

Školska godina 2007./2008.



Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje
Studij računarstva

Fizika 1

Predavanje 2

Kinematika čestice: pravocrtno gibanje.

11. listopada 2007.
Dr. sc. Ivica Puljak
(Ivica.Puljak@fesb.hr)

Danas ćemo raditi:

(P. Kulišić: "Mehanika i toplina", Poglavlje 2)

- ◆ Materijalna točka
 - Položaj, put, pomak
- ◆ Jednoliko pravocrtno gibanje
 - Brzina
- ◆ Nejednoliko pravocrtno gibanje
 - Akceleracija
- ◆ Gibanje s konstantnom akceleracijom
 - Slobodni pad

11. listopada 2007. Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 2 2

Priča

26. rujna 1993. godine, Dave Munday se spustio niz Niagarine slapove (na Kanadskoj strani), padajući slobodno s visine od 48 m na površinu vode i stijene na dnu slapova. Pri padu je bio zatvoren u čeličnu loptu, s otvorima za zrak. Munday, želeći preživjeti ovaj podvig, koji je već usmratio četvoricu hrabrih ljudi prije njega, potrošio je mnogo vremena na istraživanja fizikalnih i inženjerskih aspekata ovakvog podviga.



Koliko dugo bi Munday padao i kojom brzinom bi udario u površinu vode na dnu slapova, ako pretpostavimo da mu je početna brzina jednaka 0 m/s i zanemarimo otpor zraka?

Odgovor ćete saznati na današnjem predavanju.

11. listopada 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 2

3

Kinematika čestice

- ◆ Mehanika je dio fizike koji proučava zakone gibanja, tj. promjenu položaja tijela u prostoru tijekom vremena.
 - Kinematika opisuje gibanje ne razmatrajući uzroke gibanja.
 - Dinamika proučava uzroke gibanja tj. utjecaj sile i mase na gibanje, dinamika za razliku od kinematike daje fizikalnu bit gibanja.
- ◆ Ako su dimenzije tijela malene u odnosu na područje prostora u kojem se tijelo giba i ako nema razliku u gibanju pojedinih dijelova tijela tada se to tijelo može nadomjestiti jednom točkom → materijalnom točkom (česticom) tj. geometrijska točka bez dimenzija (protežnosti).
- ◆ Položaj je čestice određen je njezinim radijvektorom (vektor položaja)

$$\vec{r} = x(t)\vec{i} + y(t)\vec{j} + z(t)\vec{k}$$

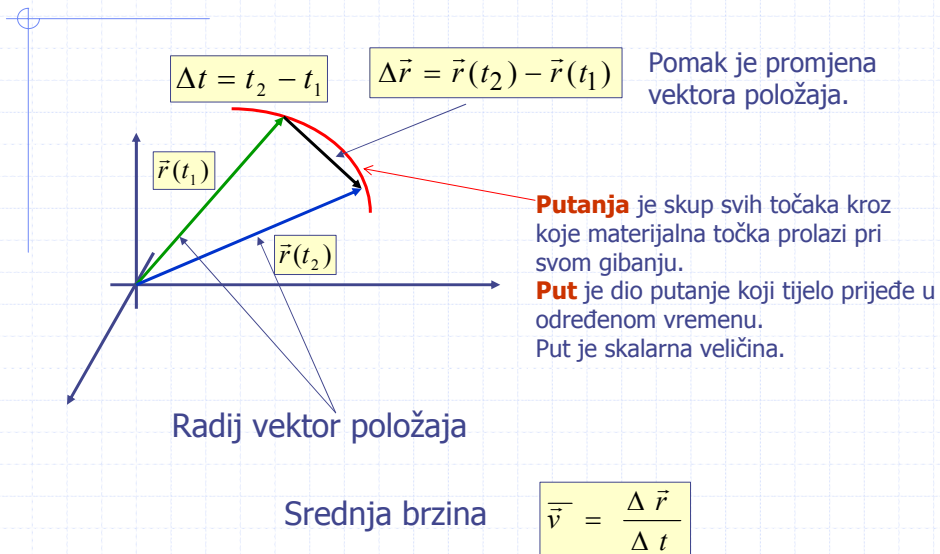
- ◆ Mirovanje je poseban oblik gibanja, tijelo miruje ako ima stalne, nepromijenjene koordinate s obzirom na izabrani referentni sustav.
- ◆ U svemiru nema točke koja apsolutno miruje pa tako ni apsolutno mirnog referentnog sustava te tako nema ni apsolutnog već samo relativnog gibanja odnosno mirovanja.

11. listopada 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 2

4

Opis gibanja materijalne točke

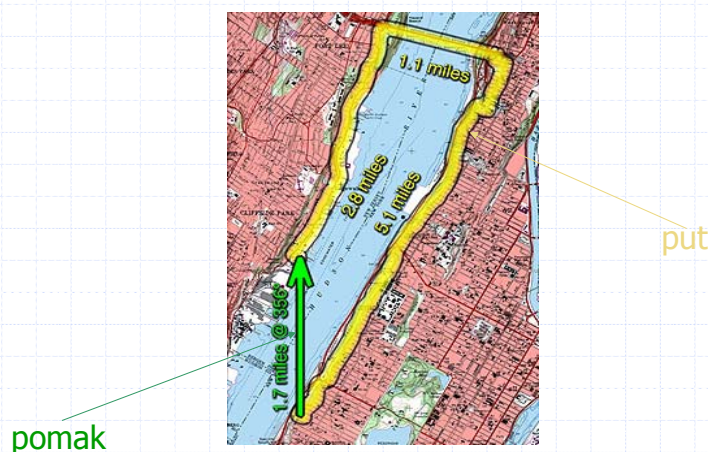


11. listopada 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 2

5

Razlika između pomaka i puta



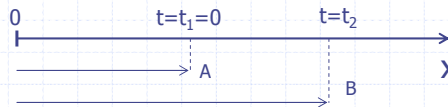
11. listopada 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 2

6

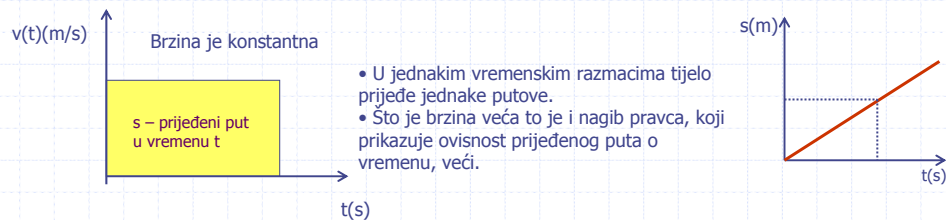
Jednoliko pravocrtno gibanje

- ♦ Jednoliko pravocrtno gibanje po pravcu je najjednostavnije gibanje. Brzina ne mijenja ni svoj iznos ni svoj smjer.



- ♦ Brzina je omjer prijeđenog puta i za to potrebnog vremena,

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



11. listopada 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 2

7

Primjer pravocrtnog gibanja

Ovi trkači, koji prolaze ciljnu crtu, primjer su **jednodimenzionalnog gibanja po pravcu**. U trenutku u kojem su slikani, njihova brzina bila je konstantna i iznosila oko 10 m/s.



11. listopada 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 2

8

Neke tipične brzine

■ Rast ljudske kose	10^{-4} m/s
■ Pješak	1,4 m/s (5 km/h)
■ Najbrži maratonci	5,4 m/s (19 km/h)
■ Biciklist	6 m/s (20 km/h)
■ Automobil	45 m/s (160 km/h)
■ Zvuk u zraku	340 m/s
■ Točka na ekvatoru	465 m/s
■ Puščani metak	800 m/s
■ Mjesec oko Zemlje	1 000 m/s
■ Zemlja oko Sunca	$3 \cdot 10^4$ m/s
■ Elektron u atomu	$2 \cdot 10^6$ m/s
■ Brzina svjetlosti u vakuumu	$3 \cdot 10^8$ m/s

11. listopada 2007.

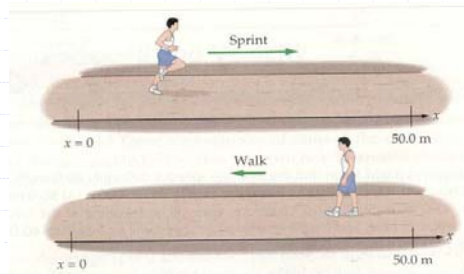
Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 2

9

Primjer 1 – Prosječna brzina

- ◆ Atletičar na treningu pretrči 50,0 metara u 8,00 sekundi, okrene se i šetnjom vrati na početnu poziciju u 40,0 sekundi. Ako smjer trčanja uzmemo za pozitivan smjer, odredite:

- prosječnu brzinu trčanja,
- prosječnu brzinu hodanja,
- prosječnu brzinu za cijeli put,
- prosječnu brzinu za cijeli pomak.



- ◆ Rezultati: a) 6,26 m/s, b) $-1,25$ m/s, c) 2,08 m/s, d) 0 m/s.
- ◆ Domaći rad: Ako je prosječna brzina hodanja jednaka $-1,50$ m/s, koliko dugo je trebalo atletičaru da se vrati na početnu poziciju. (Rezultat: 33,3 s)

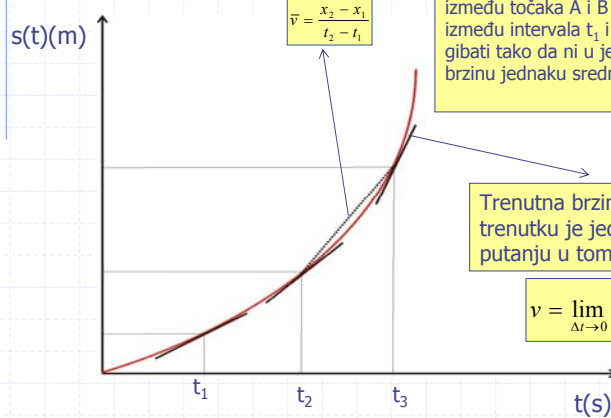
11. listopada 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 2

10

Nejednoliko pravocrtno gibanje

- Pri nejednolikom gibanju tijelo u jednakim vremenskim razmacima prevari nejednake putove.



Srednja brzina je nagib sekante na putanju između točaka A i B odnosno srednja brzina između intervala t_1 i t_2 . Tijelo se u načelu može gibati tako da ni u jednom trenutku nema brzinu jednaku srednjoj brzini.

Trenutna brzina (prava brzina) u danom trenutku je jednaka nagibu tangente na putanju u tom trenutku.

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \bar{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt} = \dot{x}$$

11. listopad 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 2

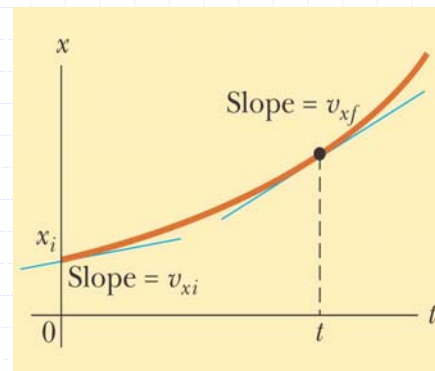
11

Grafički prikaz ovisnosti puta o vremenu

- Nagib tangente u danoj točki krivulje koja predstavlja ovisnost puta o vremenu je prava ili trenutna brzina

$$v = \frac{dx}{dt}$$

- Zakrivljena krivulja ovisnosti puta o vremenu jasno ukazuje da se nagib tangente mijenja od trenutka do trenutka tj. da se brzina mijenja:
 - što jasno ukazuje na prisutnost akceleracije



11. listopad 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 2

12

Trenutna brzina

Mjerač brzine pokazuje trenutnu brzinu automobila. Primjetite da mjerač ne daje informaciju o *smjeru* brzine.



11. listopada 2007.

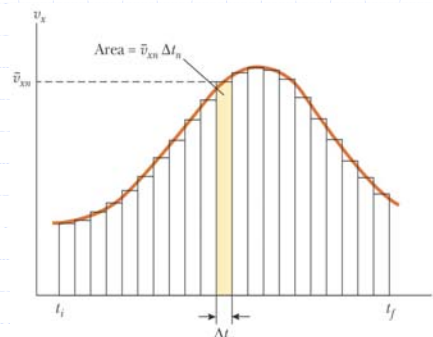
Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 2

13

Grafički prikaz ovisnosti brzine o vremenu

- ♦ Put je jednak površini ispod krivulje ovisnosti brzine o vremenu
- ♦ Granična suma kad vremenski interval teži nuli svodi se na integral

$$s = \lim_{\Delta t_n \rightarrow 0} \sum_n v_{xn} \Delta t_n = \int_{t_i}^{t_f} v_x(t) dt$$



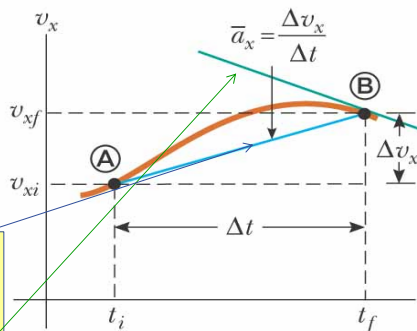
11. listopada 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 2

14

Akceleracija (ubrzanje)

- Akceleracija ili ubrzanje je naglost mijenjanja brzine u vremenu, njen iznos govori za koliki se iznos mijenja vektor brzine u jedinici vremena u danom trenutku (metar u sekundi po sekundi).



$$\bar{a} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \quad \text{Srednja akceleracija}$$

$$\bar{a} = \frac{\Delta v_x}{\Delta t} \vec{i} + \frac{\Delta v_y}{\Delta t} \vec{j} + \frac{\Delta v_z}{\Delta t} \vec{k}$$

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \bar{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \dot{\vec{v}} = \frac{d}{dt} \left(\frac{d\vec{x}}{dt} \vec{i} + \frac{d\vec{y}}{dt} \vec{j} + \frac{d\vec{z}}{dt} \vec{k} \right) = \frac{d^2\vec{x}}{dt^2} \vec{i} + \frac{d^2\vec{y}}{dt^2} \vec{j} + \frac{d^2\vec{z}}{dt^2} \vec{k} = \ddot{\vec{x}} + \ddot{\vec{y}} + \ddot{\vec{z}} \quad \text{trenutna akceleracija}$$

$$[\bar{a}] = \frac{m}{s^2}$$

11. listopada 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 2

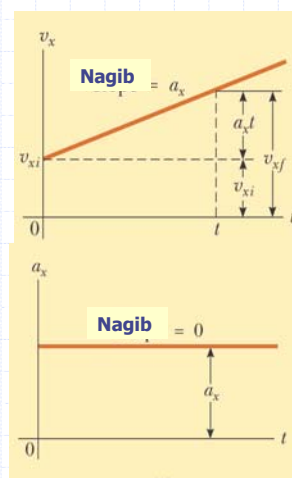
15

Grafički prikaz ovisnosti brzine o vremenu

- Nagib tangente u točki krivulje koja prikazuje ovisnost brzine o vremenu je akceleracija

$$v_x(t) = v_{xi} + a_x \cdot t$$

- Ovisnost brzine o vremenu prikazana na gornjoj slici ima u svakoj točki isti nagib pa je akceleracija (donja slika) konstantna



11. listopada 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 2

16

Brzina i akceleracija

- ♦ Vektor brzina konstantna, crvene strelice iste po iznosu i smjeru



- ♦ Jednoliko ubrzano gibanje po pravcu, vektor brzine stalno raste, a zadržava svoj smjer - crvene strelice, a akceleracija konstantna – plave strelice iste duljine i smjera

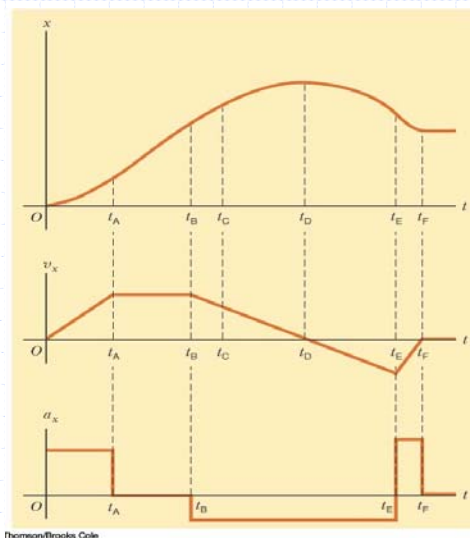


11. listopada 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 2

17

Grafički prikaz puta, brzine i akceleracija



11. listopada 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 2

18

Gibanje s konstantnom akceleracijom

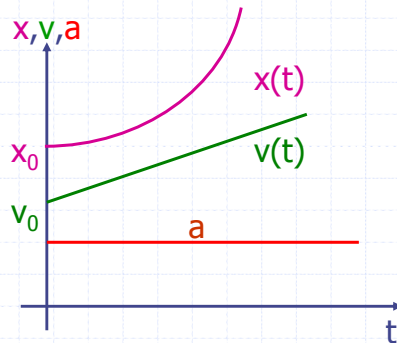
$\vec{a} = konst.$ gibanje konstantno m akceleracijom

$$v(t) = v_o \pm \int_0^t a \, dt = v_o \pm at$$

$$x(t) = x_o + \int_0^t v(t) \, dt = x_o + \int_0^t (v_o \pm at) \, dt = x_o + v_o t \pm \frac{1}{2} at^2$$

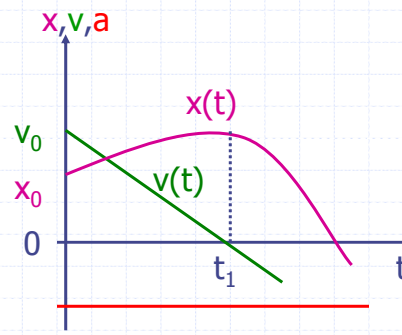
jednoliko ubrzano gibanje po pravcu, $a > 0$

jednoliko usporeno gibanje po pravcu, $a < 0$



11. listopada 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 2



19

Tipična ubrzanja (akceleracije)

- ◆ Ultracentrifuga $3 \times 10^6 \, \text{m/s}^2$
- ◆ Udarena baseball loptica $3 \times 10^4 \, \text{m/s}^2$
- ◆ Gravitacijsko ubrzanje na Zemlji $9,81 \, \text{m/s}^2$
- ◆ Naglo kočenje u autu $8 \, \text{m/s}^2$
- ◆ Gravitacijsko ubrzanje na Mjesecu $1,62 \, \text{m/s}^2$



- ◆ Space Shuttle Columbia ubrzava se prema gore, u početnoj fazi svog putovanja u orbitu. Tijekom tog vremena astronauti u "shuttleu" osjećaju akceleraciju od oko $20 \, \text{m/s}^2$.

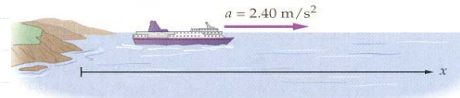
11. listopada 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 2

20

Primjer 2 – "Punom brzinom naprijed"

- ◆ Brod se pomale kreće unutar luke (tako da ne napravi velike valove) konstantnom brzinom od 1,50 m/s. Međutim, čim izađe iz luke na otvoreno more, iskoristi svoje snažne motore i postigne ubrzanje od 2,40 m/s².
 - Koliku je brzinu postigao brod nakon 5,00 s vožnje s ovim ubrzanjem?
 - Koliki je put prešao za to vrijeme?



- ◆ **Rezultat:** a) 13,5 m/s, b) 37,5 m.
- ◆ **Domaći rad:** Za koliko vremen brod dosegne brzinu od 10,0 m/s. (Rezultat: 3,54 s)

Realističan primjer: [Katamarani SNAV-a i Jadrolinije uništili obalu Staroga Grada](#)

11. listopada 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 2

21

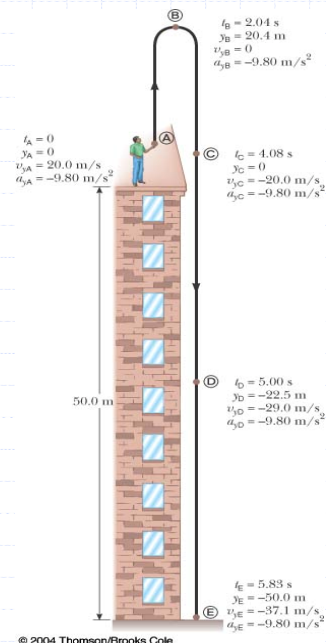
Slobodni pad

- ◆ Slobodni pad je gibanje s konstantnim ubrzanjem iznosa $g=9,81 \text{ m/s}^2$.

$v = gt$ brzina koju tijelo ima
nakon što slobodno pada t vre mena

$h = \frac{1}{2}gt^2$ put (visina) koju tijelo
prijeđe za t vreme na pri slobodnom padu

$v = \sqrt{2gh}$ brzina koju tijelo
ima kad pada s visine h



© 2004 Thomson/Brooks Cole

11. listopada 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 2

22

Sažetak (1)

- ◆ **Mehanika:** dio fizike koji proučava zakon gibanja tijela
- ◆ **Mehanika = Kinematika + Dinamika**
- ◆ **Kinematika:** proučava gibanje bez obzira na uzroke gibanja i na svojstva tijela koja se gibaju
- ◆ **Dinamika:** proučava uzroke gibanja i utjecaj sile i mase na gibanje
- ◆ **Mirovanje** je poseban oblik gibanja

1. Materijalna točka

- **Materijalna točka:** tijelo zanemarivih dimenzija, prikazano jednom točkom
- **Položaj** materijalne točke ovisi o referentnom sustavu
- Referentni sustav je stvar izbora (najčešće izabiremo **laboratorijski sustav**)
- **Radij vektorom** određujemo **položaj** čestice ($\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$)
- **Putanja:** skup svih točaka kroz koje prolazi materijalna točka koja se giba
- **Put (skalar):** prijeđena udaljenost po putanji od neke početne točke
- **Pomak (vektor):** promjena vektora položaja ($\Delta\vec{r} = \vec{r}_B - \vec{r}_A$)

11. listopada 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 2

23

Sažetak (2)

◆ Jednoliko pravocrtno gibanje. Brzina.

- **Brzina:** omjer pređenog puta i za to potrebnog vremena, $v = s/t$
- U ovom primjeru brzina je konstantna
- **Položaj** materijalne točke mijenja se po zakonu (x_0 je početni položaj): $x = x_0 + vt$
- **Grafički prikaz(s-t dijagram):**
 - put je linearna funkcija vremena
 - koeficijent smjera pravca ovisi o brzini

◆ Nejednoliko pravocrtno gibanje. Akceleracija.

- Smjer brzine konstantan, ali se iznos mijenja (put=pomak)
- **Srednja brzina:** omjer prijeđenog puta i za to potrebnog vremenskog intervala, $\bar{v} = \Delta x / \Delta t$
- **Trenutna brzina:** vremenska derivacija puta, $v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \bar{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt} = \dot{x}$
- **Prevaljeni put:** vremenski integral brzine, površina ispod krivulje $v(t)$, $s = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \sum_i \bar{v}_i \Delta t_i = \int_{t_1}^{t_2} v(t) dt$
- **Srednja akceleracija:** omjer promjene brzine i za to potrebnog vremenskog intervala, $\bar{a} = \Delta v / \Delta t$
- **Trenutna akceleracija:** vremenska derivacija trenutne brzine, druga vremenska derivacija položaja

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \bar{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} = \dot{v} = \frac{d}{dt} \left(\frac{dx}{dt} \right) = \frac{d^2 x}{dt^2} = \ddot{x}$$

11. listopada 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 2

24

Sažetak (3)

◆ Gibanje s konstantom akceleracijom. Slobodni pad.

- **Brzina:** vremenski integral akceleracije (v_0 je početna brzina),

$$v = v_0 + \int_0^t a dt = v_0 + at$$

- **Položaj:** vremenski integral brzine,

$$x = x_0 + \int_0^t v dt = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

- **Ubrzano gibanje:** akceleracija i brzina u istom smjeru
- **Usporeno gibanje:** akceleracija i brzina u suprotnom smjeru
- **Slobodni pad:** gibanje s konstantnom akceleracijom $g=9,81 \text{ m/s}^2$

11. listopada 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 2

25

Pitanja za provjeru znanja

1. **Objasnite pojmove: put, pomak, prosječna brzina, prosječna akceleracija, trenutna brzina i trenutna akceleracija. (obavezno)**
2. Nacrtajte ovisnost pomaka, brzine i akceleracije za
 - a) jednoliko pravocrtno gibanje,
 - b) nejednoliko pravocrtno gibanje s konstantnom akceleracijom.
3. Izvedite izraze za put i brzinu pri jednoliko ubrzanom gibanju po pravcu. Kako su orijentirani vektori brzine i akceleracije pri ubrzanom, a kako pri usporenom gibanju?
4. Objasnite slobodni pad i nacrtajte ovisnost pomaka, brzine i akceleracije o vremenu.

11. listopada 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 2

26