بسم الله الرحمن الرحيم

الفيزياء للمهندسين

السوائل

كلية الهندسة المدنية – السنة الأولى

د. صبا عياش

السوائل

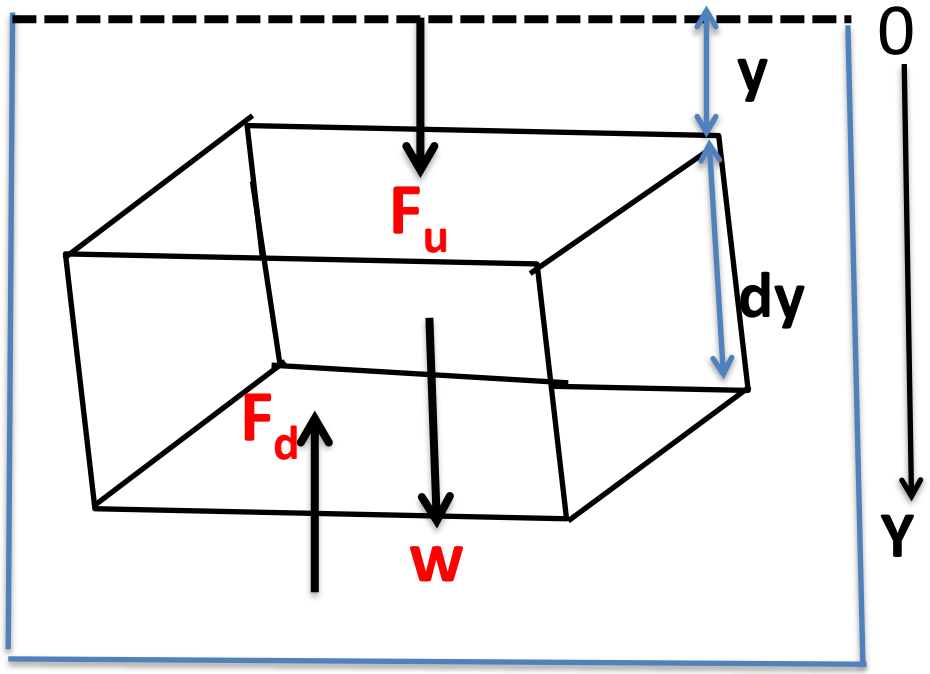
تتميز السوائل عن الأجسام الصلبة بأنه ليس لها شكل هندسي محدد و الروابط بين جزيئاتها ضعيفة على عكس الأجسام الصلبة التي تكون جزيئاتها ثابتة في مكانها والروابط فيما بينها قوية. أما الغازات فتكون الروابط بين جزيئاتها أضعف من السوائل وتكون متباعدة عن بعضها البعض.

يبين الشكل التالي توزع الذرات في الحالة الصلبة و السائلة و الغازية حيث تكون الذرات في المادة الصلبة متقاربة مع بعضها و تترابط 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 الموضوعة فيه.

الضغط في سائل

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

نأخذ شريحة من السائل كتلته الحجمية ρ على شكل متوازي مستطيلات مساحة سطحها A و سماكتها dy (أي حجمها V=Ady) تقع عى عمق y من سطح السائل ، نطبق شرط التوازن ΣF=0



القوى وفق المحور الشاقولي (Z) :

قوة على الوجه العلوي للشريحة Fu

Fu=p.A

قوة على الوجه السفلي للشريحة Fd

Fd=(p+dp)A

قوة ثقل الشريحة

W=m g=ρgV

بتطبيق شرط التوازن ΣF=0

$$P= p_s+\rho gY$$

الضغط من أجل عمق Yمن سطح السائل

حيث Ps الضغط على سطح السائل

واحدات الضغط

Atm

Pascal $=N/m^2$

$1\ Atm=1.013x10^5\ Pascasl$

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

يتعلق الضغط فقط بعمق النقطة
تحت سطح السائل h وفقا للعلاقة $P=Ps+\rho gh$

مبدأ الغطس

أوجد قيمة الضغط من أجل عمق 10.34m عن سطح السائل، بافتراض Ps=Pa=1Atm ؟

نطبق علاقة الضغط

$P=Pa+\rho gh$

من أجل الماء	Pa=1atm	$g=9.8m/s^2$
ρ=1000kg/m3		

$P=1+1000.9.8.10.34$

$gh=1000.9.8.10.34=101.33x10^3Pa=1.013x10^5Pa=1atm\rho$

P=1+1=2atm

تمرن : أوجد الضغط عند الأعماق التالية عن سطح السائل :

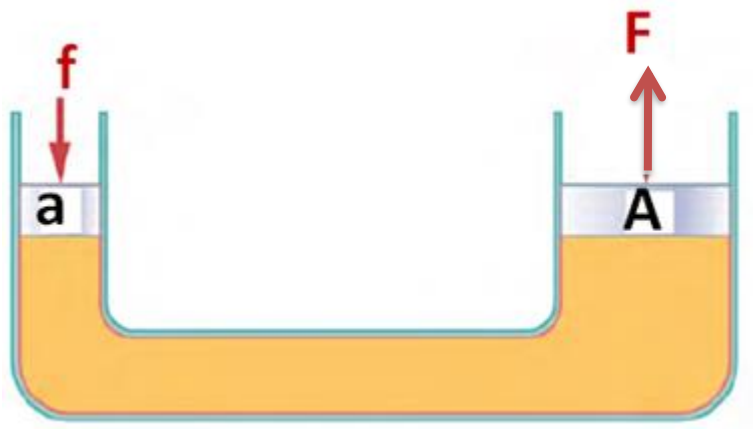
93m،62m

مبدأ باسكال

ينتج عن تطبيق قوة على المكبس ضغط p' يؤثر على سطح السائل فيصبح الضغط على سطح السائل $P_s=P_a+p'$.

و بما أن الضغط عند أي نقطة من سطح السائل $Ps+\rho gh$ = أي ينتقل الضغط p' لجميع نقاط السائل ، و استنادا لهذه النقطة يدرس مبدأ باسكال.

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



ينتج عن تطبيق القوة f على مساحة مقطع الجزء الصغير a ضغط

$P=f/a$

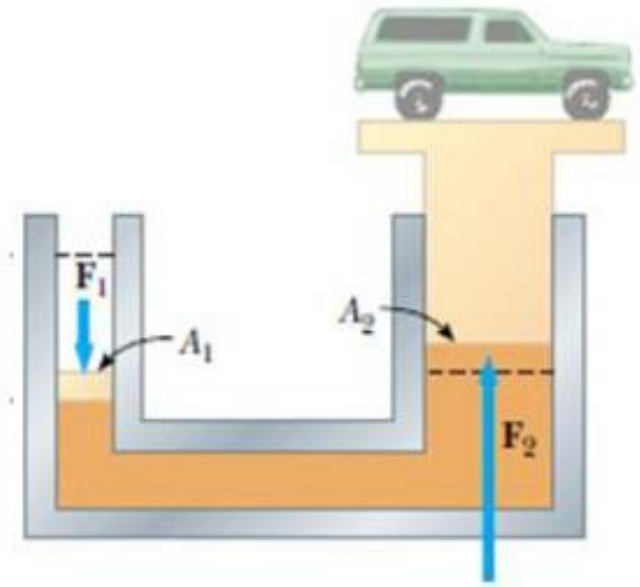
ينتقل نفس الضغط P لمساحة مقطع الجزء الكبير A فينتج عن تطبيقه قوة F > f بحيث تكون

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

تطبيق

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؟

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



$=1.48 \times 10^3\,\mathrm{N}$

الضغط المسبب لهذه القوة

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

$=1.88 \times 10^5\,\mathrm{Pa}$

السوائل في حالة الحركة

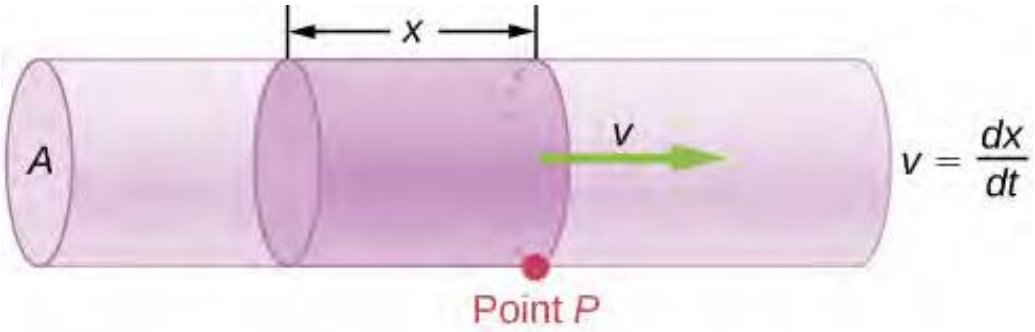
معدل التدفق الحجمي Q

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 m^3/s

السوائل في حالة الحركة / معادلة الاستمرارية

لنفترض سائل مثالي يتدفق عبر أنبوب غير متجانس.

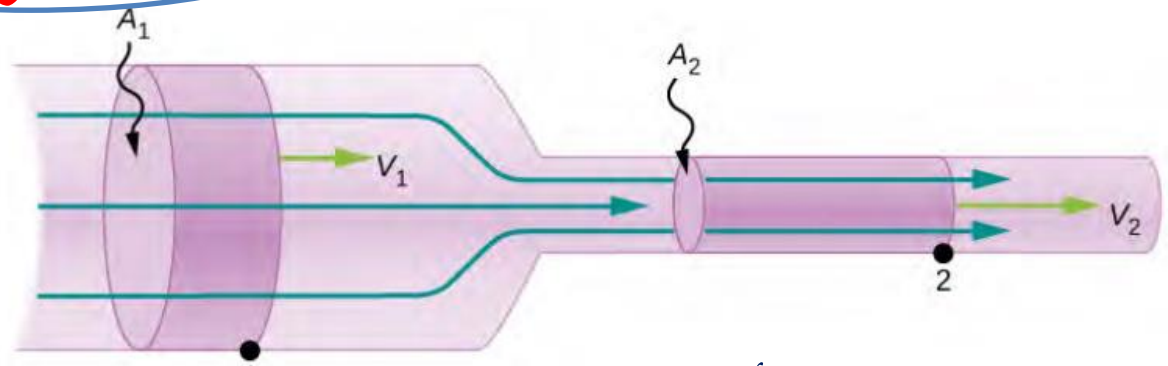
السائل مثالي وغير قابل للانضغاط على طول الأنبوب ⇐ نفس كمية السائل تعبر أي نقطة من نقاط الأنبوب أي كمية السائل المارة عبر النقطة 1= كمية السائل المارة عبر النقطة 2

السائل مستمر أي لا يوجد إضافة أو نقصان من كمية السائل المتدفقة ⇐ كمية السائل المتدفقة داخل الأنبوب عبر مساحة المقطع العرضي A1 (Q_1) = كمية السائل المتدفقة عبر مساحة المقطع العرضي A2 (Q_2).

معادلة الاستمرارية

$A_1.v_1=A_2.v_2$

$Q1=Q2$



مساحة المقطع العرضي A_2 أصغر

مساحة المقطع العرضي A1 أكبر

سرعة السائل المتدفق v_2 أكبر

سرعة السائل المتدفق v1 أقل

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

معادلة الاستمرارية $A_1.v_1=A_2.v_2$

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

واحدة معدل التدفق الحجمي Q (m^3/s)

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

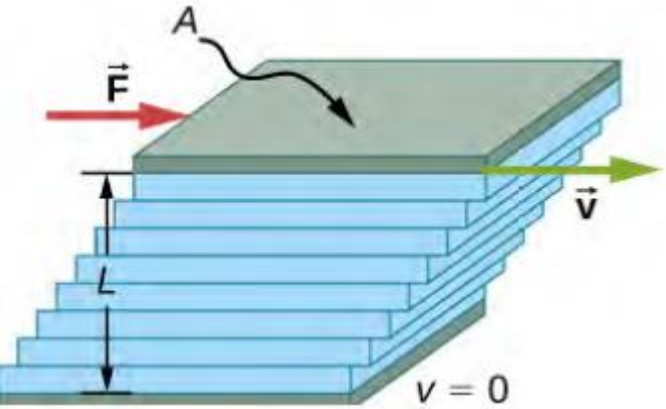
سرعة السائل المتدفق $Q/A=v$

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 المتتابعة 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: $F = \eta \frac{vA}{L}$.

معامل اللزوجة

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

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

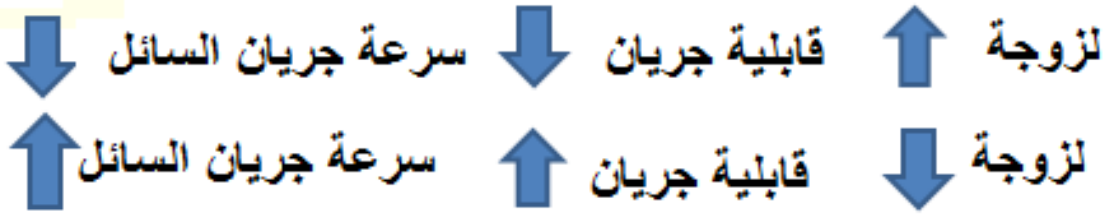
$$\frac{F/A}{V/L} = \frac{\sigma}{\frac{\Delta L}{L}/s}$$

واحدة معامل اللزوجة :

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

كما تقاس اللزوجة بالبواز و السنتي بواز

العلاقة بين اللزوجة و سرعة السائل



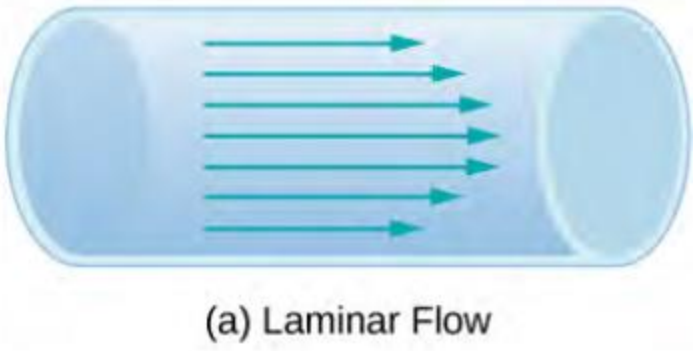
لكل سائل معامل لزوجة خاص يه و يختلف معامل اللزوجة من مادة لأخرى وفقا لطبيعة المادة ودرجة الحرارة

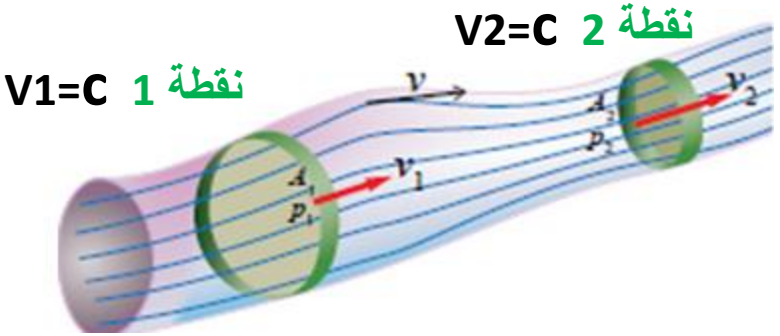
أنواع التدفق

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.

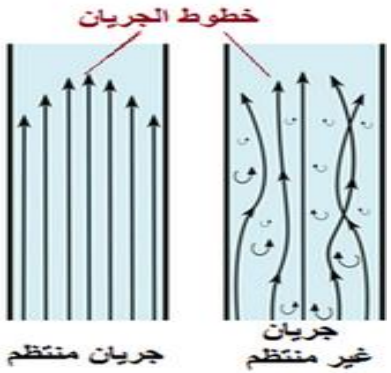

(a) Laminar Flow



التدفق الاضطرابي(turbulent): يتدفق السائل بشكل مضطرب، وتتقاطع خطوط تدفق السائل مع بعضها البعض لتشكل مناطق دائرية صغيرة أو مايشبه 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

يعطى عدد رينولد بالعلاقة التالية:

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

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)

$N_R \leq 2000$ ← تدفق انسيابي منتظم

$2000 < N_R < 3000$ ← تدفق متحول بين الانسيابي و الاضطرابي

$N_R \geq 3000$ ← تدفق اضطرابي

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

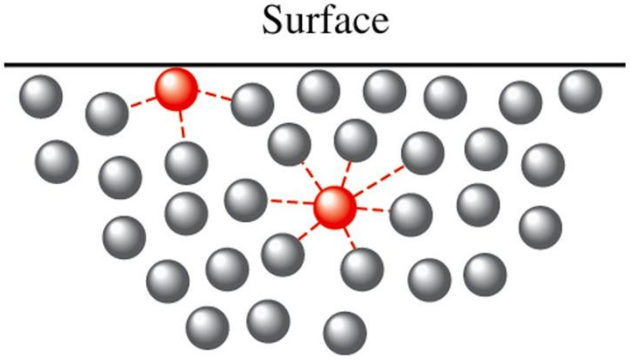
خصائص السوائل/ التوتر السطحي

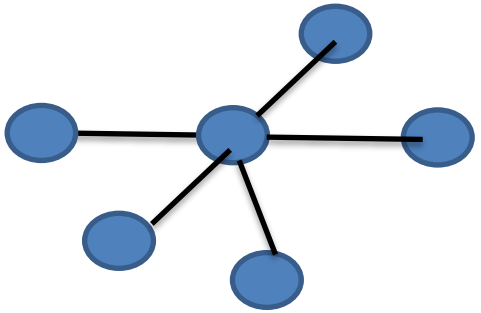
الفرق بين جزيئات الطبقة السطحية و الطبقات العميقة

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

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





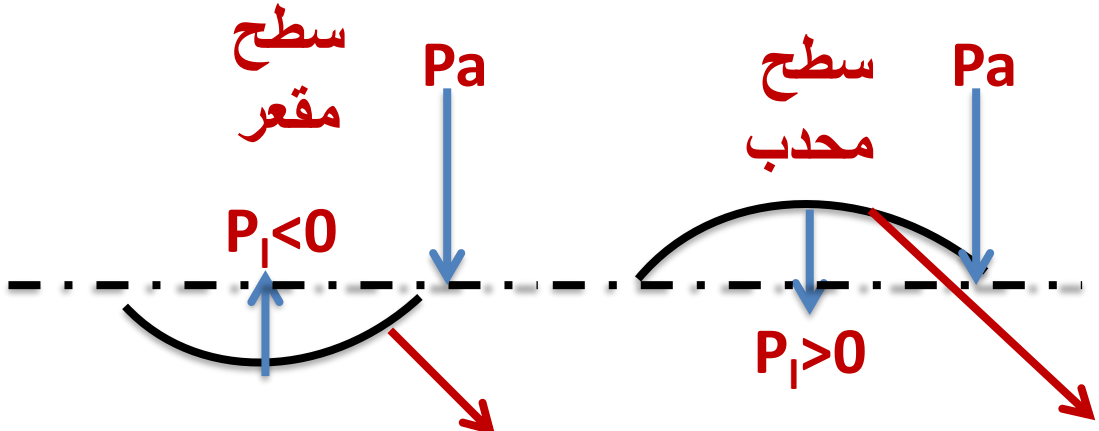
العوامل المؤثرة على التوتر السطحي : يتناقص التوتر السطحي بارتفاع درجة الحرارة و بإضافة الشوائب .

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 المقعر = Pa-Pl

الضغط على سطح السائل المحدب = Pa+Pl

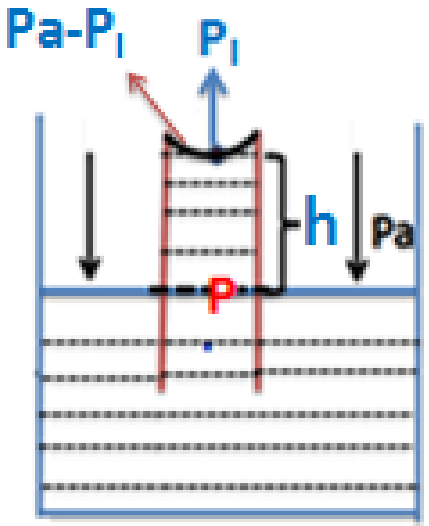
الضغط اللابلاسي في الحالة الكروية

$P_l = -2\sigma / R$

الضغط اللابلاسي في الحالة الأسطوانية

$P_l = -\sigma / R$

الظاهرة الشعرية



الضغط على سطح السائل P_a-P_l =

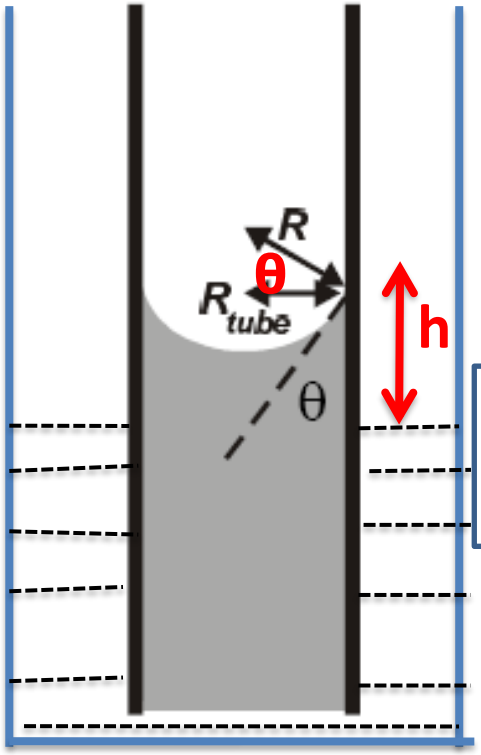
إذا أدخل أنبوب شعري في سائل يرتفع السائل داخل الأنبوب وفقا للضغط اللابلاسي P_l .

$P_l=2\sigma/R$ (حالة كروية) ⇐ الضغط على سطح السائل داخل الأنبوب Pa - Pl =

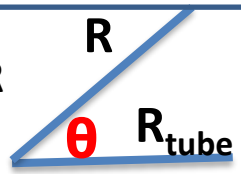
يرتفع الماء داخل الأنبوب لارتفاع h عن النقطة p (سطح السائل)

ضغط السائل عند النقطة p : $P(p)=Ps+\rho gh=(Pa-Pl)+\rho gh$

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



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



P (عند النقطة p) = pعلى سطح السائل خارج الأنبوب pa

$(Pa-pl)+\rho gh=Pa$

$P_l=\rho gh$

$2\sigma/R=\rho gh$

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

$h= 2\sigma\cos\theta/\rho g\ Rtube$

ارتفاع السائل داخل الأنابيب الشعرية

خطورة الظاهرة الشعرية على الأبنية 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؟

نطبق علاقة h من أجل حالة التبلل الكلي (cosθ=1)

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

حيث σ (ماء)= 0.073N/m، ρ=1000kg/m^3 قطر المسامات الإسمنتية ~1μm Rtube ~10^{-6} m

h~15m

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

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

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

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 = 0.5L/s فأوجد سرعة الماء في :
1)- الخرطوم 2) الفوهة.

لمعرفة سرعة السائل نستعمل علاقة التدفق Q=AV

مساحة المقطع العرضي للخرطوم $A_1=\pi r_1^2 = 3.14x(0.9x10^{-2})^2=2.54x10^{-4}\ m^2$

تحويل معدل التدفق من L/s إلى m^3/s

سرعة الماء عبر الخرطوم

$$v_1 = \frac{0.500\ X10^{-3}}{3.14(9.00\times 10^{-3}\ \text{m})^2} = 1.96\ \text{m/s}.$$

لإيجاد V_2 سرعة الماء عبر الفوهة نستعمل معادلة الاستمرارية $A_1 v_1 = A_2 v_2.$

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

سرعة الماء عبر الفوهة

$$v_2 = \frac{(0.900\ \text{cm})^2}{(0.250\ \text{cm})^2}\,1.96\ \text{m/s} = 25.5\ \text{m/s}.$$

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 اللزوجة :

$$F = \eta \frac{vA}{L}.$$

بالتعويض في القانون مع مراعاة التحويل للواحدات الدولية نجد :

$F=1.55.0.03.100.10^{-4}/0.002 = 0.23N$

مسألة عن تحديد طبيعة التدفق عبر جملة تكييف هواء

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

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

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

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

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

$1835 < 2000$ $\Leftarrow$ الافتراض صحيح و التدفق صفائحي

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

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

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

من أجل قيم للسرعة <0.16يتحول التدفق لاضطرابي

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

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

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

حيث $\rho=10^3 kg/m^3$ ،$g=10m/s^2$

$Cos\alpha=Rtube/R$

$R_1=2x0.073/10^4x8x10^{-2}=1.8x10^{-4}m$

$R_2=2x0.073/10^4x4x10^{-2}=3.65x10^{-4}m$

$R_3=2x0.073/10^4x2x10^{-2}=7.3x10^{-4}m$

و بما أن التبلل كلي : $cos\alpha=1$ ⇐

$R_{tube1}=R_1$ $=1.8x10^{-4}$ m	$R_{tube2}=R_2$ $=3.65x10^{-4}$m	$R_{tube3}=R_3$ $=7.3x10^{-4}$ m

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

الضغط اللابلاسي في الأنبوب الأول : $Pl_1=2x0.073/1.8x10^{-4}=800Pa$

الضغط اللابلاسي في الأنبوب الثاني : $Pl_2=2x0.073/3.65x10-4=400Pa$

الضغط اللابلاسي في الأنبوب الثالث : $Pl_3=2x0.073/7.3x10-4=200Pa$

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