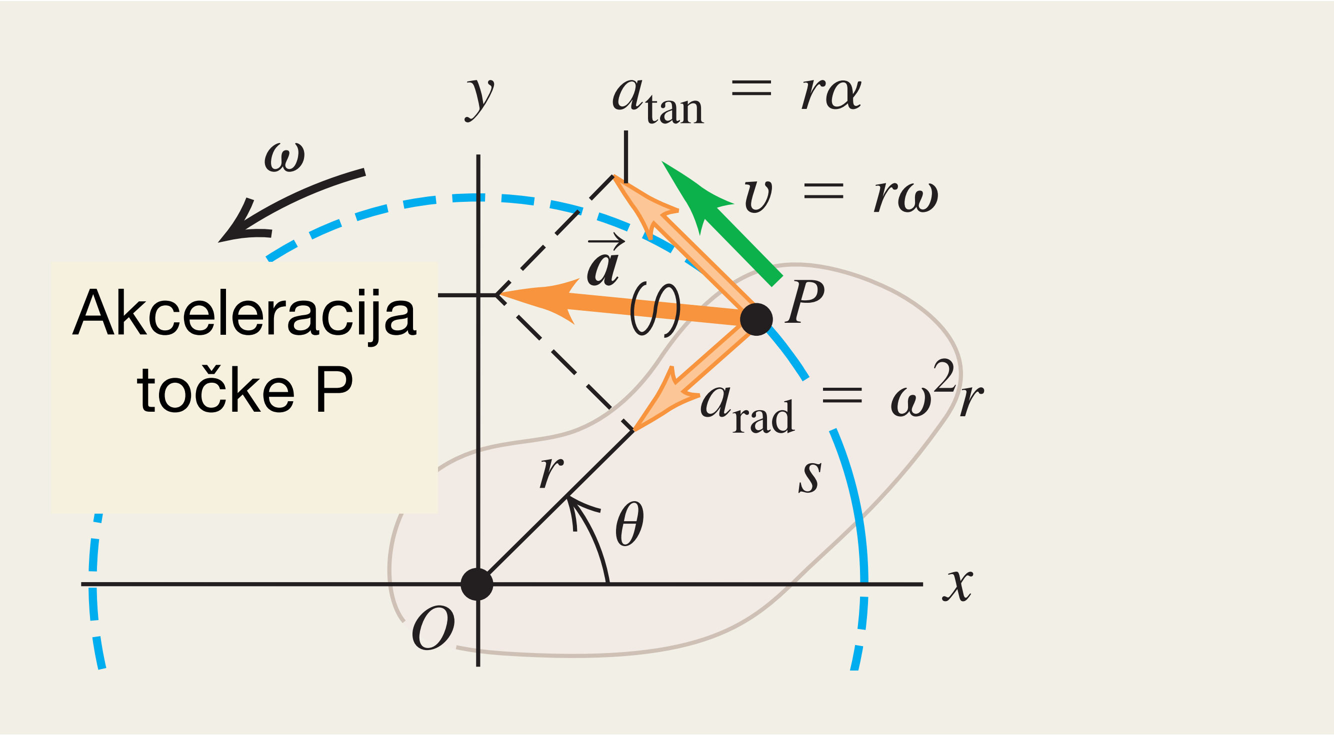


Young & Freedman University Physics

Tangencijalno ubrzanje

- Kada se tijelo giba po kružnoj putanji, **smjer brzine** se mijenja, ali se i **iznos brzine** može mijenjati
- za kružno gibanje, **ubrzanje uvijek ima radijalnu komponentu zbog promjene smjera brzine**
- *ubrzanje može imati i tangencijalnu komponentu a_t ako se iznos brzine mijenja.* Kada je $a_t = 0$, iznos brzine ostaje konstantan
- vektor ubrzanja **a** se može rastaviti na dvije komponente: radijalnu (centripetalnu) $\mathbf{a_r}$ i tangencijalnu $\mathbf{a_t}$





Young & Freedman University Physics

Zadatak

- Kotač polumjera 10 cm rotira tako da mu se kutni pomak mijenja prema zakonu $\phi = a + bt + ct^2$, gdje je a = 1.57 rad, b = 3.14 rad/s i c = 0.78 rad/s^2. Potrebno je izračunati:

a) kutni pomak
b) kutnu brzinu
c) kutnu akceleraciju

u t = 1s.

Kolika je tangencijalna akceleracija točke na rubu kotača?

Zadatak

- Automobil se kreće zavojem polumjera zakrivljenosti 500m ubrzavajući se u tangencijalnom smjeru akceleracijom 0.5m/s^2. Izračunajte centripetalnu i ukupnu akceleraciju automobila u trenutku kada mu je brzina 72 km/h. Koliko je vremena potrebno da automobil ubrza od 54 km/h do 72 km/h?

Zadatak

- Zamašnjak stroja okreće se kutnom brzinom jednakoj 600 okretaja/minuti. Koliko će okretaja napraviti zamašnjak od trenutka kada ga počne zaustavljati tangencijalna sila, ako se on zaustavi za 5 s?

Newtonovi zakoni gibanja

- **1. Newtonov aksiom**

Kada na tijelo - materijalnu točku ne djeluje sila ili je ukupna sila jednaka 0, ono ostaje u stanju mirovanja ili jednolikog gibanja po pravcu.

$$\sum \vec{F} = 0$$

- Uzrok promjene stanja gibanja je sila.
- Ako sile nema ili je rezultanta sila jednaka nuli, tijelo ostaje u početnom stanju (princip ustrajnosti, tromosti ili inercije)
- *Svaki sustav u kojem vrijedi prvi Newtonov zakon jest inercijalni sustav*

Newtonovi zakoni gibanja

- **2. Newtonov aksiom**

Ako postoji vanjska sila koja djeluje na tijelo, ono će ubrzavati. Smjer ubrzanja (akceleracije) je jednak smjeru ukupne sile na tijelo. Masa tijela pomnožena sa akceleracijom jednaka je ukupnoj sili.

$$\boxed{\sum \vec{F} = m\vec{a}}$$

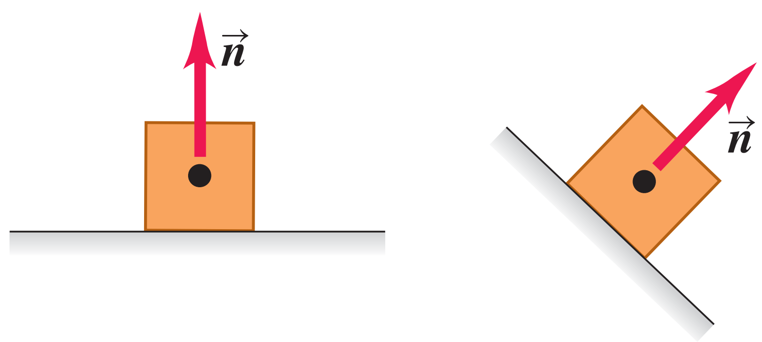
$$\sum F_x = ma_x \qquad \sum F_y = ma_y \qquad \sum F_z = ma_z$$

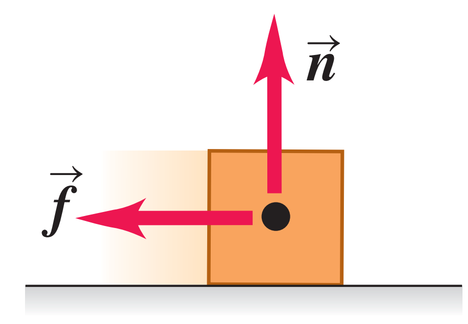
Sila i interakcije

- Sila = interakcija između dva tijela ili između tijela i njegove okoline. Jedinica:

$$1\ \mathrm{N} = 1\ \mathrm{kg} \cdot \mathrm{m/s^2}$$

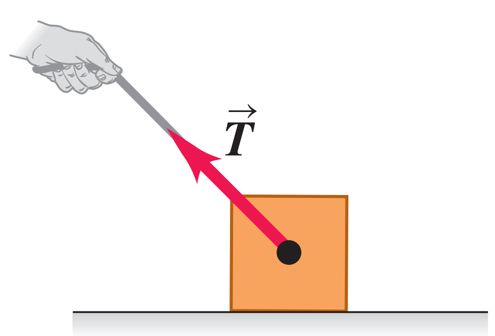
- vektorska veličina!
- Uobičajene sile:

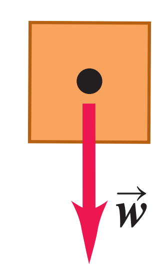




SILA PODLOGE ("NORMAL FORCE"): kada se objekt nalazi na nekoj podlozi, podloga djeluje na tijelo silom koja je okomita na podlogu

SILA TRENJA





$$\vec{w} = m\vec{g}$$

$$g = 9.8\ \mathrm{m/s^2}$$

SILA NAPETOSTI: sila na objekt kada ga npr. vučemo uzetom

TEŽINA

Young & Freedman University Physics

Inercijalni i neinercijalni sustavi

I Newtonov zakon:
Tijelo ustraje u stanju mirovanja ili jednolikog gibanja po pravcu, ukoliko se to stanje ne izmijeni djelovanjem sile.

Pripisuje tijelu svojstvo **tromosti** (inercije, ustrajnosti)

U odsustvu sile tijelo miruje ili se jednoliko pravocrtno giba, u suprotnom se odlikuje tromošću.

Tromost je “otpor” tijela djelovanju sile.

I Newtonov zakon naziva se **ZAKONOM INERCIJE.**

Inercijalni i neinercijalni sustavi

INERCIJALNI KOORDINATNI SUSTAVI

- sustavi u kojima vrijede Newtonovi aksiomi
- gibaju se jednoliko pravocrtno jedan u odnosu na drugoga

NEINERCIJALNI SUSTAVI

- gibaju se ubrzano u odnosu na neki inercijalni sustav