

# TMF 2022/23

## Úloha 10

Martin Kempa



### Upstream Flow (Upstream contamination)

Sprinkle light particles on a water surface. Then allow a water stream to be incident on the surface from a small height. Under certain conditions, the particles may begin to move up the stream. Investigate and explain this phenomenon.

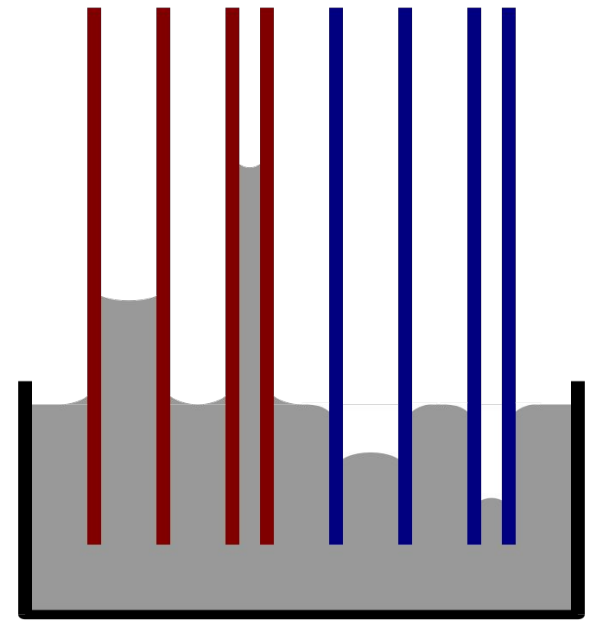
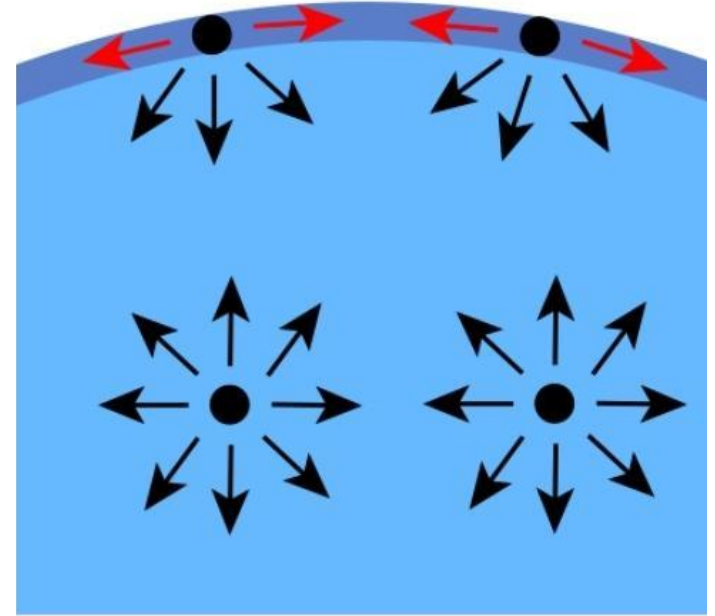
### Tok proti proudu

Posypte vodní hladinu lehkými částicemi. Pak nechte z malé výšky na hladinu téct proud vody. Za určitých podmínek se částičky mohou začít pohybovat proti proudu. Prozkoumejte a vysvětlete tento jev.

# Argentinské *maté*



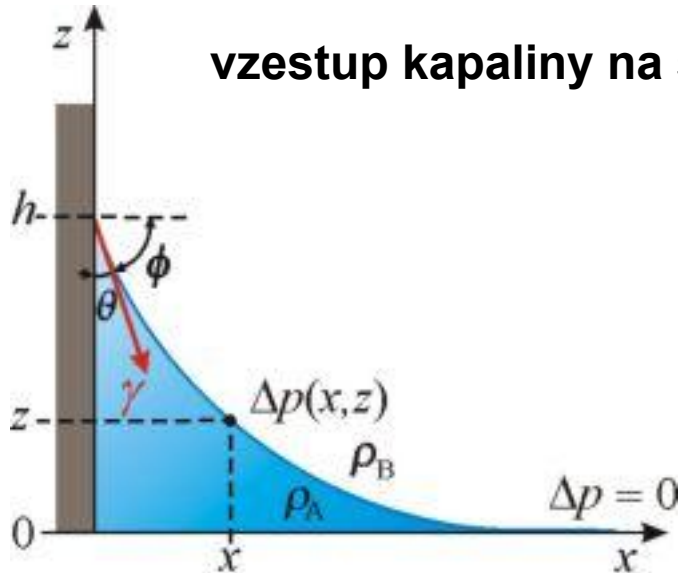
# Povrchové napětí



# Povrchové napětí (PN)

- povrch kapaliny se chová jako tenká pružná blána
- snaží se dosáhnout stavu s minimální energií
- povrch  $\uparrow$ : energie povrchové vrstvy  $\uparrow$
- □ povrch kapaliny se snaží zaujmout co **nejmenší** a **nejhladší** plochu
  
- jak měřit PN u *nehomogenní látky*?

## vzestup kapaliny na svislé destičce



$$\sin \theta = 1 - \frac{\Delta \rho g h^2}{2\sigma}$$

$\Delta \rho$  ... rozdíl hustot kapaliny A a vrchního plynu

$\theta$  ... úhel smáčení

$h$  ... výška, do níž vystoupí meniskus

$\sigma$  ... povrchové napětí

[https://vydavatelstvi-old.vscht.cz/knihy/uid\\_es-001/hesla/metody.elevace\\_na\\_desce.html](https://vydavatelstvi-old.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/metody.elevace_na_desce.html)

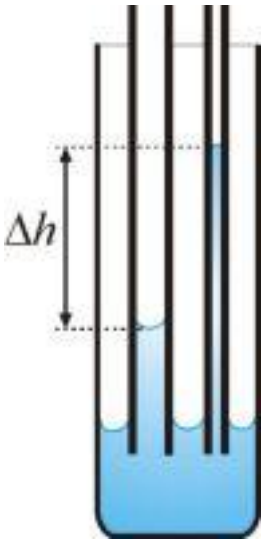
[https://vydavatelstvi-old.vscht.cz/knihy/uid\\_es-001/hesla/mereni\\_povrchoveho\\_a\\_mezifazoveho\\_napeti.html](https://vydavatelstvi-old.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/mereni_povrchoveho_a_mezifazoveho_napeti.html)

<https://www.imc.cas.cz/vyuka/juza/povnap/mermet.htm>

# Povrchové napětí (PN)

- povrch kapaliny se chová jako tenká pružná blána
- snaží se dosáhnout stavu s minimální energií
- povrch  $\uparrow$ : energie povrchové vrstvy  $\uparrow$
- □ povrch kapaliny se snaží zaujmout co **nejmenší** a **nejhladší** plochu
  
- jak měřit PN u *nehomogenní látky*?

## dvě kapiláry



$$\sigma = \frac{\Delta h \rho R_1 R_2 g}{2(R_1 - R_2)}$$

$\Delta h$  ... rozdíl výšek kapilárního vzestupu

$\rho$  ... hustota kapaliny

$R_i$  ... vnitřní poloměry kapilár

$\sigma$  ... povrchové napětí

[https://vydavatelstvi-old.vscht.cz/knihy/uid\\_es-001/hesla/metody.elevace\\_na\\_desce.html](https://vydavatelstvi-old.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/metody.elevace_na_desce.html)

[https://vydavatelstvi-old.vscht.cz/knihy/uid\\_es-001/hesla/mereni\\_povrchoveho\\_a\\_mezifazoveho\\_napeti.html](https://vydavatelstvi-old.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/mereni_povrchoveho_a_mezifazoveho_napeti.html)

<https://www.imc.cas.cz/vyuka/juza/povnap/mermet.htm>

Marangoniho jev  
(Marangoni effect)

Marangoni effect



# Marangoniho efekt (na vodorovné hladině)

- „slzy vína“ pozorovány Jamesem Thomsonem roku 1855
- Carlo Marangoni: 1865
- J. Willard Gibbs: *O rovnováze heterogenních látek* (1875–1878, kompletní zpracování teorie)
  
- rozdíl v povrchových napětích (PN) dvou kapalin
- vyšší PN táhne částičky z nižšího PN k sobě

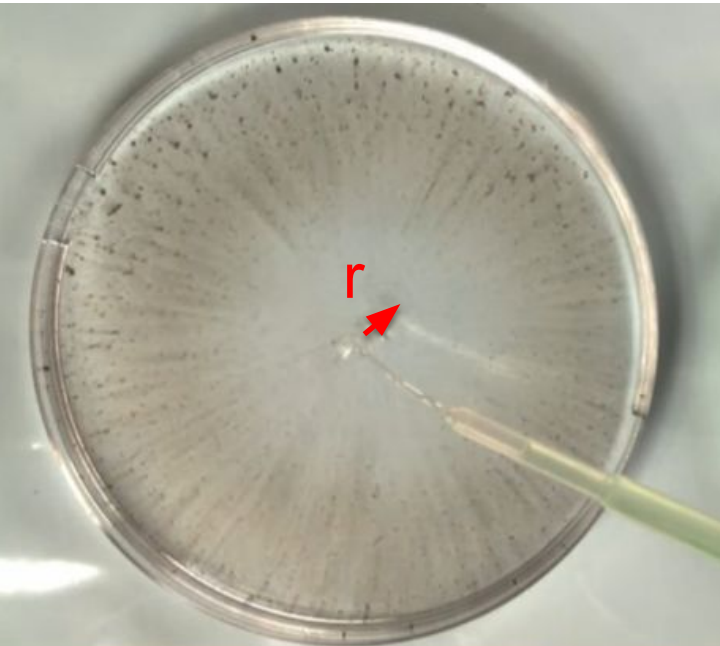


# Marangoniho efekt (na vodorovné hladině)

- rozdíly v povrchových napětích (PN) dvou kapalin
- vyšší PN táhne částičky z nižšího PN k sobě

$$v \approx \frac{\Delta\sigma}{\mu} \quad \begin{array}{l} \Delta\sigma \dots \text{rozdíl povrchových napětí (N/m)} \\ \mu \dots \text{viskozita (Pa.s)} \end{array}$$

$$\Delta\sigma \sim \text{desítky procent} \quad \square \quad v \approx \frac{10^{-2}}{r^{1/3}} \quad (\text{pro vodu})$$



M. Roché *et al.*:  
"Marangoni Flow  
of Soluble Amphiphiles"  
Physical Review Letters  
**112**, 208302 (2014).  
arXiv:1312.3964.



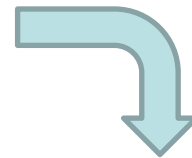


# Marangoniho efekt ~~(na vodorovné hladině)~~ ???

- rozdíly v povrchových napětích (PN) dvou kapalin
- vyšší PN táhne částičky z nižšího PN k sobě
- *argentinské maté?*
- ! částičky na hladině způsobují nižší PN
- mohou svisele proti proudu?  $a > g$  ?
  
- poloměr částic  $r$ , neměnná koncentrace částic
- rozdíl PN  $\Delta\sigma$  (řádově 0.01 N/m PN vody cca 0,07 N/m)
- zrychlení  $a \sim \Delta\sigma \cdot 2r / m$
- $a \sim 5 / (\rho r^2)$
- křída:  $\rho = 2,5 \text{ g cm}^{-3}$ ,  $r \sim 100 \mu\text{m}$ :
- $a \sim 200 \text{ m s}^{-2} \sim 20 \text{ g}$

[ <https://arxiv.org/abs/1105.2585> ]

Upstream contamination in water pouring  
S. Bianchini *et al.* (Havana, Cuba, 2008-2011)



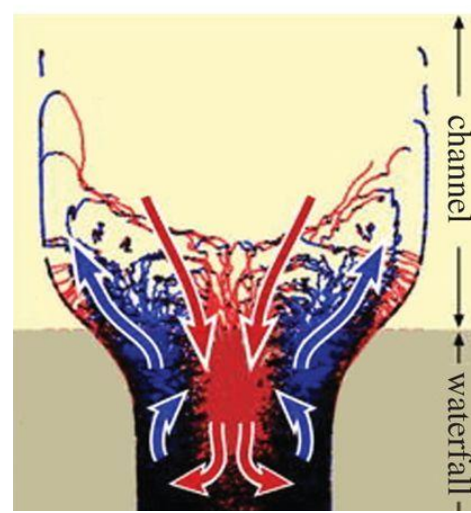
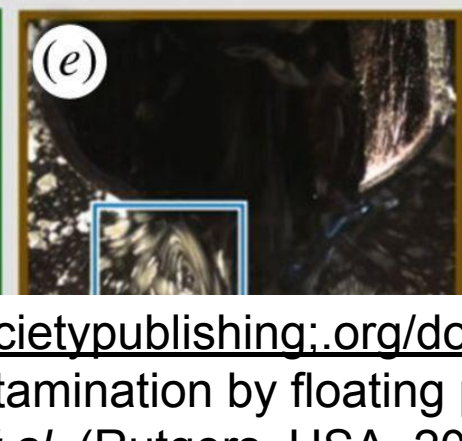
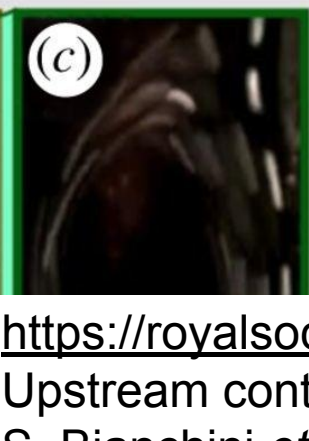
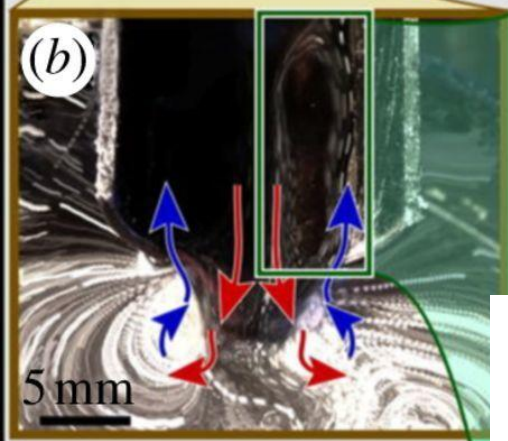
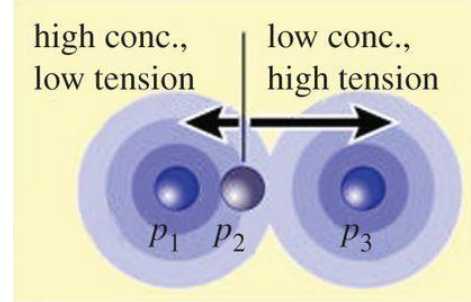
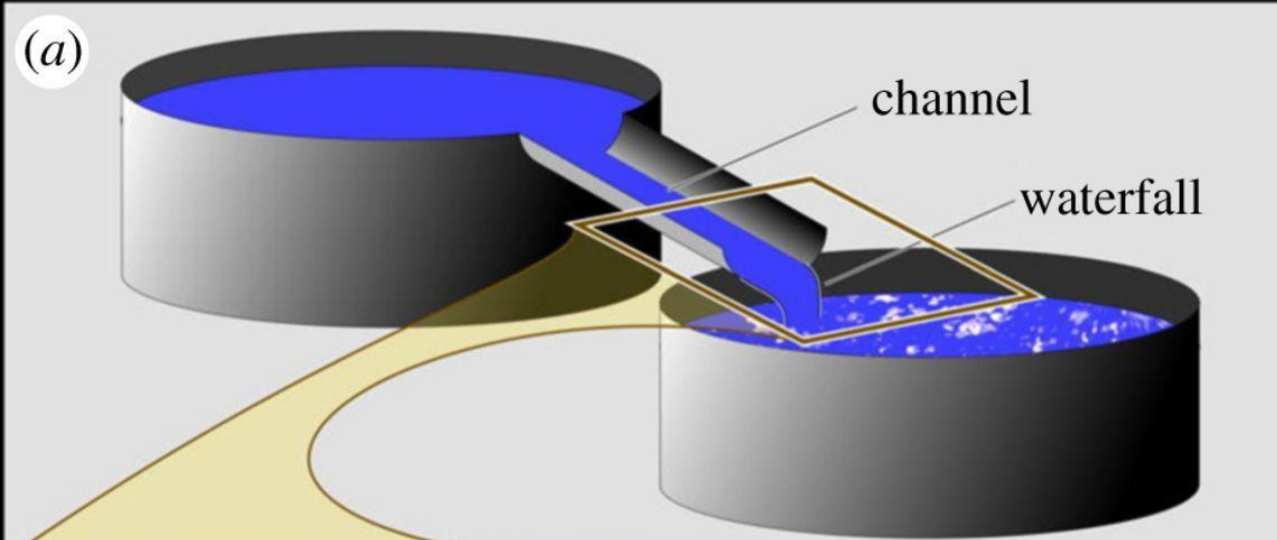
<https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rspa.2013.0067>

Upstream contamination by floating particles  
S. Bianchini *et al.* (Rutgers, USA, 2013)

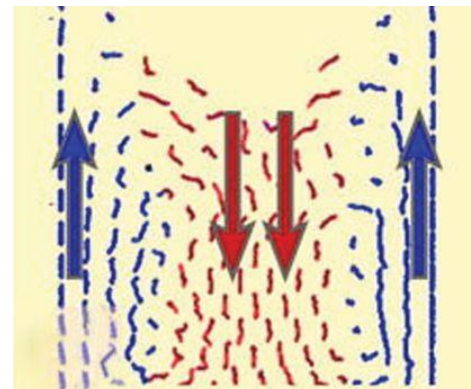
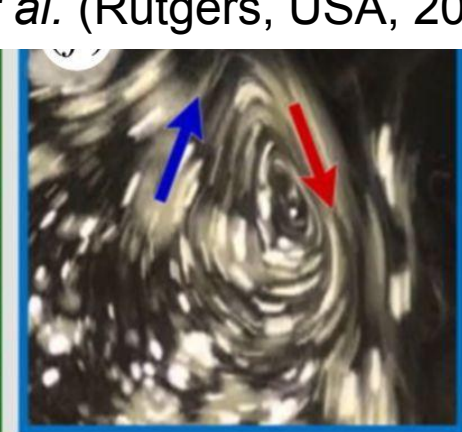
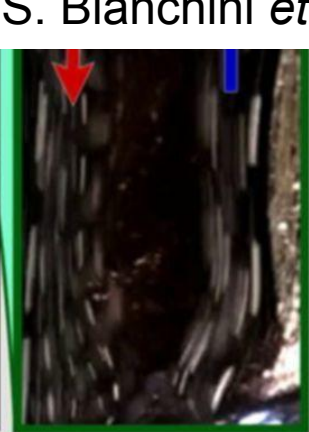
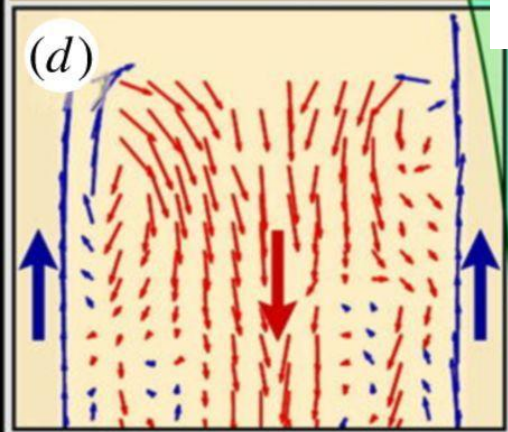
Upstream flow – upstream contamination



<https://www.youtube.com/watch?v=LZ-Bgl7fmoA>

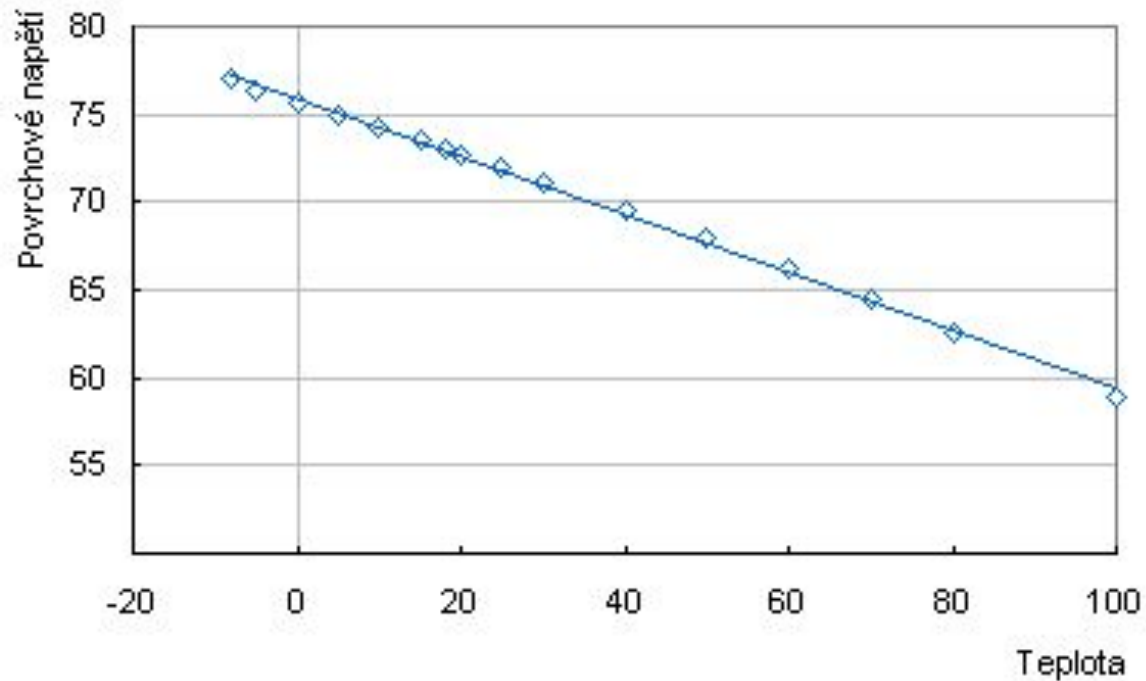


<https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rspa.2013.0067>  
 Upstream contamination by floating particles  
 S. Bianchini *et al.* (Rutgers, USA, 2013)



# Relevantní parametry

- rozdíl teplot vody „nahore“ a „dole“



<http://www.converter.cz/tabulky/povrchove-napeti.htm>

- stabilita? teplotní gradienty?



# Relevantní parametry

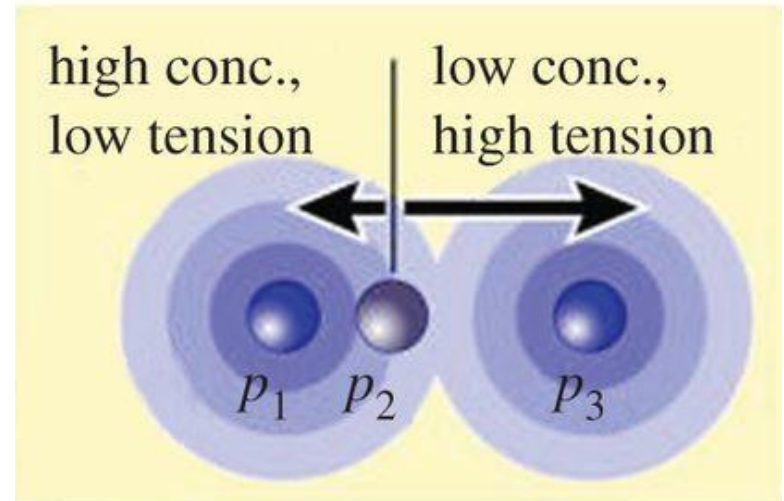
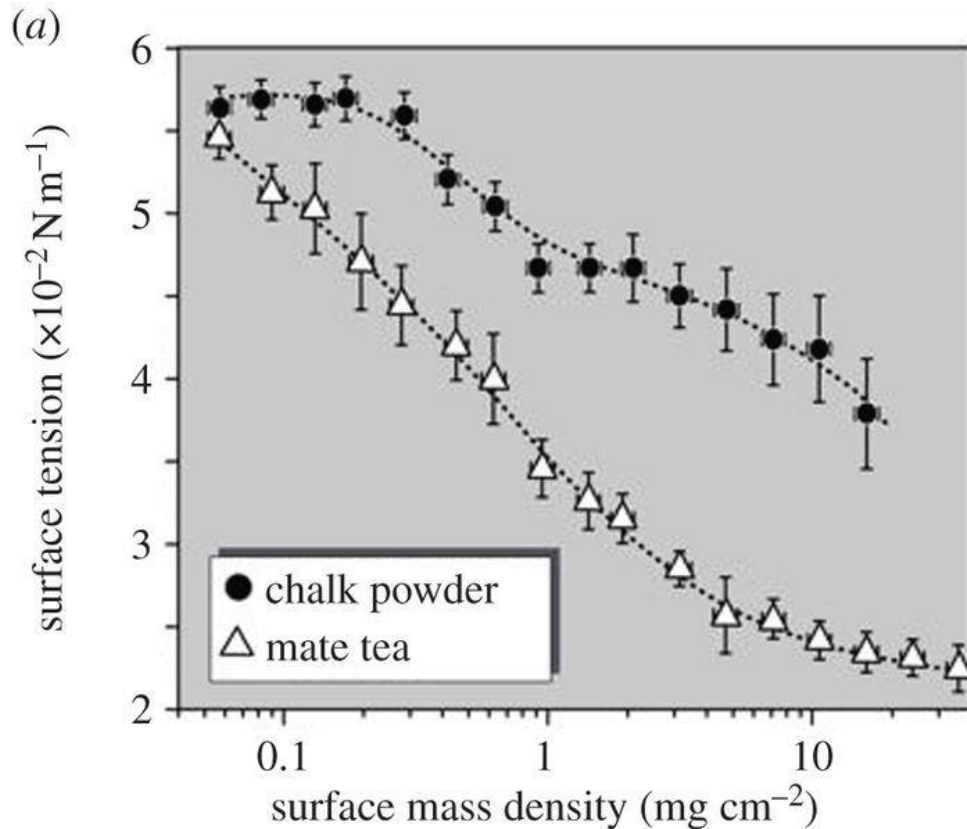
- kvalita vody? (spíše ne)
- rychlost proudu vody ( $\text{cm}^3/\text{s}$ )
- výška „vodopádu“ ( $\sim \text{cm}$ )
- „korýtko“: sklon, šířka; materiál?
- (vytváří tekoucí voda gradient PN?)
- částice: hustota (křída hustší než voda), velikost; PN ? Smáčivost, rozpustnost?
- částice: grafit, křída, lístky čaje; polystyren?? koloidní barvivo? ...





# Relevantní parametry

- (povrchová) hustota částic ve vodě



<https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rspa.2013.0067>

Upstream contamination by floating particles

S. Bianchini *et al.* (Rutgers, USA, 2013)

# Co a jak měřit?

- jak vysoko se částičky dostanou v závislosti na sklonu korýtku? (ve vodopádu i v korýtku)
- rychlost částiček nahoru (cm/s)
- stabilita systému (přítok a odtok)
  
- pokusit se o simulace / výpočty / odhady čehokoliv z výše uvedeného



The Action Lab:

<https://www.youtube.com/watch?v=kIKEG9kSpII>