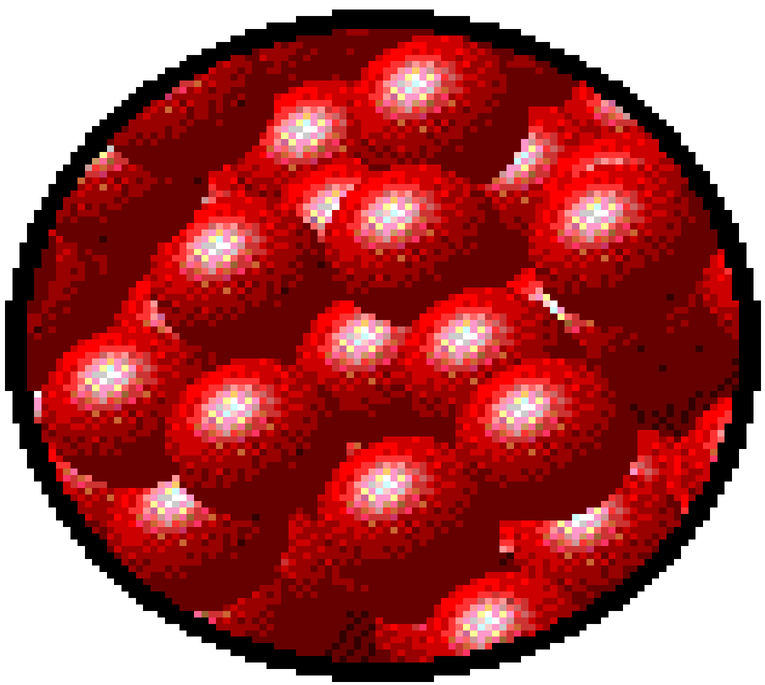
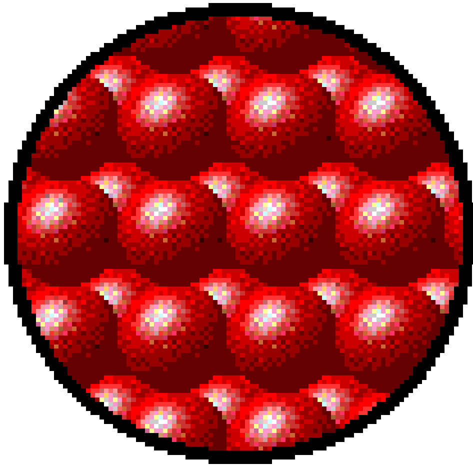
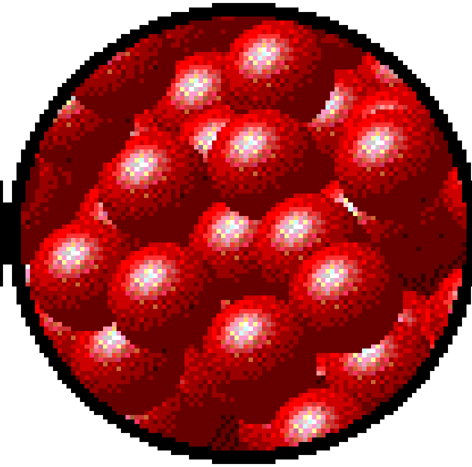
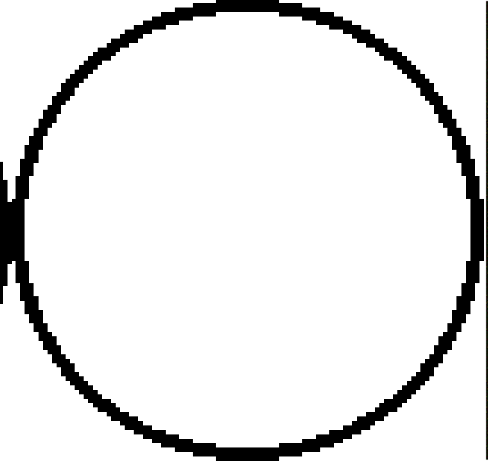
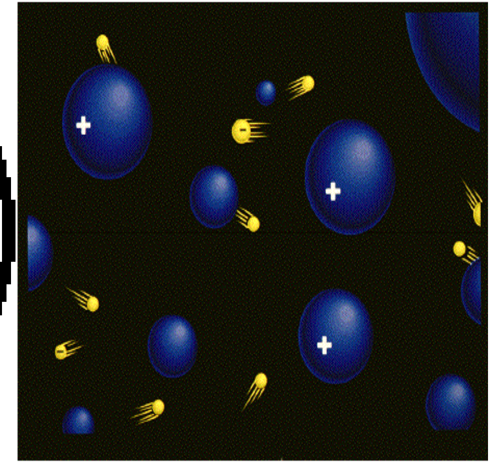
جامعة الأنبار
كلية التربية
قسم الفيزياء
المرحلة: الأولى
الدراسة الصباحية
المادة: الحرارة وخواص المادة

The Liquids

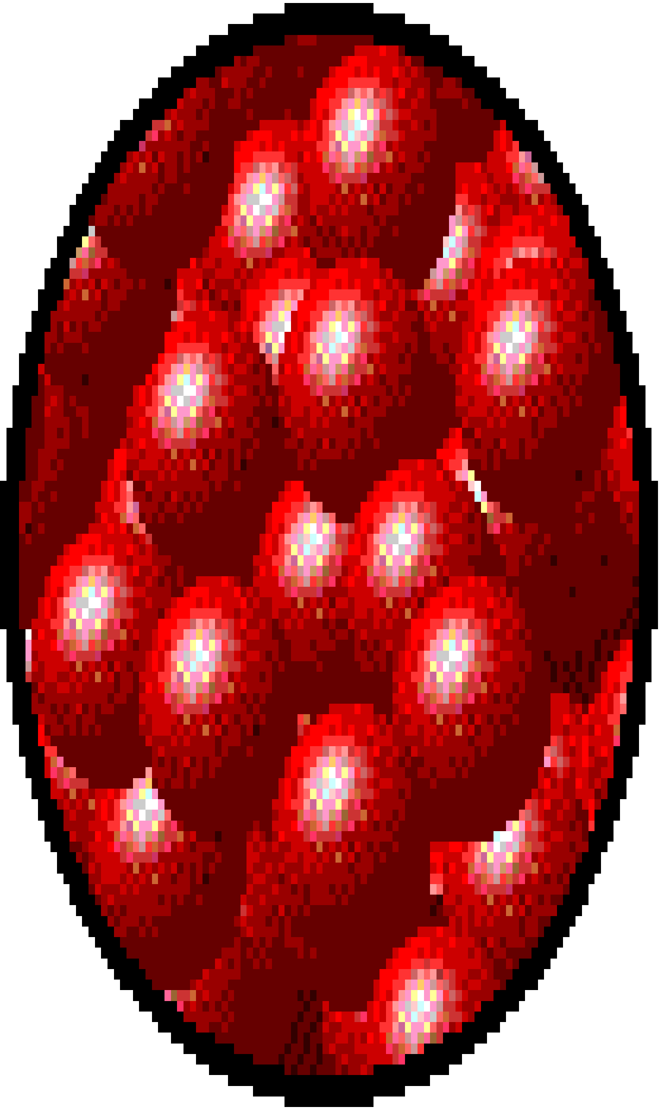
الفصل الثالث السوائل

The Liquids



Solids	Liquids	Gases	Plasma
1.Particles of solids are tightly packed, vibrating about a fixed position.	1.Particles of liquids are tightly packed, but are far enough apart to slide over one another.	1.Particles of gases are very far apart and move freely.	1.A plasma is an ionized gas.
2.Solids have a definite shape and a definite volume.	2.Liquids have an indefinite shape and a definite volume.	2.Gases have an indefinite shape and an indefinite volume.	2.A plasma is a very good conductor of electricity and is affected by magnetic fields.
3.Solids have an infinite number of free surfaces.	3.Liquids have one free surface.	3.Gases have no free surfaces.	3.Plasma, like gases have an indefinite shape and an indefinite volume.



السوائل: Liquids

تتميز الحالة السائلة للمادة عن الحالة الصلبة والغازية بامتلاكها حجم ثابت وشكل متغير، إذ تأخذ شكل الوعاء الذي توضع فيه وتكون قوى الترابط بين ذرات وجزيئات السائل أقل كثيراً مما هي عليه في الحالة الصلبة، وبناء على ذلك فان السوائل لا تظهر مقاومة للإجهاد المسلط عليها.

الكثافة: Density (ρ)

تعرف الكثافة الكتلية على أنها كتلة وحدة الحجوم. إن كثافة مادة ما كتلتها (m) وحجمها (V) تعرف بالمعادلة الآتية:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

ووحدة الكثافة الكتلية في النظام العالمي (SI)هي (Kg / m^3) أو (g / cm^3). إن كثافة الماء الكتلية عند درجة حرارة 4^oC هي 310 Kg / m^3 أو $1g / cm^3$ وكثافة الزئبق عند درجة حرارة الغرفة تساوي $13.6x10^3$ Kg / m^3 أو 13.6 g / cm^3.

تتغير كثافة المادة بتغير درجة حرارتها. ويعود السبب في ذلك إلى أن جزيئات المادة تهتز بمسافات اكبر عندما تزداد درجة حرارة المادة، لذا فان معدل المسافة بين الجزيئات سوف يزداد، أي أن كتلة المادة ستحتل حجماً اكبر مما يؤدي إلى تغير الكثافة بتغير درجة الحرارة. وبصورة عامة تقل كثافة المواد بارتفاع درجة حرارتها (ما عدا بعض الاستثناءات التي تزداد فيها الكثافة بارتفاع درجة الحرارة ضمن مدى معين من درجات الحرارة، ومن الأمثلة المعروفة الماء الذي تزداد كثافته عندما ترتفع درجة الحرارة من 0^oC إلى 4^oC). والجدول (1) يبين كثافة بعض السوائل المعروفة، كذلك يبين الجدول (2) اعتماد كثافة الماء على درجة الحرارة.

الجدول (1) كثافة بعض السوائل المعروفة

المادة	الكثافة الكتلية g / cm^3
الماء	0.998
البنزين	0.879
الزئبق	13.6
ماء البحر	1.025

الجدول (2) كثافة الماء ودرجة الحرارة

المادة	الكثافة الكتلية g / cm^3
الماء عند 0^oC	0.9998
الماء عند 4^oC	1.000
الماء عند 20^oC	0.9983
الماء عند 100^oC	0.9584
ماء البحر عند 15^oC	1.035

تعتمد كثافة المادة على عاملين رئيسين وهما:

1. كتلة الذرات أو الجزيئات.
2. المسافة البينية بين الذرات والجزيئات.

مثال ذلك الحديد والألمنيوم ، إذ نجد أن نسبة كثافة الحديد $7.9\ g / cm^3$ إلى كثافة الألمنيوم $2.7\ g/cm^3$ هي (2.9) بينما نجد أن نسبة العدد الذري للحديد (56) إلى العدد الذري للألمنيوم (27)هي أكثر من (2) بقليل . فإذا كانت المسافة بين الذرات هي نفسها للمادتين فستكون نسبة كثافة الحديد إلى الألمنيوم هي الضعف وهذا يدل على أن ذرات الحديد تكون متقاربة أكثر مما تكون علية ذرات الألمنيوم.

الوزن النوعي (الكثافة النسبية): Specific Gravity

نظرا لإمكانية وجود الخطأ في قياس الحجم للمادة فقد تم اللجوء إلى مفهوم جديد هو الوزن النوعي (SG) أو الكثافة النسبية : وهي خاصية مرتبطة ارتباطاً وثيقاً بالكثافة، وتعرف بالنسبة بين كثافة المادة وكثافة الماء عند 4^oC .

$$SG= \frac{\rho}{\rho_{H_2O}}$$

حيث أن الوزن النوعي نسبة لا أبعاد لها، فان له نفس القيمة في كل نظم الوحدات.

مثال (1): ما هو الحجم الذي تشغله كمية من الزئبق مقدارها 300g؟ كثافة الزئبق $13600 Kg/m^3$.

الحل:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$V= \frac{m}{\rho} = \frac{300 x 10^{-3} Kg}{13600 Kg/m^3}$$

$$V= 2.2 x 10^{-5} m^3$$

مثال(2): ما هي كتله لتر واحد من زيت بذرة القطن. إذا كانت كثافته $926 Kg/m^3$ ؟ وما مقدار وزنه.

الحل:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = \rho V$$

$$m = 962\,Kg/m^3 \times 1000 \times 10^{-6}\,m^3$$

$$m = 0.962\,Kg$$

$$weight = m g$$

$$weight = 0.926\,Kg \times 9.8\,m/s^2$$

$$weight = 0.9074\,N$$

مثال(3): قارورة مدرجة كتلتها 30g وهي فارغة، و81g وهي مملوءة بالماء، و 68g وهي مملوءة بالزيت. احسب كثافة الزيت.

الحل: نجد أولا:حجم القارورة من العلاقة $\rho = \frac{m}{V}$ باستخدام بيانات الماء:

$$V = \frac{m}{\rho}$$

$$V = \frac{(81-30)\,x10^{-3}\,Kg}{1000\,Kg/m^3}$$

$$V = 51x10^{-6}\,m^3$$

أذن بالنسبة للزيت يكون:

$$\rho_{oil} = \frac{m_{oil}}{V}$$

$$\rho_{oil} = \frac{(68-30)\,x10^{-3}\,Kg}{51x10^{-6}m^3}$$

$$\rho_{oil} = 745\,Kg/m^3$$

مثال(4): الوزن النوعي للحديد هو 7.8. احسب كثافته وكتلة $300cm^3$ منه.

الحل:

$$SG = \frac{\rho}{\rho_{H_2O}}$$

$$\rho = 7.8 \times 1000\ Kg/m^3$$

$$\rho = 7800\ Kg/m^3$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = \rho V$$

$$m = 7800\ Kg/m^3 \times 60 \times 10^{-6}\ m^3$$

$$m = 0.468\ Kg$$

التوتر (الشد) السطحي: Surface Tension

المقدمة:

هو ذلك التأثير الذي يجعل الطبقة السطحيّة لأي سائل تتصرف كورقة مرنة. والذي يسمح للحشرات بالسير على الماء ، وطفو الأشياء المعدنية الصغيرة كالإبر،أو أجزاء ورق القصدير على سطح الماء. وهناك تأثيرات أخرى مثل، ميل السوائل للتكور في صورة قطرات وأن الماء مثلا يبلل سطح بعض المواد مثل الزجاج بينما يتكور ولا يبلل أسطح مواد أخرى مثل الشمع. من المعروف أيضا أن الماء يرتفع في الأنابيب الشعرية و هو ما يسمى بالخاصيّة الشعريّة بينما ينخفض مستوى سطح الزئبق في الأنبوبة الشعرية التي تغمر فيه وكذلك هناك العديد من الظواهر التي تدلل على التوتر السطحي.

التوتر (الشد) السطحي في الحياة اليومية:

تقدم ظاهرة التوتر السطحي تفسيراً لكثير من الظواهر الشائعة في حياتنا. فعلى سبيل المثال تأخذ قطرات السوائل أشكال شبه كروية بسبب ظاهرة الشد السطحي، وذلك لأن الكرة هي الشكل الهندسي ذو مساحة السطح الأقل. كما أن تباين مدى قوة قوى تماسك جزيئات السائل وقوى الالتصاق بالمادة المحيطة بالسائل يفسر لنا لماذا يبلل سائل معين بعض المواد في حين أنه لا يبلل مواد أخرى. فعلى سبيل المثال فإن الماء لا ينتشر على الأسطح النايلونية أو الأسطح المغطاة بالشمع وذلك لأن قوى تماسك جزيئات الماء مع بعضها البعض أكبر من قوى التصاق الماء بالسطح المشمع، وبالتالي تتجمع قطرات الماء فوق ذلك السطح على شكل قطرات يمكن أن تسقط بسهولة دون أن تبلل السطح. وقد تم استغلال هذه الملاحظات في صناعة معاطف المطر والمظلات.

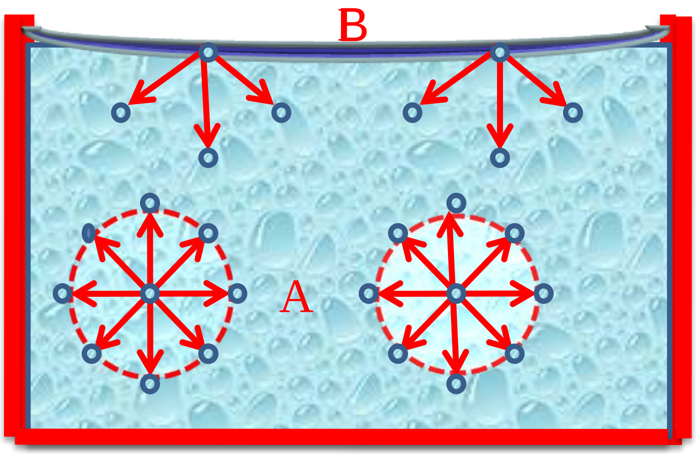
وتقدم ظاهرة التوتر السطحي تفسيراً لإمكانية عمل فقاعات الصابون بينما لا يمكن القيام بعمل فقاعات باستخدام الماء النقي وحده، وذلك لأن الماء النقي لديه قوى توتر سطحي كبيرة، ولكن بإضافة منشطات السطوح (كالصابون) إليه تقل تلك القوى بأكثر من عشر أضعاف، وبذلك يصبح من الممكن عمل فقاعات ذات سطوح كبيرة بكتلة قليلة من السائل.

كما أن إضافة الصابون إلى الماء تجعله منظفاً ممتازاً عبر تقليل توتره السطحي وبالتالي تجعله قادراً على تبليل والإحاطة بالأوساخ لتسهل إزالتها. ويمكنك التحقق من ذلك باستخدام بعض الصابون حتى تتمكن من مزج الماء بالزيت مثلاً. حيث يعمل الصابون في هذه الحالة على تقليل التوتر السطحي متيحاً إمكانية عمل قطرات ضئيلة الحجم من الزيت داخل مقدار من الماء أو العكس. بينما لو لم يكن الصابون موجوداً لما امتزج السائلان وذلك لأن قوى التوتر السطحي لدى كل من السائلين أكبر من قوى تماسك أحدهما مع الآخر. كل هذه الأمور تظهر الأهمية البالغة لظاهرة التوتر السطحي.

ومن الملاحظات الأخرى التي تفسرها ظاهرة التوتر السطحي هو تكوين بعض السوائل لسطح محدب أو سطح مقعر عند وضعها في وعاء أنبوبي. وذلك يعود لتباين قوة التوتر السطحي وقوة التصاق جزيئات السائل بالوعاء المحيط.

النظرية الجزيئية والتوتر (الشد) السطحى

سبب التوتر (الشد) السطحي:



يحدث التوتر السطحي بسبب التجاذب بين جزيئات السائل بواسطة التغير في قوى الجزيئات الداخليّة.

في معظم السوائل كل جزيء (A) داخل السائل يتأثر بقوى تجاذب متساوية من جميع الاتجاهات بواسطة جزيئات السائل المحيطة به ، ولذا تكون القوى المؤثرة عليه متزنة أي تكون محصّلة هذه القوى تساوى صفر.

وعند سطح السائل تسحب الجزيئات (B) بواسطة الجزيئات الأخرى داخل السائل. لماذا؟

لان القوى المؤثرة على هذا الجزيء تصبح غير متوازنة و السبب في ذلك هو أن جزىء من نصف الكرة العلوي يقع فوق سطح السائل و بذلك يكون عدد الجزيئات الجاذبة فيه أقل من تلك الموجودة في النصف الأسفل و تكون هناك محصلة لقوة الجذب إلى داخل السائل.

وكلما زاد اقتراب الجزيء من سطح السائل فإن حالة عدم الاتزان تزداد حتى تبلغ قيمتها العظمى عندما يكون الجزيء على سطح السائل. و لذلك فإن الجزيئات الموجودة على سطح السائل تتعرض إلى قوى جذب كبيرة في اتجاه داخل السائل. هذه القوى تجعل سطح السائل يميل إلى التقلص ليصغر في المساحة. وهذه القوى تسبب قوى التوتر لسطح السائل والتي تعرف بقوى التوتر السطحي γ .

ومما سبق تستنتج أن لزيادة سطح السائل لابد من بذل شغل لكي ندفع بعض الجزيئات من داخل السائل إلى سطحه وهذا الشغل سيبذل ضد القوى الجاذبة التي تجذب هذه الجزيئات إلى داخل السائل أي ضد قوى التوتر السطحي. وعلية فإن أي جزيء من الجزيئات الموجودة على السطح تكون له طاقة وضع إضافية بالإضافة إلى تلك التي للجزيء المغمور تحت السطح. (طاقة الجزيئات على سطح السائل اكبر من طاقة الجزيئات داخل السائل).

و يعرف الشغل المبذول لزيادة مساحة سطح سائل ما بمقدار وحدة المساحات عند ثبوت درجة الحرارة بمعامل التوتر السطحى لهذا السائل γ و يتضح من التعريف أن وحداته هي جول/ متر مربع .

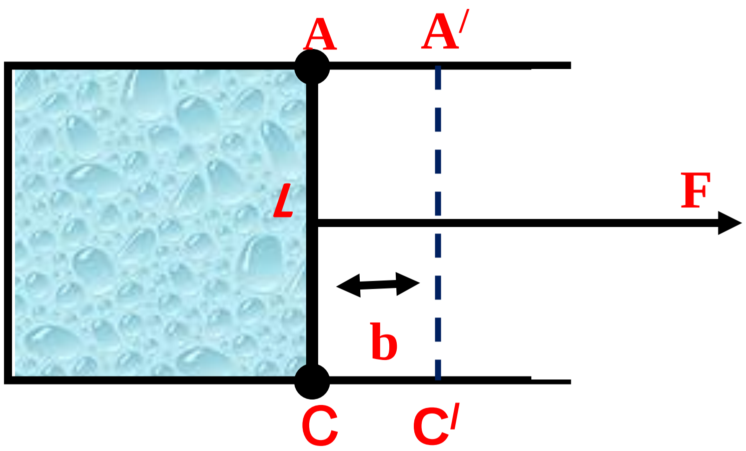
وهناك تعريف آخر لمعامل التوتر السطحى γ بأنه القوة المؤثرة عموديا على وحدة الأطوال من السائل.

$$\gamma=F/L$$

الطاقة السطحية: Surface Energy

لكي نقوم بزيادة مساحة سطح السائل فإنه من الضروري أن نحضر بعض جزيئات من داخل السائل إلى سطح السائل و هذا يتطلب التغلب على قوى التماسك بين جزئيات السائل و هذا يعنى بذل شغل للتغلب على هذه القوة. وعلى هذا الأساس فإنه يتضح أن طاقة الجزيئات على سطح السائل أكبر من طاقة الجزيئات داخل السائل ويطلق على هذه الزيادة اسم طاقة السطح.

ولحساب قيمة الشغل المسبب لزيادة طاقة السطح وقيمة القوة المسببة له نبحث الحالة التي يزداد فيها سطح السائل.



لنأخذ غشاء من سائل على إطار من السلك ذو ثلاثة أضلاع ويتحرك سلك طوله L بحرية على الضلعين الآخرين. فإذا أثرنا على هذا السلك بقوة F في مستوى الإطار وعمودياً على السلك، فيكون الشغل المبذول بهذه القوة أثناء حدوث إزاحة قدرها b يعطى بالعلاقة: $W=F.b$

والقوة المؤثرة على السطح AC تعطى بالعلاقة

$$F = \gamma . L$$

ولكن ما دام السطح متزن ووفق قانون نيوتن لكل فعل رد فعل مساوي له في المقدار ومضاد له في الاتجاه بمعنى أن السطح في هذه الحالة يتعرض لضعف القوة F.

$$F = 2 \gamma L$$

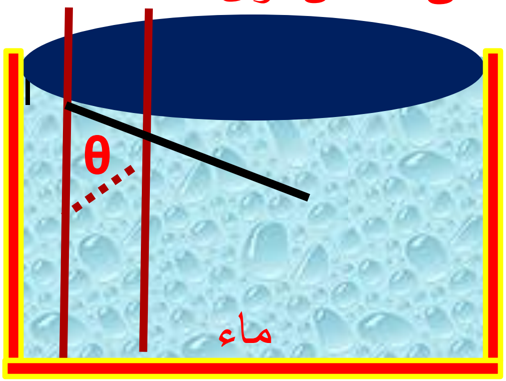
$$\therefore W = 2 \gamma L b = \gamma (2L b)$$

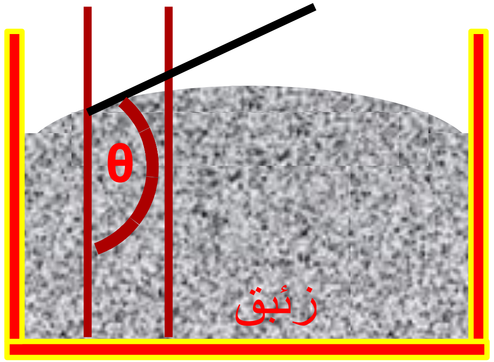
وحيث أن المقدار $2 L b$ يمثل الزيادة الإجمالية في مساحة سطح السائل أو الغشاء . وهنا نستطيع أن نؤكد <u>تعريف معامل التوتر السطحي</u> γ : بأنة الشغل المبذول لزيادة مساحة سطح السائل بمقدار وحدة المساحات في حالة ثبوت درجة الحرارة.

زاوية التلامس (الاتصال): Contact Angle

عند وضع أنبوبة شعرية في إناء به ماء فإننا نلاحظ ارتفاع الماء في الأنبوبة الشعرية ويكون شكل سطح الماء مقعر كما هو موضح في الشكل التالي وهذا يرجع إلى نتيجة إن قوة التلاصق بين الماء والأنبوبة أكبر من قوة التماسك. وتعرف الزاوية المحصورة بين المماس لسطح السائل وجدار الأنبوبة باسم زاوية التلامس وتكون حادة في حالة الماء.أما في حالة الزئبق فيكون شكل سطح الزئبق محدب وتكون زاوية التلامس منفرجة كما هو موضح بالشكل.

ملحوظة : زاوية التلامس تكون حادة إذا كانت قوى التلاصق أكبر من قوى التماسك. بينما تكون منفرجة إذا كانت قوى التلاصق أقل من قوى التماسك .





تعتمد زاوية التلامس على : 1- طبيعة السائل 2- طبيعة السطح الصلب الذي يلامس السائل

3- طبيعة الوسط الموجود فوق سطح السائل

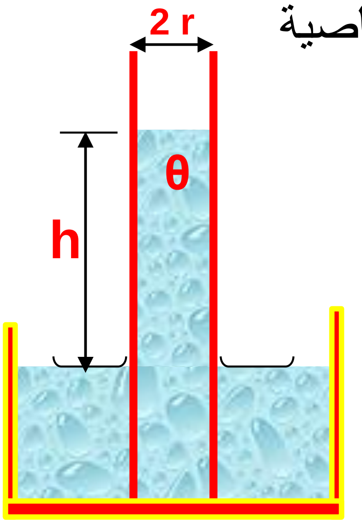
فمثلا زاوية التلامس بين الزئبق والزجاج في حالة وجود الهواء فوق الزئبق تختلف عن زاوية التلامس بين الزئبق والزجاج إذا كان الوسط المحيط بالزئبق هو ماء.

وتعطى زاوية التلامس بالعلاقة الآتية:

$$\theta = \cos^{-1} [-\gamma_S / \gamma_L]$$

حيث γ_L هي التوتر السطحي بين سطح السائل والوسط المحيط بالسائل بينما γ_S هي التوتر السطحي بين سطح السائل وسطح المادة الصلبة.

الخاصية الشعرية: Capillarity



تعرف ظاهرة ارتفاع السوائل التي تبلل السطح في الأنابيب الشعرية باسم الخاصية الشعرية. ويعتمد الارتفاع h داخل الأنبوبة الشعرية على :

1. طبيعة السائل.
2. قطر الأنبوبة الشعرية (كلما قل القطر زاد الارتفاع h).

ولإيجاد العلاقة بين نصف قطر الأنبوبة r والارتفاع h نفرض أن سائل يرتفع في أنبوبة شعرية كما بالشكل

حجم السائل المرتفع في الأنبوبة الشعرية = $\pi r^2 h$

وزن عمود السائل المرتفع في الأنبوبة = الكتلة x التسارع = الحجم x الكثافة x التسارع

= $\pi r^2 h \rho g$

وثبات السائل في الأنبوبة يعنى أن وزنه أصبح مساويا للقوة المسببة لانتشاره وهى قوة التوتر السطحي

$\gamma = F/L$ $\qquad$ $F = \gamma L$

وحيث L تمثل المحيط أي تساوى $= 2\pi r$

إذن قوة التوتر السطحي $= 2\pi r\,\gamma$ وهى تساوى وزن عمود السائل

إذن :

$$2\pi r\,\gamma = \pi r^2 h \rho g$$

ومنها : الارتفاع h يساوى

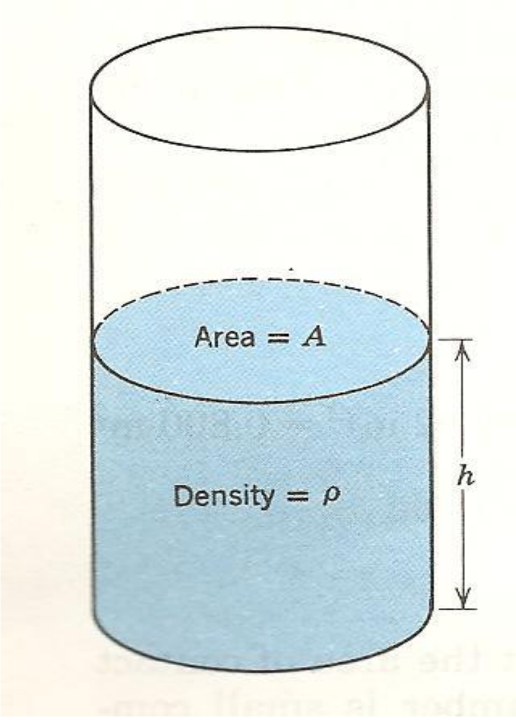
$$h = 2\gamma / r\rho g$$

The Pressure in Liquids (P) :الضغط في السوائل

يؤثر السائل بقوة على الجدران الجانبية وقاعدة الوعاء الذي يحتويه، وتكون القوة عمودية على جميع نقاط السطح الذي تؤثر عليه. ويعرف الضغط على انه القوة المؤثرة لوحدة المساحة، أي أن:

$P=F/A$

ووحدة الضغط في النظام العالمي للوحدات (SI) هي (N/m^2)، ويطلق على هذه الوحدة أحيانا Pascal.
يتناسب الضغط الذي يسلطه السائل نتيجة لوزنه عند أية نقطة داخل السائل مع كثافة السائل ومع عمق تلك النقطة عن سطح السائل.فإذا أخذت نقطة على عمق h cm في سائل كثافته (ρ gm/cm^3) كما في الشكل.
إن القوة التي يؤثر بها السائل على مساحة مقدارها A عند تلك النقطة تساوي:



$$F=w=mg$$

$$m=\rho V=\rho Ah$$

$$F=\rho gAh$$

$$P=\frac{F}{A}=\frac{\rho gAh}{A}=\rho gh$$

وإذا أردنا حساب الضغط الكلي المؤثر على المساحة السفلية A فإننا نضيف الضغط الجوي (لأن الإناء مفتوح) إلى ضغط عمود السائل، أي أن:

$$P_T=P_a+P_o$$

$$P_T=P_a+\rho gh$$

ومن المعروف أن الضغط الجوي في الظروف القياسية يساوي: $P_a=1.01325 \ x\ 10^5$ Pa وهذه تمثل ضغط عمود من الزئبق ارتفاعه 76 cm .

مثال: أوجد ضغط عمود من الزئبق ارتفاعه 76 cm علماً أن كثافة الزئبق $13600kg/m^3$.

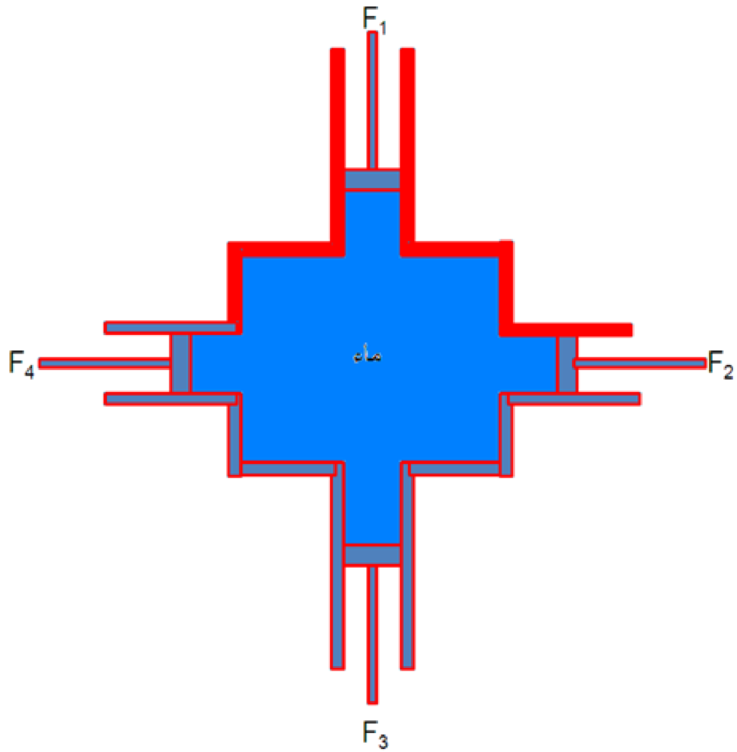
$$P=\rho gh$$

$$=13600\frac{kg}{m^3}x9.8\frac{m}{s^2}x0.76m$$

$$\cong 1.01325x10^5 Pa=1atm$$

ينتقل الضغط المسلط على سائل محصور في وعاء مغلق إلى جميع أنحاء السائل بالتساوي. ويمكن إثبات هذه الحقيقة تجريبياً، وذلك إذا أخذنا وعاء مغلقاً يحتوي على عدد من المكابس مملوء بالماء كما في الشكل فإذا كانت مساحة هذه المكابس متساوية وواقعة على نفس العمق. وسلطت قوة على احد هذه المكابس، فان قوى متساوية يجب أن تسلط على المكابس الأخرى من أجل المحافظة عليها في نفس أماكنها، أي أن:

$F_1=F_2=F_3=F_4$



مثال:

ما هو الضغط الكلي في أسفل بركة سباحة عمقها 2 m ومملوءة تماماً بالماء.

$$P_T = P_a + \rho g h$$

$$= 1.01325 \times 10^5 + 2 \times 1000 \times 9.8$$

$$= 1.013 \times 10^5 + 19600$$

$$= 1209600 \text{ Pa}$$

مثال: أحسب الضغط على عمق 50 m ببحيرة وعلى عمق 8000 m بالمحيط مع إهمال قيمة الضغط الجوي؟

$$P = \rho g h = 1000(kg/m^3) \times 9.8 \times 50 = 4.9 \times 10^5 Pa$$

$$P = \rho g h = 1025(kg/m^3) \times 9.8 \times 8000 = 8.04 \times 10^7 Pa$$

مثال: احسب قيمة الضغط عند عمق 76 cm في وجود مائع ساكن إذا كان هذا المائع:
(أ) ماء($\rho_w = 1000 Kg/m^3$). (ب) زئبق ($\rho = 13600 Kg/m^3$).

الحل:

- (أ)

$$P = \rho_w g h$$

$$P = 1000 Kg/m^3 \times 9.8 m/s^2 \times 76 \times 10^{-2} m$$

$$P = 7448 N/m^2 = 7.448 Kpa$$

- (ب)

$$P = \rho g h$$

$$P = 13600 Kg/m^3 \times 9.8 m/s^2 \times 76 \times 10^{-2} m$$

$$P = 101292.8 N/m^2$$

مثال (1):

مكعب من اليورانيوم ($\rho_u = 18.68 Kg/m^3$) طول كل من اضلاعة $2\ cm$.

1. أوجد كتلته.
2. ما طول ضلع مكعب من الثلج ($\rho_i = 920 Kg/m^3$) له نفس الكتلة؟

مثال (2):

احسب الكثافة والوزن النوعي للكازولين، إذا كان $51\ g$ منه يشغل $75 cm^3$.

مثال (3):

شريحة رقيقة من رقاقة ذهب مساحتها $3.12\ cm^2$ وكتلتها $6.5\ mg$ وكثافتها $\rho = 19300 Kg/m^3$. احسب سمك الشريحة.

مثال (4):

ما كثافة مادة نواة ذرة الهيدروجين؟ يمكن اعتبار النواة كأنها كرة نصف قطرها $1.2 x 10^{-15} m$ وكتلتها $1.67 x 10^{-27}\ Kg$.

مثال (5):

شخص كتلته $60\ Kg$ يقف على صندوق خفيف مكعب الشكل طول ضلعه $5\ cm$. الصندوق يستقر على الأرض . ما مقدار ضغط الصندوق على الأرض؟

مثال (6):

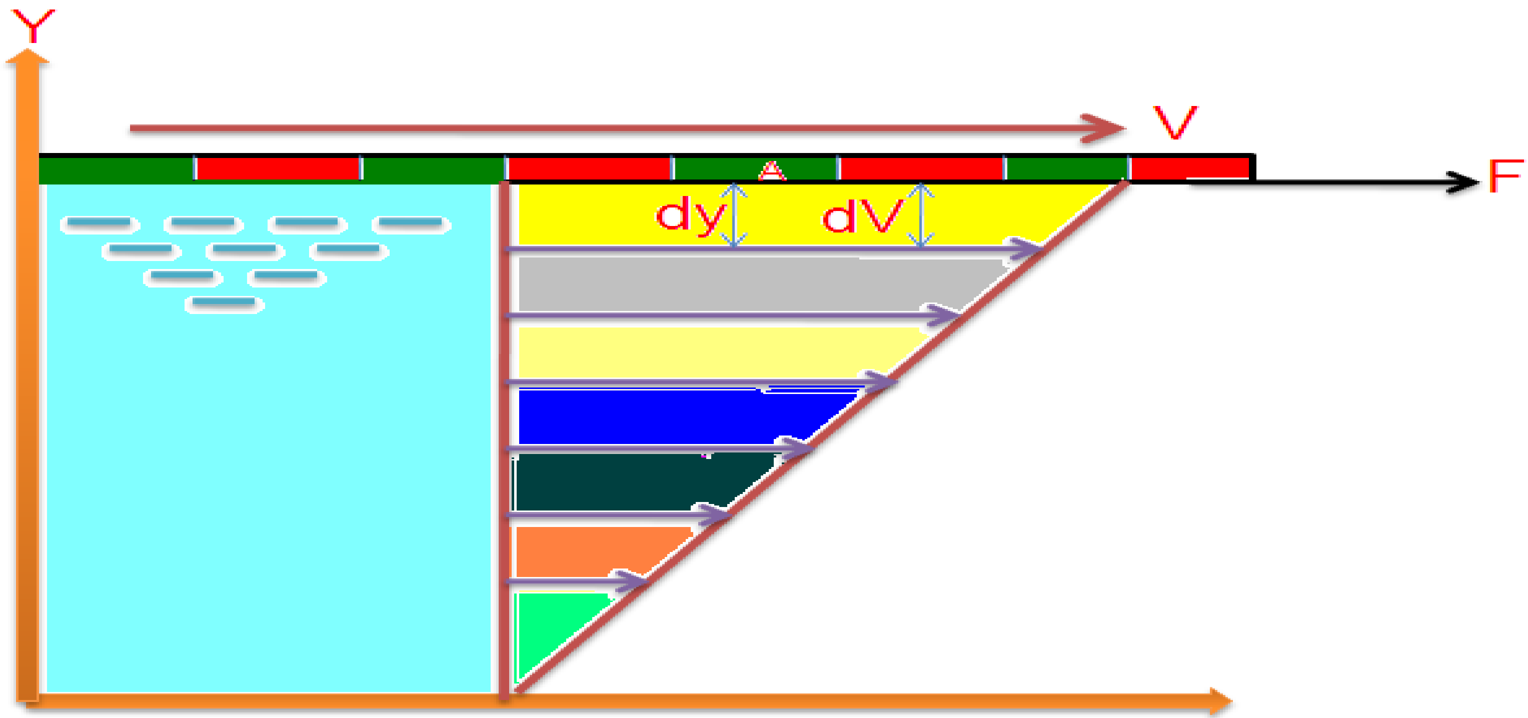
قارورة مدرجة كتلتها $25\ g$ وهي فارغة و $75\ g$ وهي مملوءة بالماء و $88\ g$ وهي مملوءة بالكلسرين. احسب:

1. كثافة الكلسرين.
2. الوزن النوعي للكلسرين.

اللزوجة : The Viscosity

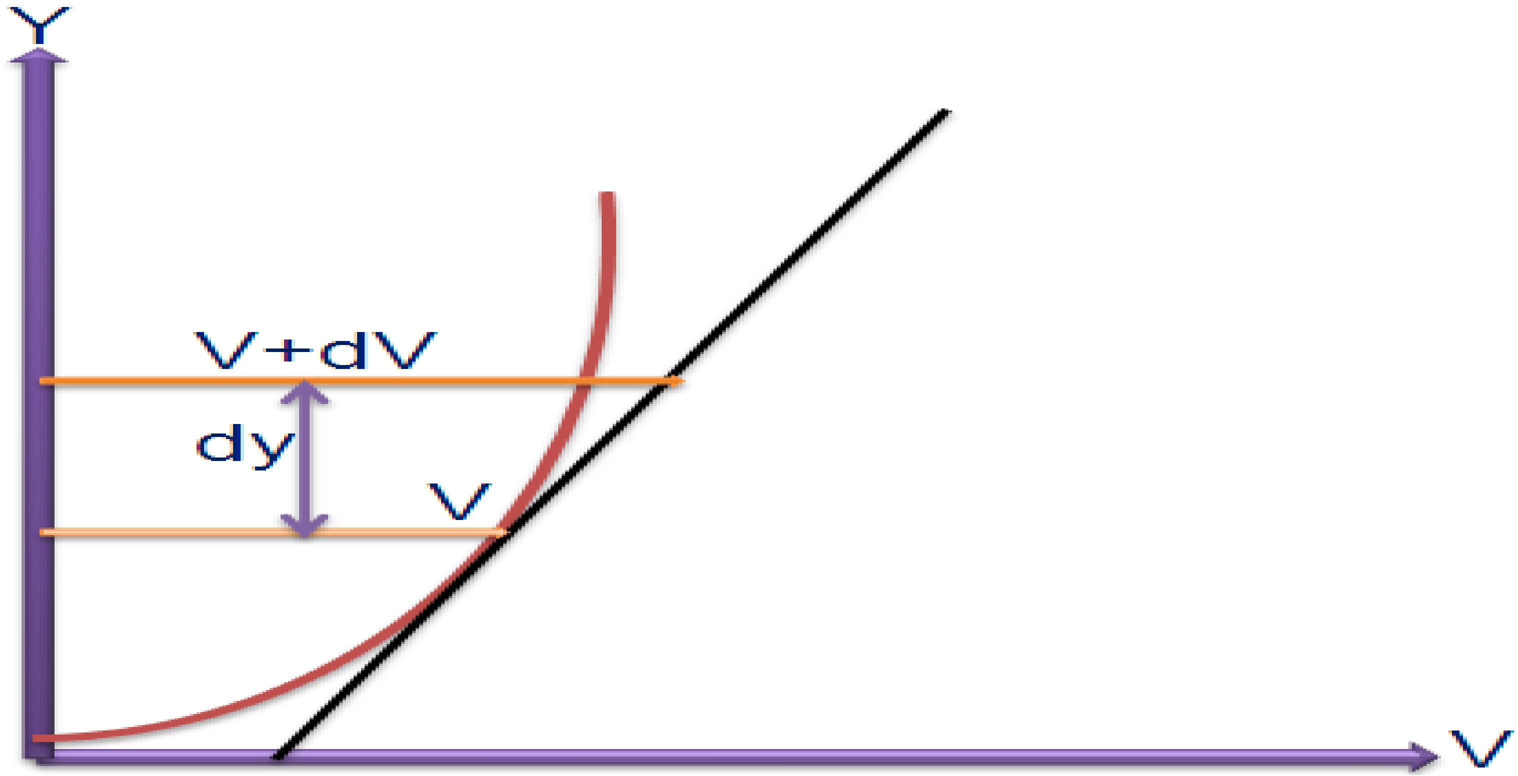
اللزوجة الديناميكية: The Dynamic Vescosity

اللزوجة خاصية هامة من خصائص الموائع (السوائل والغازات) وبها يقاوم المائع التغير في الشكل الناتج من تأثير قوى القص المؤثرة عليه. اعتبر الآن طبقة من المائع بين لوحين مستويين متوازيين كما في الشكل أدناه، بحيث يثبت اللوح السفلي ويتحرك اللوح العلوي بسرعة منتظمة V تحت تأثير قوة قص مقدارها F.



في البداية قبل الحركة مباشرة تكون كل جزيئات المائع في سكون وبعد أن يأخذ اللوح العلوي سرعته المنتظمة V تتحرك كل جزيئات المائع الملاصقة لهذا ا للوح بنفس السرعة V بينما تظل الجزيئات الملاصقة للوح الثابت في سكون وطبقات المائع بين اللوحين تتراوح سرعتها من صفر إلى V.

وإذا كانت المسافة بين اللوحين صغيرة فان توزيع سرع طبقات المائع سوف يكون خطيا تقريبا كما في الشكل أدناه. وإذا كانت مساحة اللوح المتحرك هي A والفرق بين سرعتي طبقتين من المائع بينهما مسافة dy هو dv فان إجهاد القص (F/A) يتناسب مع انحدار السرعة (dV/dy) وهو مقدار ثابت لان توزيع السرع خطيا، أي أن:



$$\frac{F}{A} \alpha \frac{dV}{dy}$$

أذن:

$$\frac{F}{A} = \eta \frac{dV}{dy}$$

$$F = \eta A \frac{dV}{dy}$$

ويسمى ثابت التناسب η بمعامل اللزوجة الديناميكية أو اللزوجة المطلقة "ويعرف بأنه القوة المماسية المقاومة لحركة المائع بين طبقتين مساحتهما المشتركة هي وحدة المساحة وانحدار السرعة بينهما يساوي الوحدة" ويعتمد معامل اللزوجة على طبيعة السائل ودرجة الحرارة. أما إذا كانت المسافة بين اللوحين كبيرة فان توزيع سرع طبقات المائع لا يكون خطيا ويصبح المقدار (dV/dy) مقدارا متغيرا كما في الشكل السابق. ووحدات معامل اللزوجة في النظام العالمي للوحدات هي ($N.S/m^2$) أو (Kg/m.S)، ووحداتها في النظام الفرنسي (c.g.s) هي (g/cm.S) أو ($dyne.S/cm^2$) وتسمى بواز (Poise)، أي إن:

$$1Poise=(dyne.S/cm^2)=10^{-1}Pa.S$$

<u>مثال:</u> يتحرك لوح خفيف من المعدن مساحة سطحه $100cm^2$ فوق طبقة من زيت معامل لزوجته 1.55Pa.S سمكها 2mm. احسب القوة الأفقية اللازمة لتحريك هذا اللوح بسرعة منتظمة مقدارها 3cm/S.

الحل:

$$F = \eta A \frac{dV}{dy}$$

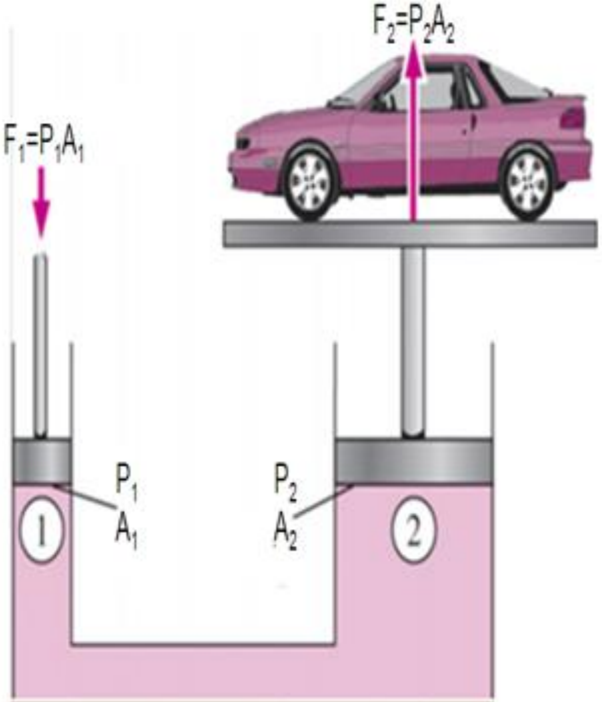
حيث أن طبقة الزيت سمكها صغير فيمكن اعتبار أن انحدار السرعة.

$$(dV/dy) =(0.03-0/0.002)=15S^{-1}$$

$$F=1.55x100x10^{-4}x15=0.23N$$

قاعدة باسكال: Pascal Principle

إن الضغط في داخل سائل مثالي، يزداد خطيا مع العمق. وعليه، فان أية زيادة تحدث في الضغط عند سطح سائل موجود في داخل منطقة مغلقة، تنتقل إلى أجزاء السائل، والى جدران الوعاء الذي يحتويه. وقد تم استغلال هذه الخاصية في عمل الأجهزة التي تعمل بالضغط مثل الرافعات والمكابس الهيدروليكية، وذلك من اجل الحصول على قوة كبيرة باستخدام قوة صغيرة. الشكل التالي يوضح مكبسا بسيطا، يتكون من اسطوانة صغيرة (المكبس الصغير) تتصل باسطوانة كبيرة (المكبس الكبير). تملا الاسطوانتان بسائل (غالبا ما يكون الزيت) يثبت عليها مكبسان. فإذا فرضا أن A_1 و A_2 تمثلان مساحتي مقطع المكبسين. فإذا لم تؤثر على المكبسين أية قوة، فان سطح السائل في الأنبوبتين سيكون عند نفس الارتفاع (بشرط إهمال وزن المكبسين).



وعندما تؤثر قوة خارجية مقدارها F_1 على المكبس 1 فان المكبس 2 سوف يدفع إلى الأعلى ما لم تؤثر عليه قوة مقدارها F_2. إن أية قوة مؤثرة على المكبس 1 يجب أن تعادل بقوة مساوية لها في التأثير في جميع أنحاء السائل، لان عدم تحقيق ذلك سيؤدي إلى انسياب السائل. وهذا الموضوع صاغه العالم الفرنسي باسكال بالقاعدة الآتية: " إذا سلط ضغط على سائل محصور فان الضغط ينتقل إلى كل نقاط السائل والجدران بصورة متساوية، بشرط أن يكون السائل ساكنا ". أي أن الضغط سيكون متساويا في جميع نقاط السائل الساكنة (غير المتحركة). ويمكن إيجاد قيمة القوة F_2 اللازمة للاتزان مع القوة F_1، وذلك بإيجاد الضغط الإضافي في السائل الناتج عن القوة F_1 وكما يأتي:

$$\Delta P = \frac{F_1}{A_1} \qquad (1)$$

إن هذه الزيادة في الضغط ستنتقل إلى المكبس 2، أي أن:

$$\Delta P = \frac{F_2}{A_2} \qquad (2)$$

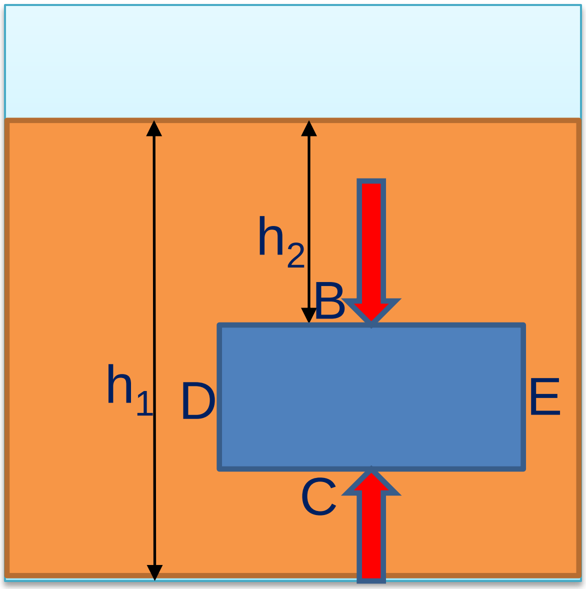
وبمساواة المعادلتين 1و2 :

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \qquad (3)$$

ومن المعادلة 3 نحصل:

$$F_2 = \frac{A_2}{A_1} F_1 \qquad (4)$$

إن القوة F_2 تساوي القوة F_1 مضروبا بعامل (A_2/A_1) أي أن مقدار الربح في القوة تحدده النسبة (A_2/A_1) فكلما كانت A_2 اكبر من A_1 أمكن الحصول على ضغط اكبر. لهذا فان مثل هذا المكبس سيكون قادرا على رفع ثقل اكبر أو تسليط ضغط اكبر باستخدام قوة صغيرة.



قاعدة ارخميدس: Archimedes Principle

تنص " إذا غمر جسم كليا أو جزئيا في سائل فانه يفقد من وزنه بمقدار يساوي وزن السائل الذي أزاحه الجسم ". إن الفقدان في الوزن سببته قوة دفع السائل للجسم إلى الأعلى والتي تسمى قوة الطفو (Buoyant Force). من المعلوم أن ضغط السائل عند الوجه C أكبر من الضغط عند الوجه B وذلك لأن الوجه C يقع على عمق أكبر من الوجه B ومن المعلوم من دراستنا السابقة أن الضغط يزداد مع زيادة الارتفاع h . أما الوجه D والوجه E فإن الضغط عليهم متساوي في المقدار ومختلف في الاتجاه ولذلك يمكن القول بأن محصلة الضغط عليهم تساوى صفر.

إذا كان الضغط عند C هو P_1 ومساحة مقطع الوجه C هو A فإن القوة تعطى بالعلاقة:

$$F_1=P_1A=\rho gh_1A$$

حيث ρ كثافة السائل. أما القوة عند الوجه B فهي:

$$F_2=P_2A=\rho gh_2A$$

إذن محصلة القوة هي عبارة عن الفرق بين القوتين:

$$\Delta F=F_1-F_2=\rho gh_1A-\rho gh_2A=(h_1-h_2)\rho gA$$

ولكن حجم الجسم V يساوى مساحة مقطعه A والارتفاع الذي يمثل هنا الفرق في عمق الوجه C والوجه B.

$$V=(h_1-h_2)A$$

$$\Delta F=V\rho g$$

وحيث أن الكتلة تساوي الحجم في الكثافة:

$$m=\rho V$$

$$\Delta F=mg$$

إذن قوة الطفو يساوى وزن السائل المزاح وهذا يتفق مع قاعدة ارخميدس. إن قاعدة ارخميدس تنطبق على جميع الأجسام الطافية والمغمورة مهما كان شكلها. ويجب ملاحظة النقاط المهمة الآتية حول هذه القاعدة المهمة:

1. تنطبق قاعدة ارخميدس على جميع الأجسام الطافية والمغمورة جزئيا أو كليا مهما كان شكلها.
2. أن قاعدة ارخميدس تمكننا فقط من إيجاد قيمة قوة الطفو، ولا تمكننا من إيجاد قيمة محصلة القوى المؤثرة على الجسم.

وبناءا على هذه النقطة الأخيرة فان الجسم سيغطس إذا كان وزنه اكبر من قوة الطفو بينما سيطفو الجسم إذا كان وزنه اقل من قوة دفع السائل له إلى الأعلى.

سريان الموائع: Fluid in Motion

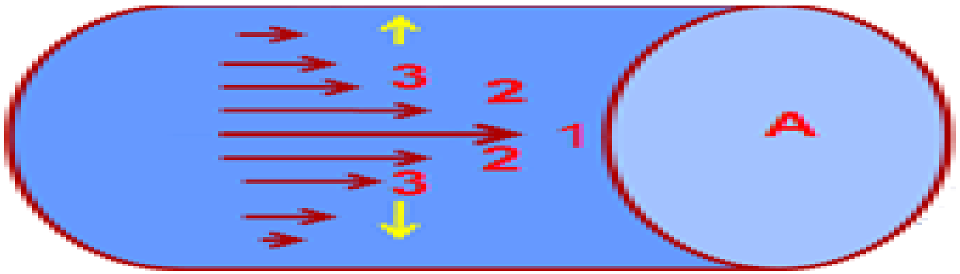
المقدمة:

عندما يكون المائع في حالة سكون فإنه يستجيب لأي محاولة لتغيير شكله أو دفعه للحركة. ولكن بعد الحركة فإن المائع يقاوم القوة الخارجية المؤثرة التي تسببت في حركته. وتعرف هذه المقاومة باسم لزوجة السائل أو المائع. تعتمد طبيعة سريان (انسياب) السائل على سرعته. ويمكن تقسيم انسياب السائل إلى نوعيين:

1. انسياب طبقي (Laminar flow).
2. انسياب مضطرب–عشوائي (Turbulence flow). وفية تكون سرعة السائل اكبر من سرعة معينة تصبح بعدها حركة السائل عشوائية وتعرف بالسرعة الحرجة V_C والتي تعرف بالسرعة التي يصبح سريان السائل بعدها سريان عشوائي.

أولا: الانسياب الطبقي أو المنتظم: The Steady Flow

وفيه تكون سرعة انسياب السائل منخفضة وينزلق السائل على شكل طبقات تنزلق بعضها فوق بعض. ونتيجة الاحتكاك بين طبقات السائل أثناء الانزلاق تتولد مقاومة والتي تعرف باللزوجة. وتكون سرعة الطبقة الملاصقة لجدار الأنبوبة سرعتها تقريبا تساوى صفر وتزداد سرعة الطبقات كلما اتجهنا إلى مركز الأنبوبة. ولمزيد من الإيضاح الشكل الموجود نرى فيه طبقات السائل. سرعة الطبقة رقم (1) تكون اكبر ما يمكن لأنها موجودة في مركز الأنبوبة بينما تقل السرعة كلما اقتربنا من الجدار حتى تصبح صفرا عند الطبقة الملاصقة لجدار الأنبوبة.



ثانيا: الانسياب المضطرب أو الغير منتظم:

وفية تكون سرعة السائل اكبر من سرعة معينة تصبح بعدها حركة السائل عشوائية وتعرف بالسرعة الحرجة V_c والتي تعرف بالسرعة التي يصبح سريان السائل بعدها سريان عشوائي. سنقتصر في هذه الدراسة على السوائل التي تخضع للشروط التالية:

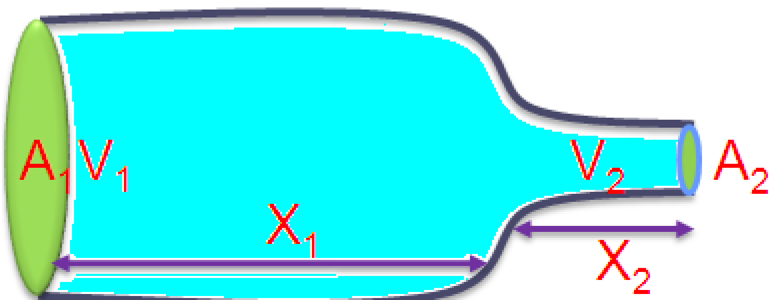
1. يكون انسياب السائل طبقيا.
2. لزوجة السائل منخفضة حتى يمكن إهمال اللزوجة.
3. يكون السائل غير قابل للإنضغاط ولذا تكون كثافته ثابتة فلا تعتمد على الضغط.

معادلة الاستمرارية: The Continuity Equation

نفرض أن سائل ينساب طبقيا في أنبوبة ذات مقطعين مختلفين A_1 و A_2 كما هو موضح بالشكل. سرعة السائل عند المقطع A_1 هي V_1 لمسافة مقدارها X_1 بينما سرعة السائل عند المقطع A_2 هي V_2 لمسافة قدرها X_2. يمكن حساب كتلة كمية السائل التي تدخل الأنبوبة عبر المقطع A_1 بالعلاقة التالية.

$$m=\rho V$$

$$m= \rho AX$$



حيث أن الحجم V يساوى مساحة مقطع الأنبوبة في طولها وبما أن المسافة تساوى السرعة في الزمن، إذن:

$$X_1=V_1t$$

$$m_1= \rho A_1V_1t$$

حيث ρ تمثل كثافة السائل وكذلك يمكن حساب كتلة كمية السائل التي تخرج من المقطع A_2 في الفترة الزمنية نفسها t تعطى بالعلاقة:

$$m_2= \rho A_2V_2t$$

ولكن كمية السائل التي تدخل في الأنبوبة A_1 هي التي تخرج من الطرف الثاني من الأنبوبة A_2 .

$$m_1=m_2$$

$$\rho A_1V_1t= \rho A_2V_2t$$

$$A_1V_1= A_2V_2$$

أما معدل التدفق الحجمى للسائل Q عبر الأنبوبة يمكن كتابته على الشكل التالي:

$$Q=AV$$

وتسمى هذه المعادلة بمعادلة الاستمرار ونظرا لاختلاف سرعة السائل في الأنبوبة يمكن استخدام تعبير متوسط السرعة بدلا عن السرعة وبذلك تصبح معادلة الاستمرار (الاستمرارية) على الشكل التالي:

$$Q=A\overline{V}$$

$$\overline{V}=\frac{V_{max}+V_{min}}{2}$$

حيث V_{min} هي القيمة الصغرى للسرعة بينما V_{max} هي القيمة العظمى للسرعة.

مثال: إذا استغرق ملئ خزان سعته $30m^3$ بوساطة صنبور ماء قطره 2cm مدة 10ساعات. احسب سرعة تدفق(خروج)الماء من الصنبور؟.

الجواب:

سرعة تدفق الماء في وحدة الزمن يعطى بالمعادلة:

$$Q=AV=AX/t=V/t=30m^3/10x60x60S=8.333x10^{-4}m^3/S$$

$$A=\pi r^2=3.14x(0.01)^2= 0.000314m^2$$

$$V=8.333x10^{-4}m^3/S/\ 0.000314m^2$$

$$V=2.688m/S$$

معادلة بوازيل: Poiseuile's Equation

لإيجاد العلاقة التي تعطي حجم المائع (السوائل والغازات) المار في الثانية خلال أنبوبة وضع بوازيل الفروض الآتية:

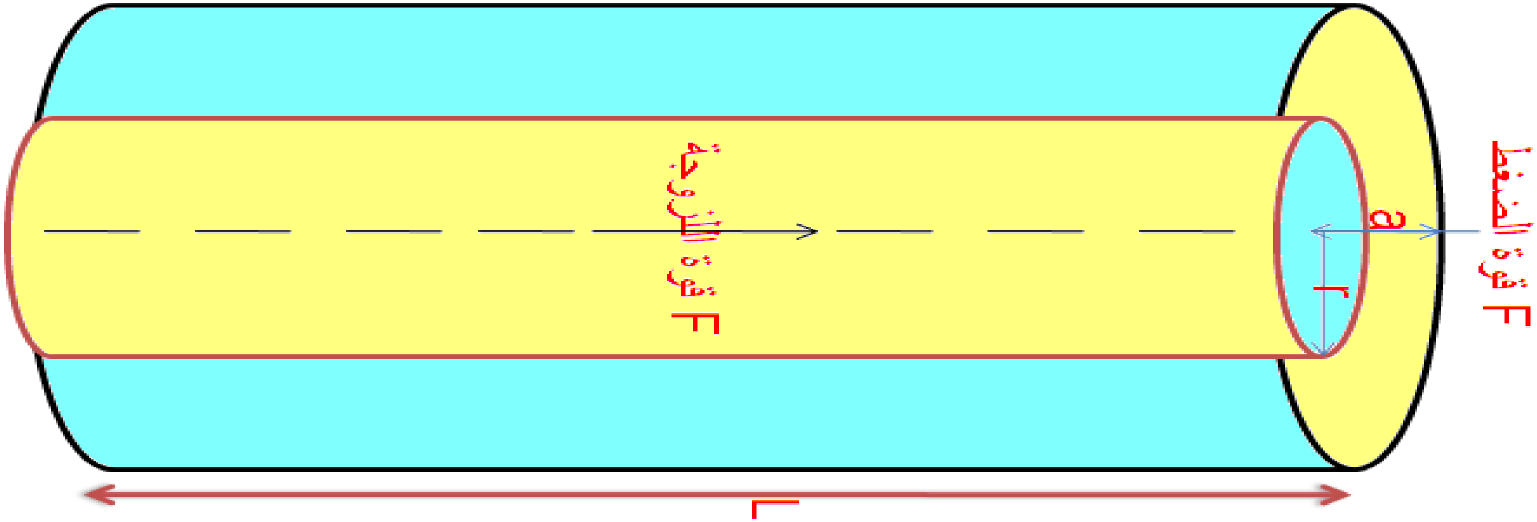
1. أن يكون الانسياب ثابتا (Stream line Flow).
2. إن يكون الضغط على مساحة مقطع الأنبوبة ثابت وهذا لا يحدث إلا في الأنابيب الشعرية.
3. طبقة السائل الملاصقة لجدار الأنبوبة تكون ساكنة وذلك لالتصاقها بالجدار بفعل الشد السطحي وتصادم الجزيئات بالجدار.

فإذا اعتبرنا اسطوانة الانسياب (الجريان أو السريان) التي نصف قطرها r وطولها L تتحرك داخل أنبوبة شعرية نصف قطرها a، نتيجة لفرق في الضغط مقداره P فان قوة الضغط المحركة لاسطوانة الانسياب تتعادل مع قوة اللزوجة المقاومة لحركة الأنبوبة لان الانسياب ثابت منتظم، أي أن:

$$F_P=F_\eta$$

$$\pi r^2 P=-\eta(2\pi rL)(dV/dr) \qquad (1)$$

وتدل الإشارة السالبة أن السرعة تقل كلما ابتعدنا عن المحور، كما في الشكل أدناه:

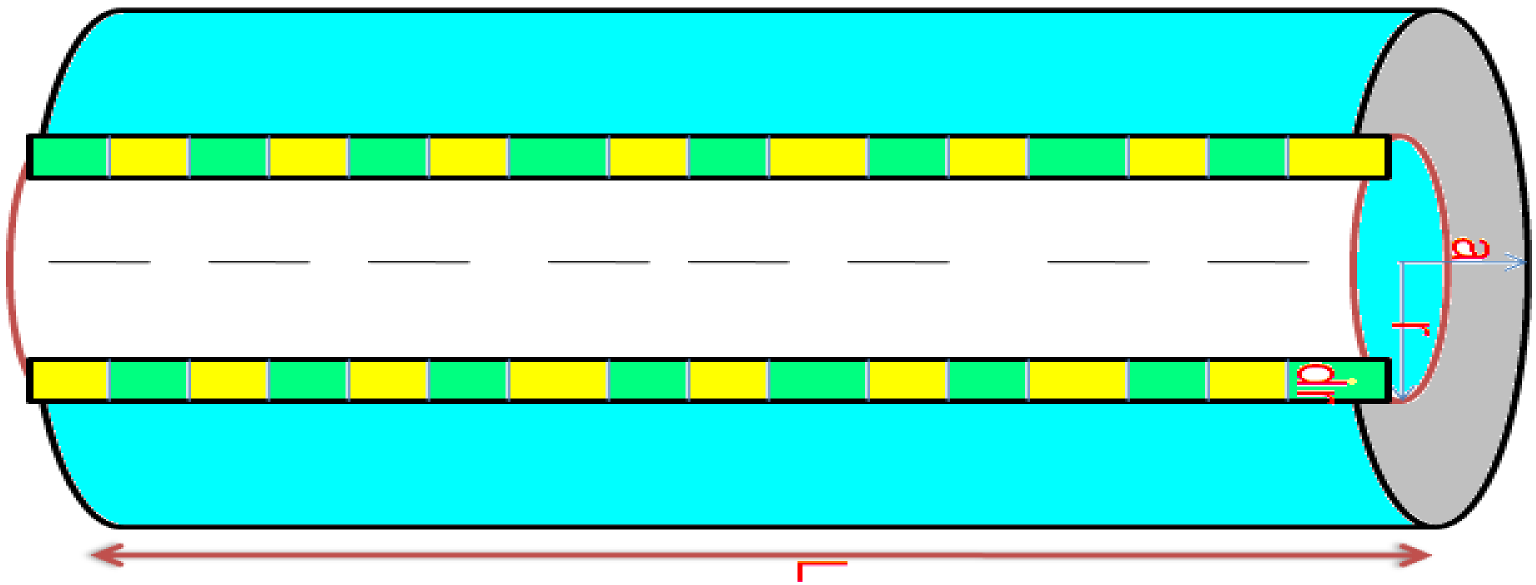


وبتكامل المعادلة (1) نحصل:

$$\int_0^V dV = -\frac{P}{2\eta L}\int_a^r r dr$$

$$V = \frac{P}{4\eta L}(a^2 - r^2) \qquad (2)$$

والمعادلة (2) تعطي العلاقة بين السرعة V عند أي نقطة تبعد مسافة r عن المحور وهذه العلاقة تمثل قطع مكافئ. ولإيجاد معدل سريان السائل Q خلال الأنبوبة، نفترض غلاف اسطواني من السائل له نفس محور الأنبوبة ونصف قطره r وسمكه dr الشكل أدناه، فيكون معدل سريان السائل dQ خلال الغلاف الاسطواني (أي حجم الماء المار خلال الغلاف الاسطواني في الثانية) هو:



$$Q = SV = \pi r^2 V$$

$$dQ = 2\pi r dr V \qquad (3)$$

وبتعويض المعادلة (2) في (3) نحصل:

$$dQ = 2\pi r dr\left(\frac{P}{4\eta L}\right)(a^2 - r^2) \qquad (4)$$

وبتكامل المعادلة (4):

$$\int_0^Q dQ = \frac{\pi P}{2\eta L}\int_0^a (a^2 - r^2) r dr$$

$$Q = \frac{\pi a^4 P}{8\eta L} \qquad (5)$$

وتمثل المعادلة (5) معادلة بوازيل ، حيث أن كمية السائل المار في الثانية الواحدة Q تتناسب عكسا مع معامل اللزوجة للسائل. ويمكن كتابة المعادلة (5) على النحو التالي:

$$Q = P/R \qquad (6)$$

حيث أن:

$$R = \frac{8\eta L}{\pi a^4} \qquad (7)$$

ويمكن مقارنة المعادلة (6) بقانون اوم وهو (I=V/R)، حيث I مقدار التيار المار في سلك مقاومته R وفرق الجهد بين طرفيه V، فيمكن مقارنة مقدار التيار I بمعدل الانسياب Q، وفرق الجهد V بالفرق في الضغط P، ولهذا السبب يرمز للمقدار ($8\eta L/\pi a^4$) بالرمز R التي تناظر المقاومة في الدوائر الكهربائية حيث أنها تعمل على إعاقة انسياب المائع وسريانه.

مثال: أنبوبة أفقية طولها 4Km وقطرها 8cm ينساب الماء خلالها بمعدل 20Litre/S، فإذا علم أن لزوجة الماء 0.001Pa.S. فاحسب فرق الضغط اللازم لهذا السريان بفرض أنها أنبوبة شعرية.

$Q=\pi a^4P/8\eta L$

$P=8\eta LQ/\pi a^4$

$P=8x0.001x4000x0.02/3.14x256x10^{-8}=79618N/m^2$

مثال: ينساب ماء في أنبوبة مساحة مقطعها $15cm^2$ بسرعة 3m/S. فإذا كان في الأنبوبة اختناق مساحة مقطعه $4cm^2$، أوجد سرعة الماء أثناء مروره بهذا الاختناق.

الحل: باستخدام معادلة الاستمرارية:

$V_1A_1=V_2A_2$

$V_2=V_1A_1/A_2=15x10^{-4}x3/4x10^{-4}=11.25m/S$

مثال: أوجد معدل الانسياب في شريان وريدي قطره 20mm إذا كان متوسط سرعة الدم فيه 0.29 m/S.

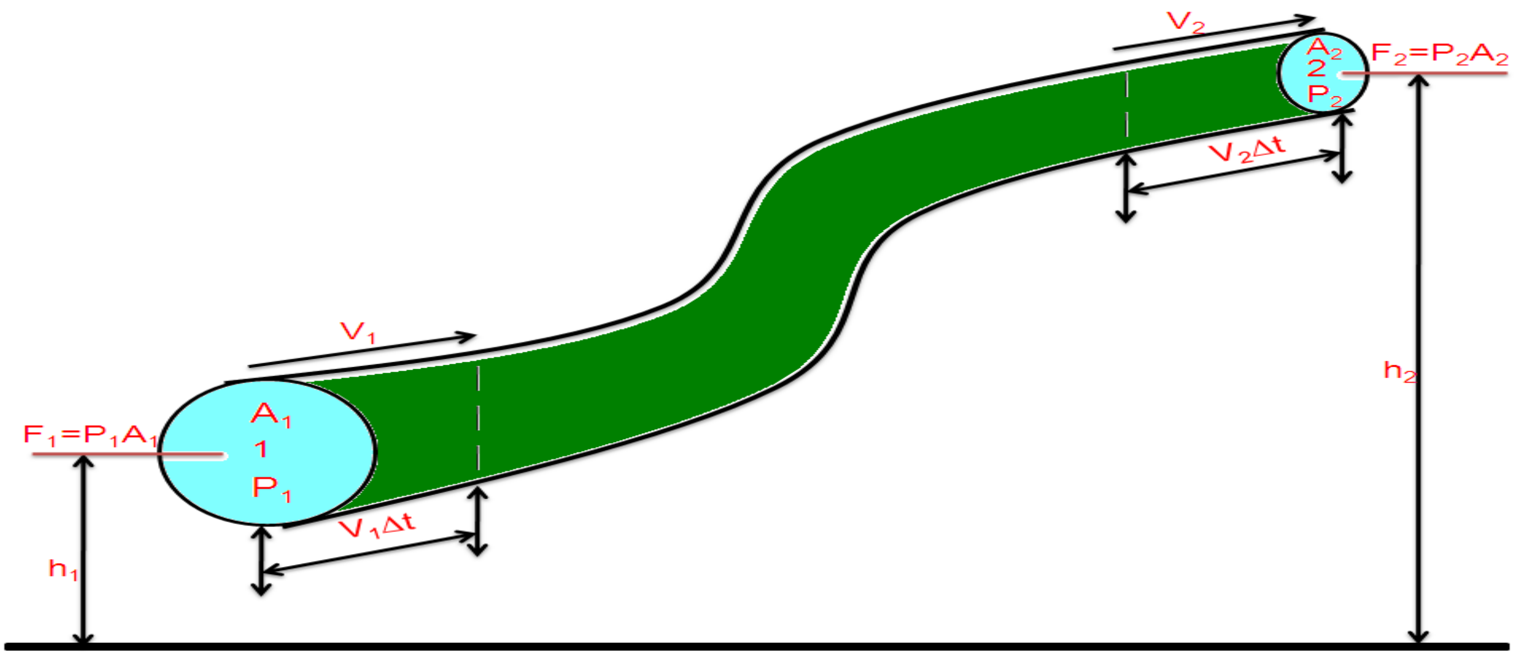
الحل: بما أن مساحة مقطع الشريان الوريدي تساوي:

$A=\pi r^2=3.14x10^{-4}=314x10^{-6}m^2$

$Q=AV=314x10^{-6}x0.29=91.06x10^{-6}m3/S=0.09106X10^{-6}L/S=91.06mL/S$

معادلة برنولي: Bernoulli's Equation

نفرض أن سائل ينساب طبقيا (غير لزج) خلال أنبوبة غير منتظمة المقطع من المقطع 1 إلى المقطع 2 كما في الشكل أدناه، وتغيرت سرعته من V_1 عند المقطع 1 حيث مساحة مقطع الأنبوبة هي A_1 إلى V_2 عند مقطع الأنبوبة 2 حيث مساحة المقطع A_2. إن انسياب السائل من 1 إلى 2 يحدث نتيجة تأثير قوى معينة على نهايتي الأنبوبة عند 1 إذا كان ضغط السائل هو P_1 فان قوة مقدارها P_1A_1 سوف تؤثر على السائل في اتجاه السريان. وبالمثل فان قوة مقدارها P_2A_2 سوف تؤثر على السائل في اتجاه مضاد للسريان. بعد فترة زمنية Δt يكون الشغل المبذول في اتجاه السريان عند المقطع 1 هو:



$$W_1=P_1A_1V_1\Delta t \quad (1)$$

والشغل المبذول على السائل ضد اتجاه السريان عند المقطع 2 هو:

$$W_2=P_2A_2V_2\Delta t \quad (2)$$

فيكون صافي الشغل المبذول على السائل خلال الفترة الزمنية Δt هو:

$$W=W_1-W_2$$

$$W=(P_1A_1V_1-P_2A_2V_2)\,\Delta t \qquad (3)$$

نتيجة بذل شغل على السائل فانه يكتسب طاقة وضع (طاقة كامنة) وطاقة حركية عندما يتحرك من المقطع 1 إلى المقطع 2، وهذا التغير في الطاقة يساوي الشغل المبذول، أي أن:

$$W=K.E+P.E \qquad (4)$$

إذن الزيادة في طاقة الوضع (الطاقة الكامنة):

$$P.E=(A_2V_2\Delta t\rho)gh_2-(A_1V_1\Delta t\rho)gh_1 \qquad (5)$$

$$K.E=\frac{1}{2}(A_2V_2\Delta t\rho)V_2^2-\frac{1}{2}(A_1V_1\Delta t\rho)V_1^2 \qquad (6)$$

وحيث أن السائل غير لزج بمعنى انه ليس هناك فقد في الطاقة نتيجة الاحتكاك الناتج من لزوجة السائل، فانه من مبدأ بقاء الطاقة يكون صافي الشغل المبذول على السائل يساوي الزيادة في الطاقة الحركية مضافا إليها الزيادة في طاقة الوضع. إذن بتعويض المعادلات (1)، (2) و (3) في (4)ينتج أن:

$$(P_1A_1V_1-P_2A_2V_2)\,\Delta t=\frac{1}{2}(A_2V_2\Delta t\rho)V_2^2-\frac{1}{2}(A_1V_1\Delta t\rho)V_1^2+A_2V_2\Delta t\rho)gh_2-(A_1V_1\Delta t\rho)gh_1$$

ويمكن صياغة هذه المعادلة على الصورة التالية لان $(A_1V_1=A_2V_2)$ من معادلة الاستمرارية:

$$(P_1-P_2)A_1V_1\Delta t=(\rho gh_2-\rho gh_1+\frac{1}{2}\rho V_2^2-\frac{1}{2}\rho V_1^2)A_1V_1\Delta t$$

$$(P_1-P_2)=(\rho gh_2-\rho gh_1+\frac{1}{2}\rho V_2^2-\frac{1}{2}\rho V_1^2) \qquad (7)$$

وبالقسمة على ρ وبترتيب حدود المعادلة (7) نحصل:

$$\frac{P_1}{\rho}+\frac{1}{2}V_1^2+gh_1=\frac{P_2}{\rho}+\frac{1}{2}V_2^2+gh_2 \qquad (8)$$

أي أن:

$$\frac{P}{\rho}+\frac{1}{2}V^2+gh=\text{constant} \qquad (9)$$

وهذه هي معادلة برنولي. يسمى المقدار $(PAV\Delta t)$ طاقة الضغط وحيث أن كتلة السائل المار خلال الفترة Δt هو $(AV\Delta t\rho)$ فتكون طاقة الضغط لوحدة الكتل هي:

$$\frac{PAV\Delta t}{AV\Delta t\rho}=\frac{P}{\rho}$$

وطبيعي إن الطاقة الحركية لوحدة الكتل هي $\frac{1}{2}V^2$ وطاقة الوضع (الطاقة الكامنة) لوحدة الكتل هي gh، أي

إن معادلة برنولي تنص على انه بالنسبة لوحدة الكتل:

(طاقة الضغط+الطاقة الحركية+طاقة الوضع(الطاقة الكامنة)=ثابت)

مثال: أنبوبة قطرها 20cm عند احد الإطراف الذي يرتفع عن مستوى إسناد أفقي بمقدار 5m وقطرها 5cm عند الطرف الآخر الذي يرتفع عن نفس مستوى الإسناد بمقدار 3m فإذا كان ضغط الماء عند المقطع الأول هو $5x10^5 N/m^2$ وسرعة السريان عند نفس المقطع 1m/S. احسب سرعة السريان والضغط عند المقطع الآخر.

الحل:

$A_1=(\pi/4)D^2{}_1= (\pi/4)(0.2)^2=0.0314m^2$

$A_2=(\pi/4)D^2{}_2= (\pi/4)(0.05)^2=0.002m^2$

$A_1V_1=A_2V_2$

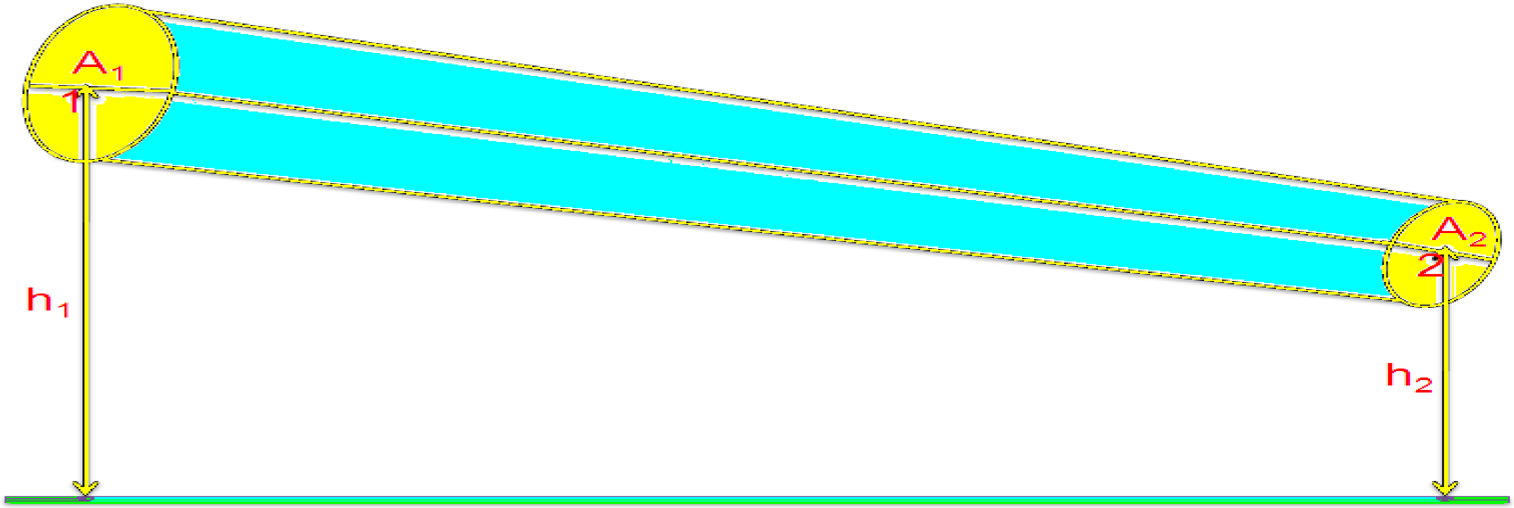
$V_2= A_1V_1/ A_2=0.031x1/0.002=15.5m/S$

بتطبيق معادلة برنولي على المقطعين 1 و 2:

$$\frac{P_1}{\rho}+\frac{1}{2}V_1^2+gh_1=\frac{P_2}{\rho}+\frac{1}{2}V_2^2+gh_2$$

$(5x10^5/1000)+0.5(1)^2+5x9.8=(P_2/1000)+0.5(15.5)^2+3x9.8$

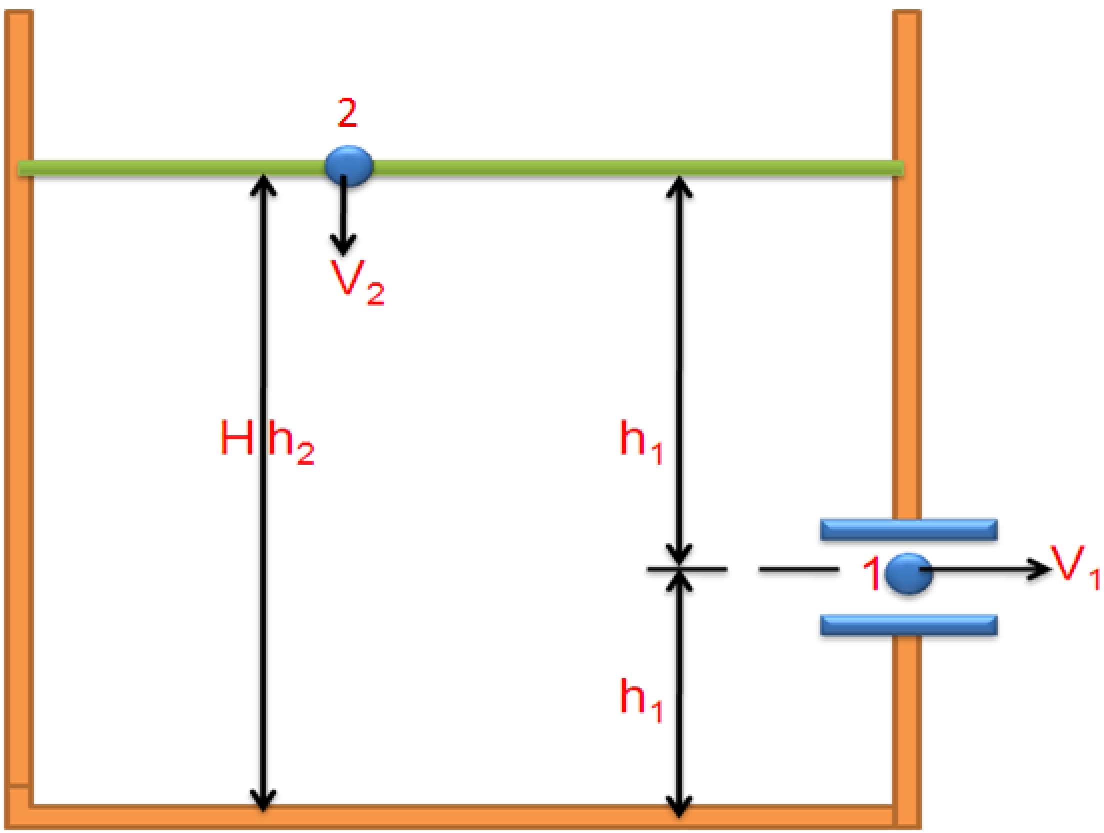
$P_2=3.97x10^5 N/m^2$



معادلة تورشلي: Torricelli's Equation

يبين الشكل الآتي وعاءا يحتوي على سائل يتدفق من فتحة في الوعاء الذي يحتويه وعلى عمق h من سطح السائل. فإذا أخذنا النقطتين 1 و 2 تقع النقطة الأولى في وسط الفتحة والنقطة الثانية في سطح السائل. إن قيمة الضغط المسلط على النقطتين يساوي الضغط الجوي Pa، والسبب في ذلك إنهما معرضتان للضغط الجوي. فإذا كان مقطع الوعاء كبيرا مقارنة بمقطع الفتحة، فان سرعة تدفق الماء من الفتحة تكون كبيرة مقارنة بسرعة انخفاض سطح السائل داخل الوعاء. فعند إهمال سرعة انخفاض السائل، وتطبيق معادلة برنولي على هاتين النقطتين، نحصل على:

$$\frac{P_1}{\rho}+\frac{1}{2}V_1^2+gh_1=\frac{P_2}{\rho}+\frac{1}{2}V_2^2+gh_2$$



وبإهمال V_2 نسبة إلى V_1 و $P_1=P_2$ ويساوي الضغط الجوي والذي يحذف من الطرفين نحصل:

$$\frac{1}{2}\rho V_1^2 = \rho g h_2 - \rho g h_1$$

وبما أن $h=h_2-h_1$، إذن:

$$V_1^2 = 2g(h_2 - h_1) = 2gh$$

$$V_1 = \sqrt{2gh}$$

وهذه النتيجة تعني أن سرعة تدفق السائل تساوي السرعة التي يكتسبها جسم ساقط بصورة حرة من السكون ومن ارتفاع مقداره h(ولكن لا يتأتى لأي سائل أن يكتسب هذه السرعة لأننا أهملنا لزوجة السائل كما إن خطوط مجرى الانسياب تضيق عند الفتحة ولا تكون متوازية مما يجعل السرعة اكبر من هذا). وتسمى هذه النتيجة أحيانا بمعادلة تورشلي.

مثال:

أنبوبة ماء قطرها 2cm تستخدم لمليء خزان حجمه 20L، فإذا استغرق مليء الخزان ساعة واحدة، احسب سرعة الماء عند خروجه من الأنبوبة. الحل:

$V = 20L = 20 \times 10^{-3}\ m^3$, $t = 1\ h = 60 \times 60\ s$

$R = 2\ cm = 2 \times 10^{-2}\ m$ $r = R/2 = 0.01\ cm$

معدل التدفق الحجمي يعطى بـ :

$Q = V/t$

$= 20 \times 10^{-3} / 60 \times 60 = 0.56 \times 10^{-5}\ m^3/s$

وباستخدام معادلة الاستمرار

$Q = AV$

$V = Q/A$

$A = \pi r^2 = 3.14 \times (0.01 \times 0.01)$

$V = 0.018\ m/S$

الأنبوبة ذات الاختناق: Constricted Tube

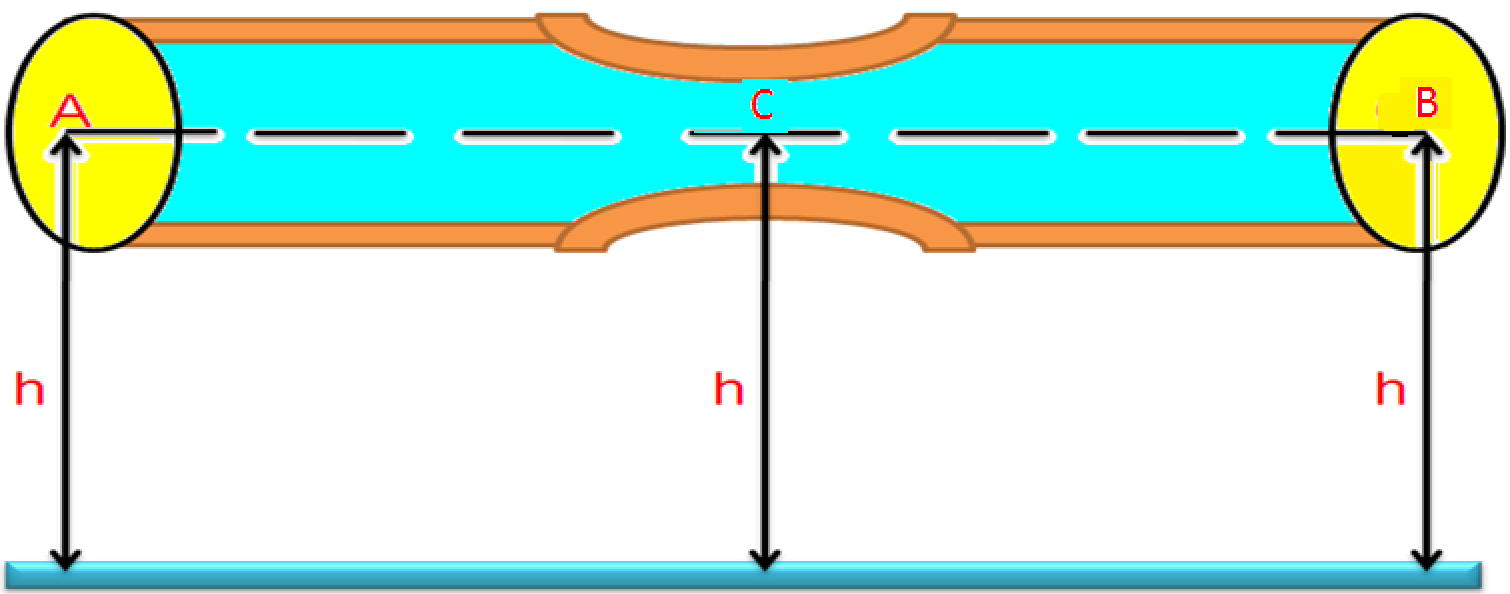
إذا انساب سائل في الأنبوبة AB ذات اختناق عند C كما في الشكل أدناه، فان سرعته عند C تكون اكبر من سرعة السائل عند A أو B. بتطبيق معادلة برنولي:

$$\frac{P_1}{\rho}+\frac{1}{2}V_1^2+gh_1=\frac{P_2}{\rho}+\frac{1}{2}V_2^2+gh_2$$

حيث أن V_1,P_1,h_1 هم ارتفاع السائل ، ضغط السائل وسرعة السائل على الترتيب عند النقطة A. وV_2,P_2,h_2 هم ارتفاع السائل ، ضغط السائل وسرعة السائل على الترتيب عند النقطة C. وحيث أن $h_2=h_1$ لان الأنبوبة أفقية. إذن:

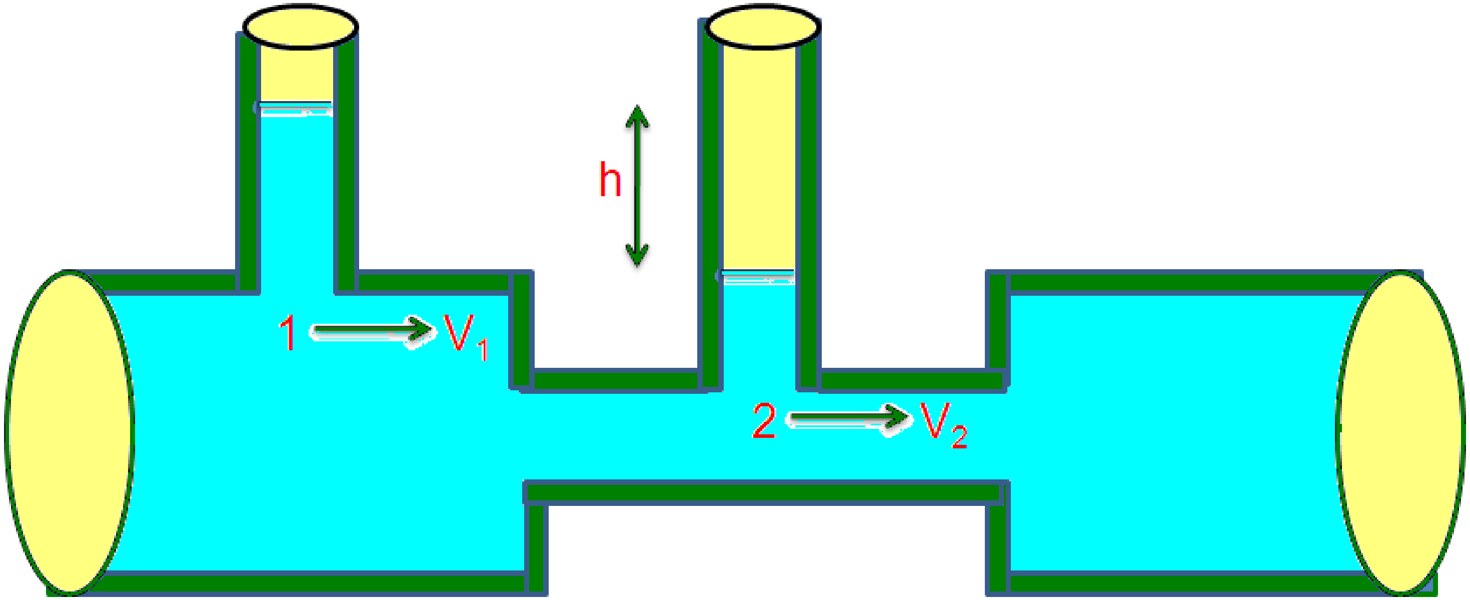
$$\frac{1}{2}(V_2^2-V_1^2)=\frac{P_1-P_2}{\rho}$$

وحيث أن $V_1<V_2$، إذن $P_2<P_1$ أي أن ضغط السائل عند المقطع الواسع تكون اكبر من ضغطه عند الاختناق حيث سرعته اكبر، أي انه عند الاختناق تكون السرعة اكبر والضغط اقل.



مقياس فنتوري: Venturi Mater

يعد مقياس فنتوري تطبيقا مباشرا لمعادلة برنولي، ويتكون من أنبوبة أفقية تحتوي على تخصر (اختناق) كما في الشكل أدناه. والأنبوبتان الشاقوليان تقيسان فرق الضغط بين المقطعين. يجب إن يكون الأنبوبان متساويين في المقطع. وعند تطبيق معادلة برنولي على المقطعين 1 و 2 نحصل على:



$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{1}{2}V_1^2 + gh_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{1}{2}V_2^2 + gh_2$$

$$\frac{1}{2}(V_2^2 - V_1^2) = \frac{P_1 - P_2}{\rho} \qquad (1)$$

فإذا كان فرق مستوى السائل بين الأنبوبتين الشاقوليتين مساويا إلى h فان فرق الضغط سيكون مساويا إلى ρg, أي أن:

$P_1 - P_2 = \rho g h$

من معادلة الاستمرارية:

$$A_1V_1=A_2V_2$$

$$V_2=A_1V_1/A_2 \qquad (2)$$

وبتعويض المعادلة (2) في (1) نحصل:

$$\frac{1}{2}V_1^2\left(\frac{A_1^2}{A_2^2}-1\right)=\frac{P_1-P_2}{\rho}$$

$$V_1^2=\frac{2(P_1-P_2)}{\rho(A_1^2-A_2^2)}A_2^2$$

$$V_1=A_2\sqrt{\frac{2(P_1-P_2)}{\rho(A_1^2-A_2^2)}} \qquad (3)$$

وبما أن حجم السائل المار في الثانية يساوي:

$$Q=A_1V_1$$

$$Q=A_1A_2\sqrt{\frac{2(P_1-P_2)}{\rho(A_1^2-A_2^2)}} \qquad (3)$$

تعطي المعادلة (3) سرعة سريان السائل كما تعطي المعادلة (4) حجم السائل المار في الثانية الواحدة خلال أي مقطع من مقاطع الأنبوبة. يمكن حساب (P_1-P_2) من قراءة المانومتر:

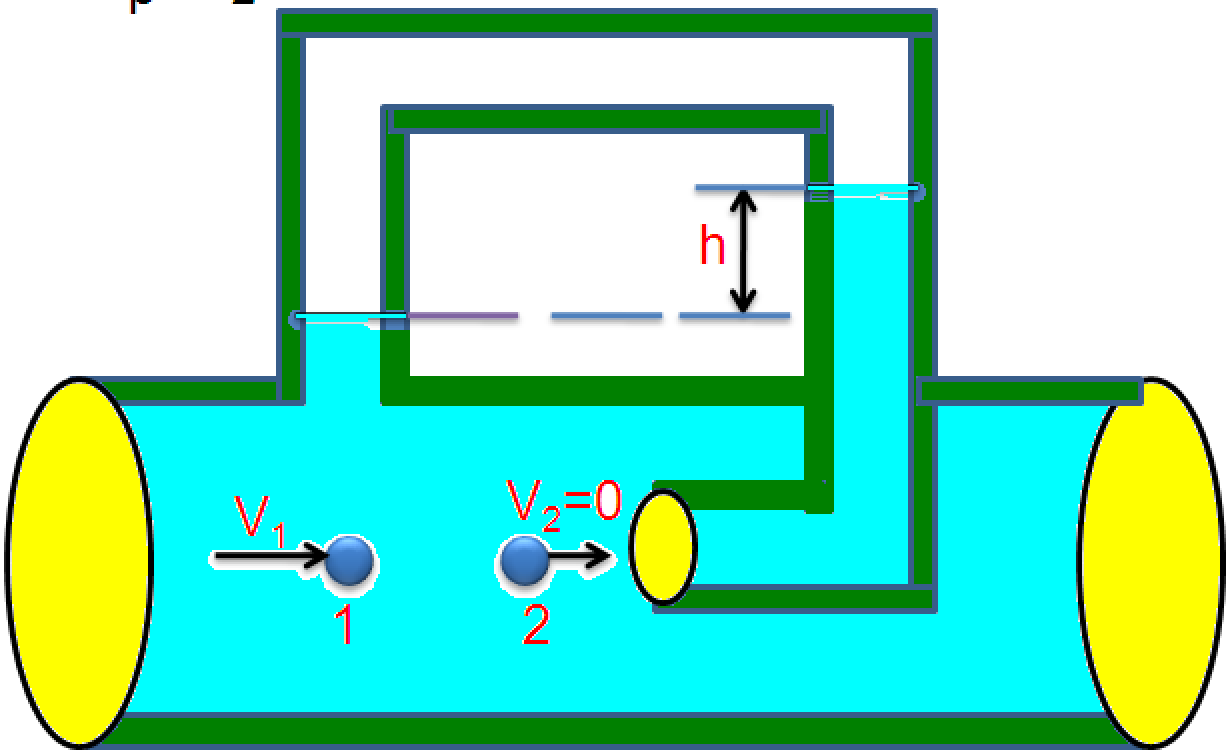
$$(P_1-P_2)=h(\rho^{-}-\rho)$$

حيث تمثل ρ^{-} كثافة السائل في المانومتر.

أنبوبة بيتوت: Pitot Tube

تستخدم أنبوبة بيتوت لقياس سرعة الغاز الذي يمر في أنبوبة كما يستخدم لقياس سرعة الرياح وقياس سرعة الطائرات بالنسبة للهواء. يتكون هذا الجهاز من أنبوبتين أحداهما واسعة المقطع يجري فيها الغاز بسرعة V والأنبوبة الأخرى ذات مقطع صغير في نهايتها، وتتصل الأنبوبتان بمضغاط سائلي (مانومتر). الشكل أدناه يوضح مخططا لهذا الجهاز. فعندما يصطدم الغاز بالنهاية المدببة للأنبوبة الرقيقة فان سرعته تصبح صفرا. فعند تطبيق معادلة برنولي على المقطعين 1 و 2 نحصل على:

$$\frac{P_1}{\rho}+\frac{1}{2}V_1^2+gh_1=\frac{P_2}{\rho}+\frac{1}{2}V_2^2+gh_2$$



وبما أن $V_2=0$ إذن:

$$(P_2-P_1)=\frac{1}{2}\rho V_1^2$$

أي أن:

$$V_1^2 = \frac{2(P_2 - P_1)}{\rho}$$

يطلق على $(P_2\text{-}P_1)$ بالضغط السكوني والحركي (الديناميكي) على التوالي ويساوي:

$$(P_2\text{-}P_1)=\rho gh$$

وهذا يعني:

$$V_1 = \sqrt{2gh}$$

وعند قراءة قيمة الفرق في الارتفاع h في المانومتر يمكن إيجاد قيمة V_1 المساوية لسرعة الغاز. وإذا كانت A هي مساحة مقطع الأنبوبة فان حجم السائل (الغاز) المار في الأنبوبة الثانية يساوي:

$$Q = A_1 V_1 = A\sqrt{2gh}$$

في حالات كثيرة يحدث اضطراب في السريان مما يحدث تغيرا في مقدار واتجاه سرع جسيمات السائل وينتج عن ذلك إن قراءة الجهاز اكبر من اللازم وعلى ذلك يجب تعديل المعادلة السابقة كالآتي:

$$V_1 = C\sqrt{2gh}$$

حيث C ثابت يسمى معامل أنبوبة بيتوت وهو اقل من الواحد الصحيح وتتراوح قيمته بين (1 إلى 0.97).