



Gibanje delcev

na molekularni ravni

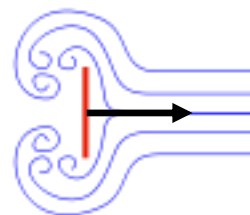


Kaj določa način “plavanja”?

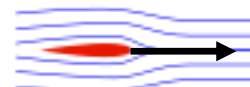
- **Upor**, ki ga čuti “plavalec”:

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

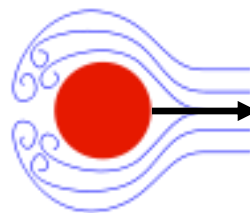
$$\propto \rho R^2 v^2$$



$$\propto \eta R v$$

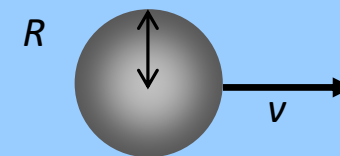


- Katera sila je pomembnejša?



ρ - gostota tekočine

η - koef. viskoznosti



Kaj določa način “plavanja”?

- Odloča razmerje obeh sil (Reynoldsovo število Re):

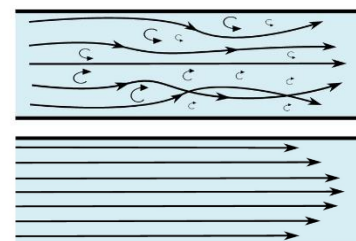
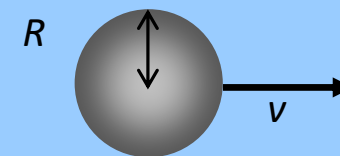
$$\frac{\text{upor zaradi vztrajnosti tekočine}}{\text{upor zaradi viskoznosti tekočine}} \propto \frac{\rho R^2 v^2}{\eta R v} = \boxed{\frac{\rho R v}{\eta} = Re}$$

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

- Molekule in bakterije ne poznajo vztrajnosti!
→ Način plavanja mora biti drugačen

ρ - gostota tekočine

η - koef. viskoznosti

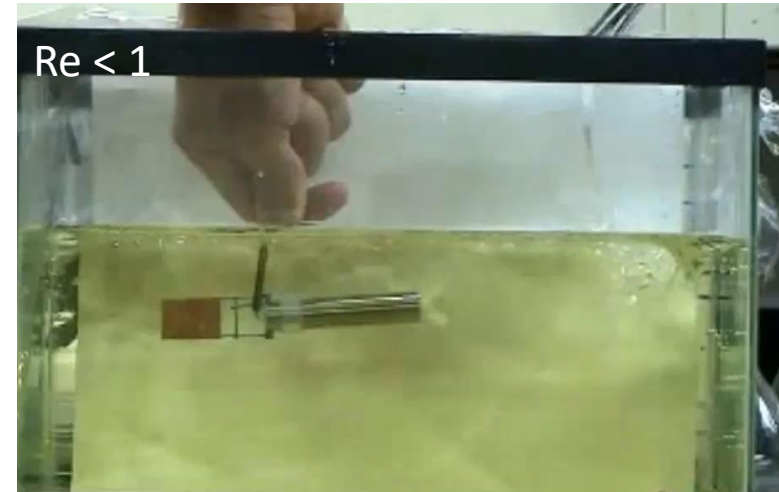


Kaj določa način “plavanja”?

voda

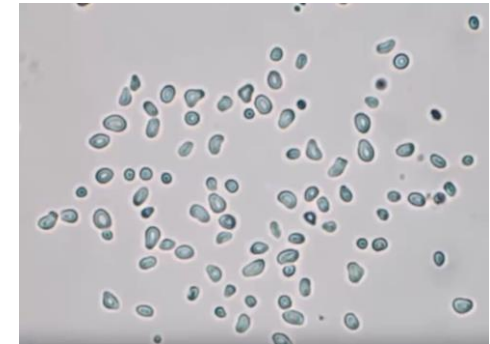
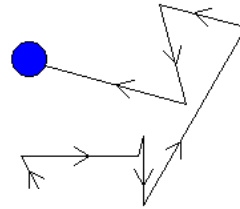


koruzni sirup



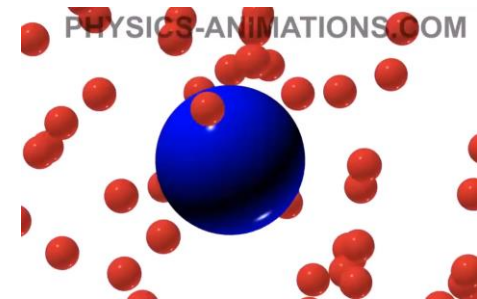
Kaj poganja gibanje molekul?

- Brownovo gibanje / difuzija



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

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



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

- Poganja jo **entropija** v smeri večjega števila možnih stanj



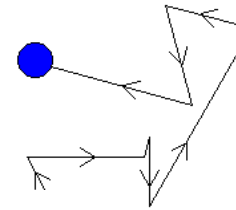
čas →

Difuzija

- Brownovo gibanje:

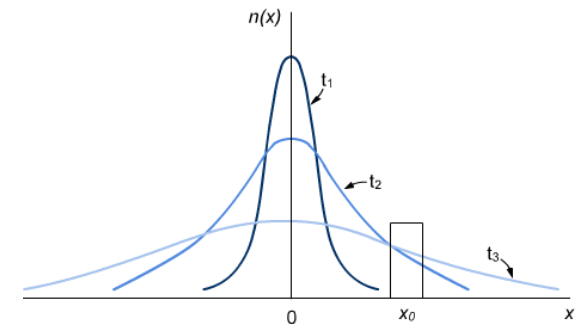
- Enako verjeten premik v vse smeri
- Povprečna razdalja, do koder pridejo delci (D - koeficient difuzije, t - čas)

- Difuzija je na dolge razdalje zelo počasna!



$$\langle x \rangle = 0$$

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



čas →

Difuzija

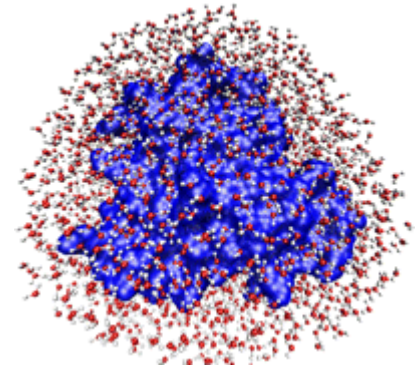
- Hitrost difuzije (difuzijski koeficient D) je odvisna od

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

$$D \propto \frac{k_B T}{\eta R}$$



- Izmerimo lahko le **efektivno velikost delcev** (skupaj s hidratacijskim plaščem): „hidrodinamski radij“



- Za kroglaste molekule:

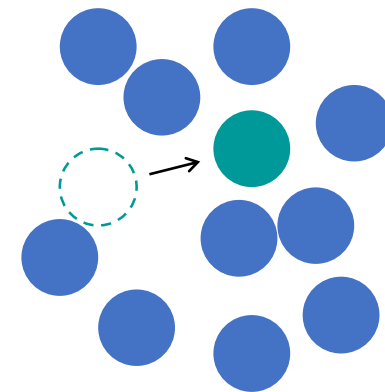
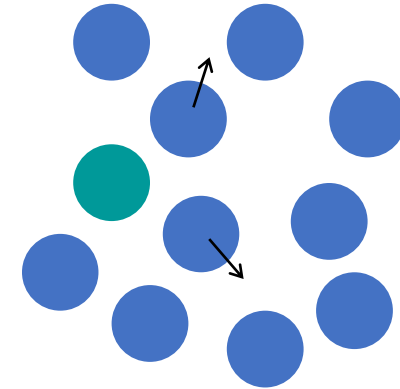
$$R \propto V^{1/3} \propto M^{1/3}$$

→ 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“)

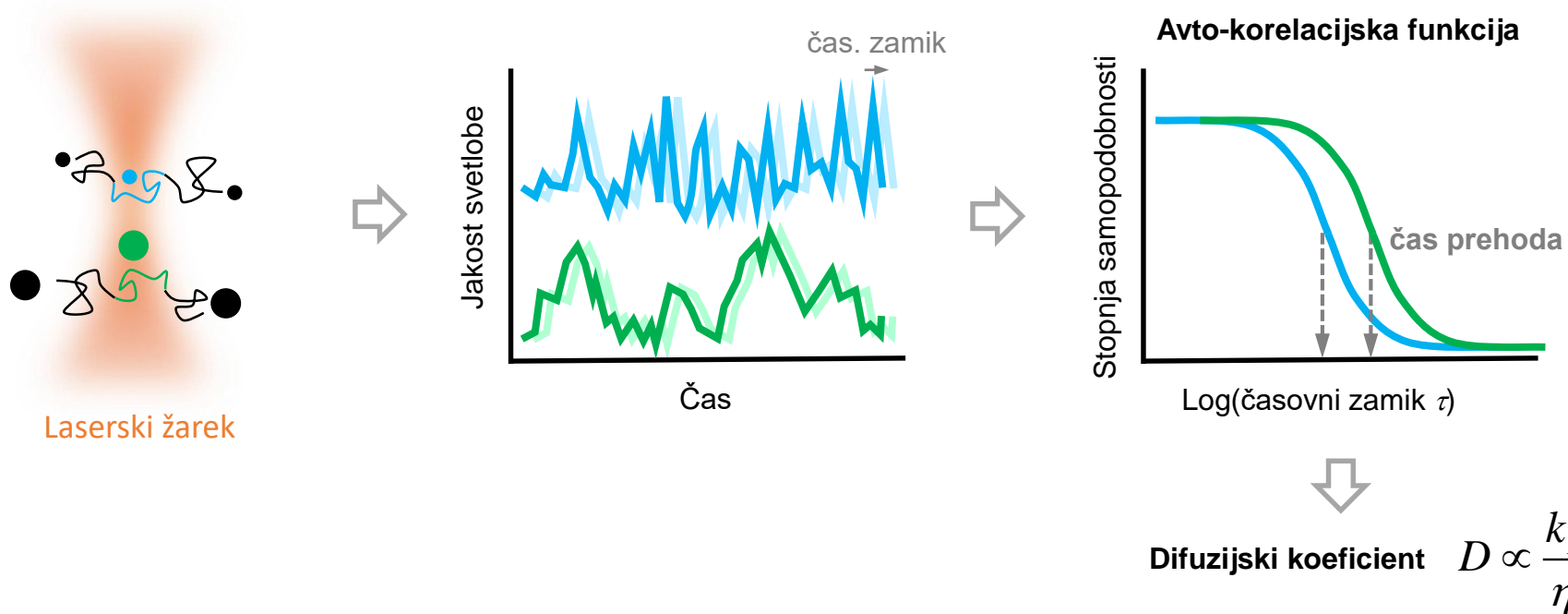


Kako lahko *izmerimo* hitrost difuzije molekul
oz. delcev v raztopini ali celici?

Korelacijske spektroskopije

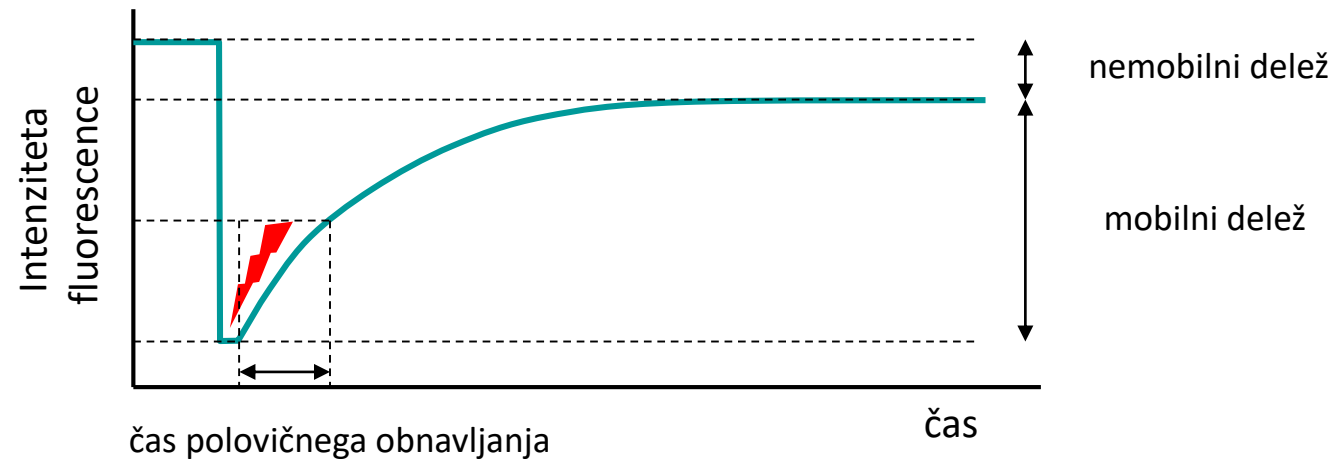
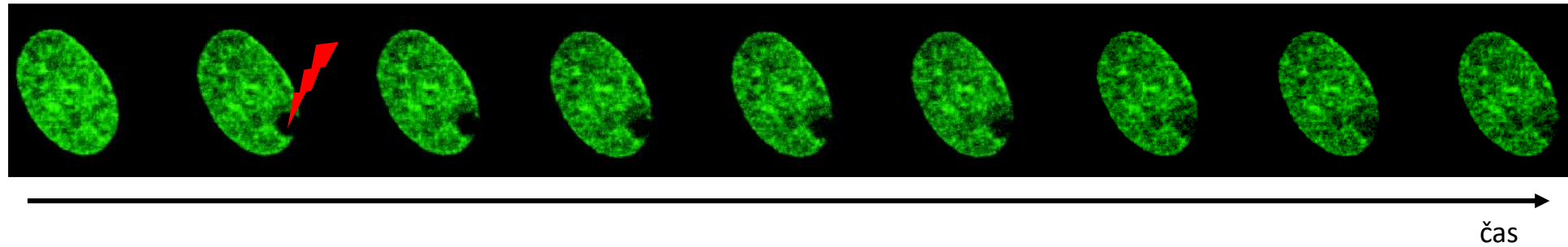


- Sipanje svetlobe: PCS = Photon Correlation Spectroscopy oz.
DLS = Dynamic Light Scattering
- Fluorescenca: FCS = Fluorescence Correlation Spectroscopy



Fluorescence Recovery After Photobleaching - FRAP

- “Obnavljanje fluorescence po fotobledenju”



Kako lahko različno gibljivost delcev (molekul)
izkoristimo v laboratoriju?

Centrifuga

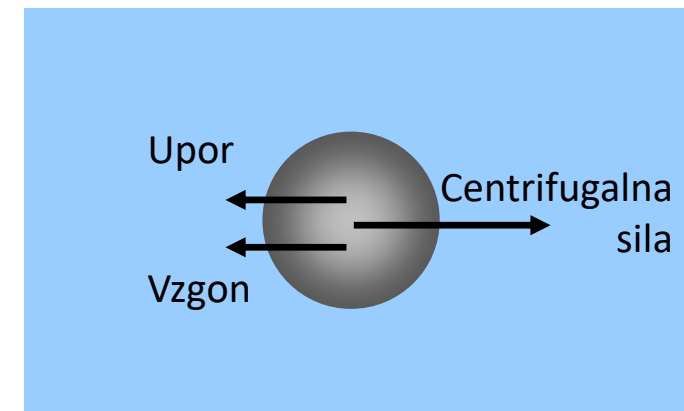
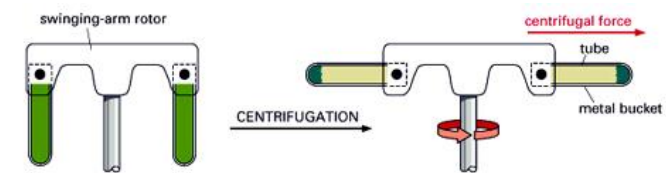
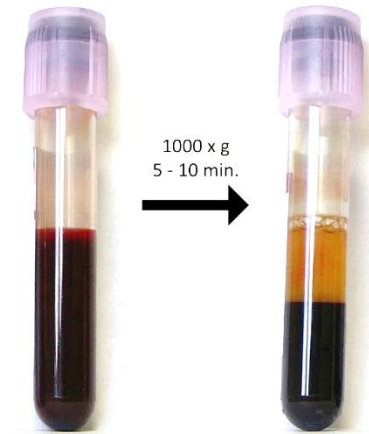
Ločevanje delcev po gostoti:

- V disperziji nenabitih delcev tekmujeta urejevalna sila (težnost) in termično gibanje
→ stabilnost disperzije določa teža delcev

- Posedanje lahkih delcev v centrifugi pospešimo s “povečanjem njihove teže”, sorazmerno s kvadratom frekvence vrtenja (ω^2)

- Hitrost posedanja $\propto \frac{\text{centrif.}}{\text{upor}} \propto \frac{\omega^2 m'}{\eta R}$

(m' - masa delca, zmanjšana za vzgon)

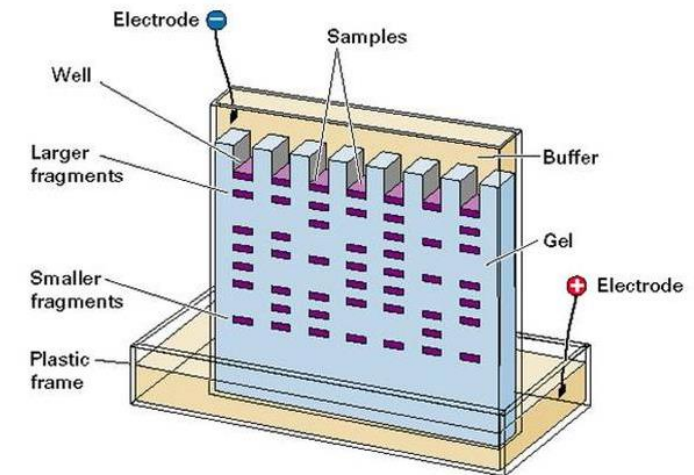


Elektroforeza

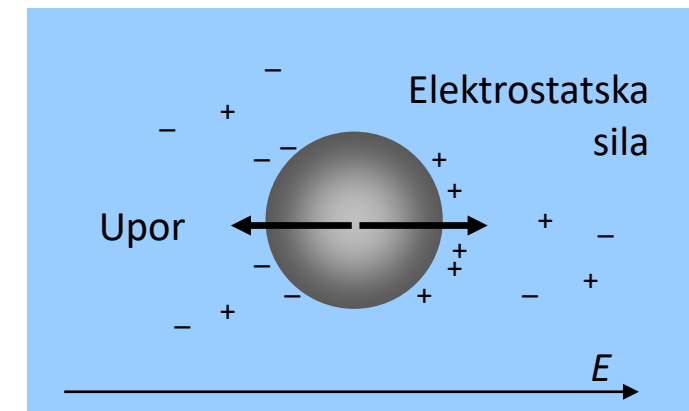
- Nabite delce lahko ločujemo tudi z električnim poljem - E
- Hitrost potovanja odvisna od gibljivosti delcev - μ

$$\mu \propto \frac{\text{naboj}}{\text{upor}} \propto \frac{Ze_0}{\eta R}$$

- Izvedbe: gelska, kapilarna, 2D ef., izoelektrično fokusiranje ...



Ze_0 - naboj delcev

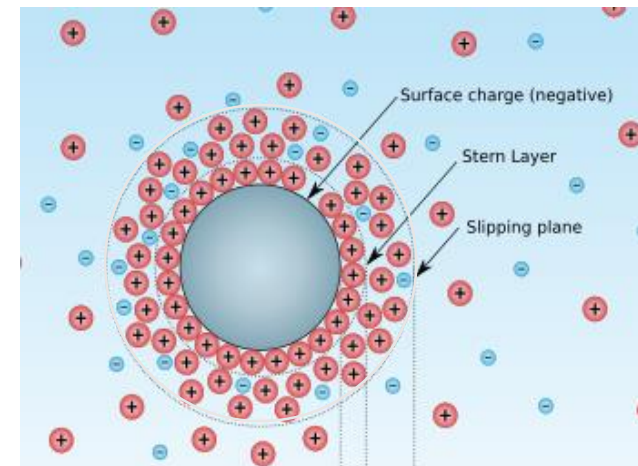


Meritev ζ -potenciala

- ζ -potencial \propto efektivni naboj delca
- izmerimo elektroforetsko mobilnost μ , iz nje nato izračunamo ζ

$$\mu = \frac{v}{E} \rightarrow \zeta \propto \mu$$

- Merjenje hitrosti z „laserkim radarjem“



https://en.wikipedia.org/wiki/Zeta_potential

