



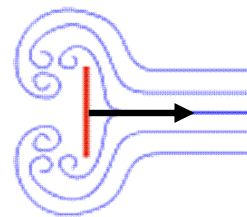
## Giblјivost delcev na molekularni ravni



[http://www.seplessons.org/files/centrifuged\\_blood.jpg](http://www.seplessons.org/files/centrifuged_blood.jpg)

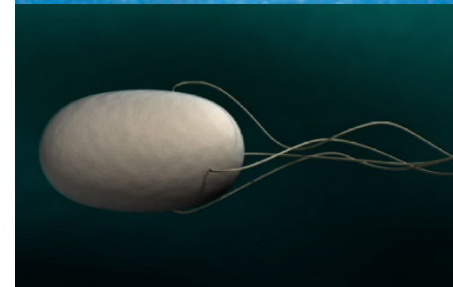
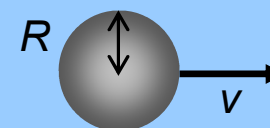
# Kaj določa način “plavanja”?

- **Upor**, ki ga čuti “plavalec”:
  - zaradi **inercije** tekočine  
(oddrivanje mase z vztrajnostjo)  
 $\propto \rho R^2 v^2$



$\rho$  - gostota tekočine

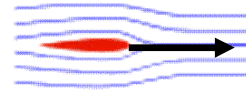
$\eta$  - koef. viskoznosti



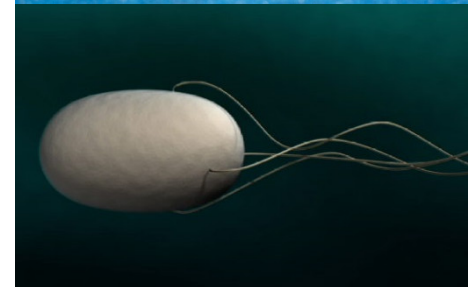
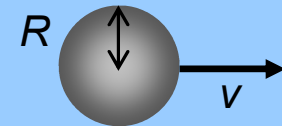
# Kaj določa način “plavanja”?

- **Upor**, ki ga čuti “plavalec”:
  - zaradi **viskoznosti** tekočine  
(vlečenje slojev tekočine, ki se prilepijo na površino telesa)

$$\propto \eta R v$$



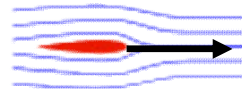
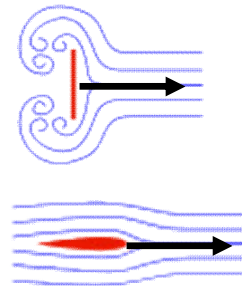
$\rho$  - gostota tekočine  
 $\eta$  - koef. viskoznosti



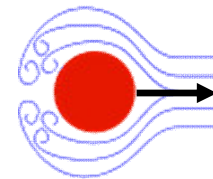
# Kaj določa način “plavanja”?

- **Upor**, ki ga čuti “plavalec”:

- zaradi **vztrajnosti** tekočine  $\propto \rho R^2 v^2$
- zaradi **viskoznosti** tekočine  $\propto \eta R v$



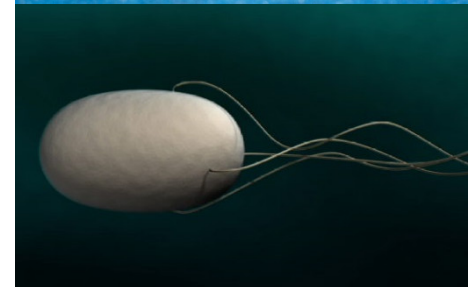
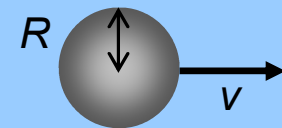
- Katera sila je pomembnejša?



odloča **razmerje obeh sil** (Reynoldsovo število  $Re$ ):

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

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



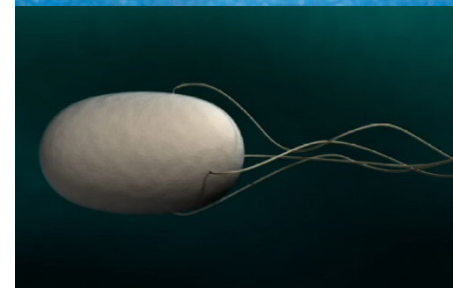
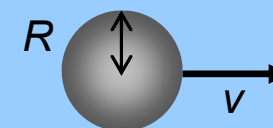
# Kaj določa način “plavanja”?

$$\frac{\text{upor zaradi gostote}}{\text{upor zaradi viskoznosti}} \propto \boxed{\frac{\rho R v}{\eta} = Re}$$

medij	plavalec	R	v	Re
voda	človek	1 m	1 m/s	$10^6$
med	človek	1 m	1 m/s	$10^2$
arašidno maslo	človek	1 m	1 m/s	1
voda	bakterija	$1 \mu\text{m}$	$1 \mu\text{m/s}$	$10^{-6}$

$\rho$  - gostota tekočine

$\eta$  - koef. viskoznosti

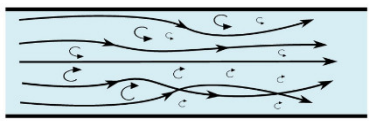



# Kaj določa način “plavanja”?

$$\frac{\text{upor zaradi gostote}}{\text{upor zaradi viskoznosti}} \propto \frac{\rho R v}{\eta} = Re$$

medij	plavalec	Re
voda	človek	$10^6$
med	človek	$10^2$
arašidno maslo	človek	1
voda	bakterija	$10^{-6}$

$v = 1 \text{ dolžina} / \text{s}$

Re > 1000	Re < 1
<del>vztrajnost</del> <del>viskoznost</del>	<del>vztrajnost</del> <del>viskoznost</del>
upor $\propto v^2$	upor $\propto v$
vrtinčenje, turbulenten tok 	brez vrtincev, laminaren tok 
to poznamo – plavanje ljudi v vodi	bakterije in molekule ne poznajo vztrajnosti!! → način plavanja mora biti drugačen

<https://www.cfdsupport.com/OpenFOAM-Training-by-CFD-Support/sketch-laminar-flow-turbulent-flow.png>

# Kaj določa način “plavanja”?

- Laminaren tok – ni vrtincev, ni vztrajnosti



How To  
**Unmix A Liquid**  
(Laminar Flow)

<https://youtu.be/dJTUROqHgs>



# Kaj določa način “plavanja”?

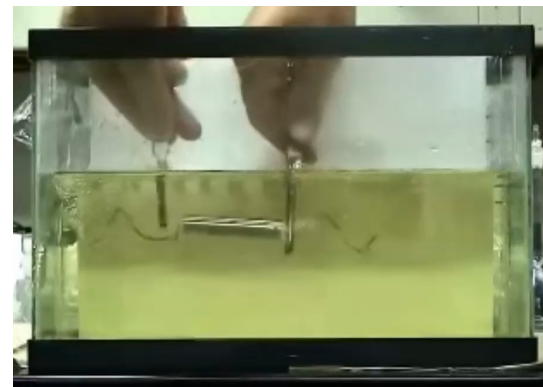
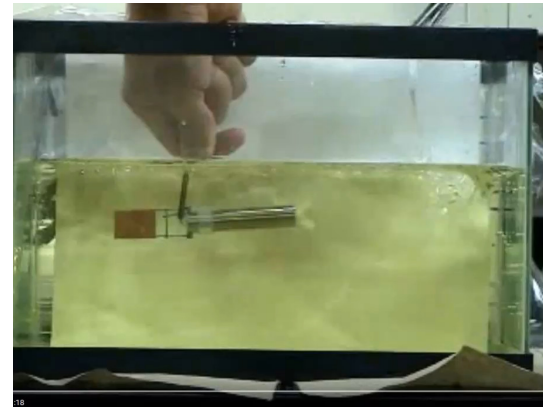
$Re > 1000$

$Re < 1$

voda



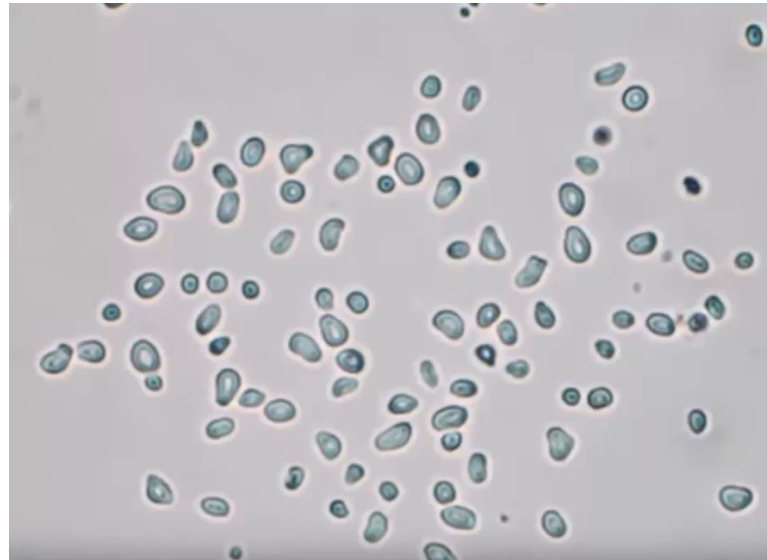
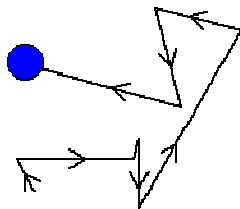
koruzni sirup





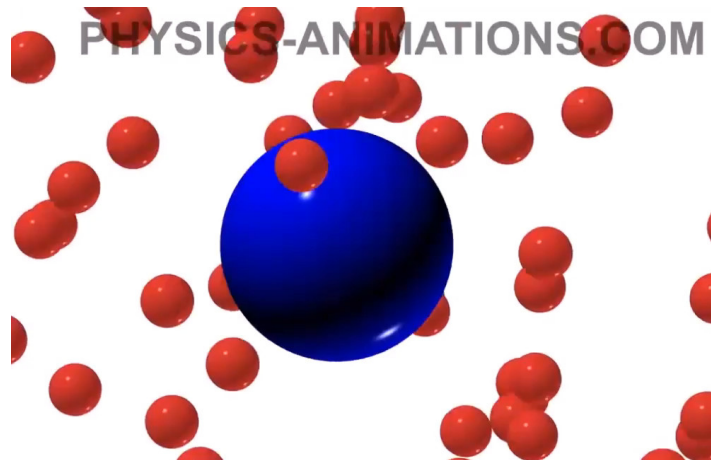
# Difuzija

- Brownovo gibanje –  
so zrna peloda živa?



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

- Razlaga (Einstein):  
difuzija je posledica  
trkov med molekulami  
s termično kinetično  
energijo  $\sim k_B T$



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

# Difuzija

- Brownovo gibanje:

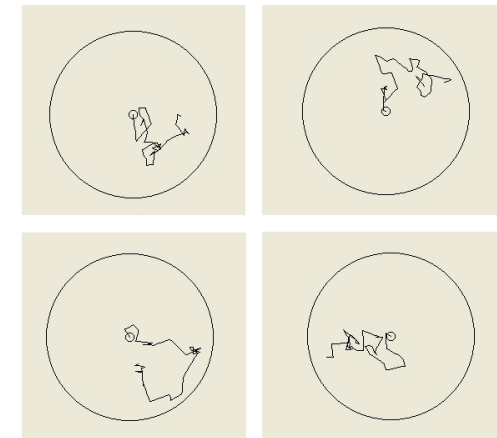
- enako verjeten premik v vse smeri  $\langle x \rangle = 0$

- povprečna razdalja, do katere pridejo delci  
( $D$  - koeficient difuzije,  $t$  - čas)

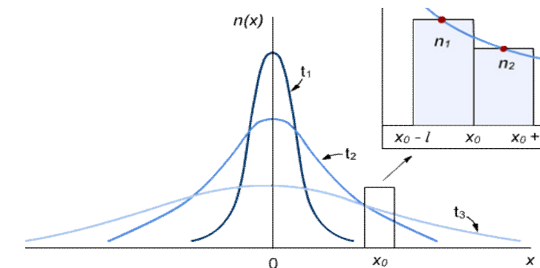
$$s \propto \sqrt{Dt}$$

primer: molekula kisika v vodi ( $D = 10^{-9} \text{m}^2/\text{s}$ )

primer	razdalja	čas
velikost bakterije	1 $\mu\text{m}$	0.25 ms
velikost živalske celice	10 $\mu\text{m}$	25 ms
velikost manjše žuželke	1 mm	4 minute
velikost človeka	1 m	8 let



<http://cronodon.com/BioTech/Diffusion.html>



difuzija je na dolge razdalje zelo počasna!!

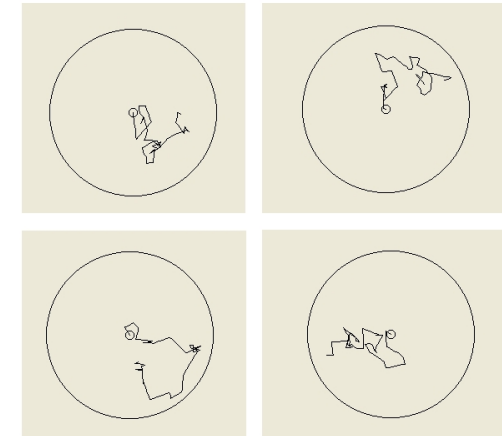
# Difuzija

- Brownovo gibanje:

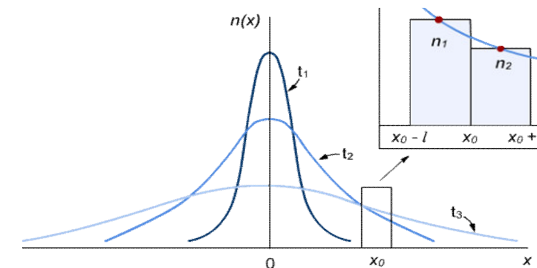
- enako verjeten premik v vse smeri  $\langle x \rangle = 0$

- povprečna razdalja, do katere pridejo delci  
( $D$  - koeficient difuzije,  $t$  - čas)

$$s \propto \sqrt{Dt}$$



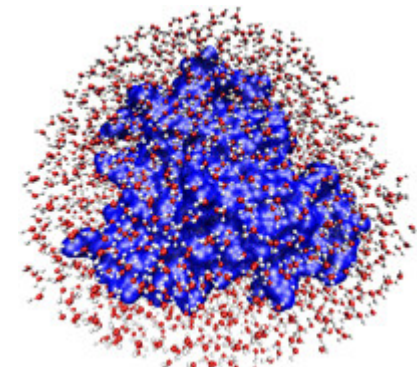
<http://cronodon.com/BioTech/Diffusion.html>



- Hitrost difuzije določa koeficient difuzije  $D$ , ki je odvisen od

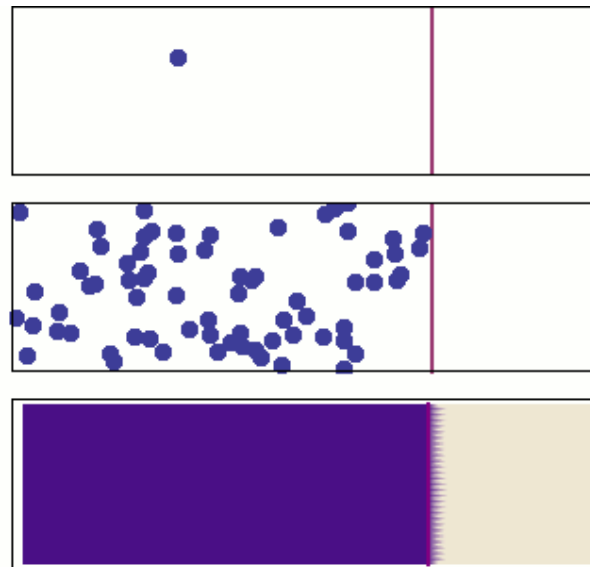
- termične energije delcev
  - velikosti (!) in oblike delcev
  - viskoznosti tekočine

$$D \propto \frac{\text{energija}}{\text{upor}} \propto \frac{k_B T}{\eta R}$$



# Difuzija

- tok snovi – zakaj se črnilo razširi po celotni posodi?



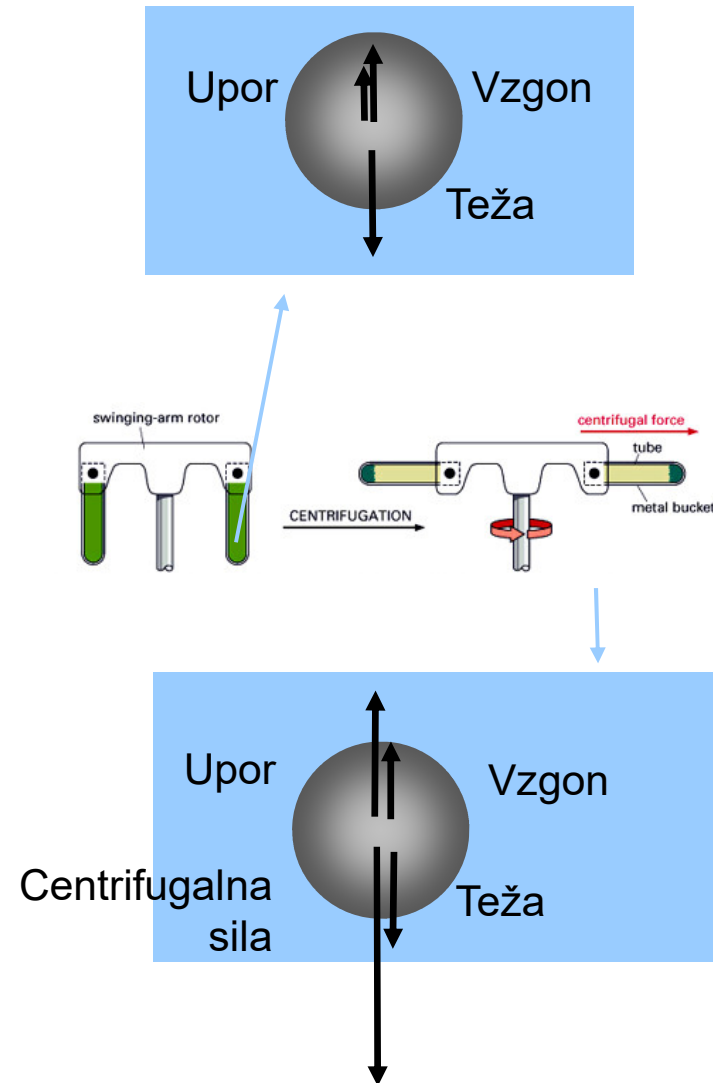
<https://en.wikipedia.org/wiki/Diffusion>

# Centrifuga

- Kako bi ločili različne komponente krvi?
- 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 (frekvenco vrtenja  $\omega$ )<sup>2</sup>

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

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



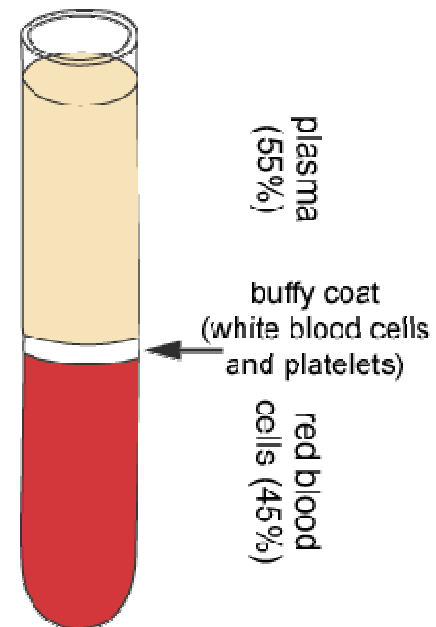
# Centrifuga

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

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



[http://stevegallik.org/sites/all/images/Blood\\_01a.jpg](http://stevegallik.org/sites/all/images/Blood_01a.jpg)



[http://www.histology.leeds.ac.uk/blood/blood\\_content.php](http://www.histology.leeds.ac.uk/blood/blood_content.php)



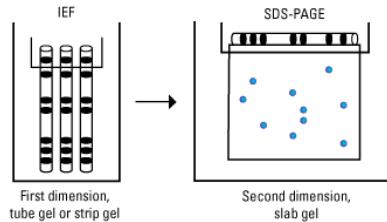
<https://en.wikipedia.org/wiki/Centrifuge>

# Elektroforeza

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

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

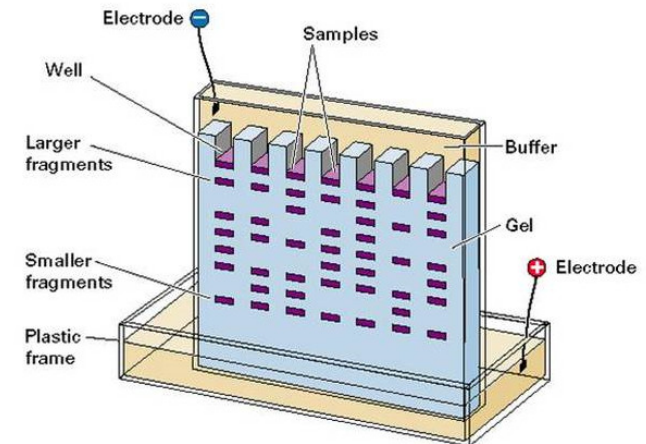
- Izvedbe: gelska, kapilarna, 2D ef., isoelektrično fokusiranje, ef. na mikročipu ...



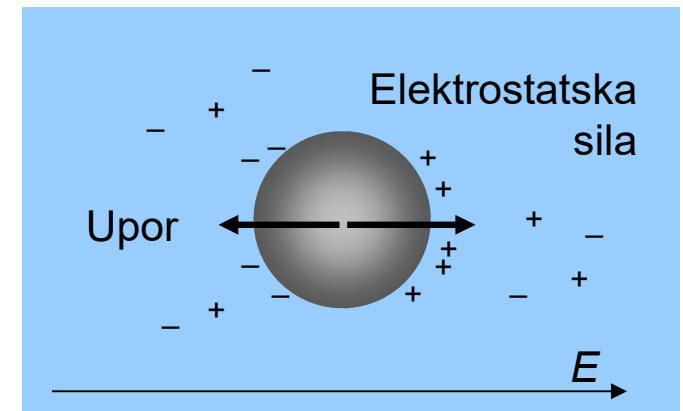
Janez Štrancar in Hana Majaron



Laboratorijska biomedicina – Molekularna biofizika



$Ze_0$  - neto naboj delcev



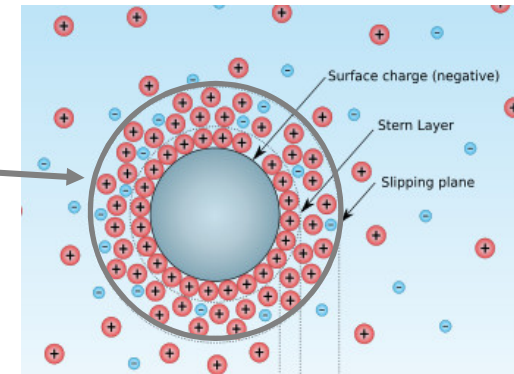
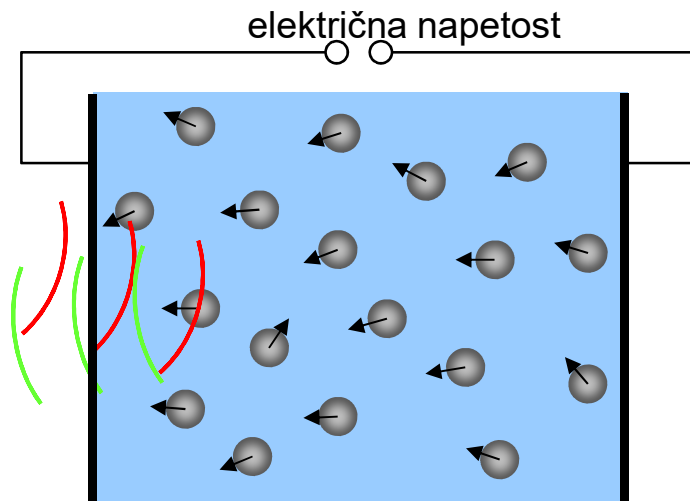


# Meritev $\zeta$ -potenciala

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

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

- kako izmerimo hitrost delcev?  
„laserški radar“



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

# Fluorescence Recovery After Photobleaching - FRAP

- “Obnavljanje fluorescence po fotoslepljenju”

