

# Maddelerin Fiziksel Özellikleri

# Sıvıların Viskozluğu

**Viskozluk:** Gazlar gibi sıvılar da akmaya karşı bir direnç gösterirler. Akışkanların gösterdiği bu dirence viskozluk denir ve  $\eta$  ile simgelenir.

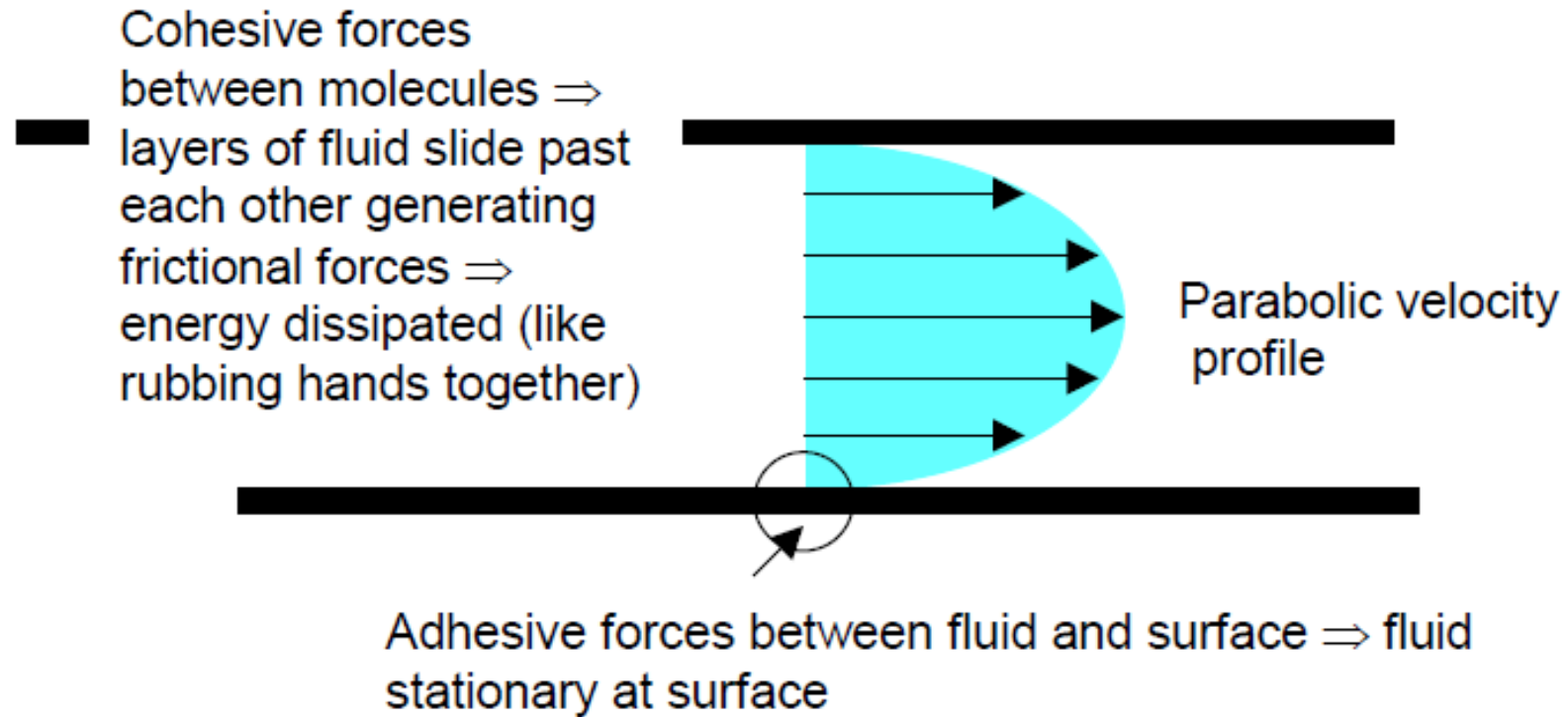
**Akıcılık:** Viskozluğun tersi olan niceliğe akıcılık denir ve  $\phi$  ile sigelenir. Akıcılık ve viskozluk ters orantılıdır.

$$\phi = 1/\eta$$

Bir boru içinde akan bir sıvının akış hızı:

- Akımı sağlayan yürütücü kuvvet (borunun iki ucu arasındaki basınç farkı)
- Akımı engellemeye çalışan kuvvet (sıvı moleküllerinin birbirleri ve aktıkları borunun çeperleri ile yaptıkları sürtünme)

## Flow of a viscous newtonian fluid through a pipe Velocity Profile



- Bir akışkan bir yüzey üzerinden geçerek aktığı zaman, yüzeye hemen komşu olan akışkan tabakası durgun haldedir, yüzeyden itibaren birbirini izleyen tabakaların hızları giderek artar, yani yüzeye yakın tabakaların hızları düşük, yüzeyden uzak olan tabakaların hızları ise daha yüksektir.

### Newton'un viskoz akış (diğer adıyla laminer veya tabakalı akış) kanunu:

Sıvı içerisinde iki komşu tabakanın ( $dv$  kadar akma hızı farkına sahip ve birbirlerinden  $dx$  kadar bir mesafe ile ayrılmış) birbirine göre hareketine direnç gösteren  $F_y$  sürtünme kuvveti,  $A$  yüzey alanı ve  $dv_y/dx$  (hız gradienti) ile orantılıdır.

$$F_y = \eta \cdot A \cdot (dv_y/dx)$$



- SI birim sisteminde viskozitenin birimi Pa.s (pascal x saniye)dir. Bu birim  $\text{kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$  ile eşdeğerdir. CGS birim sistemindeki viskozite birimi ise poise ( $\text{gcm}^{-1}\text{s}^{-1}$ )'dir.

$$1 \text{ poise} = 0.1 \text{ Pa.s}$$

**Laminer akış:** Sıvının *akış hızının çok büyük olmadığı* durumlarda gözlenir. Düzlemsel ve sadece akım yönünde harekettir.

**Türbülans (Türbülent) Akış:** *Hızlı akma durumlarında*, tabakalı akış kaybolup türbülanslı akış şekli ortaya çıkar. Her yöne, üç boyutlu harekettir.

**Reynolds sayısı (Re):** Akımın türünü belirleyen boyutsuz bir nicelik

$$Re = Dv\rho/\eta$$



Re < 2100 (Laminer Akış)

Re > 4000 (Türbülent Akış)

Arası: Kararsız durum

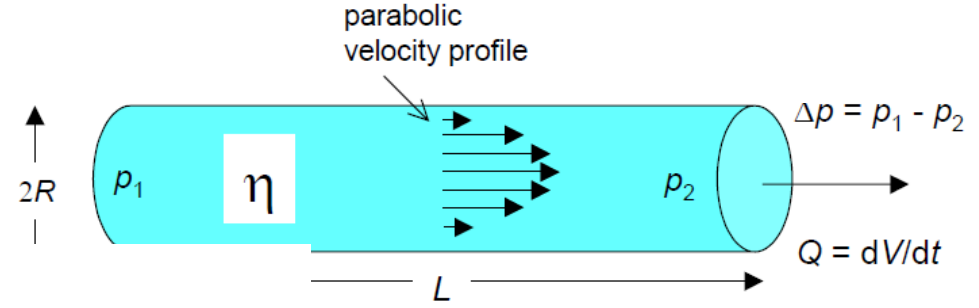
D: borunun iç çapı

v: boru boyunca akışkanın ortalama akım hızı

$\rho$ : akışkanın yoğunluğu

$\eta$ : akışkanın viskozitesi

# Poiseuille Denklemi



Yarıçapı  $x$  ve uzunluğu  $L$  olan bir sıvı silindirin akabilmesi için sıvı silindir üzerine etkiyen basınç kuvvetinin en az sürtünme kuvvetine eşit ya da ondan büyük olmalıdır.

$F$  (basınç kuvveti) =  $F$  (sürtünme kuvveti)

$$(p_1 - p_2) \cdot \pi \cdot x^2 = \eta \cdot (2 \pi \cdot x \cdot L) \cdot (dv_y/dx)$$

$$dv_y = [(p_1 - p_2) \cdot x / (2 \eta \cdot L)] dx$$

Bir saniyede akan sıvının hacmi ( $V$ ) =  $\pi \cdot x^2 \cdot v_y$

Akan hacmin hızla değişimi  $dV/dv_y = \pi \cdot x^2$

$$dV = [\pi \cdot (p_1 - p_2) \cdot x^3 / (2 \eta \cdot L)] dx$$

$R$  yarıçaplı borudan akan sıvının tüm hacmi (hacimsel debisi):  $\int_0^v dV = \int_0^R [\pi \cdot (p_1 - p_2) \cdot x^3 / (2 \eta \cdot L)] dx$

$$V = \pi \cdot (p_1 - p_2) \cdot R^4 / (8 \eta \cdot L) = \pi \cdot (\Delta p) \cdot R^4 / (8 \eta \cdot L)$$

\*\*\* sadece Laminar akış için geçerlidir

## Hagen-Poiseuille Denklemi (gaz ve buharların viskozitesi için)

- Eğer akışkan gaz ya da buhar ise  $V$  hacimsel debisi  $p_1$  ve  $p_2$  basınçlarında farklıdır.

$$dV/dt = \pi \cdot (p_1^2 - p_2^2) \cdot R^4 / (16\eta \cdot \ell \cdot p_o)$$

$V$  = hacim

$\ell$  = tübün uzunluğu

$P_o$  = hacmin ölçüldüğü basınç

# Viskozluk Ölçümü

## Ostwald viskozimetresi kullanarak:

Bir sıvının viskozitesi düşey boru kullanılması halinde; borunun çıkış ve giriş uçları arasındaki akışkan basınçlarının farkı ( $\Delta P$ ), sıvılarda hidrostatik basınca eşit alınabilir,

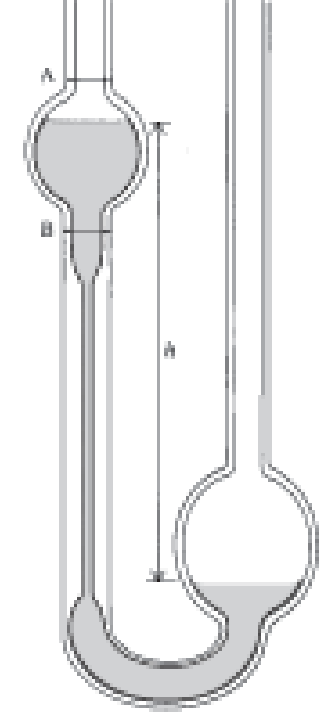
$$\Delta P = h\rho g$$

Burada  $\rho$  sıvının yoğunluğu,  $g$  ise yerçekimi ivmesidir.

$$V_{hd} = V/t = \pi \cdot (\Delta p) \cdot R^4 / (8\eta \cdot L) = \pi \cdot h\rho g \cdot R^4 / (8 \cdot \eta \cdot L)$$

$$\eta = \pi \cdot h\rho g \cdot R^4 / (8 \cdot (V/t) \cdot L) = \frac{\pi \cdot h \cdot g \cdot R^4}{8 \cdot V \cdot L} \rho \cdot t$$

Böyle bir viskozimetre için:  **$\eta = k \cdot \rho \cdot t$**



**Figure 15.11**

Ostwald viscometer. One measures the time for the liquid to fall from level A to level B. The pressure difference driving the liquid through the tube is  $\rho gh$ , where  $h$  is shown and  $\rho$  and  $g$  are the liquid's density and the gravitational acceleration.



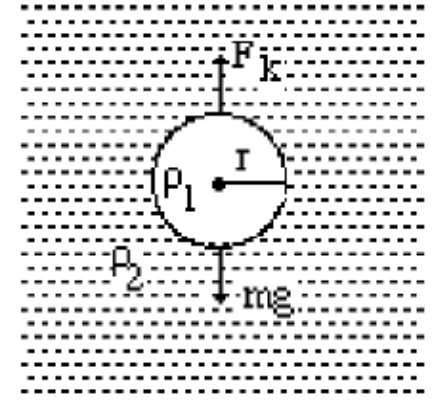
➤ Eğer eşitlik, aynı viskozimetrede iki ayrı sıvı için yazılıp taraf tarafa oranlanırsa:

$$\eta_2/\eta_1 = \rho_2 \cdot t_2 / \rho_1 \cdot t_1$$

➤ Yoğunlukları belli iki farklı sıvının bir Ostwald viskozimetresinden akma süreleri ölçülerek ikinci sıvının bağıl viskozluğu; birinci sıvının mutlak viskozluğu bilindiğinde ise ikinci sıvının mutlak viskozluğu bulunur.

## Stokes metodu kullanarak:

Bir metal kürenin sıvı içindeki düşme süresi ölçülerek viskozluk belirlenebilir.



Stokes'e göre  $r$  yarıçaplı bir küre bir sıvı içerisinde sabit bir  $v$  hızı ( $dx/dt$ ) ile düşerken karşılaştığı sürtünme kuvveti:

$$F = 6 \pi \eta r v$$

"Stokes katsayısı" veya "sürtünme katsayısı"

Sıvı içerisinde sabit  $v$  hızıyla düşen küre üzerine etkiyen sürtünme kuvveti, kürenin sıvı içerisindeki ağırlık kuvvetine eşittir.

Böylece;  $mg = 6 \pi \eta r v$

$$mg = 6 \pi \eta r v$$

$$\frac{4}{3}\pi r^3(\rho_1 - \rho_2)g = 6 \pi \eta r v$$

$$\eta = \frac{2r^2(\rho_1 - \rho_2)g}{9v}$$

$$v = x/t$$

Böylece, yarıçapı  $r$  ve yoğunluğu  $\rho_1$  olan bir kürenin yoğunluğu  $\rho_2$  olan bir sıvı içerisindeki düşme hızı ( $v$ ) bulunup, viskozitesi hesaplanabilir.

$$\eta_2/\eta_1 = (\rho - \rho_2) \cdot t_2 / (\rho - \rho_1) \cdot t_1$$

Bağıl viskozluk ( $\rho$ =bilyenin yoğunluğu)

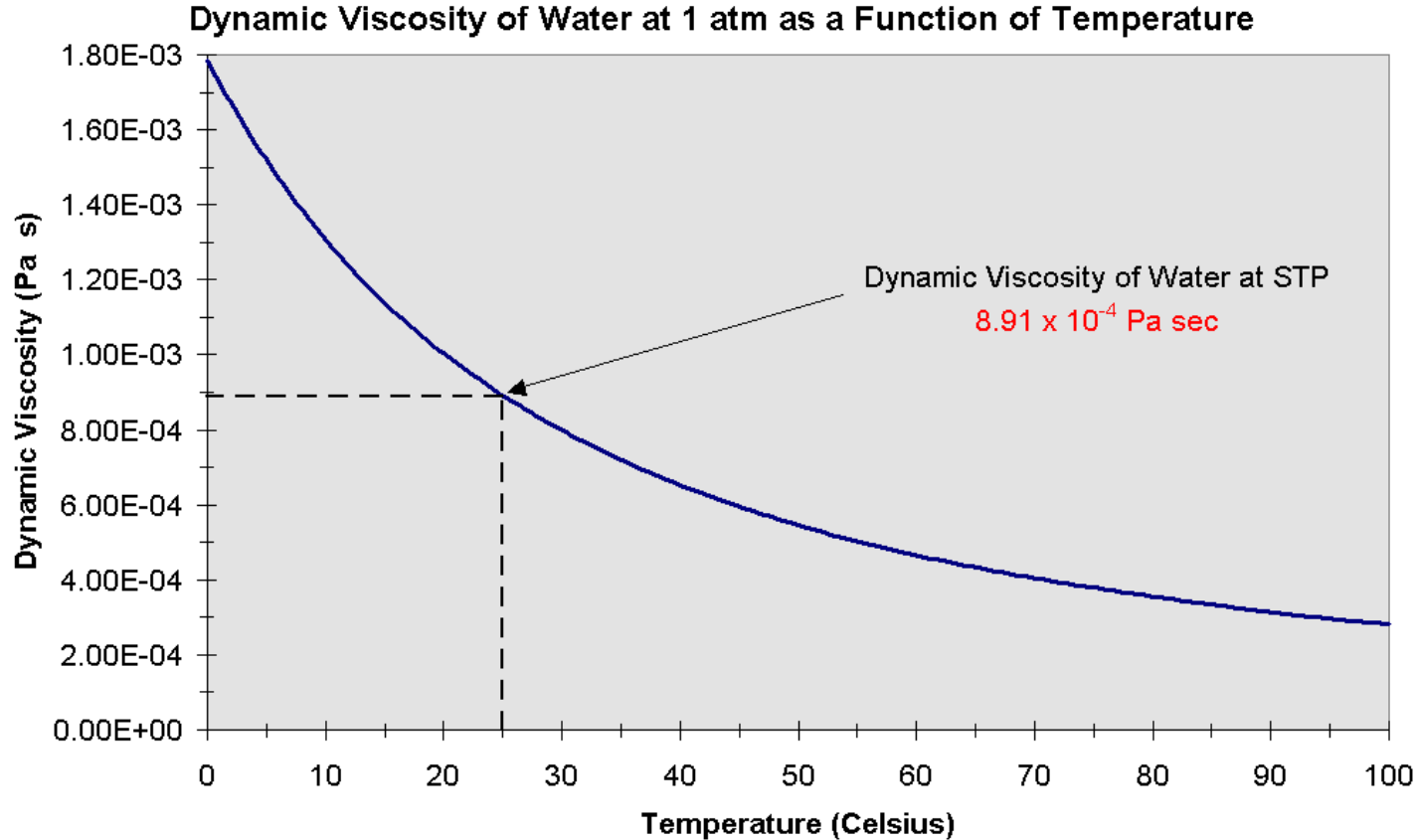
## Viskozluğun sıcaklık ile değişimi

- Çoęu sıvıların viskozitesi, artan sıcaklıkla azalır. Boşluk (hole) teorisine göre, bir sıvı içerisinde boşluklar bulunmaktadır ve moleküller sürekli boşluklara hareket ederler. Bu olay akışa izin verir, fakat bir molekülün bir boşluğa taşınması bir aktivasyon enerjisine ihtiyaç duyduğundan enerji gerektirir. Yüksek sıcaklıklarda, aktivasyon enerjisi daha kolay temin edilebildiğinden, *sıcaklık yükseldikçe sıvı daha kolay akar.*

$$\eta = A \exp(E_a/RT)$$

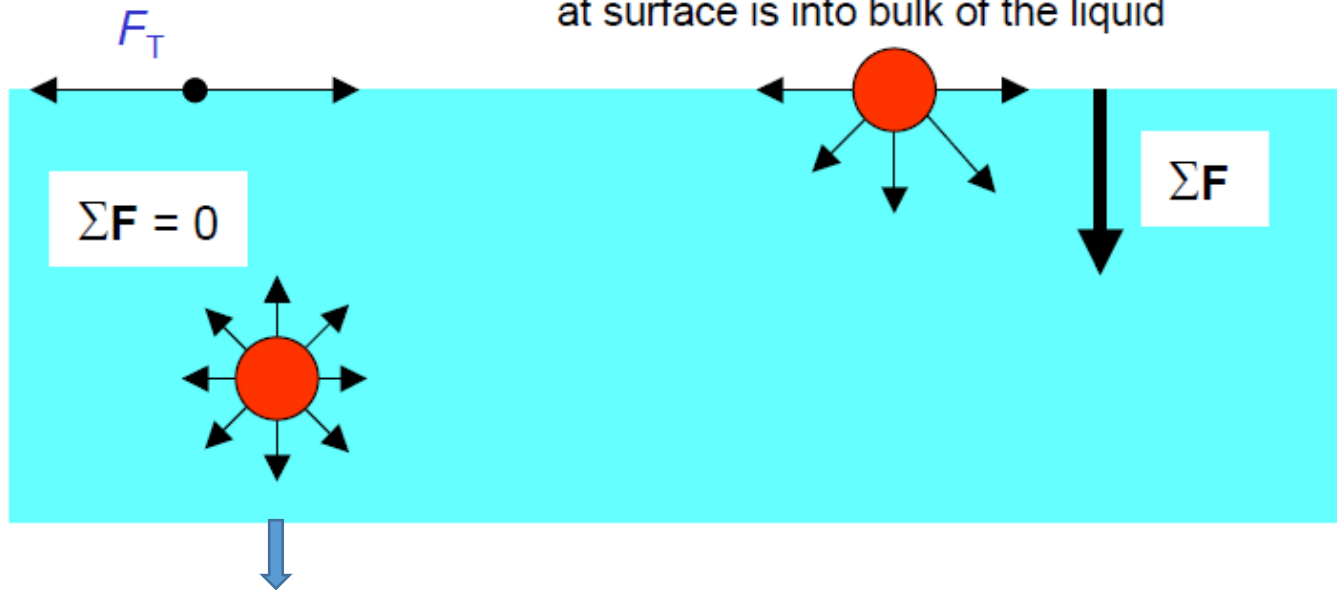
\* $E_a$  viskoz akışa ait aktivasyon enerjisi, A bir sabit.

- Bir sıvının akıcılığı sıcaklıkla üstel bir şekilde değiştiğinden, viskozite ölçümlerinde sıcaklık kontrolüne önem verilmektedir.
- Diğer yandan, artan basınçla bir sıvının viskozitesi azalır, çünkü basıncın arttırılması sıvı içerisindeki boşluk sayısını azaltır ve bunun sonucu moleküllerin hareketi zorlaşır.



# Sıvıların Yüzey Gerilimi

Surface of any liquid behaves as though it is covered by a stretched membrane

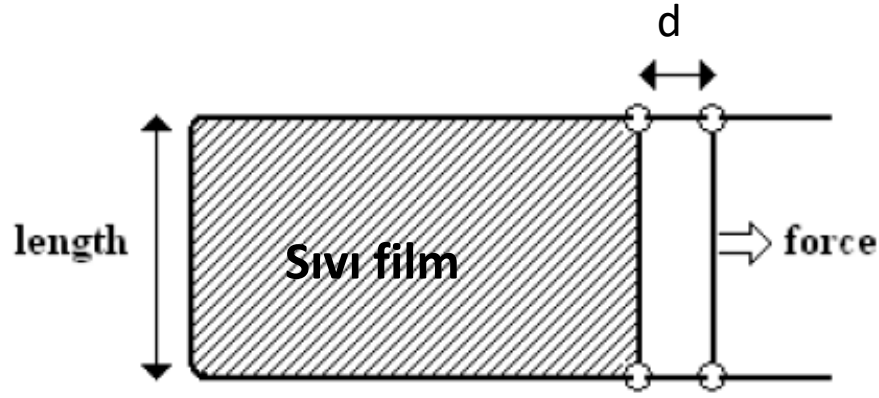


Sıvının içindeki moleküller üzerine etkiyen çekim kuvvetlerinin bileşkesi 0'dır.

Sıvı yüzeyindeki moleküller sıvı içine çeken net bir kuvvetin etkisi altındadır. Yüzeyi küçültmeye çalışan bu kuvvetleri yenmek için dışarıdan sıvıya enerji vermek gerekmektedir.

Sabit sıcaklık ve basınçta sıvı yüzeyini  $1\text{m}^2$  veya  $1\text{cm}^2$  büyütme için verilmesi gereken enerjiye yüzey gerilimi denir. SI birimi:  $\text{J/m}^2$

Sıvı yüzeyinde birim uzunluğu gergin tutan kuvvete yüzey gerilimi denir. SI birimi:  $\text{N/m}$

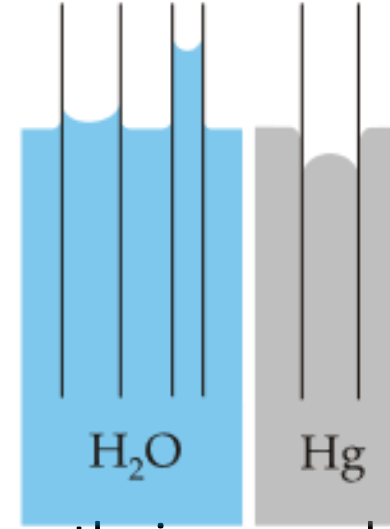


- Uzunluğu  $\ell$  olan tel  $d$  uzaklığa kadar hareket ettirildiğinde, sıvı filmin alanındaki artma  $2\ell d$  olur.
- Sıvının yüzey gerilimi  $\sigma$  olduğuna göre bu alan artışı için gerekli enerji  $2\ell d \cdot \sigma$  olacaktır.
- Bu enerji  $F \cdot d$  işine eşit olmak zorundadır.

$$2\ell d \cdot \sigma = F \cdot d \quad \sigma = F \cdot d / 2\ell d \quad \sigma = F / 2\ell$$

# Yüzey Geriliminin Ölçülmesi

## Sıvıların kılcalda yükselmesi veya düşmesi:



Su gibi ıslatan sıvıların molekülleri ile cam arasındaki çekim kuvvetleri sıvı moleküllerinin birbiri arasındaki çekim kuvvetlerinden daha büyüktür. Sıvı ile cam arasındaki çekim kuvvetlerine **adezyon kuvvetleri** denir. Kılcal boruda yükselmeye bu adezyon kuvvetleri yol açmaktadır.

Civa gibi ıslatmayan sıvının molekülleri ile cam arasındaki çekim kuvvetleri sıvı moleküllerinin birbiri arasındaki çekim kuvvetlerinden çok küçük kalmaktadır. Sıvı molekülleri arasındaki çekim kuvvetlerine **kohezyon kuvvetleri** adı verilir. Kılcal boruda alçalmaya yol açan bu kuvvetler kohezyon kuvvetleridir.

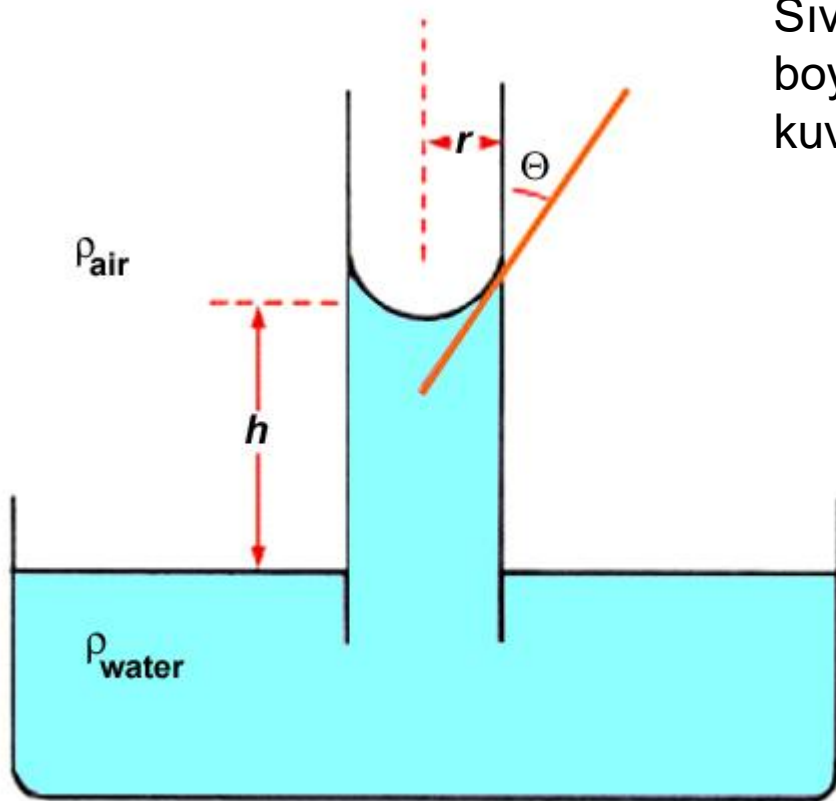
Adezyon kuvvetinin etkin olduğu kılcallarda sıvı yüzeyi iç bükey, kohezyon kuvvetinin etkin olduğu kılcallarda ise dış bükeydir. Kılcal olmayan borularda sıvı yüzeyi düz görünür.



$$2\pi r \underbrace{\sigma \cos\theta}_{\sigma_y} = \pi r^2 \rho g h$$

Sıvıyı kılcal kesitinin tüm çevresi boyunca yukarı doğru çeken toplam kuvvet

= Bir sıvının kılcalda h kadar yükselmesi sonucu aşağı doğru oluşan kuvvet



Kapilerdeki yükselme (h) =  $[2 \sigma \cos\theta] / [r \rho g]$

➤ Tam olarak ıslatılan sıvılarda değme açısı  $0^\circ$ ,  $\cos\theta=1$ 'dir.

$$h = [2 \sigma] / [r \rho g]$$

$$\sigma = r \cdot \rho g h / 2$$

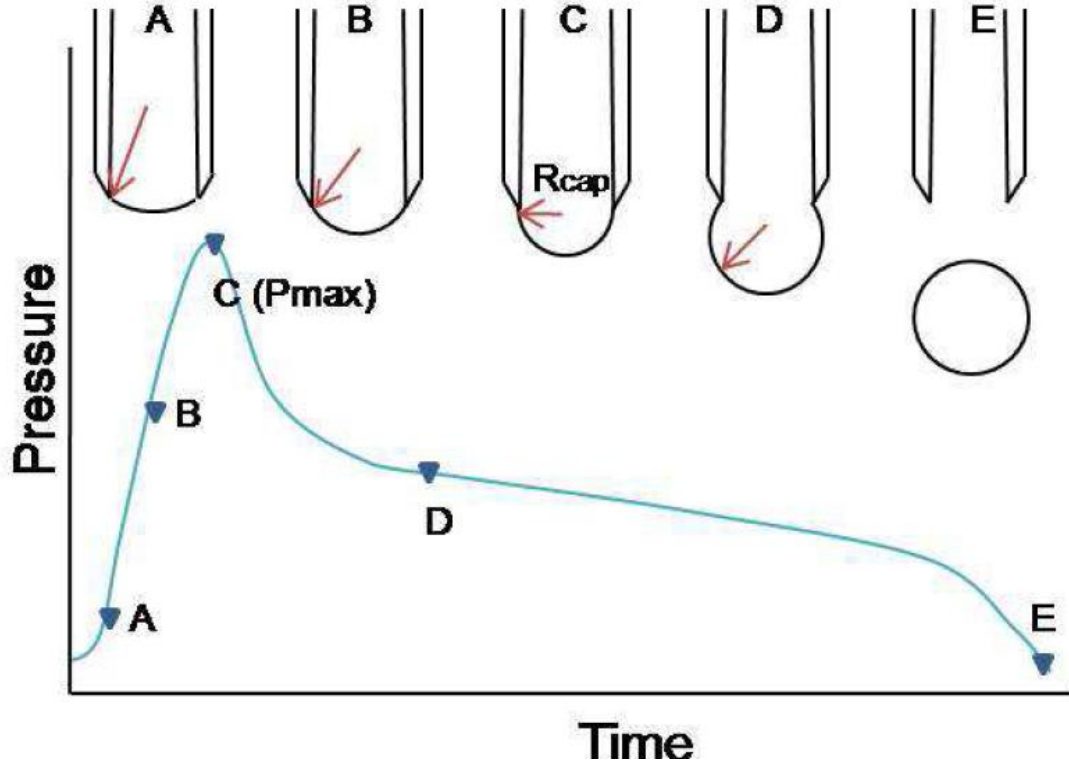
$$\sigma = r \cdot \Delta p / 2$$



Yükselen sıvı sütununun basıncı

Islatan sıvıların kılcal boruda kendiliğinden yükselişi

## Maksimum kabarcık basıncı



- İçinde h yüksekliğinde sıvı bulunan kılcal borunun alt ucundan kabarcık çıkana dek üst ucundan gönderilen havaya uygulanan basınç ölçülebilmektedir.

- $P_{max} = 2\sigma/r$

When the capillary is immersed into the liquid with a depth  $h$ , the respective hydrostatic pressure is measured in addition:

$$P_{max} = 2\sigma/r + \Delta \rho g h$$

$\Delta \rho$  is the density difference of the liquid to air, and  $g$  is the gravity constant.

## Damla Sayısı (Stalagmometre) metodu

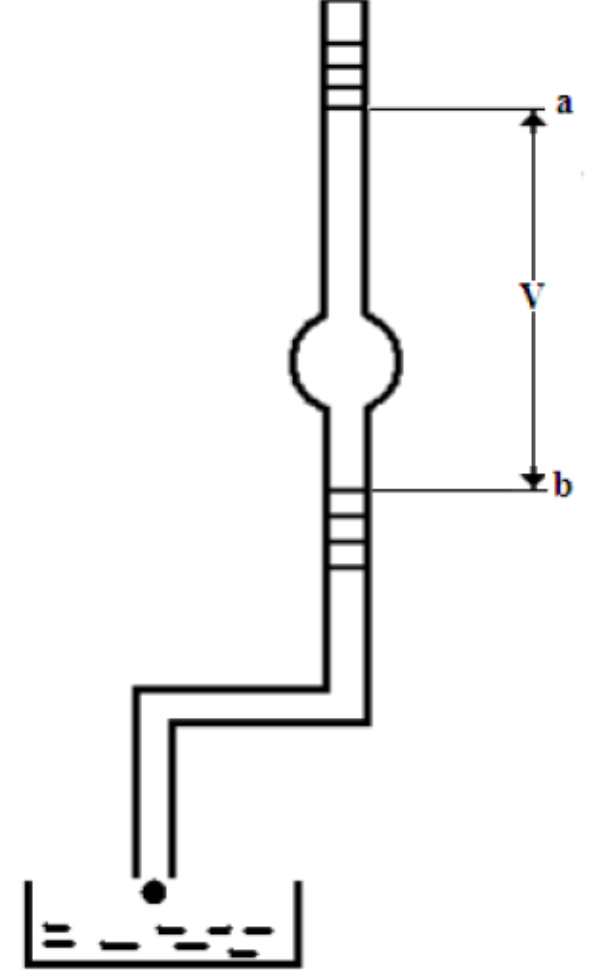
- Bu metoda göre kılcal bir borudan düşen damlanın ağırlığı  $mg$  tam düşme anında borunun çevresindeki sıvının yüzey gerilim kuvvetine eşit olacaktır.

$$2\pi r.\sigma = mg = (V/n)\rho g$$

- $V$  hacminden oluşan damlaların sayısı  $n$ , ve yoğunluğu  $\rho$

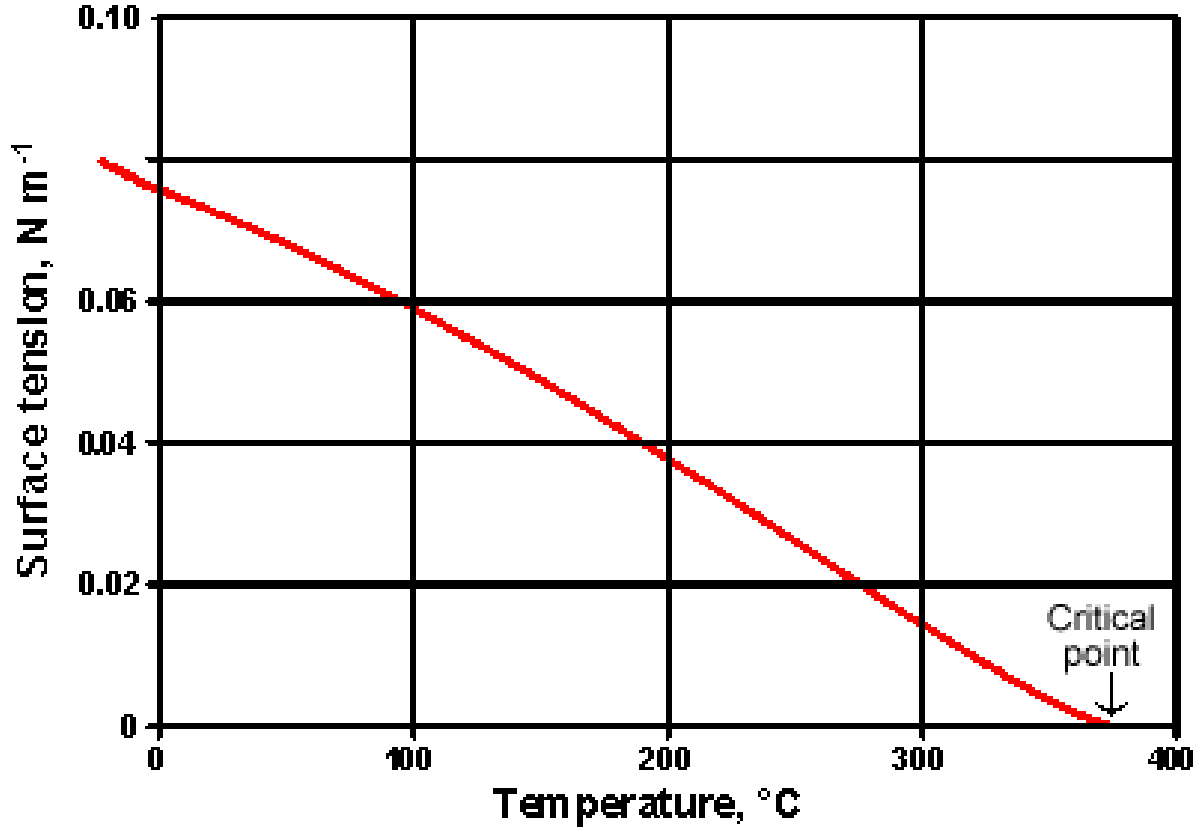
$$\sigma_2 / \sigma_1 = m_2 / m_1 = n_1 \rho_2 / n_2 \rho_1$$

\*Damla sayıları yüzey gerilimi ile ters orantılıdır.



# Yüzey geriliminin sıcaklığa bağılılığı

H<sub>2</sub>O  $\sigma = 72.75 \text{ mJ/m}^2$  at 20°C



- Sıvıların yüzey enerjisi sıcaklıkla doğrusal olarak azalmaktadır.
- Bu azalma sıcaklık yükseldikçe moleküller arasındaki çekim kuvvetlerinin azalmasından kaynaklanmaktadır.
- Sıvının tümüyle ortadan kalktığı T kritik sıcaklığında yüzey gerilimi 0'dır.