

# خواص فیزیکی الیاف

خاصیت ترشوندگی و فتیله ای الیاف

## Wetting & Wicking of fibers

دانشگاه صنعتی اصفهان  
دانشکده مهندسی نساجی

صدیقه برهانی

اثر متقابل سازه های لیف- مایع :

- ترشوندگی (Wetting)
- انتقال (Transport)
- نگهداری (Retention)

رفتار ترشوندگی و فتیله ای برای توصیف انتقال مایع در محیط های لیفی مثل فیلترها، جاذب ها و .... مهم است.

رفتار ترشوندگی و فتیله ای سازه های لیفی، یکی از عوامل مهم در تعیین کارایی محصولاتی مانند لباس های ورزشی، محصولات پزشکی، مواد بهداشتی یکبار مصرف، لباس های محافظ و... است.

ترشوندگی و خاصیت فتیله ای در حین پوشش لباس، بر راحتی پوشش لباس نیز اثرگذار است.

• نیروهای وارد بر ملکولهای درون مایع یک جاذبه متعادل است در حالیکه نیروهای وارد بر ملکولها در سطح مایع نامتعادل است، لذا در سطح مایع انرژی آزاد وجود دارد.

• "انرژی آزاد سطحی" مایع باعث میشود که مساحت سطح مایع همواره حداقل باشد و پیشرفت مایع بر سطح جامد را محدود می کند.

• شرط تر شدن سطح جامد توسط مایع و یا فرورفتن جامد در مایع، این است که "انرژی سطح" جامد در حدی باشد که بتواند بر "انرژی آزاد سطحی" مایع غلبه کند.

• انرژی آزاد سطح بطور کمی از طریق اندازه گیری انرژی بر واحد سطح، بیان میشود. این ترم "کشش سطحی" نامیده میشود.

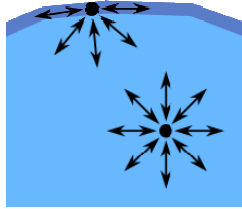
• خاصیت فتیله ای (Wicking)، انتقال خودبخود یک مایع بداخل یک محیط متخلخل، توسط نیروی موئینگی است.

• ترشوندگی (Wetting) یک شرط لازم برای خاصیت فتیله ای است.

• مایعی که نمی تواند لیف را تر کند، نمی تواند در پارچه هم صعود کند (Wicking).

• برای اینکه یک مایع در یک لیفی حرکت کند، باید قبل از اینکه از طریق موئینگی از میان منافذ بین الیاف انتقال یابد، سطح لیف را تر کند.

## کشش سطحی (Surface tension)



نمودار نیروهای وارد شده  
به دو مولکول از مایع

- The **cohesive** forces between liquid molecules are responsible for the phenomenon known as surface tension.

### کشش سطحی (Surface tension)

- کشش سطحی کمیتی است که بعد نیرو در واحد طول یا انرژی در واحد سطح دارد و معمولاً با  $\gamma$  نشان داده می‌شود.

- $W = \text{کار لازم برای افزایش سطح مشترک}$
- $dA = \text{افزایش سطح مشترک}$

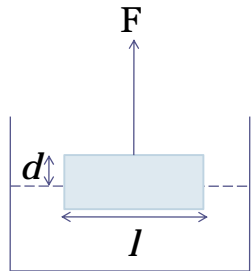
$$W \propto dA$$

$$W = \gamma_{ab} dA$$



- $\gamma$  ضریب تناسب است که متناسب با  $a$  و  $b$  تغییر می‌کند (کشش سطحی)

- کشش سطحی را همچنین می‌توان مقدار کار لازم برای ایجاد واحد سطح مشترک جدید در نظر گرفت.



- طبق تعریف کشش سطحی:

$$W = 2\gamma l d \Rightarrow \gamma = \frac{W}{2ld}, \quad J/m^2, \quad \text{erg}/cm^2$$

- کار لازم برای بیرون کشیدن طول  $d$  صفحه از درون مایع:

$$W = F.d$$

$$2\gamma l d = F.d \Rightarrow \gamma = \frac{F}{2l}, \quad N/m, \quad \text{dys}/cm$$

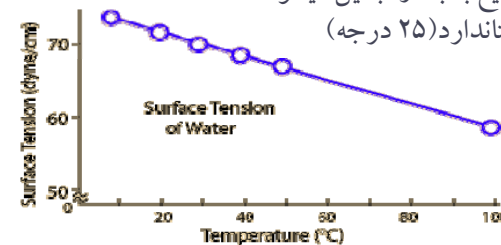
### عوامل موثر بر کشش سطحی:

- دما
- ناخالصیها
- هندسه سطح (صاف یا ناصاف)

### رابطه کشش سطحی با دما:

$$\gamma = \gamma_0 \left(1 - \frac{T}{T_c}\right)^{11/9}$$

$T_c = \text{دمای بحرانی که در آن مایع به بخار تبدیل میشود.}$   
 $\gamma = \text{کشش سطحی در دمای استاندارد (۲۵ درجه)}$



- ❖ When attractive forces are between like molecules, they are referred to as **cohesive forces**.
- For example, the molecules of a water droplet are held together by cohesive forces, and the especially strong cohesive forces at the surface constitute **surface tension**.
- ❖ When the attractive forces are between unlike molecules, they are said to be **adhesive forces**.
- The adhesive forces between water molecules and the walls of a glass tube are stronger than the cohesive forces lead to an upward turning meniscus at the walls of the vessel and contribute to **capillary action**.

### کشش سطحی در پدیده‌های روزمره



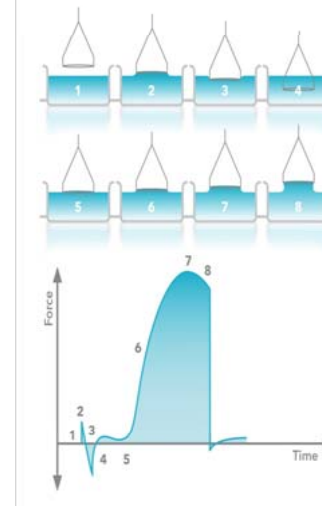
- کشش سطحی آب:

دانه‌دانه شدن قطره‌های باران روی سطح خودرو.  
آب به سطوح روغنی، بسیار کم جذب می‌شود و به خودش به شدت جذب می‌شود. از همین رو، روی سطح خودرو قطره تشکیل می‌دهد.

### • How is surface tension measured?

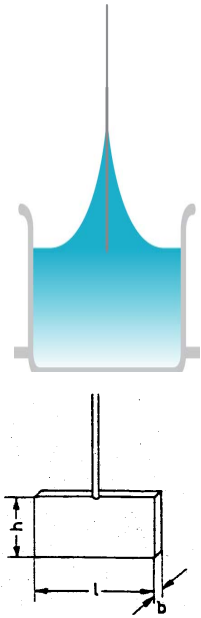
- ❖ Force tensiometers
  - The measurement of surface and interfacial tension is based on force measurements of the interaction of a probe with the surface of interface of two fluids:
    - *Du Noüy ring*
    - *Wilhelmy Plate*
  - The forces present in this situation depend on the:
    - size and shape of the probe,
    - contact angle of the liquid/solid interaction
    - surface tension of the liquid
- ❖ Optical tensiometers (contact angle meter or goniometer)
  - Surface and interfacial tension can be measured by a so-called pendant drop shape analysis (or reverse pendant drop).

### • *Du Noüy ring method*



- 1 - The ring is above the surface and the force is zeroed.
- 2 - The ring hits the surface and there is a slight positive force due to the adhesive force between ring and surface.
- 3 - The ring must be pushed through the surface (due to the surface tension) which causes a small negative force.
- 4 - The ring breaks through the surface and a small positive force is measured due to the supporting wires of the ring.
- 5 - When lifted through the surface the measured force starts to increase.
- 6 - The force keeps increasing until
- 7 - The maximum force is reached
- 8 - After the maximum there is a small decrease of in the force until the lamella breaks.

$$\gamma = K F_{\max}$$



### • Wilhelmy Plate method

- This method utilizes the interaction of a platinum plate with the surface being tested. The calculations for this technique are based on the geometry of a fully wetted plate in contact with, but not submerged in, the heavy phase. In this method the position of the probe relative to the surface is significant. As the surface is brought into contact with the probe instrument will notice this event by the change in forces it experiences. It will register the height at which this occurs as the 'zero depth of immersion'. The plate will then be wetted to a set depth to insure that there is indeed complete wetting of the plate (zero contact angle). When the plate is later returned to the zero depth of immersion, the force it registers can be used to calculate surface tension.

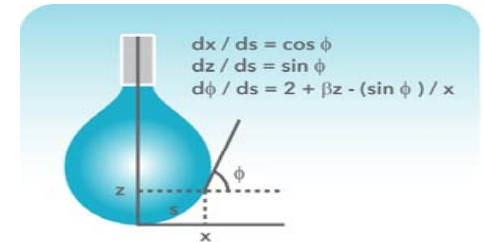
$$\gamma = F_{\max} / L$$

### • Optical tensiometry

- The shape of a drop of liquid hanging from a syringe tip is determined from the balance of forces which include the surface tension of that liquid. The surface or interfacial tension at the liquid interface can be related to the drop shape through the following equation:

$$\gamma = \Delta\rho \cdot g \cdot R_0^2 / \beta$$

$\gamma$  = surface tension  
 $\Delta\rho$  = difference in density between fluids at interface  
 $g$  = gravitational constant  
 $R_0$  = radius of drop curvature at apex  
 $\beta$  = shape factor



## ترشوندگی wetting

- ترشوندگی جایگزینی سطح مشترک جامد-هوا با سطح جامد-مایع است
- تماس قطره با سطح منجر میشود به:
  - ترشدن جزئی با زاویه تماس  $\theta$
  - ترشدن کامل با زاویه تماس صفر
- $\theta$  = زاویه تماس سطح مایع و امتداد سطح

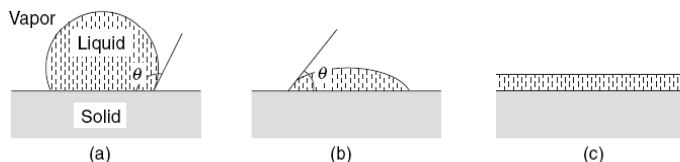


Fig. 11 A small liquid droplet in equilibrium over a horizontal surface: (a) partial wetting, mostly non wetting, (b) partial wetting, mostly wetting, (c) complete wetting

- معادله Young Dupree برای توصیف نیروهای وارد بر مرز در حال تعادل استفاده می شود:

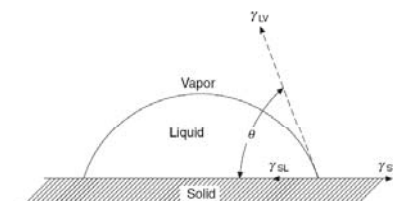
$$\gamma_{SV} - \gamma_{SL} = \gamma_{LV} \cos \theta$$

$\gamma_{SV}$  = کشش بین سطحی جامد-بخار  
 $\gamma_{SL}$  = کشش بین سطحی جامد-مایع  
 $\gamma_{LV}$  = کشش بین سطحی مایع-بخار

معادله یانگ دوپری فقط برای یک قطره در تماس با یک سطح صاف، هموژن، نفوذناپذیر و تغییرشکل ناپذیر معتبر است.

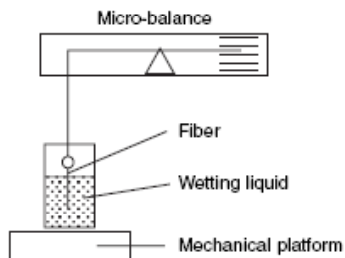
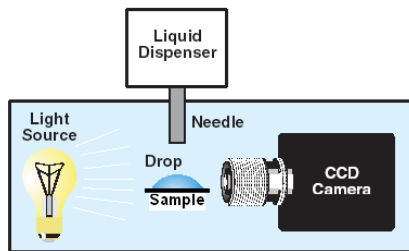
$$\gamma_{LV} \cos \theta = \text{قابلیت ترشوندگی ویژه}$$

اگر  $\theta \leq 90^\circ$  مایع ترکننده است و اگر مایع آب باشد سطح آبدوست نامیده میشود.  
اگر  $\theta > 90^\circ$  مایع غیر ترکننده است و اگر مایع آب باشد سطح آبگریز نامیده میشود.

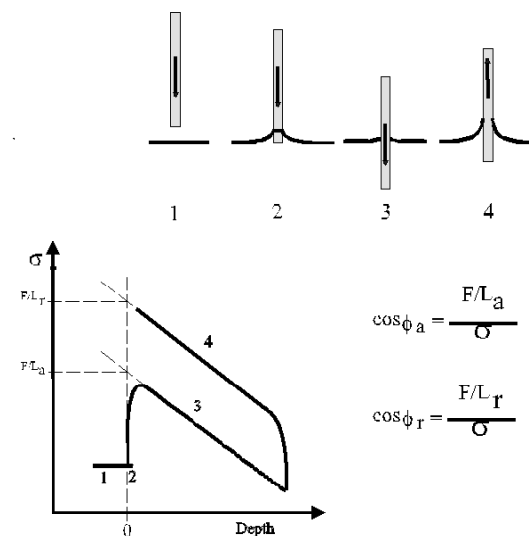
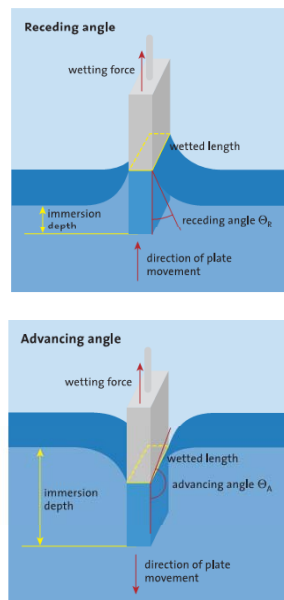


قابلیت ترشدن الیاف به:  
ماهیت شیمیایی لیف  
هندسه الیاف بویژه ناهمواری های سطحی  
بستگی دارد.

### روشهای اندازه گیری زاویه تماس



Wilhelmy method for measuring interfacial tension between liquid/fiber



## Surface Tension and Bubbles

- The **pressure** difference between the inside and outside of a bubble depends upon the surface tension and the radius of the bubble.

$$F = (P_i - P_o) \pi r^2$$

$$F = 2\gamma(2\pi r)$$

$$\Delta P = (P_i - P_o) = \frac{4\gamma}{r} \text{ for a bubble}$$

$$\Delta P = (P_i - P_o) = \frac{2\gamma}{r} \text{ for a droplet which has only one surface}$$



معادله یانگ-لاپلاس 
$$\Delta P = 2\gamma_{LV} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

## خاصیت فتیله ای Wicking

- خاصیت فتیله ای (Wicking)، انتقال خودبخود یک مایع بداخل یک محیط متخلخل، توسط نیروی موئینگی است.

- کشش سطحی مایع سبب اختلاف فشار در سطح منحنی مایع - بخار می شود.

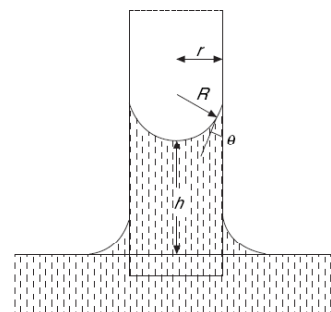


Fig. 12 Wicking in a capillary

$$\Delta P = \frac{2\gamma_{LV}}{R}$$

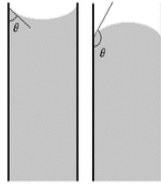
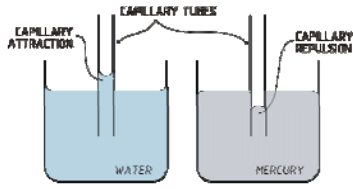
$$R = \frac{r}{\cos \theta} \Rightarrow \rho gh = \frac{2\gamma \cos \theta}{r} \Rightarrow \gamma = \frac{\rho ghr}{2 \cos \theta}$$

$$\Delta P = \rho gh$$

- با توجه به معادله یانگ-لاپلاس

برای یک موئینه با سطح مقطع دایره ای، شعاع انحنای R<sub>2</sub>, R<sub>1</sub> برابرند لذا خواهیم داشت:

## موینگی Capillary



ارتفاع صعود مایع برابر است با

$$h = \frac{2\gamma \cos \theta}{\rho g r}$$

ارتفاع مایع بالاآمده است

$\gamma$  کشش سطحی بین مایع و هواست.

$\rho$  چگالی مایع است.

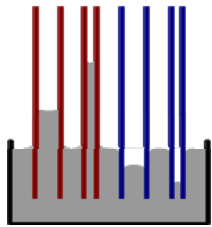
$r$  شعاع لوله موینگی است.

$g$  شتاب گرانش است.

$\theta$  زاویه تماس مایع و سطح لوله است.

اگر  $\theta$  بیشتر از  $90^\circ$  باشد، مثل جیوه در لوله

شیشه‌ای، مایع به جای بالا آمدن پایین می‌رود.



چسبندگی آب به لوله قرمز رنگ بیشتر و به لوله آبی رنگ کمتر از چسبندگی آب به خودش است

• در اغلب فرایندهای نساجی زمان محدود است بنابراین سنتیک پدیده wicking خیلی مهم است.

• معادله Washburn- Lucas (برای توصیف سرعت حرکت مایع در یک موئینه):  
فرضیات:

• آب در فضای بین الیاف نفوذ می کند

• آب در اثر خاصیت موئینگی در فضای بین الیاف نفوذ می کند

• سطح مقطع فضایی که آب نفوذ میکند دایره است

$$\frac{dh}{dt} = \frac{r\gamma \cos \theta}{4\eta h}$$

$$h = \left( \frac{r\gamma \cos \theta}{2\eta} t \right)^{1/2} = Kt^{1/2}$$

• شعاع موئینه  $r$

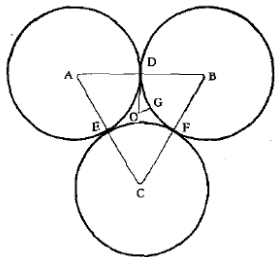
• کشش سطحی  $\gamma$

• زاویه تماس  $\theta$

• گرانروی  $\eta$

• طول پیشروی  $h$

## عوامل موثر بر سرعت انتقال مایع در نخ



شکل ۴- روزه حاصل از قرارگرفتن الیاف در کنار یکدیگر.

کشش سطحی و گرانروی مایع  
زاویه تماس لیف و مایع  
شعاع موئینگی حاصل از همجواری الیاف در نخ  
ناهمواریهای سطحی الیاف

$$S_{DEF} = (2\sqrt{3} - \pi)R^2 / 2$$

## روش اندازه گیری سرعت نفوذ مایع

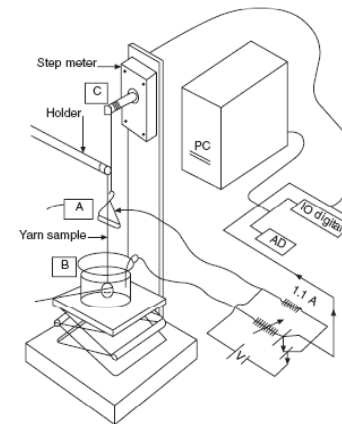


Diagram of the apparatus used for determination of the time required for vertical wicking of water in given length of yarn [121 Ansari]



$F_A = P_A A_s$  = Air pressure  $\times$  cross-sectional area of the cylinder, a downward force on the solid.

$F_B = P_L A_s$  = Upward force (buoyancy) on the solid produced by the liquid pressure at depth  $y$ . This is equal to  $P_L A_s + \rho_L g y A_s$ ,  $y$  being the depth of immersion measured from the horizontal surface of the liquid, and  $\rho_L$  the density of the liquid.

Wetting force ( $F_w$ ) is the vertical component of the liquid-vapor surface tension a downward or upward pull. This is an external force because it originates in the liquid-vapor interface outside the control volume.

Under equilibrium, the measured force,  $F$  is given by:

$$F = \gamma_{LV} P \cos \theta + m_s g - \rho_L g y A_s \quad (8)$$

Equation (8) is the general form of the Wilhelmy relationship, which includes the weight in air of the solid, usually nulled out in the experiment, and the buoyancy force, which must be considered if there is anything other than zero immersions. Once these forces are accounted for, equation (8) becomes  $F_w = \gamma_{LV} P \cos \theta$ , the classic Wilhelmy expression for the corrected measured force. Although the Wilhelmy wetting force technique is an effective tool for studying fiber-liquid interactions, the Wilhelmy equation is based on an assumption that may not be absolutely correct. The magnitude of the attracting force vector is considered to be equal to  $\gamma_{LV}$ . As previously mentioned, there is no reason why the total attraction between solid and liquid could not be greater than  $2 \gamma_{LV}$ . To account for this, the Wilhelmy equation might be changed to [33]:

$$F_w = P \cos \theta (a \gamma_{LV}) \quad (9)$$

where 'a' is a parameter of liquid-solid attraction. This would acknowledge that the interphase attraction is related to  $\gamma_{LV}$  but is not necessarily equal to it.

© The Textile Institut

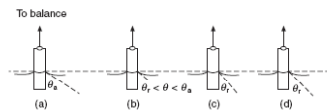


Fig. 8 Sequence of events when an advancing scan is changed to receding [41]Bayramli: (a) the advancing angle  $\theta_a$  before reversal; (b) contact line remains fixed while the liquid level drops and  $\theta$  begins to decrease; (c) the receding angle  $\theta_r$  is established; (d) scanning recommences, the contact line moving downward

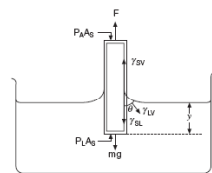


Fig. 5 Diagram of the external and internal forces on a partially immersed suspended cylinder [33] Miller