الضغط (P):

هو القوة العمودية المؤثرة على وحدة المساحات من السطح، ويعطى بالعلاقة:

$$P = \frac{F}{A}$$

حيث F القوة العمودية، A مساحة السطح.

ويقاس الضغط بوحدة باسكال (Pa)، حيث: $1\,Pa = 1\,N/m^2$.

مثال:

أ- يقف شخص وزنه 500 N على جليد لبركة متجمدة بحيث أن قدميه ملاصقة لمساحة $0.05\ m^2$ من الجليد، فما هو الضغط المسلط على الجليد؟

ب- إذا علمت أن الجليد سوف ينهار عند ضغط مقداره 16000 Pa، فكم هو وزن الشخص اللازم لحصول انهيار الجليد باعتبار نفس مساحة الاتصال السابقة ؟

الحل:

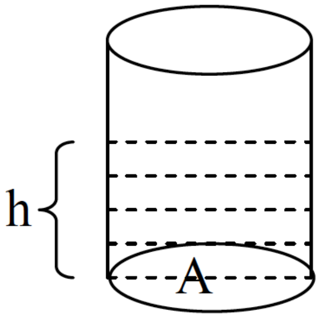
أ- $P = \frac{F}{A} = \frac{500}{0.05} = 10000\,Pa = 10\,k\,Pa$

ب- $F = PA = 16000 \times 0.05 = 800\,N$

الموائع الساكنة

زيادة الضغط مع العمق:

لحساب الضغط المسلط من عمود السائل الذي طوله h علـــى المـــساحة الـــسفلية A في الشكل المجاور، نطبق العلاقة:



$$P = \frac{F}{A}$$

حيث F القوة العمودية على المساحة A، وهي تساوي وزن عمود السائل، أي أن:

$$F = mg$$
$$= Vdg$$

$$F = hAdg$$

حيث V: حجم عمود السائل، d: كثافة السائل.

$$\therefore P = \frac{hAdg}{A}$$

$$P = hdg$$

والعلاقة تبين زيادة الضغط مع زيادة العمق ومع زيادة كثافة السائل.

وإذا أردنا حساب الضغط الكلي P_t المؤثر على المساحة السفلية A فإننا نضيف الضغط الجوي P_0 (لأن الإناء مفتوح) إلى ضغط عمود السائل، أي أن:

$$P_t = P_0 + P$$

$$P_t = P_0 + hdg$$

ومن المعروف أن الضغط الجوي في الظروف القياسية يساوي: $P_0 \cong 1.013 \times 10^5$ Pa وهذه تمثل ضغط عمود من الزئبق ارتفاعه 76 cm كما هو موضح في المثال التالي:

مثال:

جد ضغط عمود من الزئبق ارتفاعه 76 cm علماً أن كثافة الزئبق $13.6\ g/cm^3$.

الحل:

$$
\begin{aligned}
P &= hdg \\
&= 0.76\,m \times 13600\frac{kg}{m^3} \times 9.8\frac{m}{s^2} \\
&\cong 1.01\times 10^5\,Pa = 1\,atm
\end{aligned}
$$

مثال:

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

الحل:

$$
\begin{aligned}
P_t &= P_a + hdg \\
&= 1.013 \times 10^5 + 2 \times 1000 \times 9.8 \\
&= 1.013 \times 10^5 + 19600 \\
&= 1209600 \text{ Pa}
\end{aligned}
$$

قاعدة باسكال:

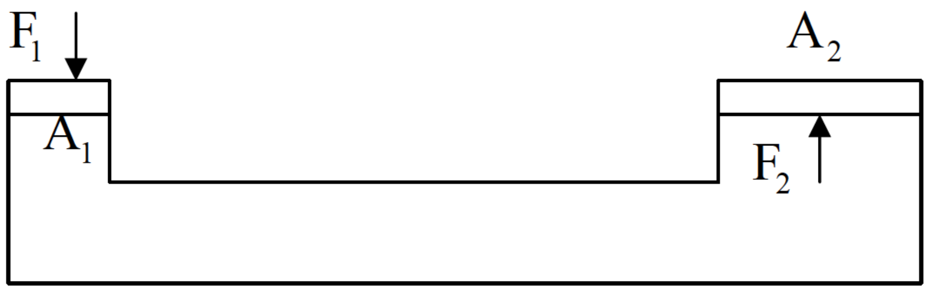
بالنظر إلى أن الضغط متساوي عند جميع النقاط ذات العمق المتساوي في السائل، فإن أي زيادة في الضغط على السطح يجب أن تنتقل إلى أي نقطة في السائل بصورة متساوية وهو ما يسمى بقانون باسكال الذي ينص على الآتي:

"الضغط الخارجي المطبق على سائل ضمن وعاء مغلق ينتقل دون أي نقصان إلى جميـــع نقاط السائل وإلى جدران الوعاء المغلق".

وكتطبيق على قاعدة باسكال لدينا الرافعة الهيدروليكية المبينة في الشكل المجاور، حيث أن:

$$P_1 = P_2$$

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$



مثال:

كرسي حلاقة موضوع على مكبس هيدروليكي قطره 10 cm بينما مساحة مكبس الرفع هي $10\,cm^2$. إذا كانت كتلة الكرسي والشخص الجالس هي 160 kg، فما هي القـــوة اللازم تطبيقها لرفع المكبس؟

الحل:

$$A_1 = 10\,cm^2 = 0.001\,m^2 \quad ; \quad F_1 = ?$$

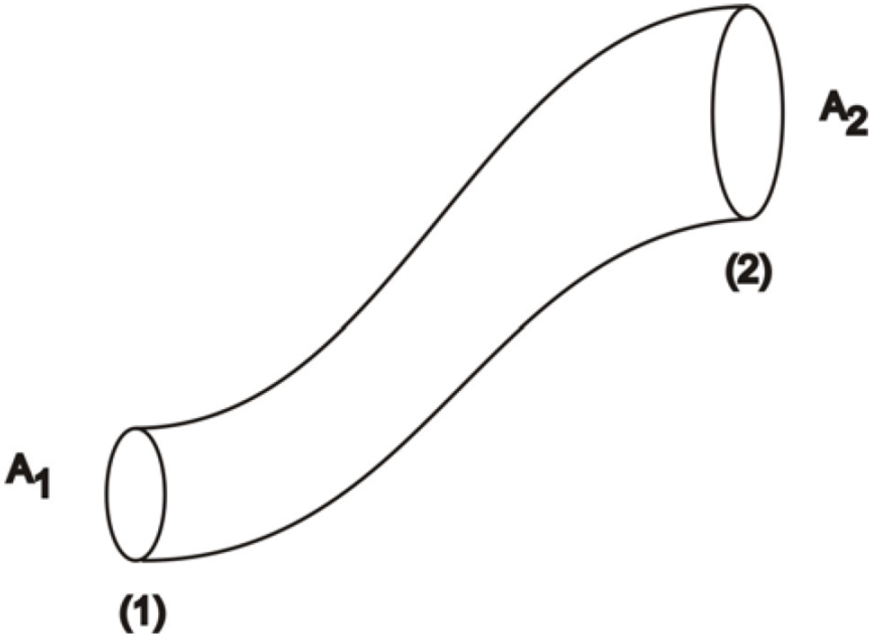
$$r_2 = 5\,cm = 0.05\,m \Rightarrow A_2 = \pi r_2^2 = 3.14 \times (0.05)^2 = 7.85 \times 10^{-3}\,m^2$$

سريان الموائع

معادلة الاستمرار للجريان الانسيابي:

يُدعى المسار لأجزاء السائل الواقعة تحت تأثير الجريان الثابت بالخط الانسيابي والخطـــوط الانسيابية الممثلة للجريان الانسيابي لا تتقاطع كما هو مبين بالشكل المجاور. والنوع الآخر من الجريان هو المضطرب والذي تكون فيه خطوط التدفق (الجريان) متبرمـــة (دوارة) ويمكن أن تعاكس الاتجاه الأصلي للجريان، وهذا النوع من الجريان يحصل عند السرعات العالية أو بسبب وجود عائق أو حافة حادة خلال مسار السائل.

لنعتبر الأنبوب المبين في الشكل المجاور والذي يمر فيه سائل بجريان انسيابي بالاتجاه المـــبين.
بما أن معدل الكتلة المارة خلال أي مقطع من الأنبوب هو كمية محفوظة، لذا فإن معـــدل الكتلة المار خلال المقطع (١) ، يكون مساوياً لمعدل الكتلة المار خلال المقطع (٢).



أي أن :

$$\text{معدل الجريان الكتلي} = d_1A_1v_1 = d_2A_2v_2 = \text{constant}$$

حيث: d_1 ، d_2 تمثل الكثافة عند المقطع (١) و (٢) على الترتيب .

v_1 ، v_2 تمثل السرعة عند المقطع (١) و (٢) على الترتيب .

A_1 ، A_2 تمثل مساحة المقطع عند المقطع (١) و (٢) على الترتيب .

وبالنسبة للسوائل غير قابلة للانضغاط كالماء مثلاً تكون قيمة الكثافة ثابتة، وبالتالي يكون معدل الجريان الحجمي Q ثابتاً، أي أن:

معادلة الاستمرار للسوائل غير قابلة للانضغاط

$$Q = A_1v_1 = A_2v_2 = \text{constant} \qquad \text{معدل التدفق (الجريان) الحجمي}$$

ويقاس معدل التدفق (الجريان) الحجمي Q $(\frac{m^3}{s})$.

مثال:

أنبوب يسير فيه الماء بجريان انسيابي كما هو مبين بالشكل. احسب:

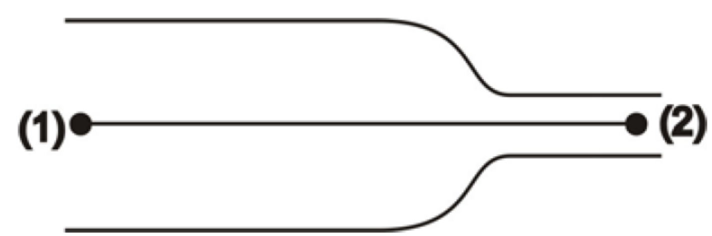
أ- السرعة عند الجزء الضيق من الأنبوب.

ب- ما هو معدل التدفق (الجريان) الحجمي.

جـــ- ما هو معدل التدفق (الجريان) الكتلي.

عند النقطة (١) : $r_1 = 12.5\ mm$ نصف القطر ، $v_1 = 1.8\ m/s$ السرعة

عند النقطة (٢) : $r_2 = 9\ mm$ نصف القطر ، $v_2 = ?$ السرعة



الحل:

أ-

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

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

$$\therefore v_2 = v_1\left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 = 1.8\times\left(\frac{12.5}{9}\right)^2$$

$$\therefore v_2 = 3.5\ m/s$$

(ب) معدل التدفق الحجمي $Q = A_1 v_1 = A_2 v_2$

$$\therefore Q = 3.14\times(12.5\times10^{-3})^2\times1.8$$

$$= 8.8\times10^{-4}\ m^3/s$$

(جـ)

معدل التدفق الكتلي $= d\,v_1 A_1 = d\,v_2 A_2$

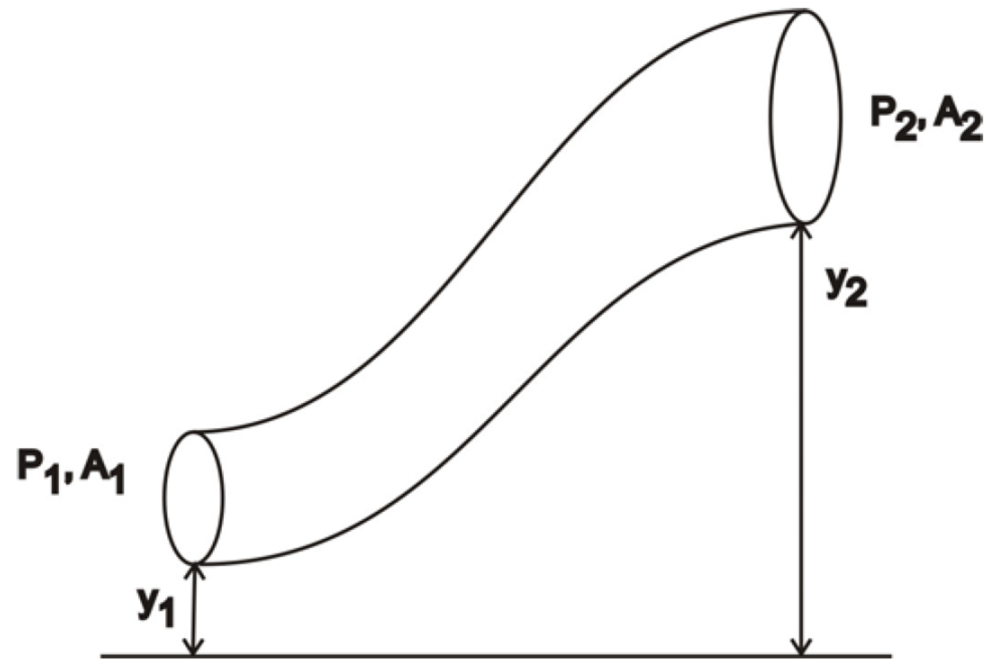
$$= 1\times10^3\times8.8\times10^{-4}$$

$$= 0.88\ kg/s$$

معادلة برنولي:

استطاع برنولي عام ١٧٣٨م إثبات أن الضغط يتناسب عكسياً مع سرعة السائل للجريان الانسيابي. ويمكن اعتبار معادلة برنولي على أنها علاقة لحفظ الطاقة خلال حجم معين ثابت من السائل، والتي يمكن كتابتها بالرجوع إلى الشكل المجاور على الصورة:

$$P_1 + \frac{1}{2}dv_1^2 + dgy_1 = P_2 + \frac{1}{2}dv_2^2 + dgy_2 = \text{constant}$$



وهذا يعني أن: مجموع الضغط والطاقة الحركية لوحدة الحجم $\frac{1}{2}dv^2$ والطاقة الكامنة لوحدة الحجم dgy هو كمية ثابتة عند جميع النقاط على خط الجريان الانسيابي للسائل.

وكحالة خاصة للمعادلة برنولي عندما يكون السائل ساكناً، يكون لدينا: $v_1 = v_2 = 0$

$$P_1 - P_2 = dg(y_2 - y_1)$$

مثال:

للمثال السابق إذا كان الضغط عند الموضع (١) هو (51kPa)، فما هو الضغط عند الموضع (٢)؟

الحل: بما أن $y_1 = y_2$ ، وكذلك $d_1 = d_2 = d$ ، لذا تكون معادلة برنولي:

$$P_1 + \frac{1}{2}dv_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}dv_2^2 = \text{constant}$$

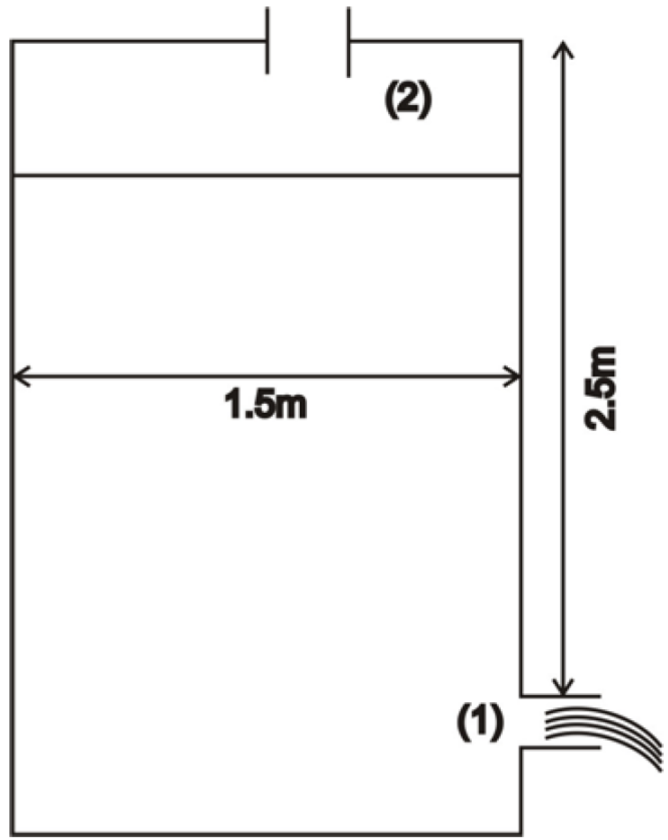
$$P_2 = P_1 + \frac{1}{2}d(v_1^2 - v_2^2)$$

$$= 5.1\times10^3 + \frac{1}{2}\times10^3\left[(1.8)^2 - (3.5)^2\right]$$

$$= 4.7\times10^4 \ \text{Pa}$$

مثال:

خزان ماء قطره الداخلي (1.5m) وفتحة قطرها (15mm) على الجانب ويبتعـد مـسافة (2.5m) عن ارتفاع الماء في الخزان (انظر الشكل). ما هي سرعة المـاء الخـارج مـن الفتحة؟



الحل:

$$P_1 + dgy_1 + \frac{1}{2}dv_1^2 = P_2 + dgy_2 + \frac{1}{2}dv_2^2$$

الضغط على الموضعين (١) و (٢) هو واحد، ويساوي الضغط الجوي. أي أن: $P_1 = P_2$.

وبما أن الكثافة واحدة، لذا تكون معادلة برنولي على الصورة :

$$gy_1 + \frac{1}{2}v_1^2 = gy_2 + \frac{1}{2}v_2^2$$

$$v_2A_2 = v_1A_1$$

$$v_2 = \left(\frac{A_1}{A_2}\right)v_1$$

$$= \left(\frac{0.015}{1.5}\right)^2 v_1$$

$$\therefore v_2 = 0.0001v_1 \cong 0$$

بالتعويض في المعادلة:

$$v_1^2 = 2g(y_2 - y_1)$$

$$= 2 \times 9.8 \times 2.5$$

$$v_1^2 = 49\ \frac{m^2}{s^2}$$

$$\therefore v_1 = 7\ m/s$$