

# Superfícies de água:

## Tensão superficial

- Tensão superficial e energia superficial
- Fenômenos de superfície
- Conceitos, definições, formalismo e interpretação microscópica
- Consequências: Young –Laplace, capilaridade, nucleação

# Tamanho é importante

- *Em grande volume, líquidos...*

...têm o formato do recipiente

...escoam em um tubo, devido à gravidade

...têm o mesmo nível em vasos comunicantes

...e a pressão de vapor depende de  $T$

- *Em gotas, líquidos:*

...têm formato esférico, de filmes ou de lentes

...escoam em oposição à gravidade

...têm nível dependente do diâmetro do recipiente

...e a pressão de vapor depende do raio da gota ou menisco

Formas arredondadas  
Equilíbrio entre o peso e a adesão/coesão





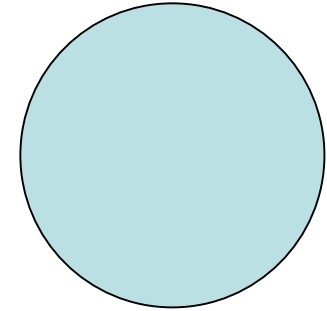
Objetos densos deveriam afundar!

# Tensão superficial ou energia livre superficial

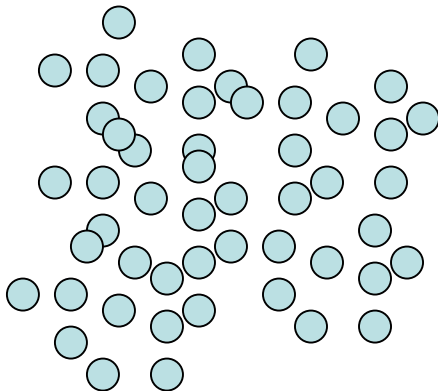
$$\gamma = (\delta G / \delta A)_{T,P}$$

- Propriedade de líquidos e sólidos
- Principal fator morfogenético
- Importância cresce com a área

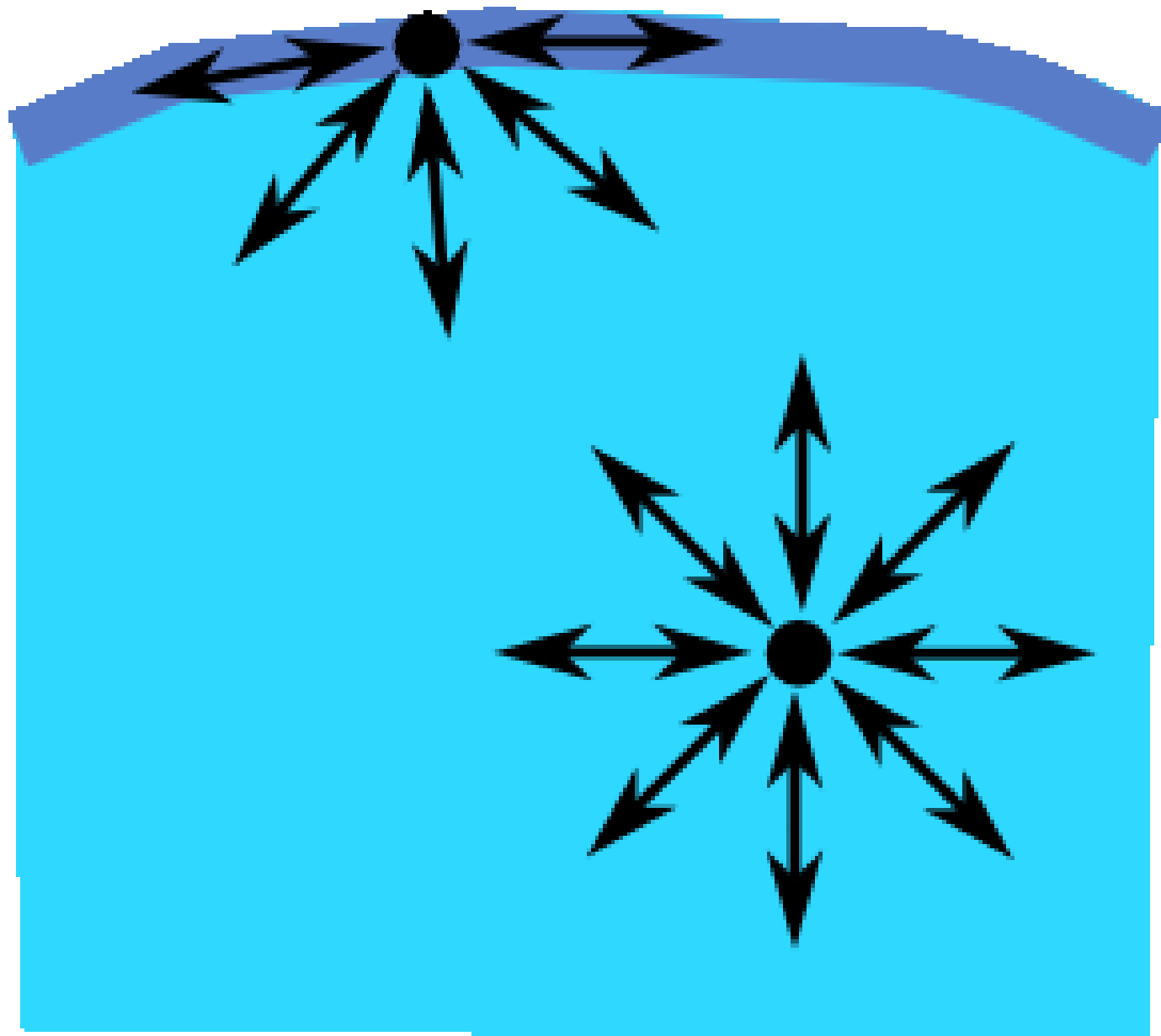
# Estabilidade de uma gota de água



- água:  $\gamma = 72 \text{ mJ/m}^2$
- $72 \times 0,75 \times 10^{-4} (\text{m}^2) = 54 \times 10^{-4} \text{ mJ}$ , em uma gota esférica
- $72 \times 1000 (\text{m}^2) = 72 \text{ J}$ , em nanogotas  
relação de Boltzman:  $3 \times 10^{-5}$



agulhas de água?



Moléculas dentro de um líquido ou sólido são mais estáveis que moléculas da superfície, porque têm mais vizinhos.

# Temperatura de *Tammann* e *sinterização*

- $\gamma$  de sólidos cristalinos causa mudanças de forma
- mudanças lentas abaixo da temperatura de Tammann, muito mais rápidas acima
- acima da temperatura de *Tammann* (ca.  $2/3T_m$ ) a difusão superficial é rápida e permite a sinterização
- *Exemplo: neve e gelo em uma geladeira*

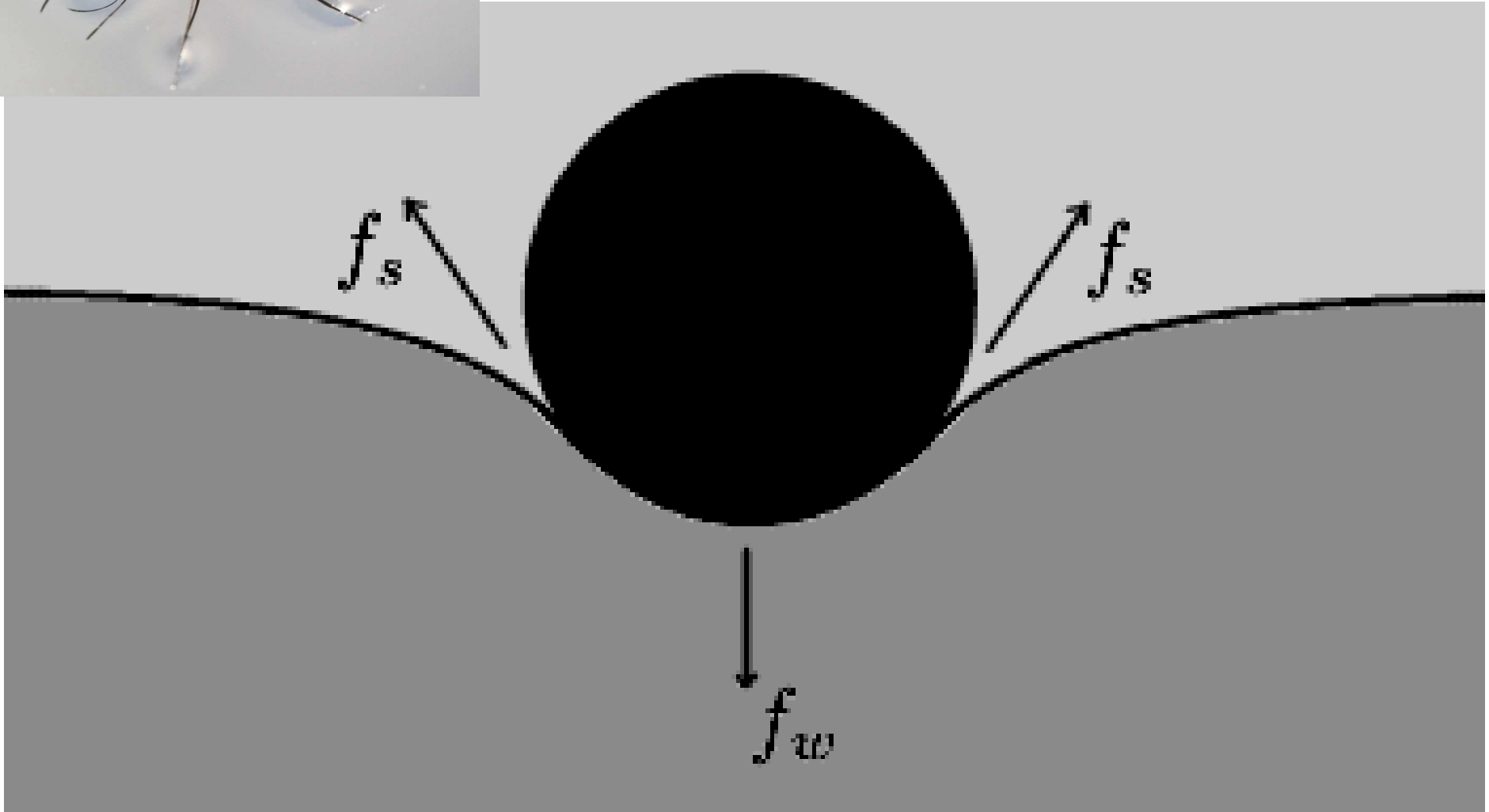


Daisy boat: deformation due to  
surface forces



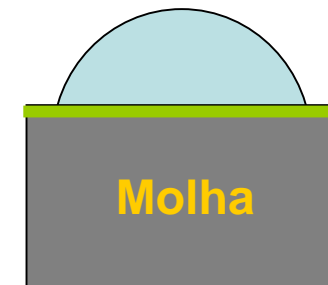
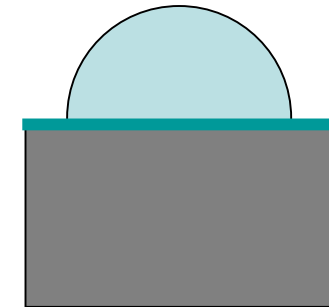
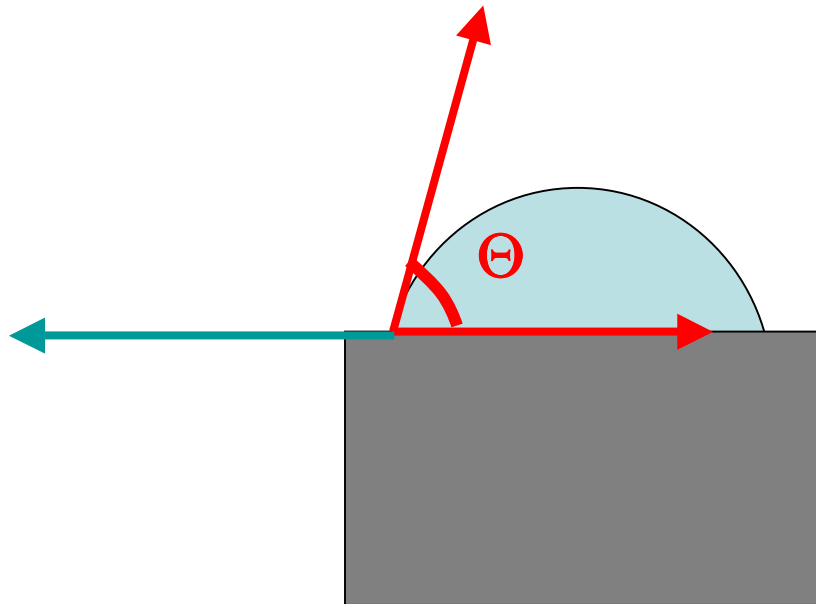


O filme superficial funciona *como se fosse* uma membrana, mesmo em um líquido puro



# Ângulo de contacto de líquidos com polímeros

$$\gamma_{SG} = \gamma_L \cos \Theta + \gamma_{LG}$$



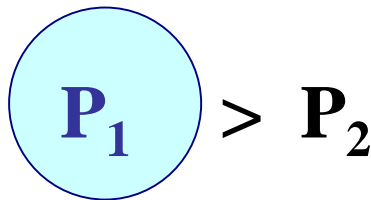
$\gamma_{LG}$  depende de uma camada superficial muito fina (~1 nm)

# A equação de Young-Laplace

- **Diferença de pressão entre as duas fases separadas por uma superfície com raios de curvatura  $R_1$  e  $R_2$ :**

$$\Delta p = \gamma (1/R_1 + 1/R_2)$$

- **no caso de calota esférica:  $\Delta p = \gamma (2/R)$ ,**
- **a pressão é maior do lado do centro de curvatura:**



$P_1 > P_2$

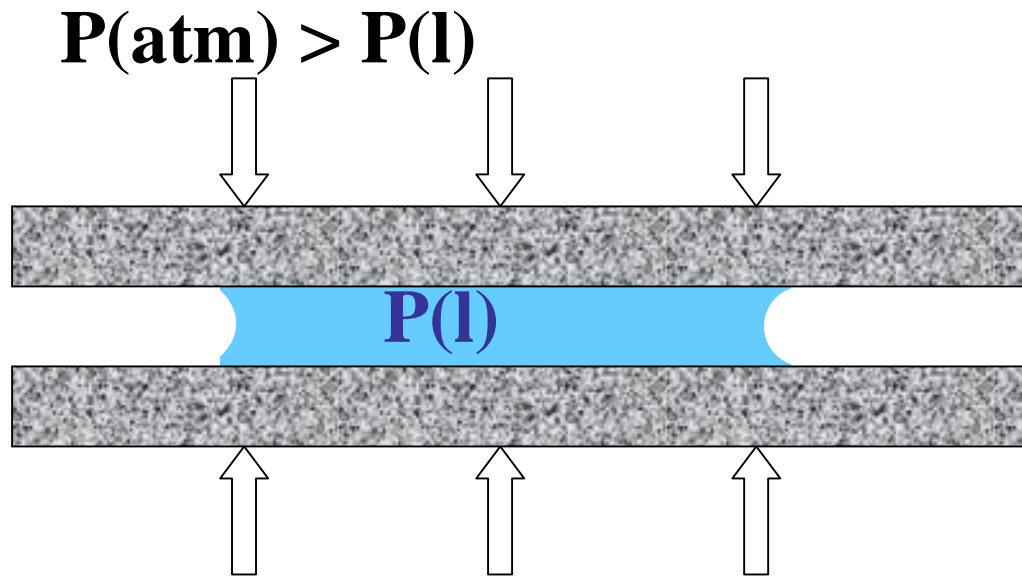
# Quanto?

<b><math>P/P_0</math> em gotas de água de diferentes raios, PTN</b>				
Raio da gota (nm)	1000	100	10	1
$P/P_0$	1.001	1.011	1.114	2.95

# Consequências da equação de Young-Laplace

- A pressão de vapor do líquido muda com a curvatura da superfície (equação de Kelvin).
- As taxas de *nucleação de vapor* são iguais a zero, dentro de um líquido, na temperatura e pressão de equilíbrio L-V.
- As taxas de *nucleação de líquido* são iguais a zero, quando o vapor está na temperatura de equilíbrio L-V.
- *Ascensão e depressão* capilar
- *Adesão e repulsão* capilar

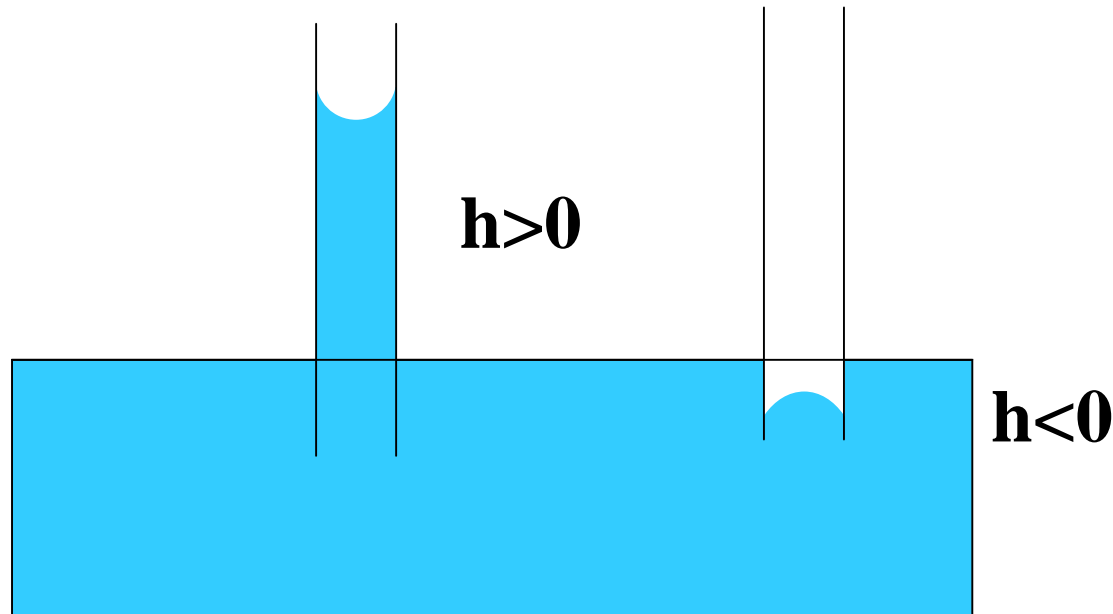
# Adesão capilar



**Se o líquido molhar as paredes do sólido com que está em contacto (ex., placas de vidro), ocorre adesão. Se o líquido não molhar, há repulsão.**

# Ascensão e depressão capilar

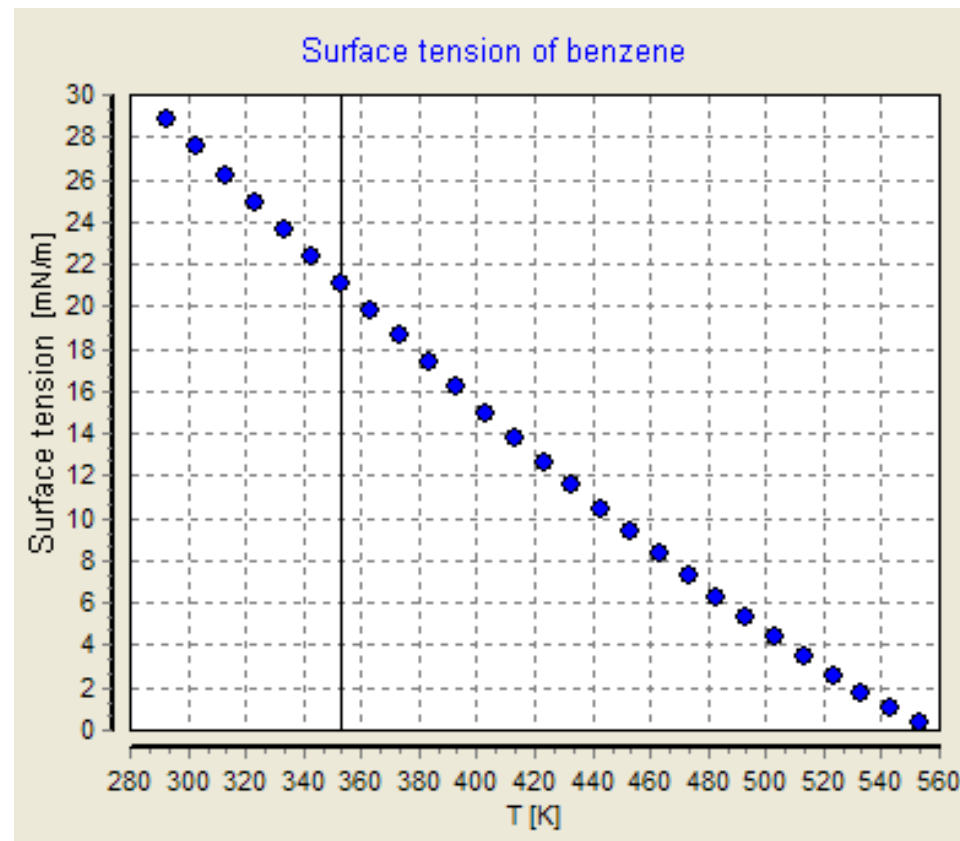
- $\rho gh = 2\gamma/R$ , depende da curvatura do menisco, portanto do raio do capilar e do ângulo de contacto sólido líquido.





# Efeito da temperatura sobre a tensão superficial

- Eötvös:  $\gamma V^{2/3} = k(T_C - T)$
- Guggenheim-Katayama:  $\gamma = \gamma^o \left(1 - \frac{T}{T_C}\right)^n$



# Superhidrofobicidade: superfície nanorugosa, estruturada





Examine esta  
figura e tire  
tantas  
conclusões  
quantas  
conseguir

# Experimentos

- *Escolha e faça pelo menos um dos experimentos que estão no site:*
- [http://physics.about.com/od/physicsexperiments/a/surfacetension\\_4.htm](http://physics.about.com/od/physicsexperiments/a/surfacetension_4.htm)