

## الخواص الفيزيائية للسوائل

### الكثافة:

كثافة المادة هي نسبة كتلتها على حجمها. ويرمز لها بالرمز  $d$  ووحدتها  $g/cm^3$  أو  $Kg/m^3$  بالوحدة الدولية.

$$d = M/ V$$

تتغير الكثافة بتغير كل من درجة الحرارة والضغط . برفع درجة الحرارة تتناقص الكثافة، وبزيادة الضغط تزايد الكثافة.

كثافة الماء المقطر تساوي  $1 g/cm^3 \approx 99.9720$  عند ضغط ١ جو ودرجة حرارة ٤ مئوية.

### طرق قياس الكثافة:

- من أجل الأجسام المتجانسة، بقسمة كتلة الجسم على حجمه. نعين بسهولة كتلة الجسم بواسطة ميزان دقيق وحجم الجسم من خلال الشكل الهندسي للجسم المنتظر، أو بواسطة حجم الماء المنزاح لدى غمره بالماء من أجل الشكل الهندسي المعقد للجسم.
- مثال: أحسب كثافة جسم كتلته ٨٣٠ غرام، وحجم الماء المنزاح عند غمر الجسم بالماء ٣٥٠ سم<sup>٣</sup> عند الدرجة ٢٥ مئوية.

$$d = \frac{M(g)}{V(cm^3)}$$

$$d = \frac{830g}{350cm^3} = 2.37 g/cm^3$$

- من أجل الأجسام غير متجانسة، تتغير الكثافة تبعاً لتغير تركيب ومحتوى المنطقة المأخوذة منها العينة من موضع معين. لذلك تحسب الكثافة من أجل حجم صغير حول المنطقة التي يراد حساب كثافتها.
- من أجل المساحيق، تعتمد على حجم المسحوق حيث أنه قابل للانضغاط.

مثال: من أجل كتلة مسحوق ماء، له حجم معين حيث يتخلله حجماً من الهواء، عند ضغط هذا المسحوق يؤدي ذلك لإزاحة أو طرد الهواء على حساب تناقص حجم كتلة المسحوق، إذا سوف تتزايد كثافة المسحوق من الحالة الأولى إلى الحالة الثانية (مضغوط).

## اللزوجة

وهي مقياس لمقاومة السائل من الانسكاب وهو مقياس لاحتكاك جزيئات السائل مع بعضها البعض عند الانسكاب ويَرمز لها بالرمز  $\eta$ . تزداد قوة الاحتكاك مع زيادة مساحة السطح وتدرج السرعة:

$$F = \eta \cdot S \cdot \frac{dV}{dX}$$

$$\Rightarrow \eta = \frac{F}{S} \times \frac{dX}{dV}$$

وحدة اللزوجة:

$$F: \text{dyn} \quad dx: \text{cm} \quad dv: \text{cm/sec} \quad s: \text{cm}^2$$

$$\eta = \frac{\text{dyn}}{\text{cm}^2} \times \frac{\text{cm}}{\frac{\text{cm}}{\text{sec}}} = \text{dyn} \times \frac{\text{sec}}{\text{cm}^2} \quad 1 \text{dyn} = \frac{1 \text{g.cm}}{\text{sec}^2}$$

$$\Rightarrow \eta = \frac{\text{g.cm}}{\text{sec}^2} \times \frac{\text{sec}}{\text{cm}^2} \quad \eta = \text{g.cm}^{-1}.\text{sec}^{-1} = 1P(\text{Poise})$$

في الجملة الدولية

$$\eta = \frac{N}{m^2} \times \frac{m}{\frac{m}{\text{sec}}} = N \times \frac{\text{sec}}{m^2} \quad N = \text{kg.m.sec}^{-2}$$

$$\eta = \text{kg.m.sec}^{-2} \times \frac{\text{sec}}{m^2}$$

$$\eta = \text{Kg.m}^{-1}.\text{sec}^{-1}$$

طرق قياس اللزوجة:

١. طريقة الأنبوب الشعري: تعتمد هذه الطريقة على العلاقة بين اللزوجة والزمن اللازم لمرور حجم معين من سائل من خلال أنبوب شعري، ويُعطى بالعلاقة التجريبية التالية:

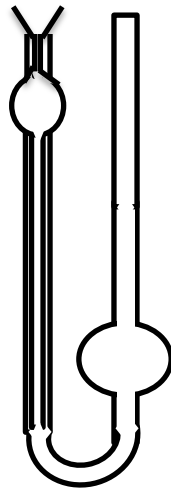
$$\eta = \frac{\pi \cdot R^4 \Delta P \cdot t}{8 \cdot l \cdot V}$$

حيث أن:  $t$  الزمن اللازم لمرور حجم معين من السائل،  $V$  حجم السائل،  $R$  نصف قطر الأنبوب الشعري،  $l$  طول الأنبوب،  $\Delta P$  فرق الضغط بين طرفي الأنبوب.

إن نسبة تغير الضغط على حجم المحلول تمثل كثافة المحلول:  $\frac{\Delta P}{V} = d$

$$\Rightarrow \eta = \frac{\pi \cdot R^4 \cdot d \cdot t}{8 \cdot l}$$

٢. باستخدام جهاز أوستوالد:



**Ostwald's apparatus**

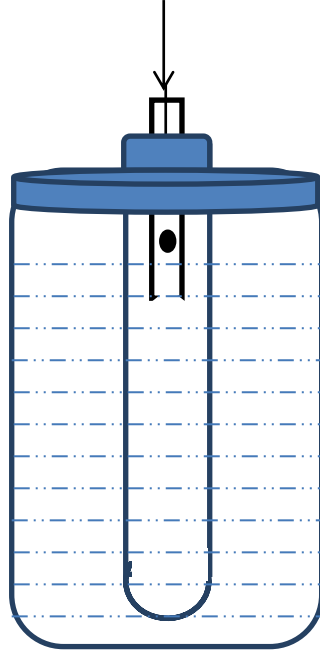
حيث تعين اللزوجة لسائل بطريقة المقارنة مع سائل قياسي معلوم اللزوجة. نحدد زمن مرور حجم معين من سائل معلوم الكثافة ومجهول اللزوجة، ثم نقارن هذا الزمن بزمن مرور نفي الحجم من الماء (معلوم الكثافة واللزوجة) ونطبق العلاقة التناسب التالية:

$$\frac{\eta}{\eta_{H_2O}} = \frac{d \cdot t}{d_{H_2O} \cdot t_{H_2O}}$$

٣. طريقة الكرة الساقطة:

عند سقوط كرة معدنية تحت تأثير الثقالة الأرضية في سائل لزج فإن الكرة تتعرض لمقاومة

الوسط السائل. تعطى قوة المقاومة بقانون ستوك:  $f = 6 \cdot \pi \cdot r \cdot \eta \cdot u$



Falling ball apparatus

تخضع الكرة الساقطة في السائل لقوتين هما:

- الثقالة الأرضية:

$$f_1 = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot D \cdot g$$

حيث أن  $D$  كثافة الكرة. و  $g$  الثقالة الأرضية. و  $R$  نصف قطر الكرة.

- دافعة أرخميدس:

$$f_2 = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot d \cdot g$$

حيث أن  $d$  كثافة السائل.

إذا محصلة القوى تساوي:

$$f = f_1 - f_2$$

$$\Rightarrow f = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot (D - d) \cdot g$$

عند التوازن:

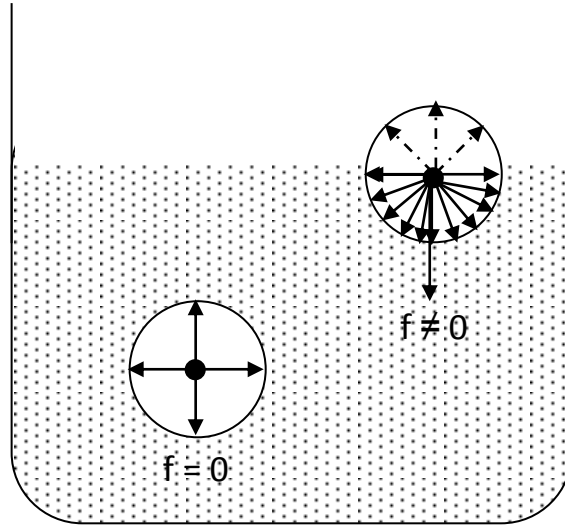
$$6 \cdot \pi \cdot r \cdot \eta \cdot u = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot (D - d) \cdot g$$

$$\eta = \frac{2}{9} \cdot \frac{r^2 \cdot g \cdot (D - d)}{u}$$

## التوتر السطحي

تسعى قطرة السائل بأخذ شكل الكرة حيث تمتلك الكرة شكل هندسي مميز (أصغر نسبة بين السطح والحجم)، لذلك فإن النسبة المئوية لعدد الجزيئات التي تقع على سطح قطرة الكروية لسائل ما، تكون أصغر من النسبة المئوية لعدد الجزيئات التي تقع على سطح أي شكل هندسي آخر. هذا يعني أن طاقة الجزيئات التي تقع على سطح السائل أكبر بكثير من طاقة الجزيئات الواقعة في حجم السائل وان الجزيئات تفضل أن تتراص داخل حجم السائل.

تختلف محصلة القوى على جزيئه واقعة على سطح السائل عنها لجزيئه واقعة داخل السائل. تكون محصلة القوى الجزيئية المؤثرة على جزيئه داخل المحلول من بقية جزيئات محيطة بها تساوي الصفر. في حين أن محصلة القوى الجزيئية لجزيئه واقعة على سطح السائل ليست معدومة وهي تتجه نحو الأسفل. أي تسعى الجزيئات داخل السائل لسحب الجزيئات الواقعة على سطح سائل بقوة عمودية على السطح ومحسوبة من أجل سنتيمتر واحد وتسمى بالضغط الجزيئي أو الضغط الداخلي ويُقدر بوحدة  $\text{dyn/cm}^2$  أو  $\text{N/cm}^2$ . يبين الشكل التالي محصلة القوى الجزيئية لجزيئه تقع على سطح السائل وأخرى في داخل السائل.



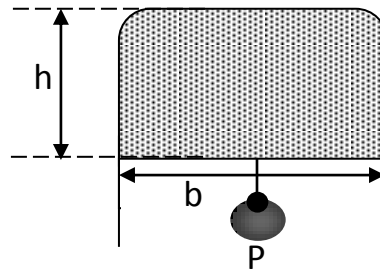
هذا يؤدي إلى تشكل سطح سائل جديد مشوه ويتطلب صرف مقدار معين من العمل أو الطاقة للتغلب على قوى التأثير الجزيئية، ويدعى هذا العمل بالطاقة السطحية:

$$F = \sigma \times s \quad (1)$$

حيث  $\sigma$  الطاقة الحرة لوحدة السطوح أو التوتر السطحي و  $s$  مساحة السطح الفاصل. إذا يسمى المقدار  $\sigma$  بالتوتر السطحي وهو العمل اللازم بذلة من أجل زيادة سطح السائل بمقدار سنتيمتر مربع واحد. أو هو العمل المنسوب إلى واحدة السطوح باعتباره قوة تؤثر على وحدة طول سنتيمتر واحد من الخط المحيط بسطح السائل والتي تعمل على تقليصه.

### تجربة ماكسويل:

سلك معدني على شكل حرف U يتحرك بحرية على ضلعيه السلك B خفيف جداً. يُعلق على السلك الثقل P. كما في الشكل:



نسحب السلك المتحرك كي يلامس تماماً المقطع العلوي للإطار ومن ثم نغمرها في محلول من الصابون. تحت تأثير الثقل P ينزلق السلك إلى المسافة h ليشكل غشاء من السائل بين السلك والإطار. لكي تصبح الجملة بحالة توازن يجب أن يتحقق التساوي بين قوة التوتر السطحي مع قوة الثقل P وتساوي:

$$F = P \times h \quad (2)$$

مساحة غشاء الصابون تساوي لكلا الوجهين  $(2 \cdot b \cdot h)$  فنكون قوة التوتر السطحي:

$$F = \sigma \times 2 \cdot b \cdot h \quad (3)$$

بتساوي العلاقتين 2 و 3 نجد:

$$P \times h = \sigma \times 2 \cdot b \cdot h$$

$$\Rightarrow \sigma = \frac{P}{2 \cdot b}$$

وحدات التوتر السطحي:

$$\sigma = \frac{F}{s} = \frac{erg}{cm^2} = \frac{dyn \times cm}{cm^2} = \frac{dyn}{cm}$$

$$\sigma = \frac{J}{m^2} = \frac{N.m}{m^2} = \frac{N}{m}$$

تمتلك السوائل ذات التطاير السريع توتر سطحي صغير والسوائل صعبة التطاير توترها السطحي كبير جداً. يوضح الجدول التالي قيم التوتر السطحي لبعض المركبات عند الدرجة  $20C^0$ :

$\sigma (erg / cm^2)$	السائل
471.6	Hg
72.75	H <sub>2</sub> O
30.50	Cs <sub>2</sub>
27.63	CH <sub>3</sub> COOH
23.7	CH <sub>3</sub> COCH <sub>3</sub>
22.30	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH

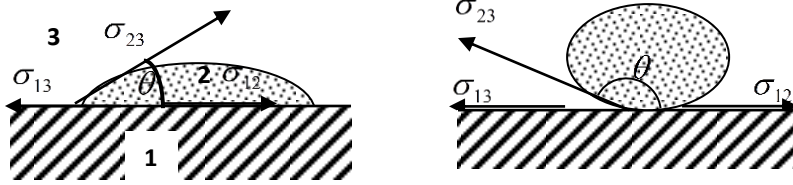
تسمى المواد التي تضاف لبعض السوائل بهدف تخفيض التوتر السطحي بالمواد الفعالة سطحياً.

### ظاهرة التبلل:

نلاحظ ظاهرة التبلل على الحدود الفاصلة بين ثلاثة أطوار أحدها هو الجسم الصلب وكننتيجة لقوى التجاذب فيما بين جزيئات السائل نفسها وبين جسيمات الجسم الصلب يتبين وجود طاقة سطحية بين السطح الصلب والسائل.

إذا وضعنا قطرة من السائل على سطح صلب، نميز بهذه الحالة سلوك القطرة كالتالي:

١. حالة تبلل مثالي (انسياب القطرة بشكل غير محدود على السطح الصلب). مثل قطرة الإيثر البترولي.
٢. حالة تبلل جزئي (انسياب القطرة بشكل جزئي ليصنع السائل زاوية  $\theta$  مع الجسم الصلب تدعى بزاوية التبلل). مثل قطرة الماء.
٣. حالة اللاتبلل (تحافظ القطرة على شكلها الكروي). مثل قطرة الزئبق.



$\sigma_{12}$ : التوتر السطحي بين الطورين السائل والصلب.

$\sigma_{13}$ : التوتر السطحي بين الطورين الغاز والصلب.

$\sigma_{23}$ : التوتر السطحي بين الطورين السائل والغاز.

جميع هذه القوى تؤثر في نقطة واحدة من محيط القطرة لذلك فإن السائل سوف يتحرك على سطح الطور الصلب إلى أن تتوسط حالة التوازن التي تمثل بالعلاقة التالية:

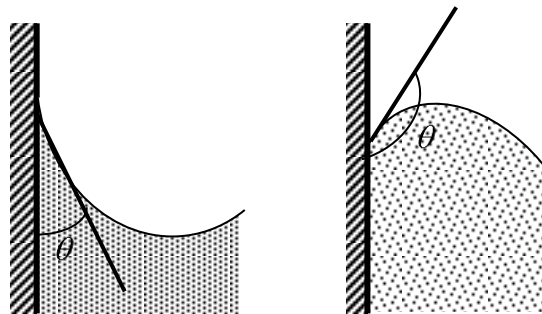
$\sigma_{12}$ : التوتر السطحي بين الطورين السائل والصلب.

$$\sigma_{13} - \sigma_{12} = \sigma_{23} \times \cos \theta$$

$$B = \cos \theta = \frac{\sigma_{13} - \sigma_{12}}{\sigma_{23}} \text{ أو}$$

إن المقدار  $\cos \theta = B$  يستخدم كمعيار لتقدير التبلل بصورة كمية. فالأجسام الصلبة تبللها السوائل التي يكون من أجلها  $0^\circ < \theta < 90^\circ$ ، وفي حالة عدم التبلل يتحقق الشرط زاوية التبلل  $\theta > 90^\circ$  ويكون.

نلاحظ من أجل السوائل المبللة أن شكل سطح السائل في أنبوب يأخذ الشكل المقعر ومن أجل السوائل غير المبللة يأخذ الشكل المحدب كما في الشكل:





## الظواهر الشعرية وارتفاع السائل في الأنابيب الشعرية:

عند غمر أنبوب شعري في وعاء يحتوي على ماء نلاحظ ارتفاع الماء داخل الأنبوب الشعري ويستقر عند ارتفاع  $h$  مشكلاً سطحاً مقعراً (سائل مبلل).

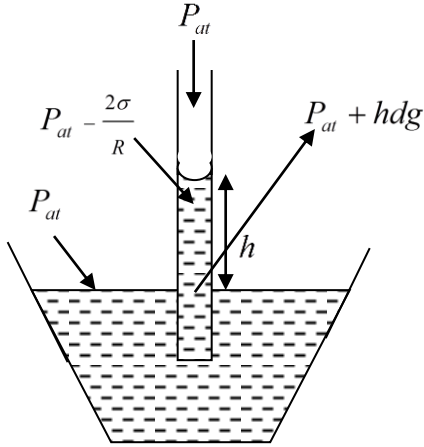
للتغلب على ارتفاع مستوى الماء أو السائل بشكل عام في أنبوب شعري يجب أن نطبق ضغطاً مقداره  $\Delta P$  يتعلق هذا الضغط بالتوتر السطحي

للسائل  $\sigma$  وبنصف قطر الانحناء وترتبط هذه

$$\Delta P = \frac{2\sigma}{R}$$

المقادير بالعلاقة التالية:

نلاحظ من الشكل:



لإيجاد ضغط نقطة تقع تحت الهلال المقعر لأجل سائل مبلل في أنبوب شعري فإن هذا الضغط أصغر

من الضغط الجوي  $P_{at}$  بمقدار  $P_{\sigma} = \frac{2\sigma_{12}}{R}$  أي أن

هذا الضغط يساوي  $P_{at} - \frac{2\sigma}{R}$  أما الضغط في نقطة تقع على عمق  $h$  من مستوي الهلال فإنه

يضاف إلى الضغط الجوي الضغط الهيدروستاتيكي (ضغط عمود سائل)  $hdg$ .

بما أن الجملة في حالة توازن فإن:

$$P_{at} - \frac{2\sigma}{R} + hdg = P_{at}$$

$$\Rightarrow h = \frac{2\sigma}{dgR}$$

حيث  $R$  نصف قطر الانحناء. ونظراً لصعوبة قياس  $R$  يُفضل استخدام علاقة نصف قطر أنبوب شعري  $r$  ويساوي بدلالة زاوية التبلل:

$$r = R \cos \theta \Rightarrow R = \frac{r}{\cos \theta}$$

$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{dgr}$$

تدعى هذه العلاقة بعلاقة جورين وتصبح بحالة تبلل كامل عندما  $\cos \theta = 1$

$$h = \frac{2\sigma}{dgr}$$
$$\Rightarrow \sigma = \frac{1}{2} h d g r$$

ونظراً لصعوبة قياس نصف قطر الأنبوب الشعري نستخدم عملياً طريقة المقارنة باستخدام سائل عياري معروف التوتر السطحي وكثافته عند درجات حرارة معينة وغالباً ما يكون الماء المقطر حيث:

$$\sigma_{H_2O} = \frac{1}{2} \cdot d_{H_2O} \cdot h_{H_2O} \cdot g \cdot r$$
$$\sigma_2 = \frac{1}{2} \cdot d_2 \cdot h_2 \cdot g \cdot r$$
$$\frac{\sigma_{H_2O}}{\sigma_2} = \frac{d_{H_2O} \cdot h_{H_2O}}{d_2 \cdot h_2}$$
$$\Rightarrow \sigma_2 = \frac{d_{H_2O} \cdot h_{H_2O}}{d_2 \cdot h_2} \cdot \sigma_{H_2O}$$

مسألة:

إذا كان التوتر السطحي للكحول الإيثيلي يساوي  $22.6 \times 10^{-3} N/M$  عند الدرجة  $20C^0$  وكثافته تساوي  $790 Kg/m^3$  عند نفس الدرجة من الحرارة. ما هو نصف قطر الأنبوب الذي يستطيع أن يصعد السائل فيه إلى ارتفاع  $1.5 cm$ ؟

$$r = \frac{2\sigma}{dgh}$$
$$h = 1.5cm = 15 \times 10^{-3} \quad \sigma = 22.6 \times 10^{-3} N/M$$
$$g = 9.806 m/sec^2 \quad d = 790 Kg/m^3$$
$$r = \frac{2 \times 22.6 \times 10^{-3}}{0.015 \times 790 \times 9.806} = \frac{45.2 \times 10^{-3}}{116.2} = 3.889 \times 10^{-4} m$$
$$r = 0.03889 cm$$