

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الفيزياء للمهندسين

السوائل

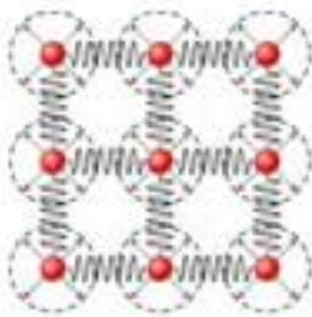
كلية الهندسة المدنية – السنة

الأولى د. صبا عياش

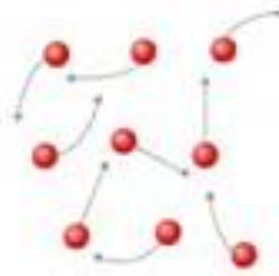
السوائل

تتميز السوائل عن الأجسام الصلبة بأنه ليس لها شكل هندسي محدد و الروابط بين جزيئاتها ضعيفة على عكس الأجسام الصلبة التي تكون جزيئاتها ثابتة في مكانها والروابط فيما بينها قوية. أما الغازات فتكون الروابط بين جزيئاتها أضعف من السوائل وتكون متباعدة عن بعضها البعض.

يبين الشكل التالي توزيع الذرات في الحالة الصلبة و السائلة و الغازية حيث تكون الذرات في المادة الصلبة متقاربة مع بعضها و تترايط فيما بينها بقوى (على شكل نوابض)، الذرات في السوائل متقاربة و لكن يمكنها أن تنزلق على بعضها البعض ، الذرات في الغازات تتحرك بحرية أكبر وتفصل فيما بينها مسافات كبيرة لذا يتم ضبطها ضمن حيز مغلق لمنعها من التمدد و الهروب لخارج الحيز الموضوعه فيه.



الحالة الصلبة



الحالة السائلة



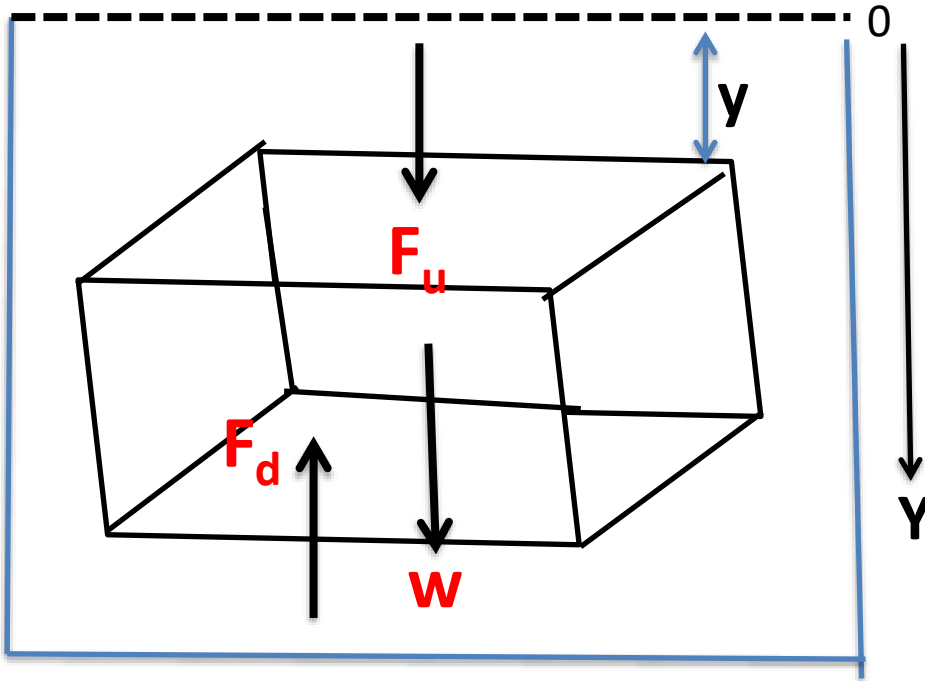
الحالة الغازية



الضغط في سائل

حساب قيمة الضغط على نقطة تقع على عمق h من سطح السائل

نأخذ شريحة من السائل على شكل متوازي مستطيلات مساحة سطحها A و سماكتها dy (أي حجمها $V=Ady$) ، نطبق شرط التوازن $\Sigma F=0$



$$P = P_s + \rho gh$$

القوى وفق المحور
الشاقولي (Z) :

قوة على الوجه العلوي
للشريحة F_u



قوة على الوجه السفلي
للشريحة F_d



قوة ثقل الشريحة
 $W = mg$



وحدات الضغط

Atm

Pascal = N/m²

$$1 \text{ Atm} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pascals}$$

Unit	Definition
SI unit: the Pascal	$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$
Other units of pressure	$1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg}$ $= 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ $= 1013 \text{ mbar}$ $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$ $1 \text{ torr} = 1 \text{ mm Hg} = 133.3 \text{ Pa}$

مبدأ الغطس

يتعلق الضغط فقط بعمق النقطة

$P = P_s + \rho gh$ تحت سطح السائل وفقا للعلاقة

أوجد قيمة الضغط من أجل عمق 10.34m عن سطح السائل،
بافتراض $P_s = 1 \text{ Atm}$ ؟

مبدأ باسكال

انتقال الضغط المطبق على جميع نقاط
السائل (حالة مكبس مطبق عليه ضغط
(P'

ليكن لدينا أنبوب على شكل حرف U
يطبق عليه مكبس متحرك (a,A) على
جانبي الأنبوب بحيث تكون مساحة مقطع
الجزء الصغير a ومساحة مقطع الجزء
الكبير A

ينتقل نفس الضغط P لمساحة مقطع
الجزء الكبير A فينتج عن تطبيقه قوة
 $f < F$ بحيث تكون

ينتج عن تطبيق القوة f على مساحة
مقطع الجزء الصغير a ضغط
 $P=f/a$

$$F=P.A = \frac{f}{a} A$$

يطبق الهواء المضغوط في رافعة السيارات قوة على المكبس الصغير (ذي نصف القطر 5cm) ، ينتقل الضغط عبر السائل للمكبس الكبير (ذي نصف القطر 15cm) أوجد : القوة الواجب تطبيقها من قبل الهواء المضغوط لرفع سيارة وزنها 13300N ، الضغط المسبب لهذه القوة؟

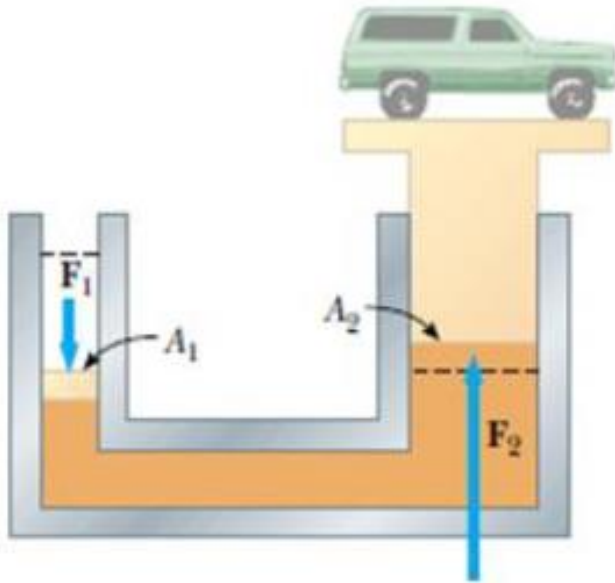
$$F_1 = \left(\frac{A_1}{A_2} \right) F_2 = \frac{\pi(5.00 \times 10^{-2} \text{ m})^2}{\pi(15.0 \times 10^{-2} \text{ m})^2} (1.33 \times 10^4 \text{ N})$$

$$= 1.48 \times 10^3 \text{ N}$$

الضغط المسبب لهذه القوة

$$P = \frac{F_1}{A_1} = \frac{1.48 \times 10^3 \text{ N}}{\pi(5.00 \times 10^{-2} \text{ m})^2}$$

$$= 1.88 \times 10^5 \text{ Pa}$$



السوائل في حالة الحركة / خواص السائل المثالي

ليكن لدينا الافتراضات التالية لحركة المائع (السائل) المثالي

تعد قوة اللزوجة (قوة الاحتكاك الداخلية في السائل) مقياسا لمقاومة طبقات السائل للحركة بالنسبة لبعضها البعض (إعاقة الحركة) وفق سرعات مختلفة

السائل المثالي عديم اللزوجة
(قوى الاحتكاك الداخلية مهملية)

حجم السائل المار عبر الأنبوب ثابت في جميع نقاطه (الكثافة ثابتة) و المتغير هو مساحة المقطع العرضي و سرعة الجسم وفقا للنقطة المدروسة من الأنبوب.

السائل المثالي غير قابل للانضغاط (كثافة السائل ثابتة)

سرعة السائل ثابتة و مماسة لخطوط تدفق السائل عبر مساحة المقطع عرضي A (عند نقطة ما).

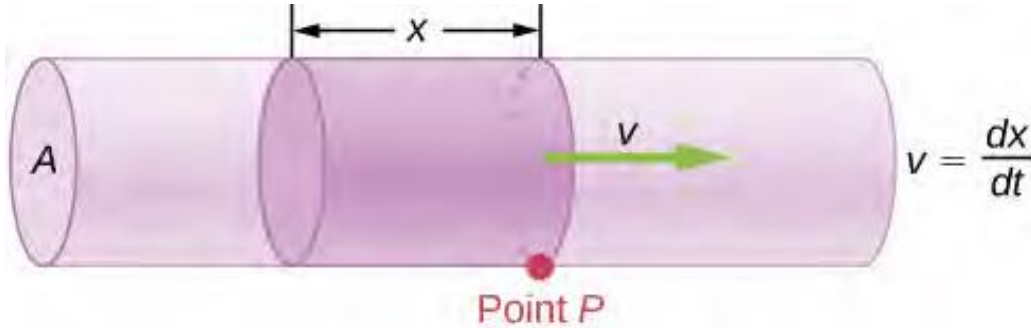
السائل موجود في الحالة المستقرة

معدل التدفق الحجمي Q

يدعى حجم السائل المار عبر مساحة المقطع العرضي A خلال فترة زمنية t بمعدل التدفق الحجمي Q و يعطى بالعلاقة التالية :

$$Q = \frac{dV}{dt}$$

حيث V الحجم ، t الزمن و باعتبار
V=A.x يكون:



$$Q = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt} (Ax) = A \frac{dx}{dt} = Av$$

$$Q = \frac{dV}{dt} = \frac{d}{dt} (Ax) = A \frac{dx}{dt} = Av.$$

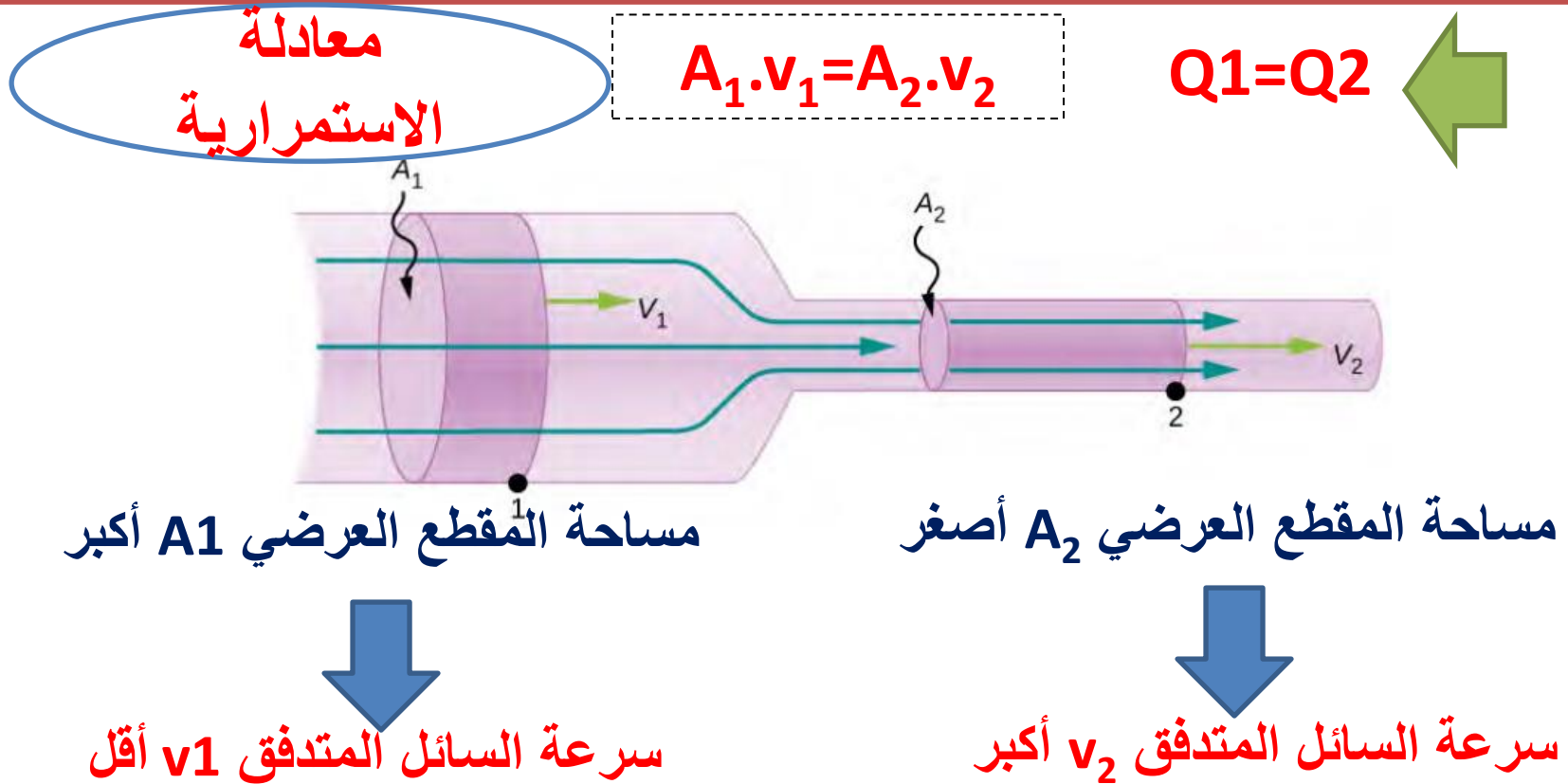
واحدة معدل التدفق الحجمي : عادة يعطى بواحدة
L/min أو بواحدة m³/s

السوائل في حالة الحركة / معادلة الاستمرارية

لنفترض سائل مثالي يتدفق عبر أنبوب غير متجانس.

السائل مثالي و **غير قابل للانضغاط** على طول الأنبوب $\Leftarrow$ نفس كمية السائل تعبر أي نقطة من نقاط الأنبوب أي كمية السائل المارة عبر **النقطة 1** = كمية السائل المارة عبر **النقطة 2**

السائل **مستمر** أي لا يوجد إضافة أو نقصان من كمية السائل المتدفقة $\Leftarrow$ كمية السائل المتدفقة داخل الأنبوب عبر مساحة المقطع العرضي A_1 (Q_1) = كمية السائل المتدفقة عبر مساحة المقطع العرضي A_2 (Q_2).



جاء مساحة المقطع العرضي و
سرعة المائع ثابتة في جميع نقاط
الأنبوب

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$$



معادلة الاستمرارية

$$Q = A \cdot v = \pi r^2 \cdot v$$

واحدة معدل التدفق الحجمي Q (m^3/s)

بمعرفة معدل تدفق السائل عبر مساحة المقطع العرضي A ، نحصل على سرعة السائل

$$Q/A = v$$

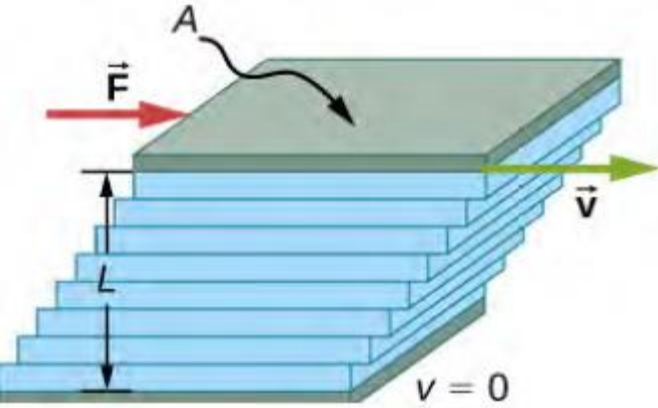


أنواع جريان السوائل (التدفق)

تتدفق السوائل داخل الأنابيب و القنوات وفق نوعين رئيسيين: جريان منتظم (انسيابي) و
جريان اضطرابي

دراسة لزوجة مائع (سائل) η

لدى قياس لزوجة مائع (سائل ما) ، يوضع السائل المراد قياس لزوجته بين صفيحتين متوازيتين بحيث تكون الصفيحة السفلية ثابتة غير متحركة ، و تتحرك الصفيحة العلوية بسرعة ثابتة V . تنتقل الحركة للصفائح المتتابة وفقا للعمق L وذلك بوجود قوة احتكاك داخلية (لزوجة بين الطبقات).



تتناسب القوة المطلوبة F للحفاظ على سرعة ثابتة V وفقا للاحتكاك الداخلي بين الطبقات بأربع عوامل :

تناسب طردي مع سرعة السائل V

تناسب طردي مع مساحة سطح الصفيحة A

تناسب عكسي مع العمق L (البعد بين الصفائح المدروسة)

تناسب طردي مع η (معامل اللزوجة)

تعطى القوة F بالعلاقة التالية: $F = \eta \frac{vA}{L}$

يمكن أن يعرف معامل اللزوجة على أنه نسبة الإجهاد السطحي إلى الانفعال السطحي بالنسبة للزمن

معامل
اللزوجة

$$\eta = \frac{FL}{vA}$$

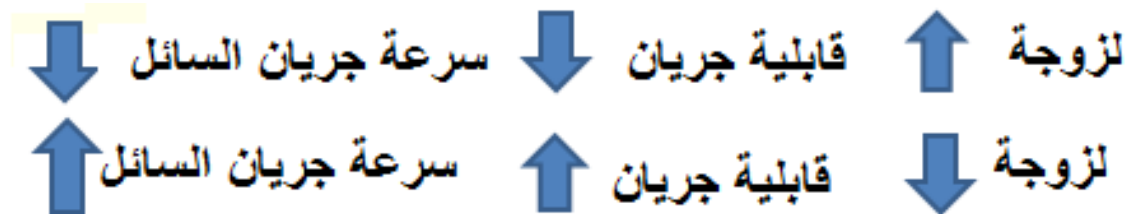
$$\frac{F/A}{V/L} = \frac{\sigma}{\dot{\gamma}/s}$$

واحدة معامل اللزوجة :

$$\text{N} \cdot \text{m} / [(\text{m/s})\text{m}^2] = (\text{N/m}^2)\text{s} \text{ or } \text{Pa} \cdot \text{s} .$$

كما تقاس اللزوجة بالبواز و السنتي بواز

العلاقة بين اللزوجة و سرعة السائل



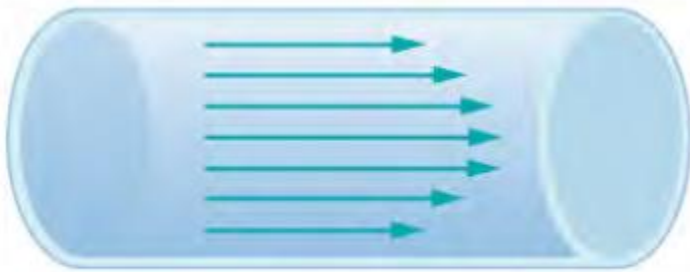
لكل سائل معامل لزوجة خاص به و يختلف معامل اللزوجة من مادة لأخرى وفقا لطبيعة المادة ودرجة الحرارة

أنواع التدفق

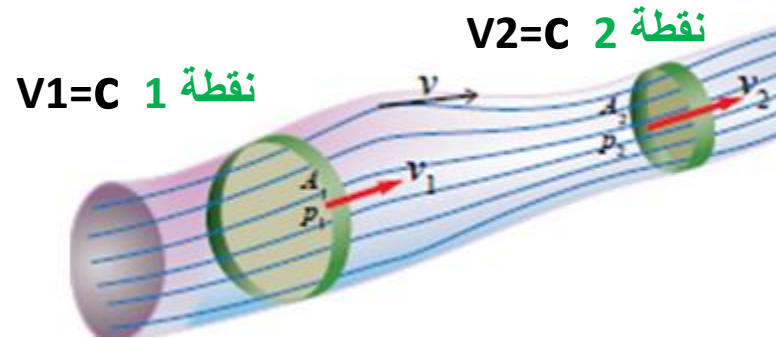
التدفق الانسيابي (الصفائحي Laminar): تكون خطوط جريان السائل موازية لسطح السائل أو محور الأنبوب ، وتمثل خطوط الجريان سرعة انسياب طبقات السائل ، وتكون هذه السرعة ثابتة مع الزمن (عند نقطة معينة) وتختلف من نقطة لأخرى.

تتحرك جزيئات السائل وفق مسارات منتظمة لا تتقاطع مع بعضها البعض ، وتكون السرعة عظمى في المنتصف وتتناقص بالقرب من جدار الأنبوب بسبب وجود الاحتكاك بين جدران الأنبوب و المائع .

في حالة التدفق الانسيابي تتدفق طبقات السائل دون مزج فيما بينها ويعد تدفق السائل المثالي تدفق انسيابي تكون خطوط السرعة فيه مماسة لخطوط التدفق.

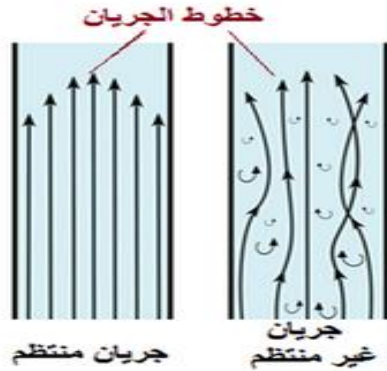


(a) Laminar Flow



التدفق الاضطرابي (turbulent): يتدفق السائل بشكل مضطرب، وتتقاطع خطوط تدفق السائل مع بعضها البعض لتشكل مناطق دائرية صغيرة أو ما يشبه الدوامات و هذا ما يحدث عندما تصل سرعة السائل لسرعة حدية معينة.

تتغير سرعة جزيئات السائل في حالة التدفق الاضطرابي عند نقطة معينة مع الزمن و يحدث ضياع للطاقة على شكل طاقة داخلية.



(b) Turbulent Flow

الفرق بين التدفق المنتظم
(الصفائحي) و التدفق غير المنتظم
(الاضطرابي)

عدد رينولد N_R

لتحديد طبيعة التدفق (انسيابي أو اضطرابي) يدرس مؤشر يدعى عدد رينولد NR

حيث η اللزوجة ($N.s/m^2$ أو $dyne.s/cm^2$)
 ρ كثافة السائل (kg/m^3 أو g/cm^3)
 r نصف قطر الأنبوب (m أو cm)

$$N_R = \frac{2\rho v r}{\eta}$$

يعطى عدد رينولد
بالعلاقة التالية:

تدفق انسيابي منتظم

$$N_R \leq 2000$$



تدفق متحول بين الانسيابي و الاضطرابي

$$2000 < N_R < 3000$$



تدفق اضطرابي

$$N_R \geq 3000$$



ملاحظة: إذا كانت سرعة السائل أصغر من السرعة الحدية V_c يكون التدفق انسيابي
و إذا كان أكبر من السرعة الحدية V_c يكون التدفق اضطرابي.

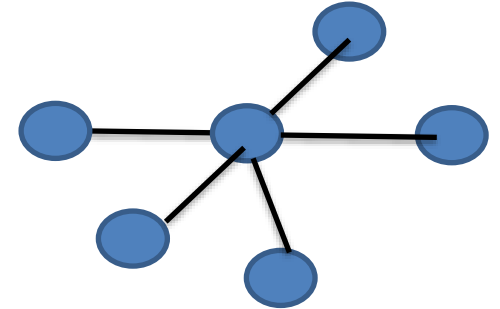
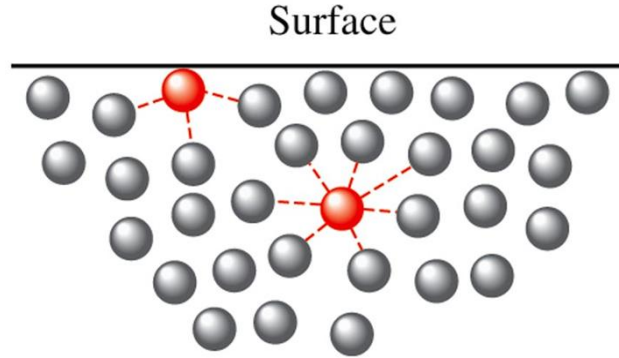
خصائص السوائل / التوتر السطحي

الفرق بين جزيئات الطبقة السطحية و الطبقات العميقة

تتعرض جزيئات السائل الموجودة في الطبقات العميقة لقوى محيطة بها من كل الجهات فتكون محصلة القوى المؤثرة عليها معدومة أما الجزيئات الموجودة على سطح السائل فترتبط بروابط مع الجزيئات الموجودة في الطبقة السطحية و روابط مع الجزيئات الموجودة في الطبقات العميقة وبالتالي تخضع لقوى تجذبها للأسفل مما يؤدي لتقلص سطح السائل.

التوتر السطحي للسوائل σ : تسمى القوى الموجودة على مستوى السطح العلوي بقوى التوتر السطحي وهي القوة المؤثرة في واحدة الطول من السائل

$$\sigma = \frac{f}{L}$$



العوامل المؤثرة على التوتر السطحي : يتناقص التوتر السطحي بارتفاع درجة الحرارة و بإضافة الشوائب .

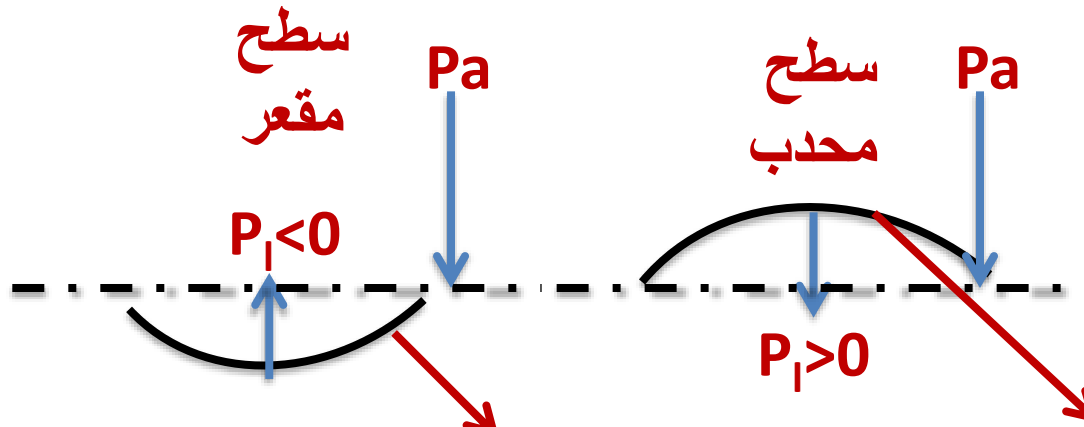
الضغط

اللابلاسي P_L

الضغط اللابلاسي P_L : الضغط المشروط بانحناء سطح السائل. و هو ضغط إضافي يزيد أو ينقص من الضغط الذي يعاني منه سطح السائل المستوي (Pa)

يعطى الضغط اللابلاسي بالعلاقة التالية :

$$P_L = -\sigma \frac{dA}{dV}$$

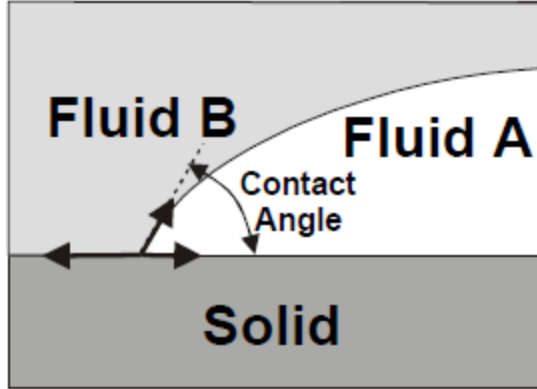
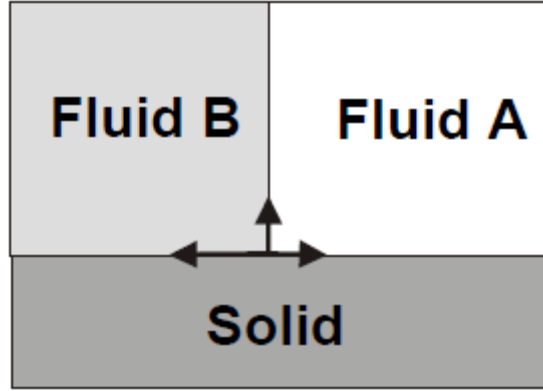


الضغط على سطح السائل
المقر $P_a - P_L =$

الضغط على سطح السائل
المحدب $P_a + P_L =$

الضغط اللابلاسي في الحالة
الأسطوانية $P_L = -\sigma / R$

الضغط اللابلاسي في الحالة الكروية
 $P_L = -2\sigma / R$

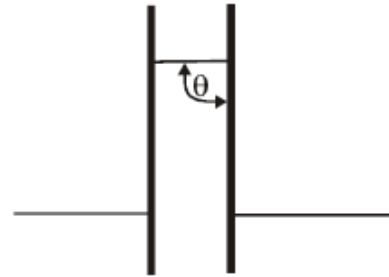
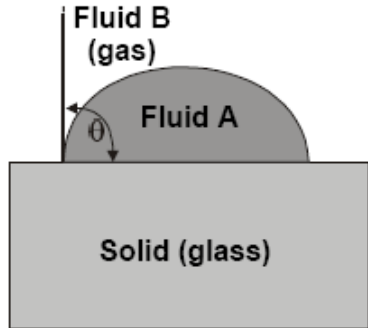
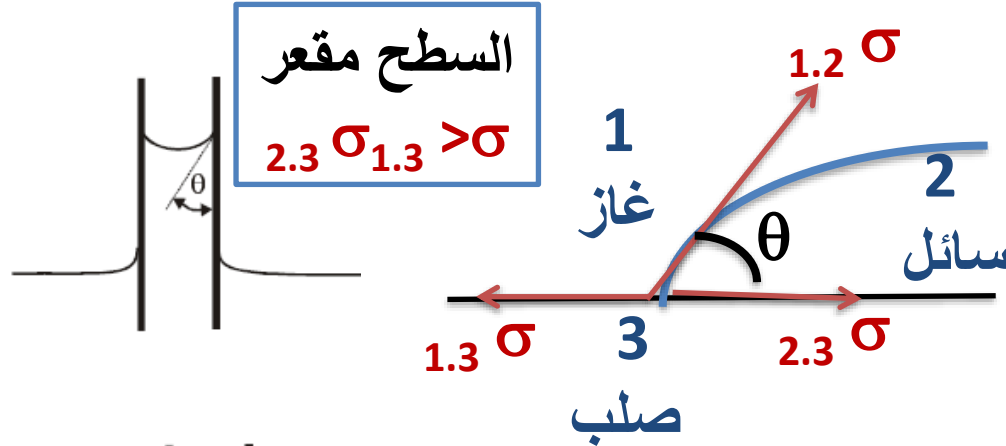
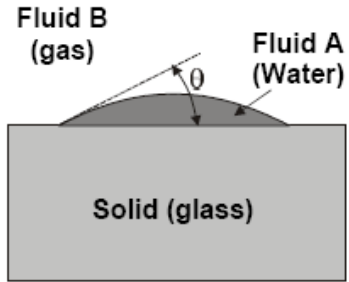


❖ عندما يحد سطح جسم صلب وسطين غير قابلين للامتزاج (سائل ، غاز) نحصل على عدة حالات للتبلل

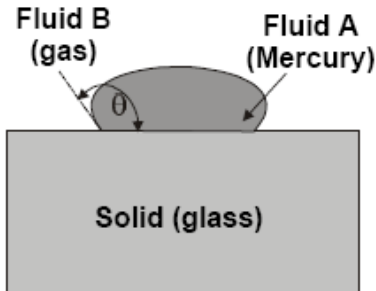
❖ تحدد حالة التوازن بين الأوساط الثلاث بزاوية التبلل θ و يمكن من خلالها تحديد حالة التبلل.

تبلل السطح الصلب

يعبر عن التوتر السطحي للسطح الفاصل بين وسطين من هذه
الأوساط بالمقادير $\sigma_{2.3}$ (حالة صلب - سائل)، $\sigma_{1.2}$ (حالة سائل ،
غاز)، $\sigma_{1.3}$ (حالة غاز- صلب)



$$\sigma_{1.3} \cos \theta = \sigma_{2.3} - \sigma_{1.2}$$



حالات التبلل

$$\theta = 0$$

$$\theta = \frac{\pi}{2}$$

$$\theta = \pi$$

الظاهرة الشعرية

الضغط على سطح

$$P_a - P_l = \text{السائل}$$

إذا أدخل أنبوب شعري في سائل يرتفع السائل داخل الأنبوب وفقا للضغط اللاپلاسي P_l .

$$P_l = 2\sigma/R \quad \leftarrow \text{الضغط على سطح السائل داخل الأنبوب}$$

$$P_a - P_l = \text{الأنبوب}$$

يرتفع الماء داخل الأنبوب لارتفاع h عن النقطة p (سطح السائل)

$$P(p) = P_s + \rho gh = (P_a - P_l) + \rho gh \quad \text{ضغط السائل عند النقطة } p$$

يتوقف السائل عن الصعود عندما يكون الضغط داخل الأنبوب = الضغط خارج الأنبوب

$$P \text{ (عند النقطة } p) = p \text{ على سطح السائل خارج الأنبوب } p_a$$

$$(P_a - p_l) + \rho gh = P_a$$

$$P_l = \rho gh$$

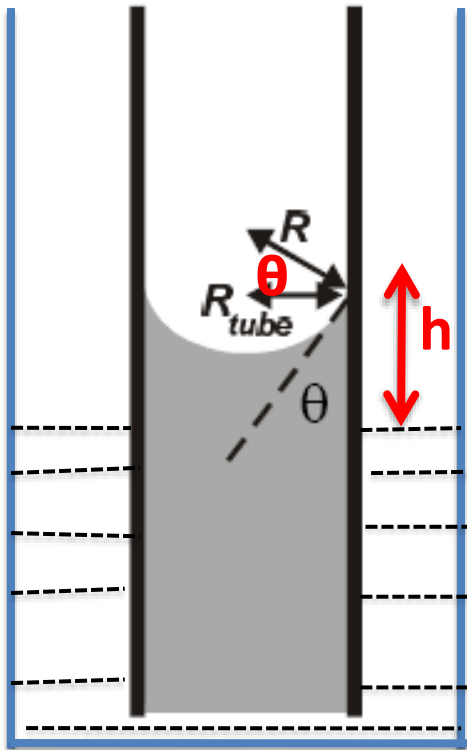
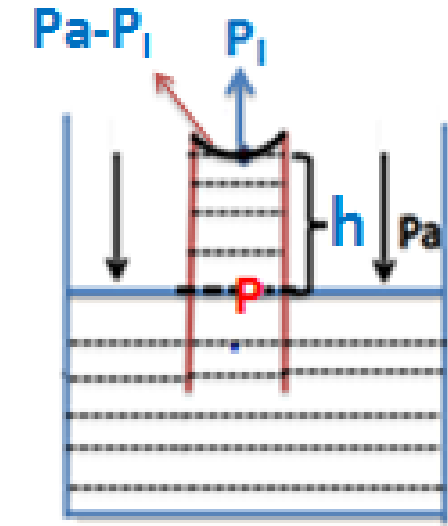
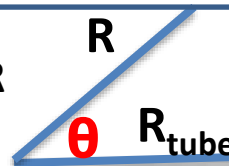
$$2\sigma/R = \rho gh$$

$$h = 2\sigma / \rho g R$$

$$h = 2\sigma \cos \theta / \rho g R_{\text{tube}}$$

ارتفاع السائل داخل الأنابيب الشعرية

$$\cos \theta = R_{\text{tube}} / R$$



خطورة الظاهرة الشعرية على الأنية البيتونية

أوجد الارتفاع h الذي يمكن أن يصل إليه الماء داخل المسامات الإسمنتية إذا افترضنا أن المسامات الإسمنتية على شكل أنابيب قطرها من رتبة الميكرومتر؟

$$h = 2\sigma \cos\theta / \rho g R_{\text{tube}}$$

نطبق علاقة h من أجل حالة التبلل الكلي ($\cos\theta=1$)

حيث σ (ماء) = 0.073 N/m ، $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ قطر المسامات الإسمنتية $\sim 1 \mu\text{m}$ $R_{\text{tube}} \sim 10^{-6} \text{ m}$

$$h \sim 15 \text{ m}$$

وصول الماء داخل المادة الاسمنتية لمثل هذه الارتفاعات العالية يؤدي إلى آثار سلبية و خطورة على المباني يمكن أن نلخصها في النقاط التالية:

نتيجة خطورة الظاهرة الشعرية على المباني الإسمنتية يتم العمل على عزل الأساسات و المباني عن مصادر المياه القادمة من الأرض و التربة باستخدام مواد معينة (مثل البيتومين) تعمل على سد المسامات الإسمنتية من خلال تسخين المواد بشكل جيد حتى تتسرب داخل الاسمنت و تسد المسامات الإسمنتية

➤ تبلل المادة الإسمنتية يجعلها هشة و غير مقاومة
➤ وصول الماء للحديد يؤدي لتأكسد الحديد وتآكله
➤ وصول الماء لكسوة البناء يؤثر على حالة الدهانات الداخلية للأنية
➤ يؤدي وصول الماء للجدران الداخلية إلى تشكل الرطوبة الدائمة داخل المبنى مما يؤثر على صحة الأشخاص القاطنين في المبنى

مسألة عن حساب سرعة السائل عبر فوهة خرطوم المياه

تربط فوهة قطرها 0.5cm مع خرطوم مياه (لسقاية حديقة) نصف قطره 0.9cm فإذا علمت أن معدل تدفق الماء عبر الفوهة و الخرطوم $= 0.5\text{L/s}$ فأوجد سرعة الماء في :
(1- الخرطوم 2) الفوهة.

لمعرفة سرعة السائل نستعمل علاقة التدفق $Q=AV$

مساحة المقطع العرضي للخرطوم $A_1 = \pi r_1^2 = 3.14 \times (0.9 \times 10^{-2})^2 = 2.54 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

تحويل معدل التدفق من L/s إلى m^3/s

$$v_1 = \frac{0.500 \times 10^{-3}}{3.14(9.00 \times 10^{-3} \text{ m})^2} = 1.96 \text{ m/s.} \quad \text{سرعة الماء عبر الخرطوم}$$

لإيجاد v_2 سرعة الماء عبر الفوهة نستعمل معادلة الاستمرارية $A_1 v_1 = A_2 v_2$.

$$v_2 = \frac{A_1}{A_2} v_1 = \frac{\pi r_1^2}{\pi r_2^2} v_1 = \frac{r_1^2}{r_2^2} v_1.$$

$$v_2 = \frac{(0.900 \text{ cm})^2}{(0.250 \text{ cm})^2} 1.96 \text{ m/s} = 25.5 \text{ m/s.} \quad \text{سرعة الماء عبر الفوهة}$$

مثال عن حساب لزوجة سائل

يتحرك لوح خفيف من المعدن مساحة سطحه 100cm^2 فوق طبقة من زيت معامل لزوجته 1.55Pa.s وسمكها 2mm . احسب القوة الأفقية اللازمة لتحريك هذا اللوح بسرعة منتظمة مقدارها 3cm/s

تحسب القوة الأفقية اللازمة لتحريك اللوح من علاقة قانون

$$F = \eta \frac{vA}{L} \quad \text{: اللزوجة}$$

بالتعويض في القانون مع مراعاة

$$F = 1.55 \cdot 0.03 \cdot 100 \cdot 10^{-4} / 0.002 = 0.23\text{N} \quad \text{: التحويل للوحدات الدولية نجد}$$

مسألة عن تحديد طبيعة التدفق عبر جملة تكييف هواء

تم افتراض أن تدفق الهواء (عبر جملة تكييف هواء نصف قطرها $r=9\text{cm}$) صفائحي منتظم، فإذا علمت أن معدل التدفق الحجمي للجملة $Q=3.84\text{m}^3/\text{s}$ و أن قيم لزوجة الهواء وكثافة الهواء : ($\rho=1.23\text{kg/m}^3$ ، $\eta=0.0181\text{mPa}\cdot\text{s}$) و المطلوب : هل هذا الافتراض صحيح ، ماهي السرعة التي يحدث عندها التدفق الاضطرابي؟

تحسب سرعة جريان الهواء من معادلة التدفق $Q=A.v$ ←

$$v = \frac{Q}{\pi r^2} = \frac{3.84 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{3.14(0.09 \text{ m})^2} = 0.15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

لمعرفة إذا كان التدفق منتظم أو غير منتظم نلجأ لحساب عدد رينولد

$$R = \frac{2\rho v r}{\eta} = \frac{2\left(1.23 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)(0.15 \frac{\text{m}}{\text{s}})(0.09 \text{ m})}{0.0181 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}} = 1835.$$

$1835 < 2000$ ← الافتراض صحيح و التدفق صفائحي

لتحديد السرعة العظمى للمحافظة على التدفق الصفائحي المنتظم للهواء ،
نستعمل متراجحة عدد رينولد بتحويل المتراجحة لمساواة

$$R = \frac{2\rho v r}{\eta} \leq 2000$$

$$v = \frac{2000(0.0181 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s})}{2\left(1.23 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)(0.09 \text{ m})} = 0.16 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$


من أجل قيم للسرعة < 0.16 يتحول التدفق لاضطرابي

توضع ثلاثة أنابيب شعيرية في الماء فيرتفع الماء داخل الأنابيب على ارتفاعات 2cm, 4cm, 8cm إذا علمت أن الماء يبذل الزجاج بشكل كامل وأن σ للماء = 0.073N/m فأوجد :

- أنصاف أقطار تقعر سطح الماء داخل الأنابيب و أنصاف أقطار الأنابيب الثلاثة
- لضغط الالابلاسي المطبق في كل أنبوب

نصف قطر تقعر سطح الماء يحسب من العلاقة $R = 2\sigma / \rho g h$

حيث $\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$ ، $g = 10 \text{ m/s}^2$

$$\cos \alpha = R_{\text{tube}} / R$$



$$R_1 = 2 \times 0.073 / 10^4 \times 8 \times 10^{-2} = 1.8 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$R_2 = 2 \times 0.073 / 10^4 \times 4 \times 10^{-2} = 3.65 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$R_3 = 2 \times 0.073 / 10^4 \times 2 \times 10^{-2} = 7.3 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$R_{\text{tube}3} = R_3 = 7.3 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$R_{\text{tube}2} = R_2 = 3.65 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$R_{\text{tube}1} = R_1 = 1.8 \times 10^{-4} \text{ m}$$

و بما أن التليل كلي : $\cos \alpha = 1$

يحسب الضغط الالابلاسي من العلاقة $Pl = 2\sigma / R$

الضغط الالابلاسي في الأنبوب الأول : $Pl_1 = 2 \times 0.073 / 1.8 \times 10^{-4} = 800 \text{ Pa}$

الضغط الالابلاسي في الأنبوب الثاني : $Pl_2 = 2 \times 0.073 / 3.65 \times 10^{-4} = 400 \text{ Pa}$

الضغط الالابلاسي في الأنبوب الثالث : $Pl_3 = 2 \times 0.073 / 7.3 \times 10^{-4} = 200 \text{ Pa}$

يمكن أن يحسب الضغط الالابلاسي من علاقة $Pl = \rho g h$