



# Gibljivost delcev na molekularni ravni



# Kaj določa način “plavanja”?

- **Upor**, ki ga čuti “plavalec”:

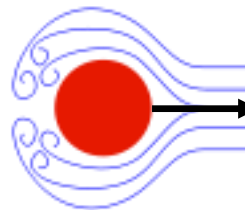
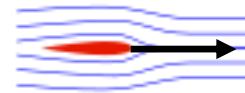
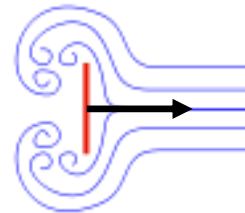
- zaradi vztrajnosti tekočine, ki jo odriva pred seboj

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

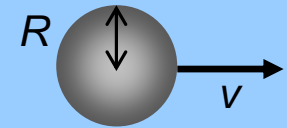
- zaradi viskoznosti tekočine, (vlečenje slojev tekočine, ki se prilepijo na površino)

$$\propto \eta R v$$

- Katera sila je pomembnejša?



$\rho$  - gostota tekočine  
 $\eta$  - koef. viskoznosti



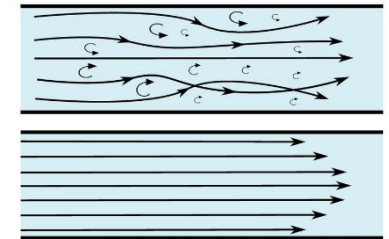
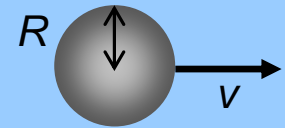
# Kaj določa način “plavanja”?

- 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	$\propto v^2$	vrtnčenje, turbulenten
$< 1$	viskoznost	$\propto v$	brez vrtincev, laminaren

$\rho$  - gostota tekočine  
 $\eta$  - koef. viskoznosti



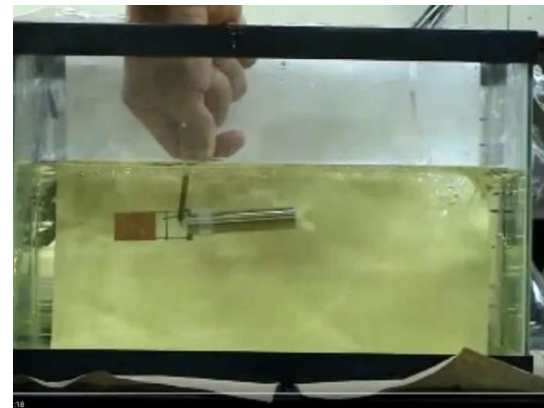
- Molekule in bakterije ne poznajo vztrajnosti!  
 → Način plavanja mora biti drugačen

# Kaj določa način “plavanja”?

$Re > 1000$

$Re < 1$

voda

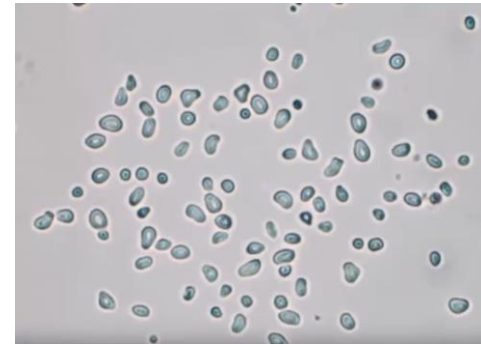
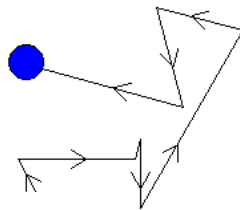


koruzni sirup



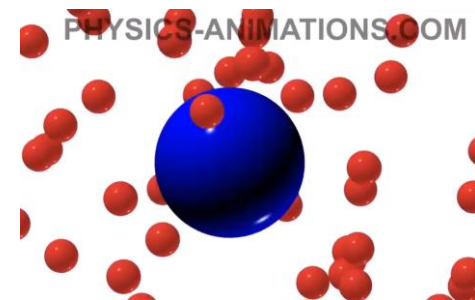
# Kaj poganja gibanje molekul?

- Brownovo gibanje / difuzija



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

- Difuzija je posledica trkov med molekulami s termično kinetično energijo ( $\sim k_B T$ )
- Poganja jo entropija v smeri večjega števila možnih stanj



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

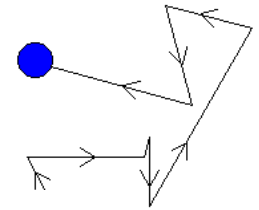


# Difuzija

- Brownovo gibanje:

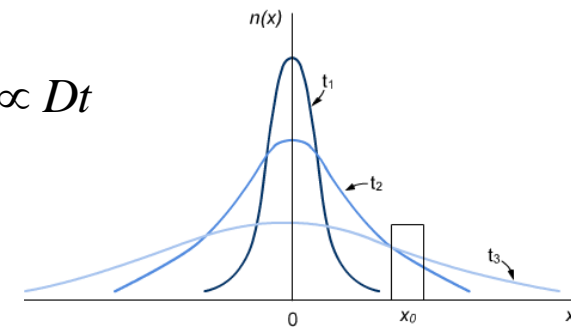
- Enako verjeten premik v vse smeri

- Povprečna razdalja, do koder pridejo delci  
( $D$  - koeficient difuzije,  $t$  - čas)



$$\langle x \rangle = 0$$

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



- Difuzija je na dolge razdalje zelo počasna!



čas

# Difuzija

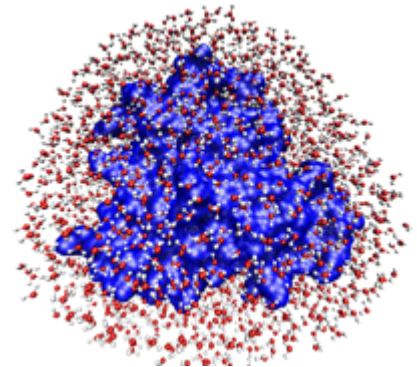


- Hitrost difuzije (difuzijski koeficient  $D$ ) je odvisna od

- 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“

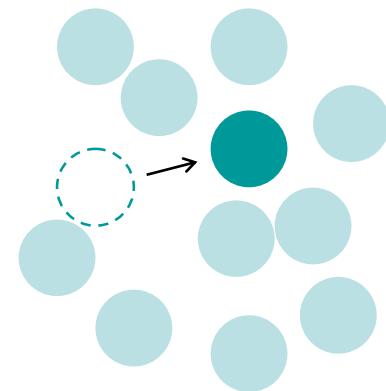
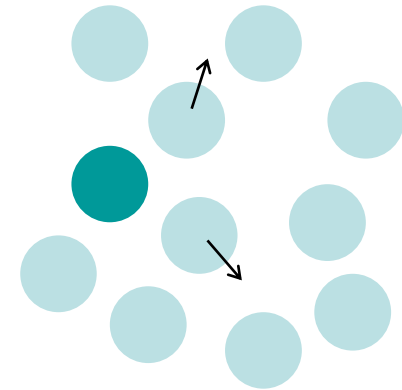


- Za kroglaste molekule:  
→  $D$  se z  $M$  spreminja počasi!

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

# 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“)



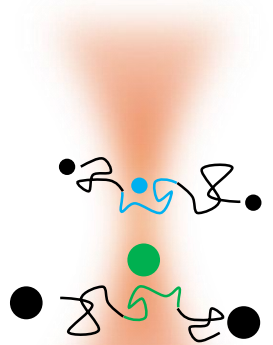


Kako lahko *izmerimo* hitrost difuzije molekul oz. delcev v raztopini ali celici?

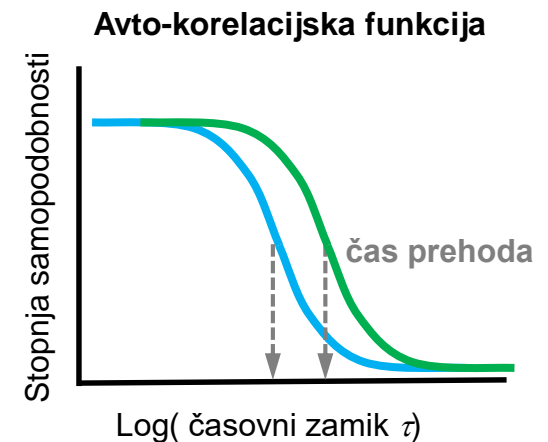
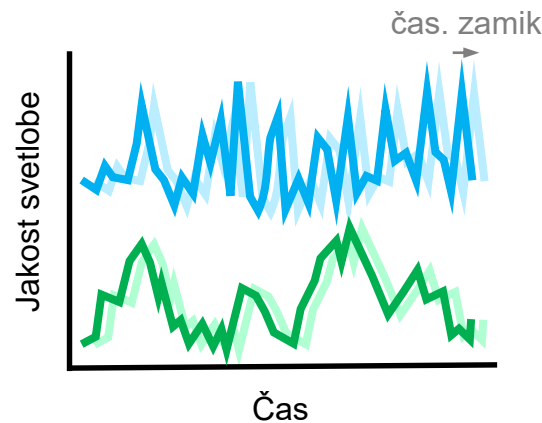
# Korelacijske spektroskopije



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



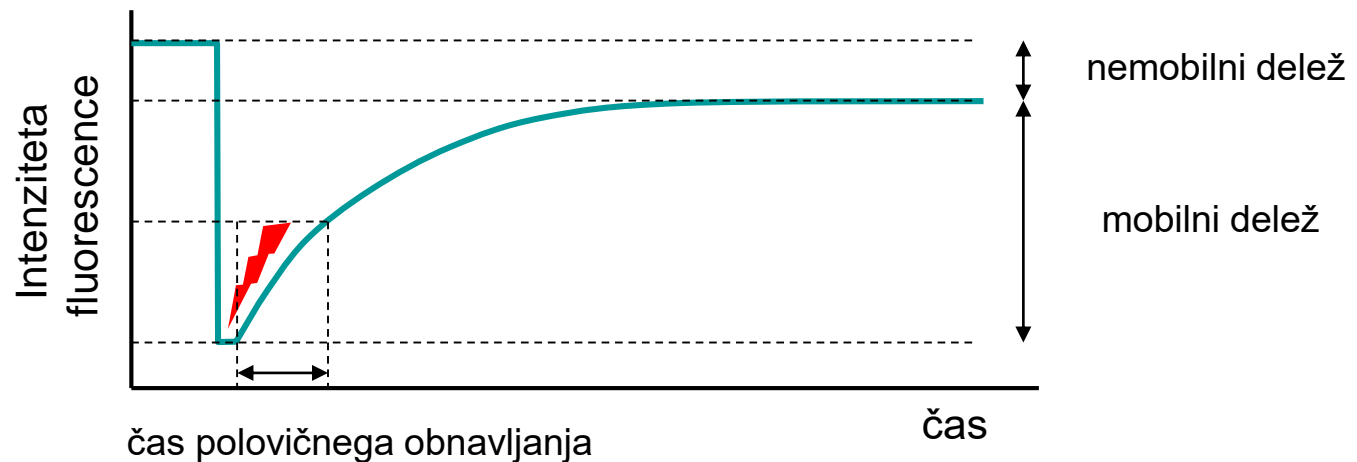
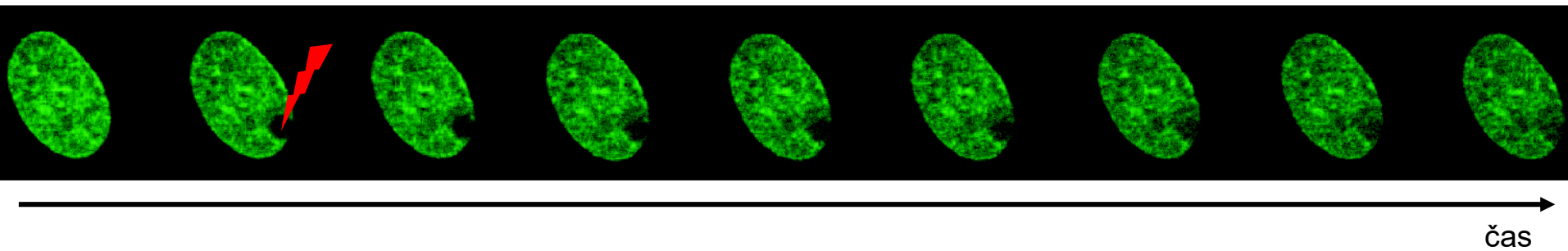
Laserski žarek



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

# Fluorescence Recovery After Photobleaching - FRAP

- “Obnavljanje fluorescence po fotoslepljenju”



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

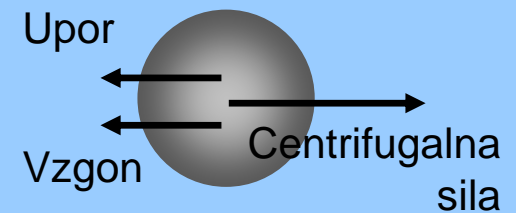
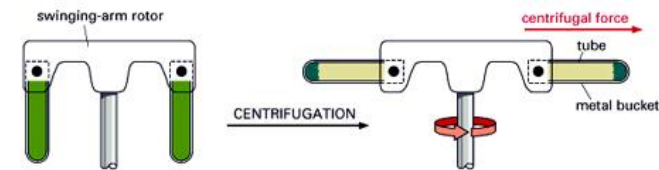
# Centrifuga

## Ločevanje delcev po gostoti:

- V disperziji nenabitih delcev tekmujeta urejevalna sila (težnost) in termično gibanje  
→ stabilnost disperzije določa teža delcev
- Usedanje lahkih delcev v centrifugi pospešimo s “povečanjem njihove teže”, sorazmerno s kvadratom frekvence vrtenja ( $\omega^2$ )

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

( $m'$  - masa delca, zmanjšana za vzgon)

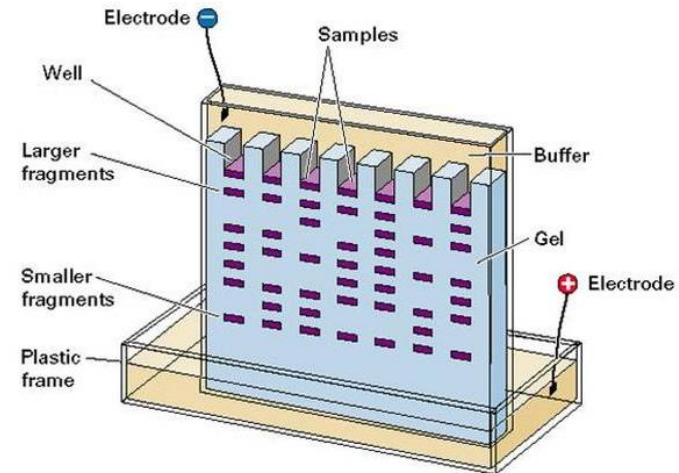


# Elektroforeza

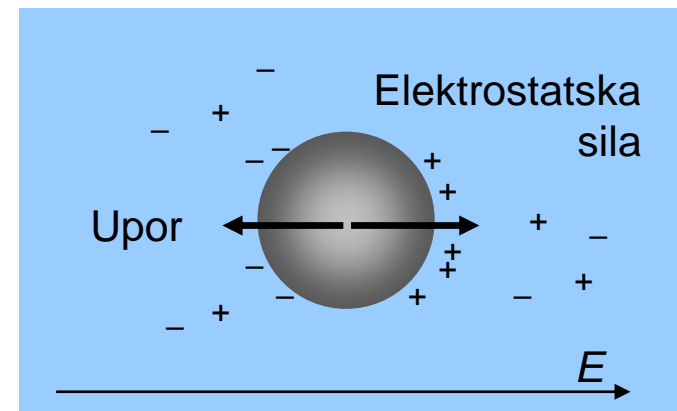
- Nabite delce lahko ločujemo tudi z električnim poljem -  $E$
- Hitrost potovanja odvisna od gibljivosti delcev -  $\mu$

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

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



$Ze_0$  - naboj delcev

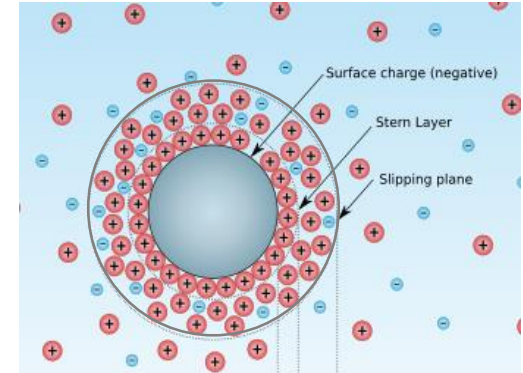
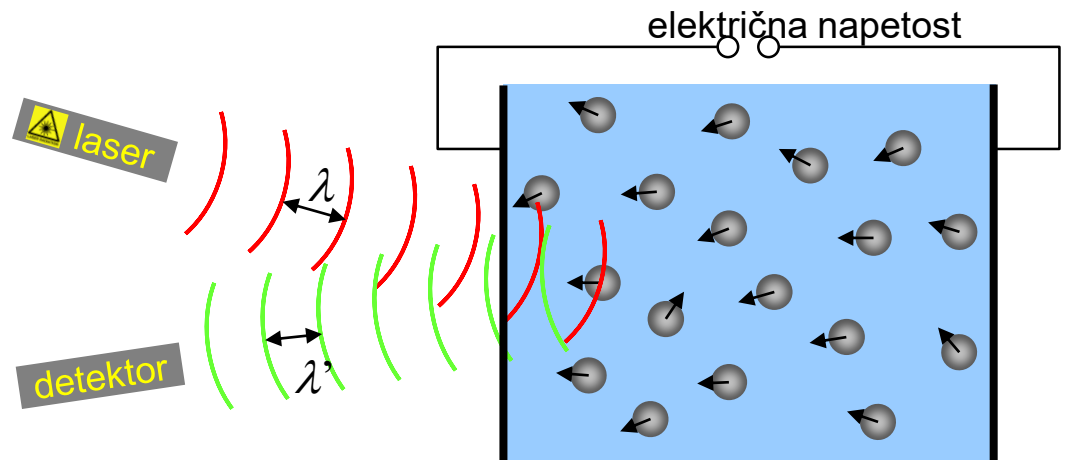


# Meritev $\zeta$ -potenciala

- $\zeta$ -potencial  $\propto$  efektivni naboj delca
- izmerimo elektroforetsko mobilnost  $\mu$ , iz nje nato izračunamo  $\zeta$

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

- Merjenje hitrosti z „laserskim radarjem“



[https://en.wikipedia.org/wiki/Zeta\\_potential](https://en.wikipedia.org/wiki/Zeta_potential)