كلية العلوم

القسم : **علم الحياة**

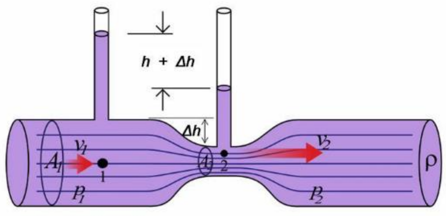
السنة : **الاولى**

المادة : فيزياء حيوية

المحاضرة : السابعة/نظري/

الفصل السابع

ميكانيك السوائل المتحركة



أولاً: جريان السائل المثالي

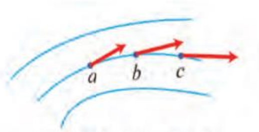
مميزات السائل المثالي:

يتميز السائل المثالي بالخصائص التالية:

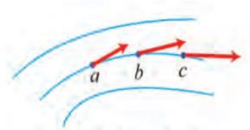
1. غير قابل للانضغاط، أي أن حجمه ثابت لا يتغير بتغير الضغط (كثافته أو كتلته الحجمية ثابتة).
2. عديم اللزوجة، أي أن قوى الاحتكاك الداخلي بين طبقاته مهملة عند تحرك طبقة بالنسبة لأخرى.
3. جريانه مستقر، أي أن حركة جسيمات السائل لها خطوط انسياب محددة (سرعة جسيمات السائل عند نقطة معينة تكون ثابتة).
4. جريانه غير دوراني، أي أن جسيمات السائل لا تتحرك حركة دورانية.

$$\vec{\vartheta}_a(t_1)=\vec{\vartheta}_a(t_2) \text{ ، } \vec{\vartheta}_b(t_1)=\vec{\vartheta}_b(t_2) \text{ ، } \vec{\vartheta}_c(t_1)=\vec{\vartheta}_c(t_2)$$

$$\vec{\vartheta}_a \neq \vec{\vartheta}_b \neq \vec{\vartheta}_c$$



أشعة السرعة في النقاط a ,b ,c في اللحظة t_2



أشعة السرعة في النقاط a ,b ,c في اللحظة t_1

ثانياً: تدفق السائل Q:

لنتعرف على مقدارين فيزيائيين مهمين:

أولًا: معدل التدفق الكتلي Q:

هو كمية السائل التي تعبر مقطع الأنبوب خلال وحدة الزمن، ويُعطى بالعلاقة:

$$\boxed{Q=\frac{m}{\Delta t}} \qquad \textbf{(1)}$$

حيث أن:

m : كتلة السائل $[kg]$ ، Δt : زمن مرور السائل من نقطة لأخرى $[s]$، Q: معدل التدفق الكتلي $[kg.s^{-1}]$.

ثانيًا: معدل التدفق الحجمي (معدل الضخ) Q' :

هو حجم السائل الذي يعبر مقطع الأنبوب خلال وحدة الزمن، ويُعطى بالعلاقة:

$$\boxed{Q'=\frac{V}{\Delta t}} \qquad \textbf{(2)}$$

حيث أن:

V : حجم السائل $[m^3]$ ، Δt : زمن مرور السائل من نقطة لأخرى $[s]$، Q': معدل التدفق الحجمي $[m^3.s^{-1}]$.

- يُمكن استنتاج علاقة أخرى لحساب معدل التدفق الحجمي (معدل الضخ):

ليكن لدينا سائل يتدفق عبر قاعدة أنبوب مقطعه أسطواني الشكل، وبالتالي يمكن كتابة:

$$Q'=\frac{s.x}{\Delta t}$$

نعلم أن: $\vartheta=\frac{x}{t}$ وهي سرعة جسيمة السائل فتصبح:

$$\boxed{Q'=s.\vartheta}$$

- العلاقة بين معدل التدفق الكتلي Q ومعدل التدفق الحجمي Q':

نحصل على العلاقة التي تربط بين معدلي التدفق الكتلي والحجمي من خلال قسمة العلاقتين $\frac{(1)}{(2)}$:

$$\frac{Q}{Q'} = \frac{\frac{m}{\Delta t}}{\frac{V}{\Delta t}}$$

$$\Longrightarrow \frac{Q}{Q'} = \frac{m}{V}$$

نعلم أن: $\rho = \frac{m}{V}$ وهي الكتلة الحجمية للسائل فتصبح:

$$\frac{Q}{Q'} = \rho$$

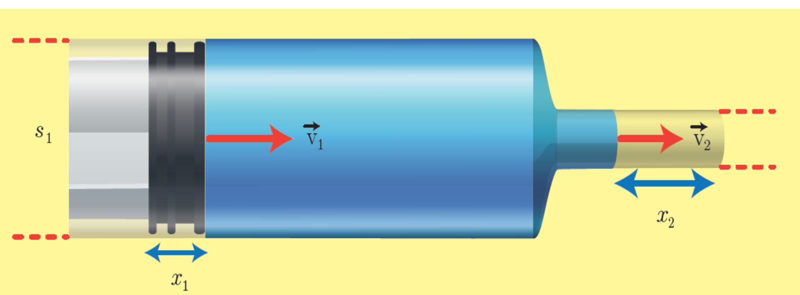
$$\Longrightarrow \boxed{Q = \rho . Q'}$$

ثالثاً: استنتاج معادلة الاستمرارية:

يتحرّك سائل داخلَ أنبوب مساحةُ كلٍّ من مقطعَي طرفيهِ s_2, s_1

بحيث $s_2 \neq s_1$ و السائل لا يتجمّع داخل الأنبوب

ويملأه تماماً، وجريانه مستمر:



نلاحظ إن معدل التدفق الكتلي في الأنبوب ثابت، أي أن كمية السائل الداخلة Q_1 عبر مقطع الأنبوب s_1 خلال زمن Δt ما تساوي كمية السائل الخارجة Q_1 من مقطع الأنبوب s_2 خلال نفس الزمن Δt

هذا يعني أن:

$$Q_1 = Q_2$$

$$\Longrightarrow \rho . Q_1{}' = \rho . Q_2{}'$$

فيكون:

$$Q_1{}' = Q_2{}'$$

هذ يعني أن معدل التدفق الحجمي متساوٍ عند فتحتي الأنبوب أيضاً ومنه:

$$\frac{V_1}{\Delta t} = \frac{V_2}{\Delta t}$$

$$\Longrightarrow V_1 = V_2$$

$$V_1 = V_2$$

$$\Longrightarrow s_1.x_1 = s_2.x_2$$

$$\Longrightarrow s_1.\vartheta_1.\Delta t = s_2.\vartheta_2.\Delta t$$

$$\Longrightarrow \boxed{s_1.\vartheta_1 = s_2.\vartheta_2}$$

الأنبوب أسطواني الشكل

حجم الأسطوانة: جداء مساحة القاعدة بالارتفاع

$$V = S \times h$$

وهي معادلة الاستمرارية .

حيث أن:

s_1 : مساحة المقطع الأول الذي يدخل منه السائل $[m^2]$

ϑ_1 : سرعة دخول السائل من المقطع الأول $[m.s^{-1}]$

s_2 : مساحة المقطع الثاني الذي يخرج منه السائل $[m^2]$

ϑ_2: سرعة خروج السائل من المقطع الثاني $[m.s^{-1}]$

_ يمكن كتابتها بشكل آخر:

$$\boxed{\frac{\vartheta_1}{\vartheta_2} = \frac{s_2}{s_1}}$$

أيْ أنّ سرعةَ تدفّق السائل تتناسب عكساً مع مساحة مقطع الأنبوب s الذي يتدفّق منه السائل، وتكتب بالشكل العام:

$$\boxed{Q' = s_1.\vartheta_1 = s_2.\vartheta_2 = Const}$$

رابعاً: نظرية برنولي للجريان المستقر:

تتأثر النقطة الأولى في مقطع ذي مساحة s_1 بقوة F_1 في اتجاه جريان السائل، فتنتقل مسافة Δx_1 خلال زمن Δt

فيكون العمل المنجز :

$$W_1 = F_1.\Delta x_1$$

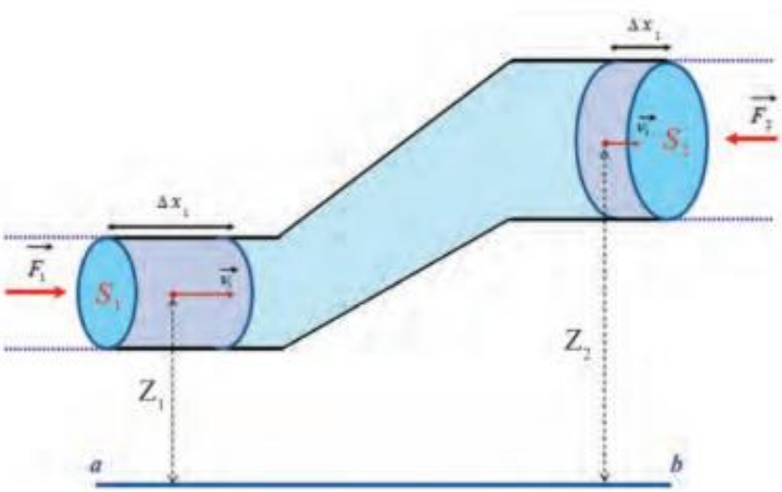
نعلم أن $F_1 = P_1.s_1$ وهي القوة الضاغطة عند المقطع s_1 فيكون:

$$W_1 = P_1.s_1.\Delta x_1$$

وبما أن $s_1.\Delta x_1$ هي معدل حجم السائل الداخل ΔV_1

عندها نكتب:

$$W_1 = P_1.\Delta V_1$$



وتتأثر النقطة الثانية في مقطع ذي مساحة s_2 بقوة F_2 لها عكس اتجاه جريان السائل، فتنتقل مسافة Δx_2 خلال زمن Δt

فيكون العمل المنجز:

$$W_2 = -F_2 . \Delta x_2$$

نعلم أن $F_2 = P_2 . s_2$ وهي القوة الضاغطة عند المقطع s_2 فيكون:

$$W_2 = -P_2 . s_2 . \Delta x_2$$

وبما أن $s_2 . \Delta x_2$ هي معدل حجم السائل الداخل ΔV_2 عندها نكتب:

$$W_2 = -P_2 . \Delta V_2$$

بما أن حجم السائل الداخل عبر المقطع الأول هو نفسه الخارج من المقطع الثاني أي أن $\Delta V_1 = \Delta V_2 = \Delta V$ يكون:

$$W_1 = P_1 . \Delta V$$

$$W_2 = -P_2 . \Delta V$$

ويُضاف إلى ذلك عمل قوة الثقل:

$$W_{\vec{w}} = -\omega . h$$

$$= -m . g . (Z_2 - Z_1)$$

العمل الكلي:

$$\sum \overline{W}_{\vec{F}} = W_1 + W_2 + W_{\vec{w}}$$

$$= P_1 . \Delta V - P_2 . \Delta V - m . g . (Z_2 - Z_1)$$

والآن نطبق نظرية الطاقة الحركية بين وضعين 1 و2:

وجه المقارنة	الوضع الأول	الوضع الثاني
مساحة المقطع	المقطع s_1	المقطع s_2
سرعة الجريان	سرعة الجريان عند s_1	سرعة الجريان عند s_2

$$\sum \overline{W}_{\vec{F}} = \overline{\Delta E}_{k_{(1 \to 2)}}$$

$$P_1 . \Delta V - P_2 . \Delta V - m . g . (Z_2 - Z_1) = E_{k_2} - E_{k_1}$$

$$P_1 . \Delta V - P_2 . \Delta V - m . g . (Z_2 - Z_1) = \frac{1}{2}\, m\, \vartheta_2^2 - \frac{1}{2}\, m\, \vartheta_1^2$$

والآن نقسم الطرفين على ΔV:

$$P_1 - P_2 - \frac{m}{\Delta V} . g . (Z_2 - Z_1) = \frac{1}{2} \frac{m}{\Delta V}\, \vartheta_2^2 - \frac{1}{2} \frac{m}{\Delta V}\, \vartheta_1^2$$

نعلم أن: $\rho = \frac{m}{V}$ وهي الكتلة الحجمية للسائل فتصبح:

$$P_1 - P_2 - \rho.g.(Z_2 - Z_1) = \frac{1}{2}\rho\,\vartheta_2^2 - \frac{1}{2}\rho\,\vartheta_1^2$$

نقوم بالتوزيع على القوس:

$$P_1 - P_2 - \rho.g.Z_2 + \rho.g.Z_1 = \frac{1}{2}\rho\,\vartheta_2^2 - \frac{1}{2}\rho\,\vartheta_1^2$$

نقوم بإعادة ترتيب العلاقة فنحصل على معادلة برنولي التفصيلية:

$$\boxed{P_1 + \frac{1}{2}\rho\,\vartheta_1^2 + \rho.g.Z_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho\,\vartheta_2^2 + \rho.g.Z_2}$$

الحد P_1: يمثل ضغط السائل.

الحد $\frac{1}{2}\rho\,\vartheta_1^2$: يمثل الطاقة الحركية للسائل.

الحد $\rho.g.Z_1$: يمثل الطاقة الكامنة للسائل.

يمكن كتابتها بالشكل العام:

$$\Rightarrow \boxed{P + \frac{1}{2}\rho\,\vartheta^2 + \rho.g.Z = Const}$$

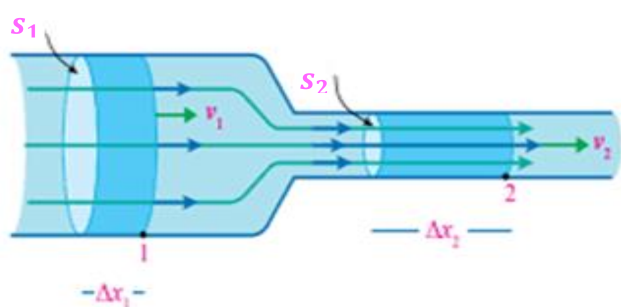
وهي تمثل إحدى معادلات حفظ الطاقة.

حالة خاصّة: إذا كان الأنبوب أفقيًا :

في هذه الحالة يكون $Z_2 = Z_1$ فيصبح شكل معادلة برنولي أبسط:

بترتيب العلاقة:

$$\boxed{P_1 - P_2 = \frac{1}{2}\rho\,(\vartheta_2^2 - \vartheta_1^2)}$$

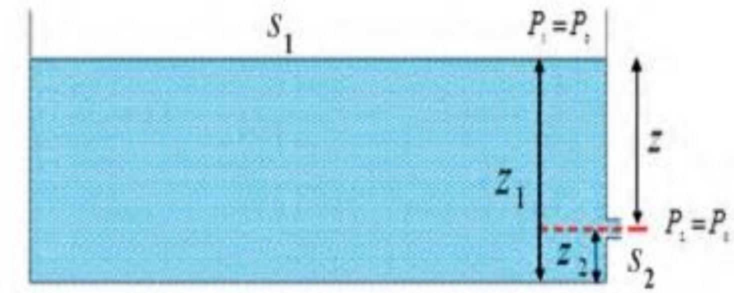


نلاحظ أن التناسب عكسي بين السرعة والضغط.

تطبيقاتٌ على معادلةِ برنولي:

خامساً: نظرية تورشيللي:

يحتوي خزّانٌ على سائل(مائع)كتلتُه الحجميّة ρ مساحة سطحُ مقطعه s_1 كبيرة بالنسبة إلى فتحةٍ جانبيّةٍ مساحةُ مقطعها s_2 صغيرةٌ تقعُ قُربَ قعره وعلى عُمق $Z = h = Z_1 - Z_2$ من السطح الحرّ للسائل.



ولحساب السرعة التي يخرجُ بها السائلُ من الفتحة الجانبيّة ننطلق من معادلة برنولي العامة:

$$P + \frac{1}{2}\rho\,\vartheta^2 + \rho.g.Z = Const$$

$$\Longrightarrow P_1 + \frac{1}{2}\rho\,\vartheta_1^2 + \rho.g.Z_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho\,\vartheta_2^2 + \rho.g.Z_2$$

وبما أن الضغط عند فتحة الدخول P_1 وعند فتحة الخروج P_2 هو نفسه الضغط الجوي النظامي P_0 بالتالي يكون:

$$P_1 = P_2 = P_0$$

ويمكن ايضاً إهمال ϑ_1 أمام ϑ_2 أي أن $\vartheta_1 = 0$

$$\Longrightarrow \rho.g.Z_1 = \frac{1}{2}\rho\,\vartheta_2^2 + \rho.g.Z_2$$

وبإخراج عامل مشترك وترتيب العلاقة:

$$g.Z_1 - g.Z_2 = \frac{1}{2}\,\vartheta_2^2$$

$$2g(Z_1 - Z_2) = \vartheta_2^2$$

$$\Longrightarrow \vartheta_2 = \sqrt{2\,g\,Z}$$

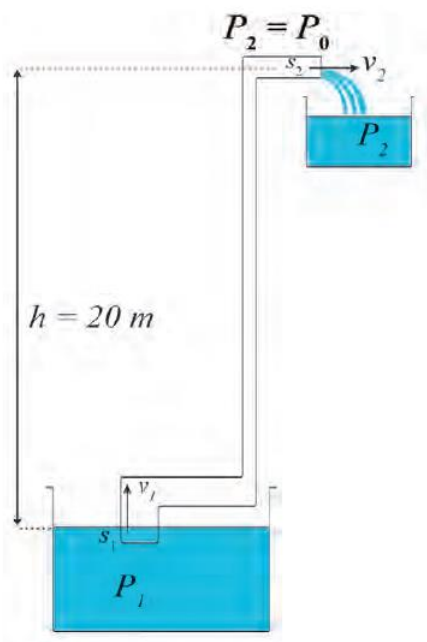
أي إنّ سرعةَ خروج السائل تساوي السرعةَ التي يسقطُ بها جسمٌ مائع سقوطاً حرّاً من ارتفاع Z من السطح الحرّ للسائل.

تُدعى العلاقةُ السابقةُ بنظرية تورشيللي، وتنطبقُ على أيّ فتحةٍ في الوعاء، سواء في قعره كانت أم في جدارِهِ الجانبيّ.

تطبيقات ومسائل

المسألة الأولى:

ترفع مضخّة الماء من خزان أرضي عبر أنبوب، مساحة مقطعه $s_1 = 10\ Cm^2$، إلى خزان يقع على سطح بناء، حيث مساحة مقطع الأنبوب الذي يصب في الخزان العلوي هي $s_2 = 5\ Cm^2$، ومعدل الضخ $Q' = 0.005\ m^3 s^{-1}$ **المطلوب :**



1. احسب سرعة الماء عند دخوله الأنبوب وعند فتحة خروجه منه.
2. احسب قيمة ضغط الماء عند دخوله الأنبوب، علمًا بأن الضغط الجوي معلوم، والارتفاع بين الفوهتين $h = Z_2 - Z_1 = 20\ m$.

الحل:

المعطيات: $s_1 = 10\ Cm^2 = 10^{-3}\ m^2$ ،$s_2 = 5\ Cm^2 = 5 \times 10^{-4}\ m^2$،

$$Q' = 0.005\ m^3 s^{-1} = 5 \times 10^{-3}\ m^3 s^{-1}$$

1- سرعة الماء عند الدخول:

$$Q' = s_1 . \vartheta_1 = s_2 . \vartheta_2$$

$$\Rightarrow \vartheta_1 = \frac{Q'}{s_1} = \frac{5 \times 10^{-3}}{10^{-3}} = 5\ m.s^{-1}$$

فتكون سرعة الماء عند الخروج:

$$\vartheta_2 = \frac{Q'}{s_2} = \frac{5 \times 10^{-3}}{5 \times 10^{-4}} = 10\ m.s^{-1}$$

2- قيمة ضغط الماء عند دخوله الأنبوب:

نعلم أن $\rho_{H_2O} = 1000\ kg\ m^{-3}$ **وأن** $h = Z_2 - Z_1 = 20\ m$

$$P + \frac{1}{2}\rho\, \vartheta^2 + \rho . g . Z = Const$$

$$\Rightarrow P_1 + \frac{1}{2}\rho\, \vartheta_1^2 + \rho . g . Z_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho\, \vartheta_2^2 + \rho . g . Z_2$$

$$\Rightarrow P_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho\, \vartheta_2^2 + \rho . g . Z_2 - \frac{1}{2}\rho\, \vartheta_1^2 - \rho . g . Z_1$$

وبما أن: $P_2 = P_0 = 10^{+5} Pa$

$$\Rightarrow P_1 = P_0 + \frac{1}{2}\rho\, \vartheta_2^2 + \rho . g . Z_2 - \frac{1}{2}\rho\, \vartheta_1^2 - \rho . g . Z_1$$

$$\Rightarrow P_1 = P_0 + \frac{1}{2}\rho\, \vartheta_2^2 - \frac{1}{2}\rho\, \vartheta_1^2 + \rho . g . (Z_2 - Z_1)$$

$$\Rightarrow P_1 = 10^{+5} + \frac{1}{2} 1000 . (10)^2 - \frac{1}{2} . 1000 . (5)^2 + 1000.10.(10) = 337500\ Pa$$

المسألة الثانية:

ينتهي أنبوب ماء مساحته $s_1 = 10\ Cm^2$ إلى رشاش الاستحمام، الذي يحتوي على 25 ثقبًا متماثلًا، مساحة مقطع كل منها $s_2 = 0.1\ Cm^2$، وسرعة تدفق الماء عبر الأنبوب تساوي $\vartheta_1 = 50\ Cm.s^{-1}$ **المطلوب:**

1. احسب معدل التدفّق الحجمي للماء .
2. احسب سرعة تدفّق الماء من كل ثقب.

الحل:

المعطيات: $s_1 = 10\ Cm^2 = 10^{-3}\ m^2$ ،$s_2 = 0.1\ Cm^2 = 10^{-3}\ m^2$ ،$\vartheta_1 = 50\ Cm.s^{-1}$

-1 معدل التدفّق الحجمي للماء

$$Q' = s_1.\vartheta_1 = s_2.\vartheta_2$$

بما أن مساحة الثقب الواحد هي 10^{-3} وعدد الثقوب 25 بالتالي مساحة مقطع الخروج الكلي هو $N.s_2$

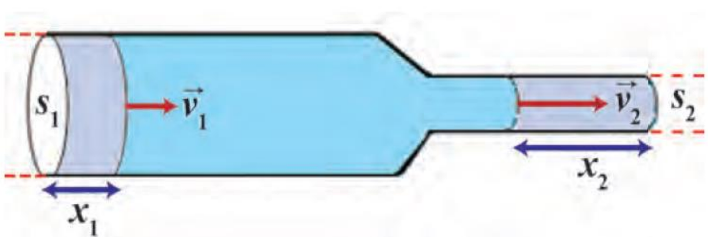
$$\Longrightarrow Q' = s_1.\vartheta_1 = N.s_2.\vartheta_2$$

$$\Longrightarrow Q' = 10^{-3} \times 5.10^{-1} = 5.10^{-4}\ m^3s^{-1}$$

-2

$$\vartheta_2 = \frac{Q'}{N.s_2} = \frac{5 \times 10^{-4}}{25 \times 10^{-3}} = 2\ m.s^{-1}$$

المسألة الثالثة:



ينتقل سائل مثالي في نظام مفتوح كما في الشكل. إذا كان

$\vartheta_1 = 20m.s^{-1}$ ، $s_1 = 40Cm^2$ ، $s_2 = 2Cm^2$

المطلوب:

-1 احسب كمية السائل المتدفقة .
-2 احسب سرعة خروج السائل من المقطع.

الحل:

-1 معدل التدفّق الحجمي للماء

$$Q' = s_1.\vartheta_1 = s_2.\vartheta_2$$

$$= 40 \times 10^{-4} \times 20 = 800 \times 10^{-4}$$

$$= 8 \times 10^{-2}\ m^3s^{-1}$$

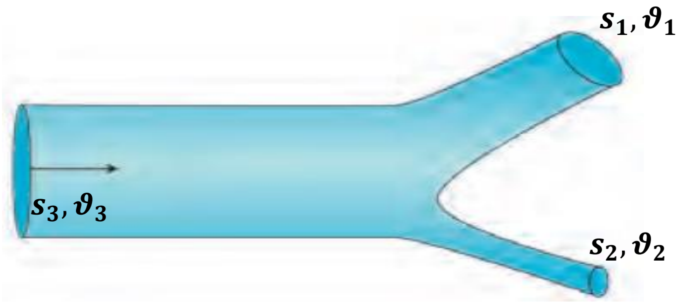
-2 نطبق معادلة الاستمرارية لإيجاد ϑ_2 :

$$s_1.\vartheta_1 = s_2.\vartheta_2$$

$$\Longrightarrow \vartheta_2 = \frac{s_1.\vartheta_1}{s_2} = \frac{40 \times 10^{-4} \times 20}{2 \times 10^{-4}} = 400\ m.s^{-1}$$

المسألة الرابعة:

أنبوبي تصريف يتصلان بثالث كما في الشكل، والمطلوب: احسب ϑ_3



حيث أن:

$s_1 = 1\ cm^2\ , \qquad \vartheta_1 = 200\ cm.s^{-1}$

$s_1 = 2\ cm^2\ , \qquad \vartheta_2 = 100\ cm.s^{-1}$

$s_3 = 2.5\ cm^2\ , \qquad \vartheta_3 =??\ cm.s^{-1}$

الحل:

نطبق معادلة الاستمرارية (وبما أن السائل المنتظم المثالي الساكن عديم الانضغاط، يمكننا جمع $s_1.\vartheta_1$ مع $s_2.\vartheta_2$).

$$s_1.\vartheta_1 + s_2.\vartheta_2 = s_3.\vartheta_3$$

$$\Rightarrow \vartheta_3 = \frac{s_1.\vartheta_1 + s_2.\vartheta_2}{s_3} = \frac{1\times10^{-4}\times200\times10^{-2} + 2\times10^{-4}\times100\times10^{-2}}{2\times10^{-4}}$$

$$= 1.6\ m.s^{-1} = 160\ cm.s^{-1}$$

المسألة الخامسة:

يدخل الماء البارد في سخان لإنتاج الماء الحار لمحطة تكييف مركزي بسرعة $\vartheta_1 = 1.52\ m.s^{-1}$ ، ويخرج الماء الساخن منه بسرعة $\vartheta_2 = 9.14\ m.s^{-1}$ ، فإذا كان أنبوب الماء البارد أعلى من أنبوب الماء الساخن بارتفاع $1.52\ m$ ، **فالمطلوب:**
أوجد ضغط الماء الساخن إذا كان ضغط الماء البارد $2.339\ kPa$ ، إذا علمت أن:

كثافة الماء البارد $\rho_{Cold\ for\ H_2O} = 998\ kg\ m^{-3}$ ، وكثافة الماء الساخن $\rho_{hot\ for\ H_2O} = 983\ kg\ m^{-3}$

الحل:

نطبق معادلة برنولي بين الأنبوبين (دخول وخروج الماء من السخان).

$$P + \frac{1}{2}\rho\,\vartheta^2 + \rho.g.Z = Const$$

$$\Rightarrow P_{cold} + \frac{1}{2}\rho\,\vartheta_1^2 + \rho.g.Z_1 = P_{hot} + \frac{1}{2}\rho\,\vartheta_2^2 + \rho.g.Z_2$$

نقسم الطرفين على ρ:

$$\Rightarrow \frac{2.339\times10^{+3}}{998} + \frac{1}{2}\,(1.52)^2 + 10\times15.2 = \frac{P_{hot}\times10^{+3}}{983} + \frac{1}{2}\,(9.14)^2 + 10\times0$$

$$\Rightarrow P_{hot} = 111.795607\ Pa = 0.111\ kPa$$

تطبيقات على ميكانيك السوائل المتحركة

الرطوبة: يتجه بخار الماء الناتج عن عملية التبخر التي تحدث على سطح الأرض إلى طبقة الجو القريبة من سطح الأرض، ويتجمع فيها، ونحصل على ما يسمى بالرطوبة الجوية أو رطوبة الهواء، والتي تنقسم إلى نوعين: 1- رطوبة مطلقة. 2- رطوبة نسبية.

الرطوبة المطلقة F: هي كمية بخار الماء الموجود في حجم معين من الهواء وتُقدّر بوحدة $kg.m^{+3}$ أو $g.cm^{+3}$، ويُطلق عليها في مجال الطقس بالضغط الجزئي P لبخار الماء في الهواء، وتكون وحدتها $mm.Hg$

الرطوبة العظمى F_m: هي كمية بخار الماء في المتر المكعب من الهواء المشبع ببخار الماء عند درجة حرارة معينة، أو الضغط الجزئي P_m لبخار الماء المشبع عند درجة حرارة معينة.

أما **الرطوبة النسبية e**: فهي نسبة الرطوبة المطلقة F إلى الرطوبة العظمى F_m ، وهي تعطى العلاقة:

$$e = \frac{F}{F_m}$$

الرطوبة النسبية المئوية:

$$e.100 = \left(\frac{F}{F_m}.100\right)\%$$

كما يُعبّر عن الرطوبة النسبية من خلال الضغوط بالعلاقة:

$$\boldsymbol{e = \frac{P}{P_m}}$$

تتعيّن رطوبة الهواء بمقدار ندعوه **نقطة الندى**، التي هي بالتعريف درجة الحرارة التي يصبح عندها بخار الماء في الهواء مشبعًا، ويبدأ عندها بخار الماء بالتكاثف على سطح بارد، وعندها تصبح الرطوبة المطلقة للهواء مساوية لرطوبته العظمى.

تمرين:
إذا كانت الرطوبة المطلقة في الجو $5\ kg.m^{+3}$ ، والرطوبة المشبعة $10\ kg.m^{+3}$ ، فالمطلوب:
1- احسب الرطوبة النسبية في الجو.
2- احسب ضغط بخار الماء المشبع إذا كان ضغط بخار الماء في الجو $12\ mmHg$

الحل : 1-

$$e.100 = \left(\frac{F}{F_m}.100\right)\%$$

$$= \left(\frac{5}{10}.100\right)\% = 50\ \%$$

-2

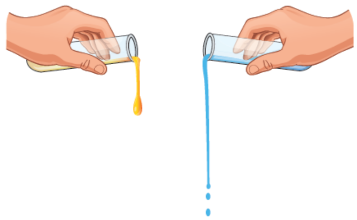
$$e.100 = \left(\frac{P}{P_m}.100\right)\%$$

$$50\% = \left(\frac{P}{P_m}.100\right)\%$$

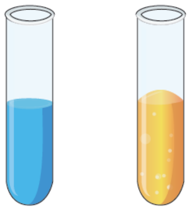
$$\Longrightarrow P_m = \frac{12 \times 100}{50} = 24\ mmHg$$

اللزوجة:

إذا سكبنا كمية من الزيت، وأخرى من الجلسرين، وثالثة من الماء على مستوى أفقي، نجد اختلافاً في قابلية كل منها على الحركة والانسياب.
تسمى الخاصية التي تميز السائل من حيث استجابته للحركة بـ"اللزوجة"، وتنشأ عن وجود ما يشبه الاحتكاك الداخلي بين طبقات السائل أو بين جزيئاته، وكلما ازدادت قيمة هذا الاحتكاك، كلما ازدادت لزوجة السائل، وينتج عن هذا الاحتكاك قوة مقاومة لحركة السائل .



بعد السكب



قبل السكب

تعيين لزوجة السائل بطريقة الكرة الساقطة أو ما يسمى **بقانون ستوكس**:

تُستخدم عادةً لقياس لزوجة سائل يتمتع بلزوجة كبيرة نسبيًا، وهي تعتمد بشكل مبدئي على قياس سرعة سقوط حبيبات كروية صغيرة في السائل، حيث لاحظ "ستوكس" أن سرعة كرة ساقطة في سائل تتزايد تدريجيًا حتى تصل إلى سرعة ثابتة تُسمى **بالسرعة النهائية**.

ويؤثر على الكرة عند سقوطها ثلاث قوى:

1- ثقلها، ويُساوي $m.g$، وجهته إلى الأسفل:

$$m.g = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho$$

حيث ρ كثافة مادة السائل.

2- قوة دفع السائل إلى الأعلى، وتُساوي وزن حجم الكرة من السائل :

$$F_1 = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho_0 \, g$$

حيث أن: R: نصف قطر الكرة ρ_0 : كثافة مادة الكرة

3- قوة ممانعة السائل لحركة الكرة، وتنشأ عن خاصية اللزوجة، وتعمل هذه القوة عكس اتجاه الحركة، أي إلى الأعلى.
وقد أثبت "ستوكس" أنها تتناسب طردًا مع نصف قطر الكرة R ، وطردًا مع لزوجة السائل η ، وطردًا مع السرعة النهائية ϑ.

$$F_2 = 6\pi R \vartheta \eta$$

ومن قانون نيوتن، في حالة الحركة المنتظمة للكرة داخل السائل، يكون لدينا:

$$m.g = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho \, g = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho_0 \, g + 6\pi R \vartheta \eta$$

$$\Rightarrow \frac{4}{3}\pi R^3 \rho \, g - \frac{4}{3}\pi R^3 \rho_0 \, g = 6\pi R \vartheta \eta$$

$$\Rightarrow \frac{4}{3}\pi R^3 g(\rho - \rho_0) = 6\pi R \vartheta \eta$$

$$\Rightarrow \eta = \frac{\frac{4}{3}\pi R^3 g(\rho - \rho_0)}{6\pi R \vartheta}$$

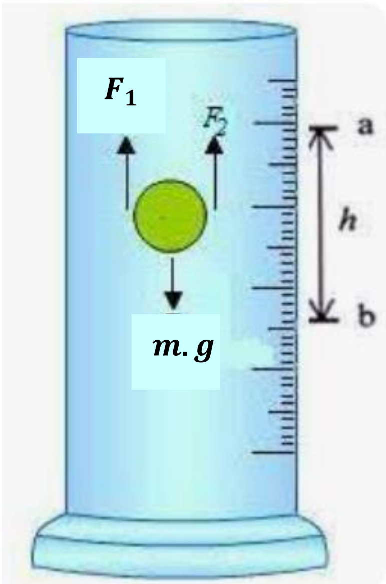
$$\Rightarrow \eta = \frac{2R^2 g(\rho - \rho_0)}{9\vartheta} \qquad (*)$$

ويُعرف عامل اللزوجة η بأنه القوة التي إذا أثّرت على وحدة المساحات من سائل، أحدثت فيه وحدة معدل تغير في السرعة.
يُقاس عامل اللزوجة بالجملة الدولية بـ $N.s.m^{-2}$ أو $Pas.s$

ولتعيين قيمة معامل اللزوجة η:

نستخدم **أسطوانة قليلة السخونة** تحتوي في جزئها الأوسط على تأشيرتين (a, b)،

وتُستخدم مجموعة من الكرات الصغيرة ذات الأبعاد $(0.2 - 0.3\ mm)$.



نضع السائل المراد قياس معامل لزوجته داخل الأسطوانة، ومن ثم نقوم بإسقاط حبيبة كروية داخل السائل، ونقيس الزمن الذي تحتاجه تلك الحبيبة لتجتاز المسافة الموجودة بين التأشيرتين.

إذا اعتبرنا أن حركة الحبيبة الكروية منتظمة، وأن الزمن الذي استغرقته لقطع المسافة h هو t:

فبالتالي تكون سرعة الحبيبة الكروية هي:

$$\vartheta = \frac{h}{t}$$

وبمعرفة R للكرات الكروية، نستطيع تعيين قيمة معامل اللزوجة للسائل المطلوب

بالتعويض في العلاقة$(*)$.

انتهى الفصل السابع