المحاضرة الرابعة و الخامسة

العمل و الطاقة

+ السوائل

مركزكتلة الجسم- center of mass

إذا كانت الجسيمات العنصرية المكونة للجسم صغيرة جدا ، وعددها←∞

يتحول المجموع في علاقة إحداثيات مركز الكتلة إلى تكامل وفقا للعلاقات التالية :

تدرس إحداثيات مركز الكتلة في حال توزع الكتلة الكلية للجسم على الجسيمات العنصرية المكونة للجسم على طول أو مساحة سطح ما أو حجم.

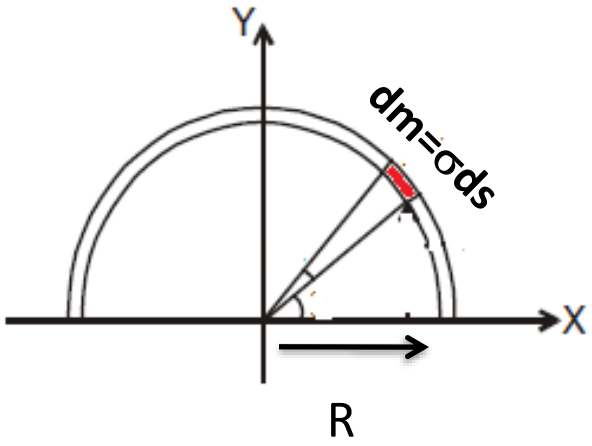
يقسم الجسم لجسيمات عنصرية صغيرة تحمل كتلة عنصرية dm.

dm = λdL. ، حيث dL الطول العنصري ، λ الكثافة الخطية للمادة.

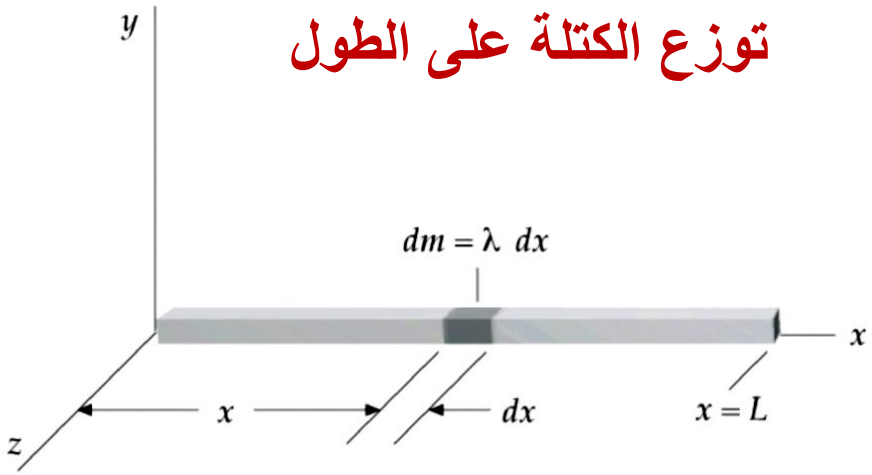
dm = σds. ، حيث ds السطح العنصري ، σ الكثافة السطحية للمادة.

dm= ρ dV،حيث dV الحجم العنصري، ρ كثافة المادة الحجمية

توزع الكتلة على المساحة



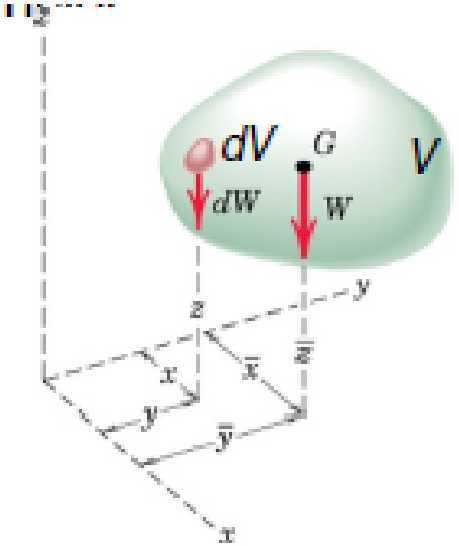
توزع الكتلة على الطول



الصيغة العامة لإحداثيات مركز الكتلة

$$\overline{X} = \frac{1}{M}\int x\,dm$$

$$\overline{Y} = \frac{1}{M}\int y\,dm$$



توزع الكتلة على الحجم

العمل و الطاقة

إذا أثرت القوة $\vec{F}$ على الجسم و أدت لانتقاله مسافة $\vec{X}$، ينتج لدينا العمل الذي يساوي الجداء الداخلي للقوة و الانتقال و يعطى بالعلاقة : $W = \vec{F} \cdot \vec{X}$ Joul (J)

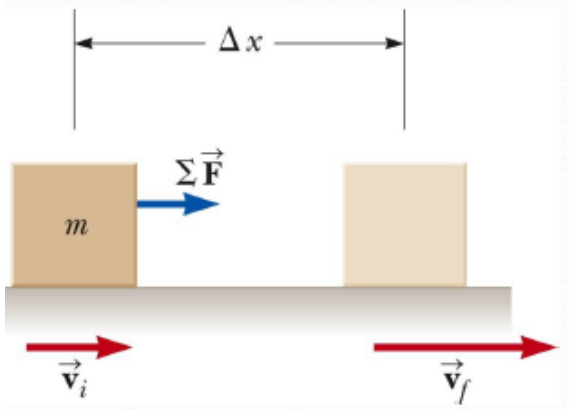
$$W = |\vec{F}|.|\vec{X}|.\cos\theta$$

نميز عدة حالات حسب قيمة الزاوية θ
بين حامل القوة و الانتقال

الزاوية θ	$\theta=90$	$\theta=0$
$W=F.X.\cos\theta$	العمل معدوم $W=0$	$W=F.X$

الطاقة الحركية

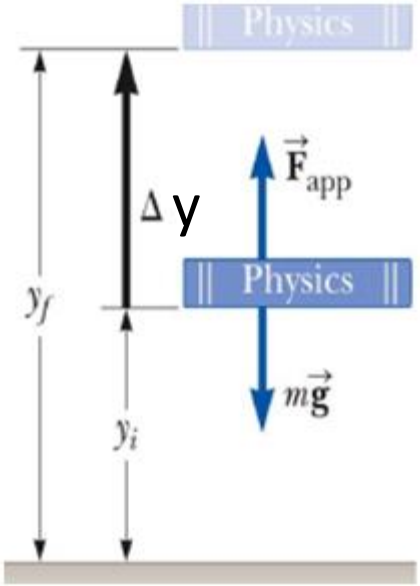
إذا أدى العمل المطبق على الجسم لتغير في سرعته ⇐ يكون العمل مساويا لتغير الطاقة الحركية للجسم (حيث الطاقة الحركية للجسم $E_K = 1/2m.V^2$).



$$W=\Delta E_K = \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2$$

الطاقة الكامنة

تدعى الطاقة المحفوظة في الجسم بالطاقة الكامنة ، و إذا ادى تطبيق القوة على الجسم لإزاحته من الموضع 1 إلى الموضع 2 يكون العمل مساويا لتغير الطاقة الكامنة ΔEP(حيث الطاقة الكامنة للجسم $E_n=F.y$)



$$W=\Delta E_P = F(Y_f - Y_i) = F.\Delta y$$

عندما تكون القوة المطبقة لرفع الجسم = وزن الجسم mg (مثل حالة رفع كتاب من موضع لآخر) تكون الطاقة الكامنة طاقة كامنة ثقالية $mg.y = Ug$

الطاقة الكلية للجسم E (الطاقة الميكانيكية) = $E=EK+EP$

انحفاظ الطاقة

تكون الطاقة الميكانيكية (الكلية) لجملة معزولة ثابتة أي:

$$E=E_K+E_P=const \quad \Leftarrow$$

$$\Delta E_K+\Delta E_P=0 \quad \Leftarrow$$

الاستطاعة P

معدل استهلاك الطاقة خلال الزمن

$$P=\frac{dE}{dt} \Rightarrow P=\frac{W}{t}$$

$$[P]=\frac{E}{t}= Joul/Sec = Watt$$

ملاحظات مهمة

لدى دراسة الطاقة الكامنة ، نتطرق لنوعين من القوى: القوى المحافظة و القوى غير المحافظة. القوى المحافظة : هي القوى التي يكون العمل الناتج عنها غير متعلق بالمسار (أي متعلق فقط بالنقطة الابتدائية و النهائية للمسار) مثل القوة المتعلقة بالجاذبية الأرضية(قوة الثقل)

القوى غير المحافظة : هي القوى التي يكون العمل الناتج عنها متعلق بالمسار، مثل قوة الاحتكاك.

لا توجد طاقة كامنة مرافقة للقوى غير المحافظة حيث تفقد الطاقة من الجملة (على شكل طاقة حرارية) كما في قوة الاحتكاك

⇐ الطاقة الكامنة مرافقة للقوى المحافظة الموجودة في الجملة فقط.

نميز نوعين من الجمل : الجملة المعزولة و الجملة غير المعزولة

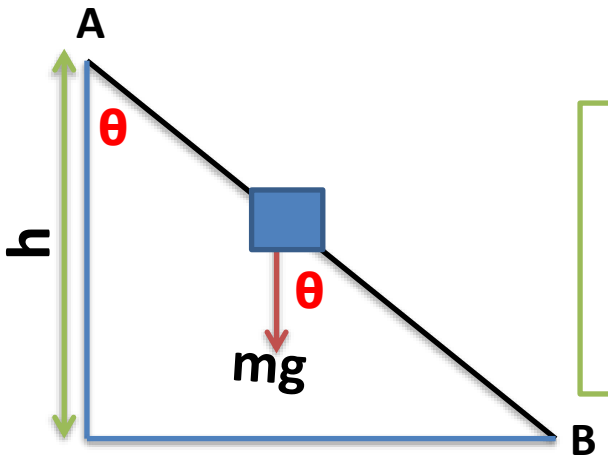
الجملة المعزولة : تكون الطاقة الكلية للجملة المعزولة ثابتة (انحفاظ الطاقة) أي لا تعبر الطاقة حدود الجملة و لا يوجد ضياع للطاقة و إنما تحول من شكل لآخر (حركية ↔ كامنة)

(لا يوجد قوى غير محافظة).

الجملة غير المعزولة : تعبر الطاقة حدود الجملة بعدة طرق و تتغير الطاقة الكلية للجملة . بسبب ضياع الطاقة إما بشكل حراري أو كهربائي .... (يوجد قوى غير محافظة).

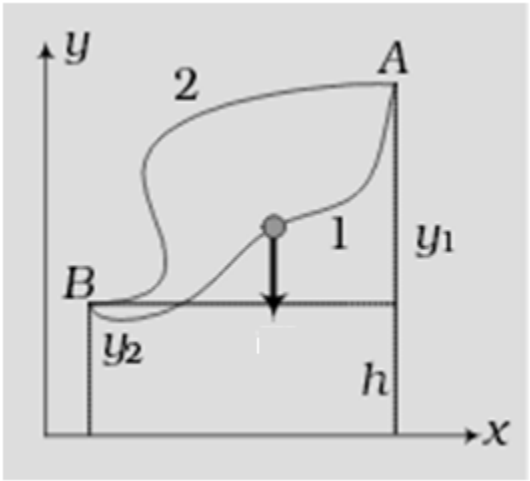
في حال وجود قوة غير محافظة تضاف الطاقة المتحولة لطاقة حرارية إلى الطاقة الحركية و الطاقة الكامنة للجملة.

أمثلة



يتحرك جسم كتلته m تحت تأثير قوة ثقله على مسار أفقي AB و يكون العمل الناتج عن قوة الثقل $W=mg\ .AB\ .\cos\theta$

h



عمل قوة الثقل لا يتعلق بالمسار و إنما بنقطة البداية و النهاية فقط A و B(الارتفاع) أي :

$$W_{A\to B} = mg(y_1 - y_2)$$

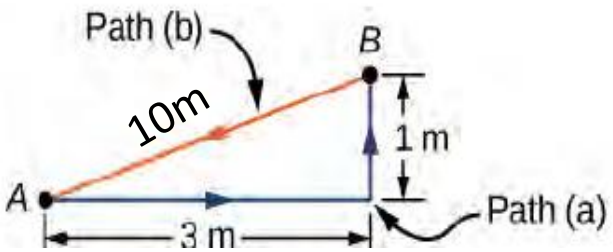
$$W_{B\to A} = mg(y_2 - y_1)$$

$$W_{A\to B\to A} = 0$$

قوة الثقل قوة محافظة حيث عملها لا يتعلق بالمسار وتكون الطاقة الكلية محفوظة في هذه الجملة

الجملة معزولة

أمثلة



لدى دراسة عمل قوة الاحتكاك الناتجة عن تحريك جسم على أرضية خشنة وفق مسارين المسار a و المسار b
(و لتكن fK=0.6N) نجد أن :

عمل قوة الاحتكاك وفق المسار a: $W_{A\to B}(fk) = -fk.(3+1)=-0.6x4= -2.4J$

عمل قوة الاحتكاك وفق المسار b:

$$W_{B\to A}(fk) = -fk.(\sqrt{10})=-0.6x3.16= -1.89J$$

عمل قوة الاحتكاك على المسار a ≠ عمل قوة الاحتكاك على المسار B

قوة الاحتكاك قوة غير محافظة حيث عملها يتعلق بالمسار وتكون الطاقة الكلية غير محفوظة في هذه الجملة حيث تتبدد جزء من طاقة الجملة في حالة وجود الاحتكاك على شكل طاقة حرارية

الجملة غير معزولة

السوائل

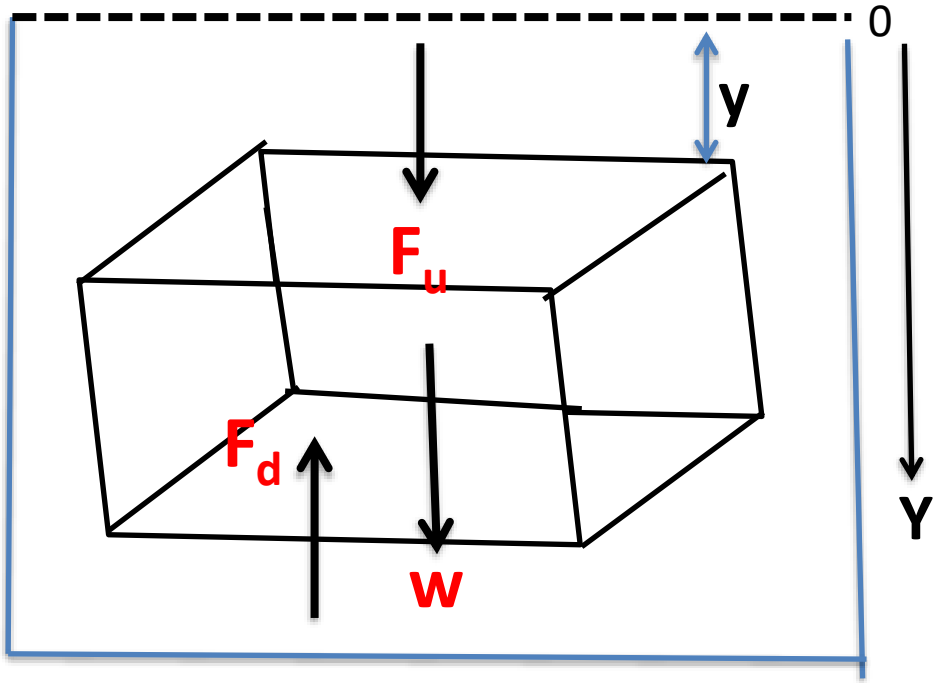
تتميز السوائل عن الأجسام الصلبة بأنه ليس لها شكل هندسي محدد و الروابط بين جزيئاتها ضعيفة على عكس الأجسام الصلبة التي تكون جزيئاتها ثابتة في مكانها والروابط فيما بينها قوية. أما الغازات فتكون الروابط بين جزيئاتها أضعف من السوائل وتكون متباعدة عن بعضها البعض.

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 على شكل متوازي مستطيلات مساحة سطحها A و سماكتها dy (أي حجمها V=Ady) ، نطبق شرط التوازن ΣF=0



القوى وفق المحور الشاقولي (Z) :

قوة على الوجه العلوي للشريحة Fu

قوة على الوجه االسفلي للشريحة Fd

قوة ثقل الشريحة W=m g

$$P=P_s+\rho gh$$

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	$1\ atm = 760\ mmHg$
	$= 1.013 \times 10^5\ Pa$
	$= 1013\ mbar$
	$1\ bar = 10^5\ Pa$
	$1\ torr = 1\ mm\ Hg = 133.3\ Pa$

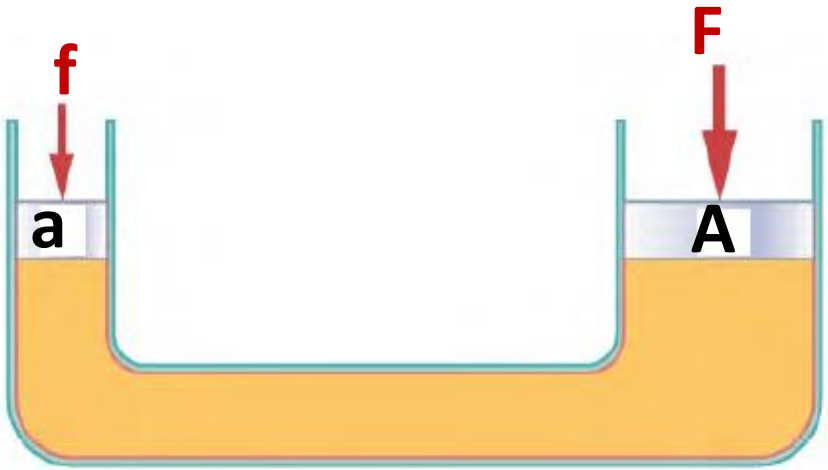
مبدأ الغطس

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

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

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

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

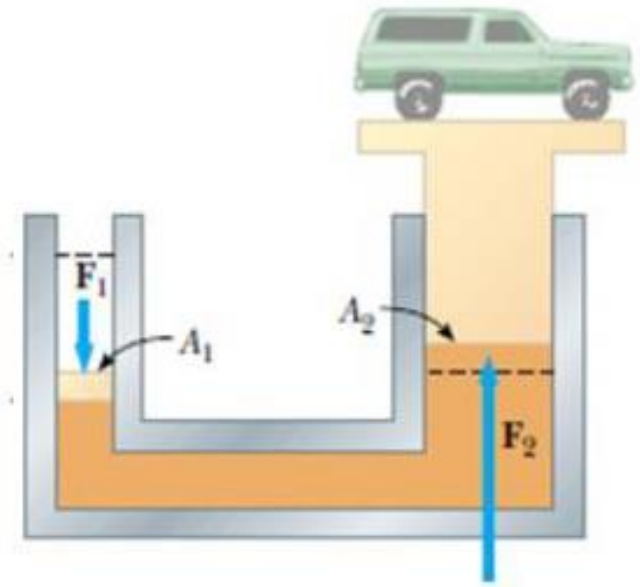
ينتقل نفس الضغط P لمساحة مقطع الجزء الكبير A فينتج عن تطبيقه قوة f < F بحيث تكون

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

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 / خواص السائل المثالي

ليكن لدينا الافتراضات التالية لحركة المائع (السائل) المثالي

السائل المثالي **عديم اللزوجة** (قوى الاحتكاك الداخلية مهملة)

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

السائل المثالي **غير قابل للانضغاط** (كثافة السائل ثابتة)

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 موجود في **الحالة المستقرة**

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

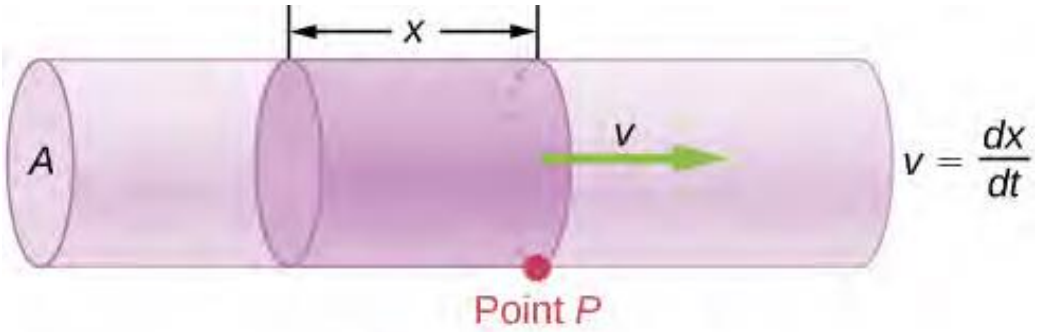
معدل التدفق الحجمي Q

يدعى حجم السائل المار عبرمساحة المقطع العرضي A خلا 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.

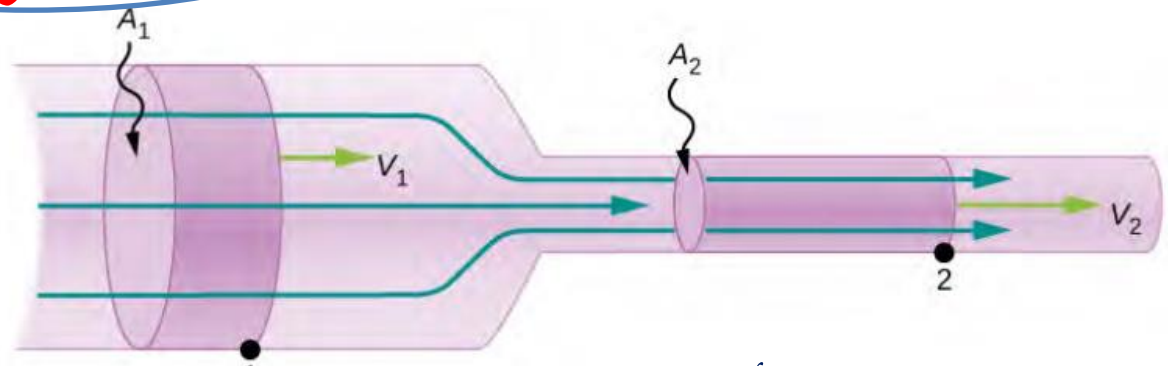
السائل مثالي وغير قابل للانضغاط على طول الأنبوب ⇐ نفس كمية السائل تعبر أي نقطة من نقاط الأنبوب أي كمية السائل المارة عبر النقطة 1= كمية السائل المارة عبر النقطة 2

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 A1 أكبر

مساحة المقطع العرضي A_2 أصغر

سرعة السائل المتدفق v1 أقل

سرعة السائل المتدفق v_2 أكبر

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

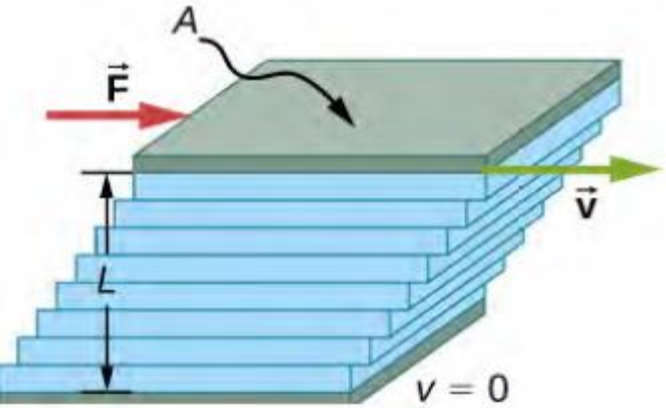
سرعة السائل المتدفق $Q/A=v$

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

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

لزوجة ↑ قابلية جريان ↓ سرعة جريان السائل ↓

لزوجة ↓ قابلية جريان ↑ سرعة جريان السائل ↑

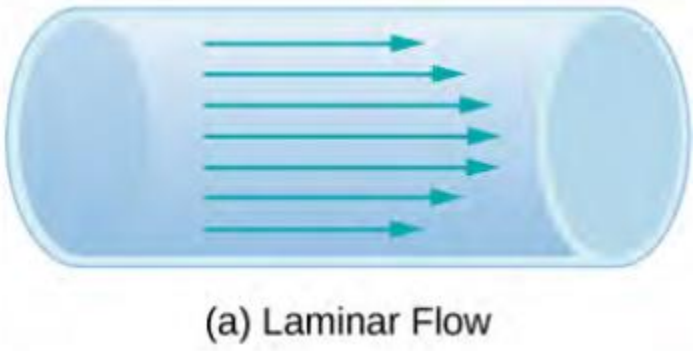
لكل سائل معامل لزوجة خاص به و يختلف معامل اللزوجة من مادة لأخرى وفقا لطبيعة المادة ودرجة الحرارة

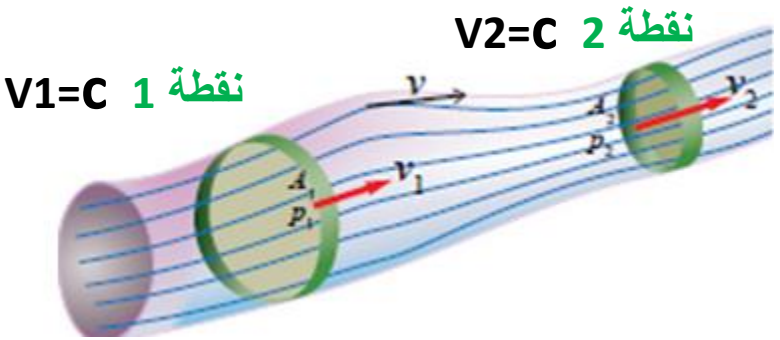
أنواع التدفق

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.

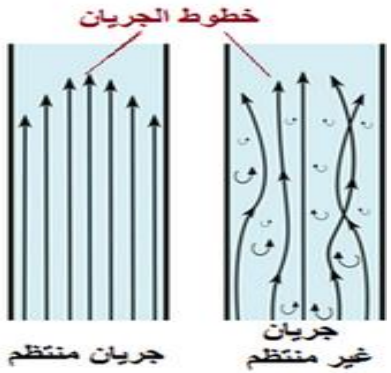

(a) Laminar Flow



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

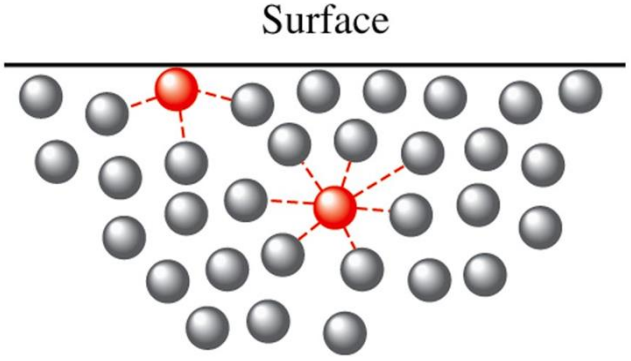
خصائص السوائل/ التوتر السطحي

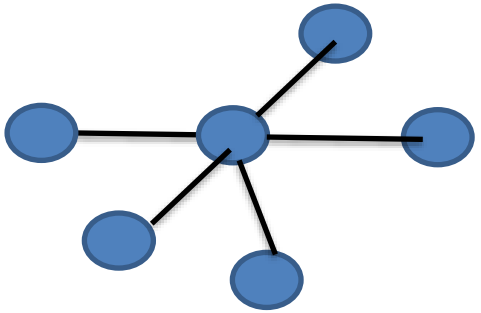
الفرق بين جزيئات الطبقة السطحية و الطبقات العميقة

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

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





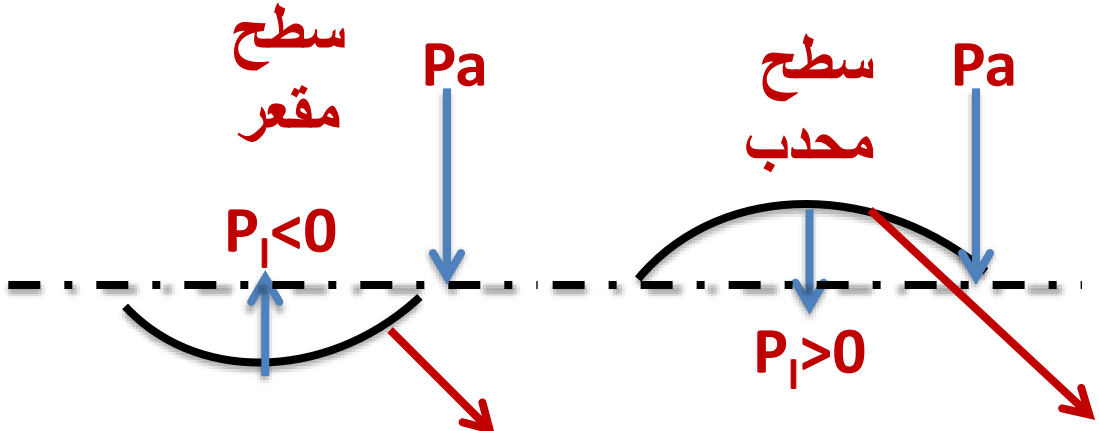
العوامل المؤثرة على التوتر السطحي : يتناقص التوتر السطحي بارتفاع درجة الحرارة و بإضافة الشوائب .

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

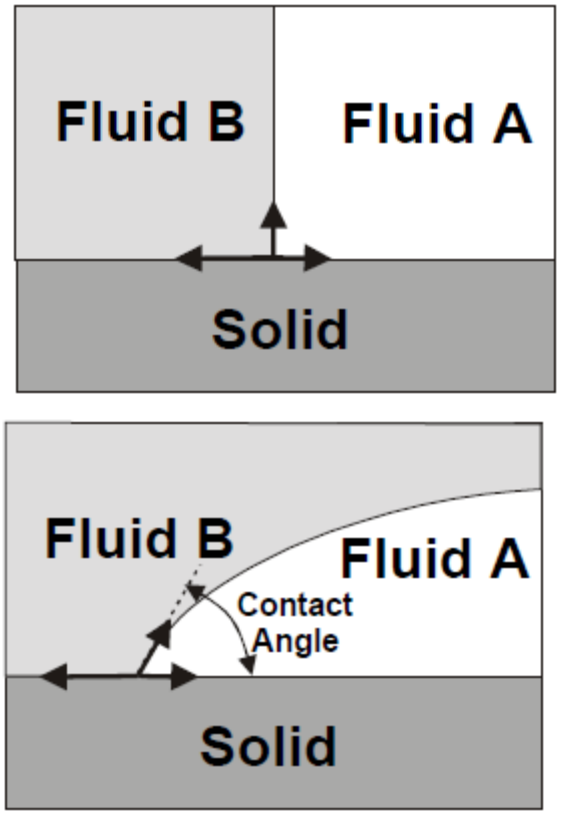
الضغط اللابلاسي في الحالة الكروية

$P_l = -2\sigma / R$

الضغط اللابلاسي في الحالة الأسطوانية

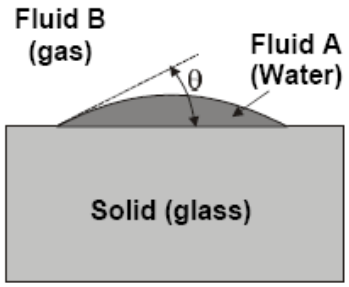
$P_l = -\sigma / R$

- 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.



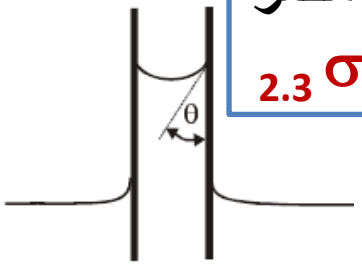
تبلل السطح الصلب

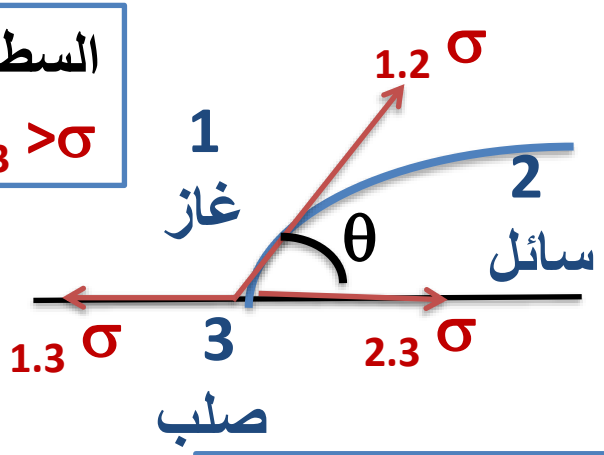
يعبر عن التوتر السطحي للسطح الفاصل بين وسطين من هذه الأوساط بالمقادير $\sigma_{2.3}$ (حالة صلب – سائل)، $\sigma_{1.2}$ (حالة سائل ، غاز)، $\sigma_{1.3}$ (حالة غاز- صلب)



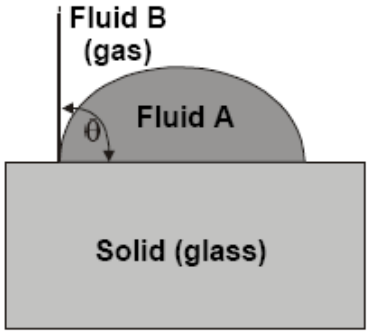
السطح مقعر

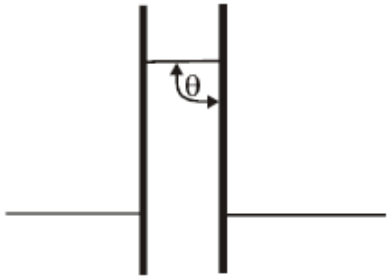
$\sigma_{2.3} > \sigma_{1.3}$



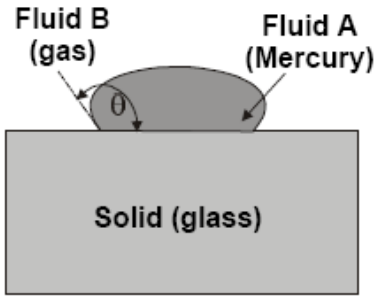


θ:زاوية التبلل





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



السطح محدب

$\sigma_{2.3} < \sigma_{1.3}$

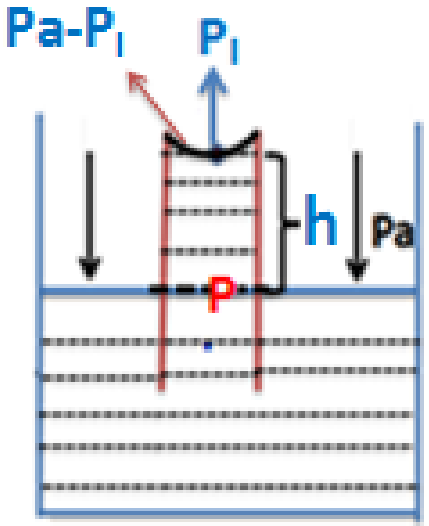
حالات التبلل

$\theta = 0$

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

$\theta = \pi$

الظاهرة الشعرية



الضغط على سطح السائل P_a-P_l =

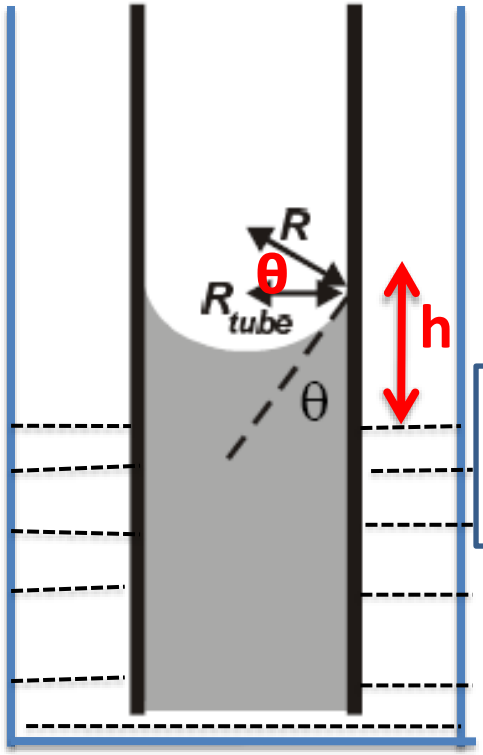
إذا أدخل أنبوب شعري في سائل يرتفع السائل داخل الأنبوب وفقا للضغط اللابلاسي P_l .

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

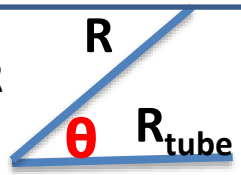
يرتفع الماء داخل الأنبوب لارتفاع h عن النقطة p (سطح السائل)

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