



Gibanje delcev

na molekularni ravni

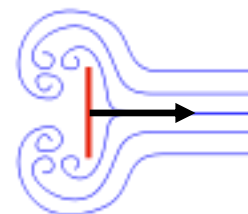


Kaj določa način “plavanja”?

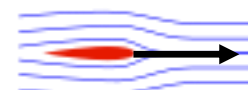
- **Upor**, ki ga čuti “plavalec”:

- zaradi vztrajnosti tekočine, ki jo odriva pred seboj
- zaradi viskoznosti tekočine, (vlečenje slojev tekočine, ki se prilepijo na površino)

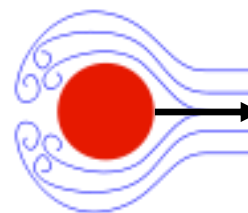
$$\propto \rho R^2 v^2$$



$$\propto \eta R v$$

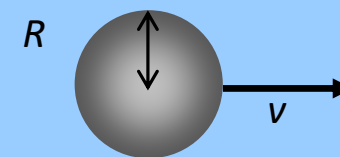


- Katera sila je pomembnejša?



ρ - gostota tekočine

η - koef. viskoznosti

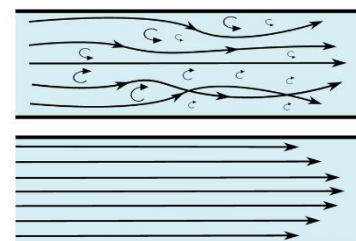


Kaj določa način “plavanja”?

- Odloča razmerje obeh sil (Reynoldsovo število Re):

$$\frac{\text{upor zaradi vztrajnosti tekočine}}{\text{upor zaradi viskoznosti tekočine}} \propto \frac{\rho R^2 v^2}{\eta R v} = \frac{\rho R v}{\eta} = Re$$

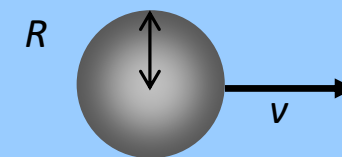
Re	prevladuje	upor	tok
> 1000	vztrajnost	$\propto v^2$	vrtinčenje, turbulenten
< 1	viskoznost	$\propto v$	brez vrtincev, laminaren



- V: V katerem režimu plavamo ljudje in v katerem bakterije?
- V: Na kolikšni poti se bakterija ustavi, ko se preneha poganjati?
- Molekule in bakterije ne poznajo vztrajnosti!
→ Način plavanja mora biti drugačen

ρ - gostota tekočine

η - koef. viskoznosti



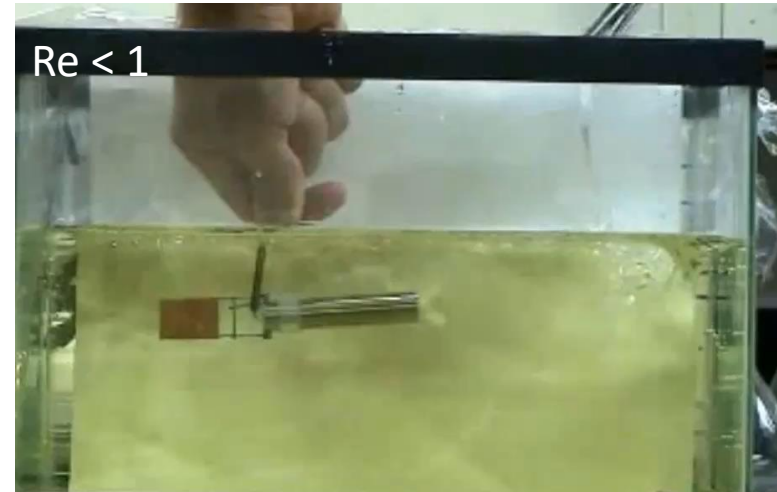
Substance	η (Pa.s)
Air	10^{-5}
Water	10^{-3}
Ethyl alcohol	1.2×10^{-3}
Mercury	1.5×10^{-3}
Ethylene glycol	20×10^{-3}
Olive oil	0.1
100% Glycerol	1.5
Honey	10
Corn syrup	100
Bitumen	10^8
Molten glass	10^{12}



Kaj določa način “plavanja”?



voda

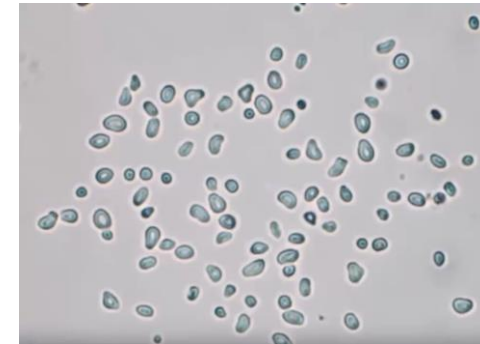
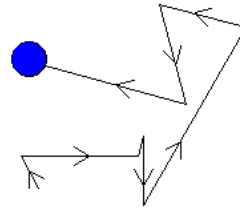


koruzni sirup



Kaj poganja gibanje molekul?

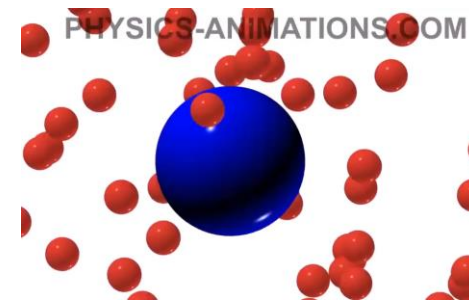
- Brownovo gibanje / difuzija



<https://youtu.be/R5t-oA796to>

- Difuzija je posledica trkov med molekulami/delci s termično kinetično energijo ($\sim k_B T$)

V: Kakšna je hitrost molekul?



<https://youtu.be/6VdMp46ZIL8>

- Entropija poganja sistem v smeri večjega števila možnih stanj (mešanje)

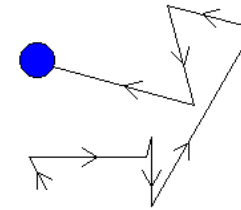


Kako hitra je difuzija?

- **Brownovo gibanje:**

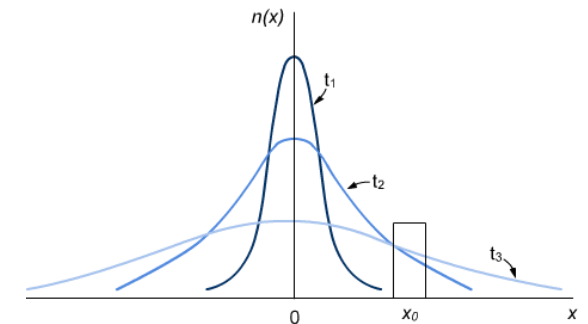
- Enako verjeten premik v vse smeri
- Povprečna razdalja, do koder pridejo delci
 D ... koeficient difuzije
 t ... čas
 n ... število dimenzij prostora: 1,2,3

- V: Koliko časa potrebuje molekula kisika za difuzijo preko celice ali organizma? ($D = 2 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$)
- Difuzija je na dolge razdalje zelo počasna!



$$\langle x \rangle = 0$$

$$\langle x^2 \rangle = 2nDt$$



čas

Kaj določa hitrost difuzije?

- Hitrost difuzije (difuzijski koeficient D) je odvisna od

- termične energije delcev
- velikosti in oblike delcev
- viskoznosti tekočine

$$D = \frac{k_B T}{6\pi\eta R}$$

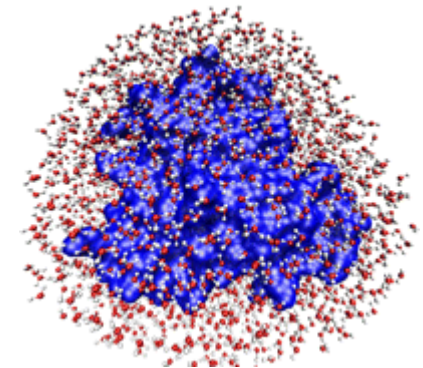
- Bistvena je **efektivna velikost delcev** skupaj s hidratacijskim plaščem („hidrodinamski radij“)

- Za kroglaste molekule:

$$R \propto V^{1/3} \propto M^{1/3}$$

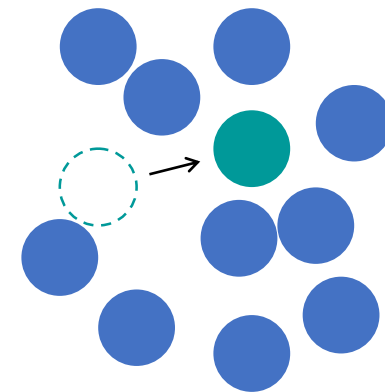
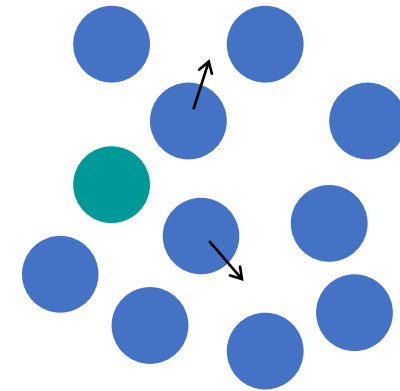
→ D se z M spreminja počasi!

$$D \propto M^{-1/3}$$



Difuzija majhnih molekul

- Viskoznost je makroskopski parameter, zato ni primeren za opis gibanja molekul, primerljivih z velikostjo molekul topila ($m_1 < 100$ Da)!
- Tako majhni delci iščejo prazen prostor, ki se naključno pojavi med molekulami topila („wait-and-hop“)



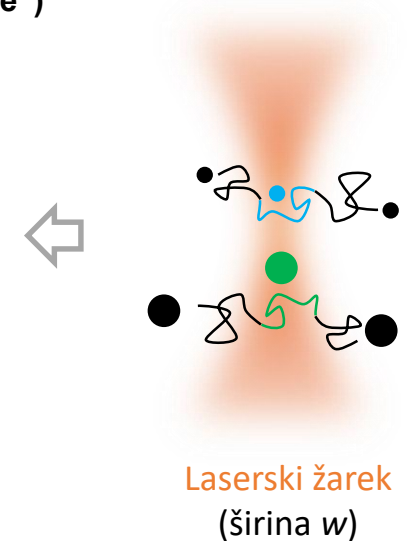
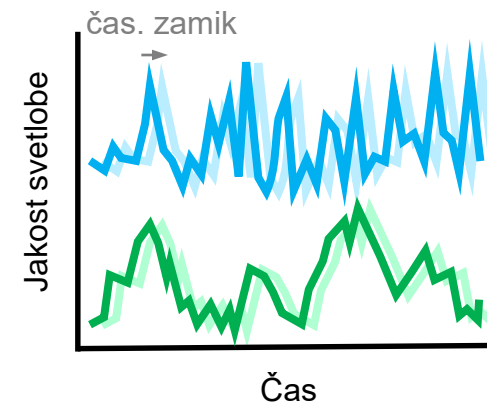
Kako lahko *izmerimo* hitrost difuzije molekul
oz. delcev v raztopini ali celici?

Korelacijske spektroskopije

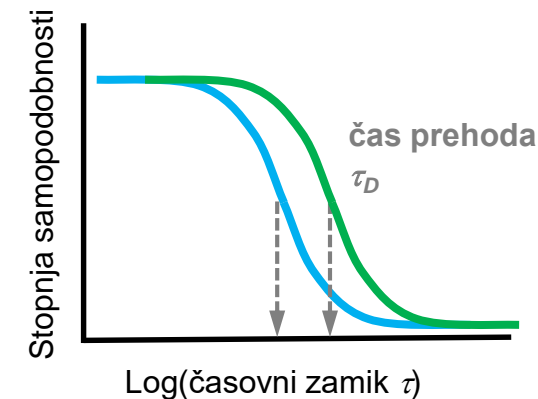
- Sipanje svetlobe:
PCS = Photon Correlation Spectroscopy oz.
DLS = Dynamic Light Scattering
- Fluorescenca:
FCS = Fluorescence Correlation Spectroscopy
- Meritev D temelji na analizi trajanja fluktuacij intenzitete detektirane svetlobe
- Jakost sipanja je odvisna od kota in $\propto R^6$
→ Previdno pri interpretaciji porazdelitev velikosti v zmesi različnih delcev!



Časovni potek intenzitete ("time trace")



Avto-korelacijska funkcija



Difuzijski koeficient

$$D \propto \frac{w^2}{\tau_D} \propto \frac{k_B T}{\eta R}$$

Fluorescence Recovery After Photobleaching - FRAP

- “Obnavljanje fluorescence po fotobledenju”

