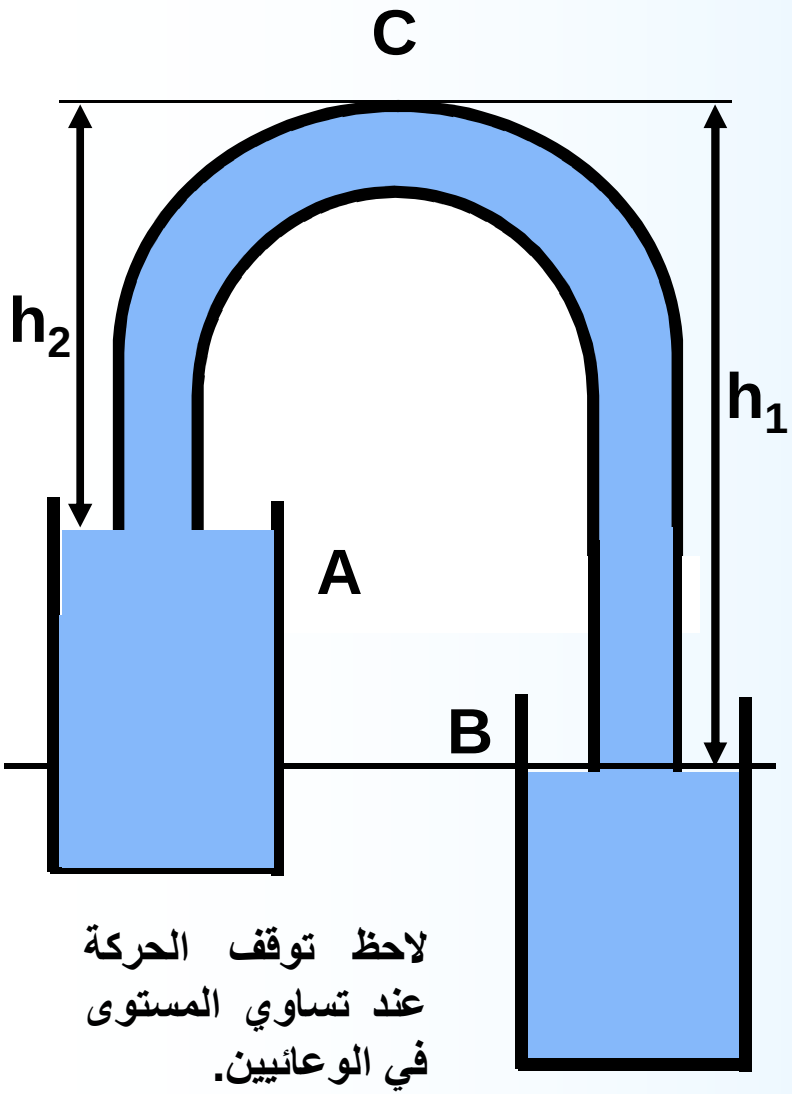
محتوى المحاضرة الثالثة

الموائع المتحركة

- حركة السوائل
- الضغط الإسموزي
- ظاهرة الانتشار
- اللـزوجـة
- النفاذية
- تطبيقات زراعية

حركة السوائل



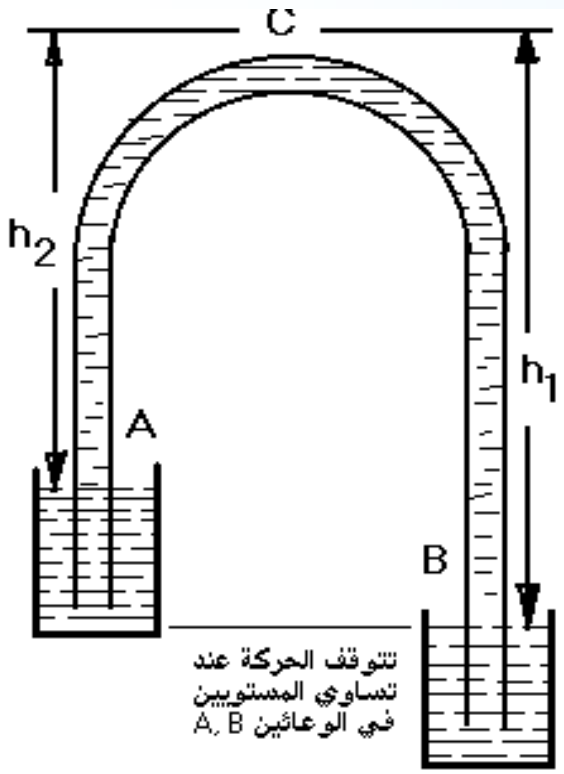
لاحظ توقف الحركة عند تساوي المستوى في الوعائيين.

حركة السوائل خلال السيفون

يعتبر السيفون طريقة سهلة تستخدم في سحب السوائل من بعض الأوعية دون تحريكها.

ويتكون السيفون من أنبوبة A C B على شكل حرف U مقلوب كما هو مبين في الشكل يغمر طرف الفرع القصير للأنبوبة CA في الوعاء المطلوب نقل السائل الموجود به إلى وعاء آخر B ينغمس فيه الطرف الآخر للأنبوبة الكبيرة (الفرع الطويل) C B فإذا دفع السائل في البداية للتحرك في الاتجاه A C B.

يلاحظ إستمرار حركة السائل في نفس الاتجاه حتى يصبح السائل في نفس المستوى في الوعائين (B, A) ثم تتوقف الحركة.



وحيث أن الضغط على سطح السائل في كل من الوعائين B, A هو الضغط الجوي فإن الضغط الذي يؤثر على السائل عند القمة (C) له إتجاهان:

لكي يدفعها إلى اليمين هو $P - h_2 d g$ حيث d كثافة السائل هناك أيضاً ضغطاً آخر يعمل على دفع السائل أيضاً إلى اليسار وقدره $P - h_1 d g$

أي أن القيمة الكلية للضغط الذي يؤثر على الماء عند القمة (C) سيكون في الاتجاه إلى اليمين وقدره:

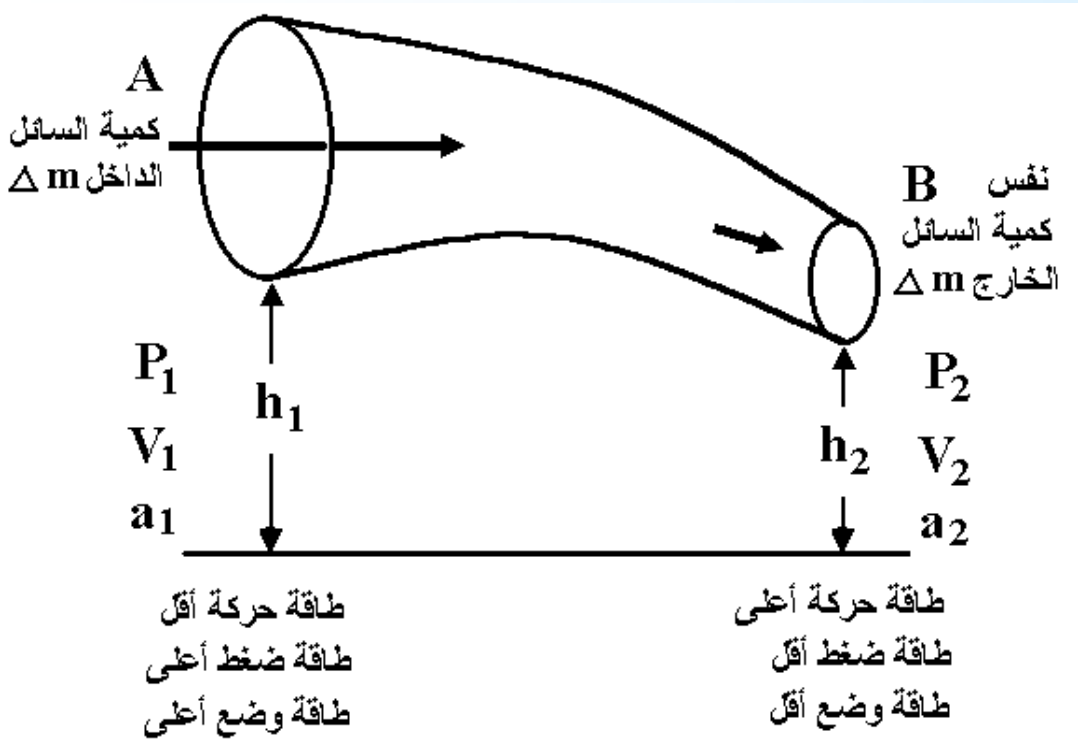
$$(P - h_2 d g) - (P - h_1 d g) = (h_1 - h_2) d g$$

وهذا هو قيمة الضغط الذي سيدفع الماء عند قمة الأنبوبة C و التحرك إلى اليمين من A إلى B . و من الطبيعي أن هذا الانتقال سيستمر حتى يصبح $h2 = h1$ وعندئذ سيتساوى الضغط في جميع الاتجاهات عند C ويتوقف انتقال السائل.

نظرية برنولى

تنص على أنه "عند أي نقطة على طول خط انسياب سائل يظل مجموع الضغط وطاقة الوضع وطاقة الحركة ثابتاً" أي:

$$P + \rho g h + \tfrac{1}{2} \rho V^2 = Constant$$



لنفرض أن سائلاً ينتقل في أنبوبة سريان بين المستوى A, B كما في الشكل الموضح. و لنفرض أن P1 هو الضغط و a1 مساحة المقطع و V1 سرعة جسيمات السائل عند النقطة A ، و أن a2 , P2 , V2 هي قيمة هذه المقادير عند B.

ويمكن وصف حركة السائل في الأنبوبة AB بأن نقول أن كمية من السائل Δm جرام دخلت المقطع A في لحظة معينة و أن كمية مماثلة Δm خرجت من المقطع B في نفس اللحظة نظراً لعدم تضاغط السائل.

ويمكن وصف حركة السائل فى الأنبوبة AB كالتالى:

كتلة السائل المار في الثانية الواحدة =

$\Delta m = Va\ r$ ..... (1)

طاقة الحركة في الثانية الواحدة =

$= \frac{1}{2}\ \Delta m\ V^2 = \frac{1}{2}\ Va\ r\ V^2$ ..... *(2)*

طاقة الضغط = القوة الناشئة من الضغط × السرعة

$= Pa \times V$ ..... *(3)*

طاقة الوضع = الكتلة (Δm) × الإرتفاع × عجلة الجاذبية الأرضية

$= \Delta m\ h\ g = Va\ r\ h\ g$ ..... *(4)*

في هذه الحالة فقد إكتسب السائل طاقة حركة على حساب طاقتي الضغط والوضع.

أي أن:

الزيادة في طاقة الحركة في الثانية الواحدة =

(النقص في طاقة الضغط في الثانية + النقص في طاقة الوضع في الثانية)

$$(½\ V_2 a_2\ r\ V^2_2 - ½\ V_1 a_1\ r\ V^2_1) =$$

$$(P_1 a_1 V_1 - P_2 a_2 V_2) + (V_1 a_1\ r\ g\ h_1 - V_2 a_2\ r\ g\ h_2) \ldots\ldots\ldots (5)$$

وحيث أن :

$$V_1 a_1 = V_2 a_2$$

$$½\ r\ V^2_2 - ½\ r\ V^2_1 = P_1 - P_2 + r\ g\ h_1 - r\ g\ h_2$$

$$P_1 + r\ g\ h_1 + ½\ r\ V^2_1 = P_2 + r\ g\ h_2 + ½\ r\ V^2_2 \ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

حيث r كثافة السائل فإن بقسمة طرفي المعادلة (6) ÷ r:

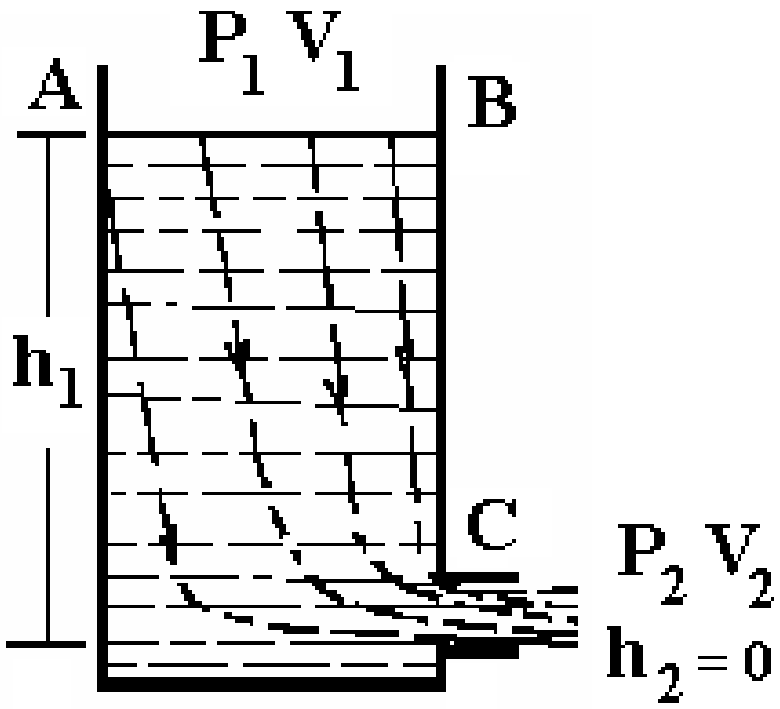
$$\frac{\mathbf{P_1}}{r} + \mathbf{gh_1} + \frac{\mathbf{V_1^2}}{\mathbf{2}} = \frac{\mathbf{P_2}}{r} + \mathbf{gh_2} + \frac{\mathbf{V_2^2}}{\mathbf{2}} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \mathbf{(7)}$$

و تسمى المعادلة (٧) بقاعدة برنولى Bernoulli ومن الواضح أن هذه القاعدة تنطبق فقط في حالة السريان الثابت.

وحيث أن طرفي هذه المعادلة يدلان على حالة انتقال السائل عند نقطتين معينتين في الأنبوبة التي يتحرك فيها السائل فإننا يمكننا كتابتها على الصورة التالية التي تدل على حالة السائل عند أي نقطة معينة داخل الأنبوبة ، وذلك بضرب طرفي المعادلة (٧) بالكثافة ρ :

$$P + \rho g h + \frac{1}{2} \rho V^2 = Constant$$

نظرية تورشيللي



تختص هذه النظرية بدراسة سريان السائل من فتحة مثل C قرب قاعدة حوض عندما يكون الضغط على السائل ناتجاً عن وزنه فقط.

لنفرض أن حوض ملئ بالسائل حتى الارتفاع h1 فوق مستوى الفتحة C التي يخرج منها السائل.

سنرمز لكثافة السائل بالرمز *r* ولسرعة خروجه من الفتحة *C* بالقيمة *V2* ولسرعة السائل عند قمة الحوض بالمقدار *V1* وللضغط الجوى بالمقدار *P*.

الضغط عند AB = الضغط عند الفتحة C = الضغط الجوي = P
وذلك لأن السائل معرض لنفس الضغط الجوى عند المكانين ولأننا نقيس ارتفاع السائل ابتداءً من مستوى الفتحة.
بتطبيق نظرية برنولى عند قمة الحوض AB ثم بعد ذلك عند الفتحة C ومعادلة الناتجين نجد أن :

$$\frac{\mathbf{P_1}}{r}+\mathbf{gh_1}+\frac{\mathbf{V_1^2}}{\mathbf{2}}=\frac{\mathbf{P_2}}{r}+\mathbf{gh_2}+\frac{\mathbf{V_2^2}}{\mathbf{2}} \quad \text{..... (1)}$$

بطرح $\frac{\mathbf{P}}{r}$ لتساوي كل من P1 = P2

و التعويض بـ قيمة $h_2 = 0$ وقيمة V_1 مهملة للتناهي في الصغر.

$hg = ½ V^2$

وبضرب طرفي المعادلة × ٢

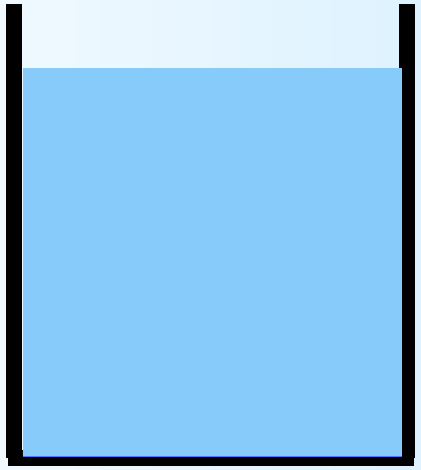
$2hg = V^2$

$$V = \sqrt{2\ g\ h}$$

ظاهرة الانتشار Diffusion

انتشار السوائل:

إذا وضعنا سائلين يقبلان الخلط في إناء بحيث يتلامسان دون أن نحرك أحدهما نجد أن كل سائل يخترق السائل الآخر إلى أن يتوزع كل من السائلين بانتظام خلال المخلوط، وبعد مدة تتوقف سرعة جزئيات السائلين.

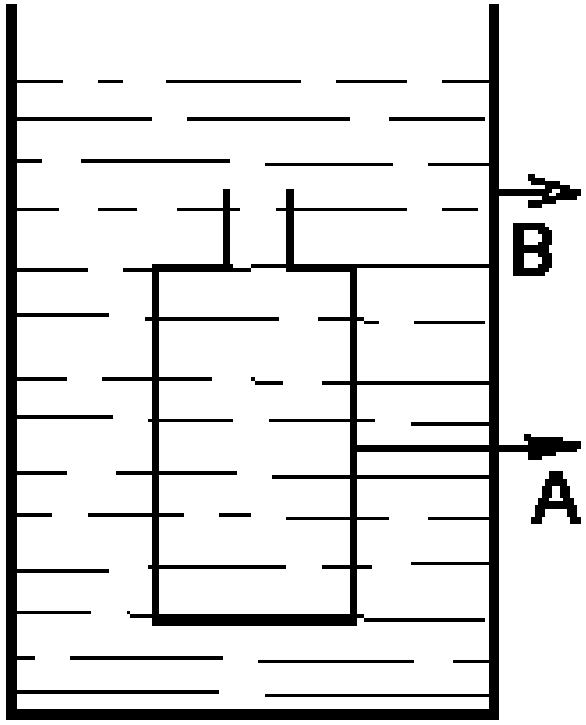


ظاهرة الإنتشار في السوائل

وكان العالم جراهام هو أول من لاحظ خاصية الانتشار حيث:

وضع محلول ملون والمراد اختراقه في الأنبوبة A ثم وضع هذه الأنبوبة بما فيها من محلول في إناء واسع B مملوء بالماء النقي.

ولقد غطى جراهام الأنبوبة A بغطاء زجاجي قبل وضعها في الإناء B حتى لا ينسكب المحلول من A إلى B وبحرص شديد سحب الغطاء الزجاجي من فوهة الأنبوبة A و تأكد من أن السائلين في حالة سكون تام.



بعد ذلك أخذ جراهام عينات من الماء الموجود في الإناء B بواسطة ماصة على فترات مختلفة من الزمن لتعيين كتلة المادة المذابة في كل مرة من المرات، وهذه الكتلة هي التي انتشرت من الأنبوبة A إلى الإناء B .

من هذه التجربة توصل جراهام إلى عدة حقائق هي:

١. أن كمية المادة المذابة التي تنتشر من الأنبوبة A تتناسب مع تركيز المادة في هذه الأنبوبة.
٢. كمية المادة التي تنتشر تتناسب مع زيادة درجة الحرارة.
٣. كمية المادة التي تنتشر تتأثر بنوع المادة الموجودة في الإناء B فتنخفض كمية المادة المنتشرة إذا كانت من نوع المادة الموجود في الإناء B.
٤. تختلف المواد في معدل انتشارها فالمواد الغروية تنتشر ببطء عن المواد البللورية.

النفاذية Osmosis

إذا وضع محلول سكري في أنبوبة ينتهي طرفها السفلي بغشاء شبه منفذ (مثل السيلوفان) ووضعت الأنبوبة في إناء به ماء نجد بعد فترة من الزمن ارتفاع المحلول السكري في الأنبوبة إلى مستوى أعلى من مستوى الماء في الإناء وهذا يدل على انتشار الماء من الغشاء وعدم انتشار السكر فيه وتسمى عليه انتشار ومرور المذيب (وهو الماء) إلى محلول السكر بالنفاذية Osmosis ويشترط في هذه العملية وجود الغشاء الشبه منفذ، وتستخدم هذه العملية في بعض الأحيان لفصل المواد البللورية و المواد الغروية.

الضغط الإسموزي Osmotic Pressure

إن ارتفاع المحلول السكري في الأنبوبة الضيقة إلى منسوب أعلى من منسوب الماء في الإناء في التجربة السابقة يبين لنا أن الضغط في المحلول السكري يزيد عن الضغط في الماء النقي الموجود في الإناء كما أن هذه التجربة تبين لنا أن الماء يستمر في النفاذ من الغشاء النصف منفذ إلى أن يزداد الضغط في المحلول السكري عن الضغط في الماء بمقدار معين وعندئذ يتوقف مرور الماء من الغشاء ويسمى الفرق بين الضغط في المحلول وضغط الماء بالضغط الأسموزي Osmotic pressure.

اللـزوجــة Viscosity

تعرف اللزوجة بأنـها:

خاصية مقاومة السائل للانسياب.

مشاهدات تدل على لزوجة السائل:

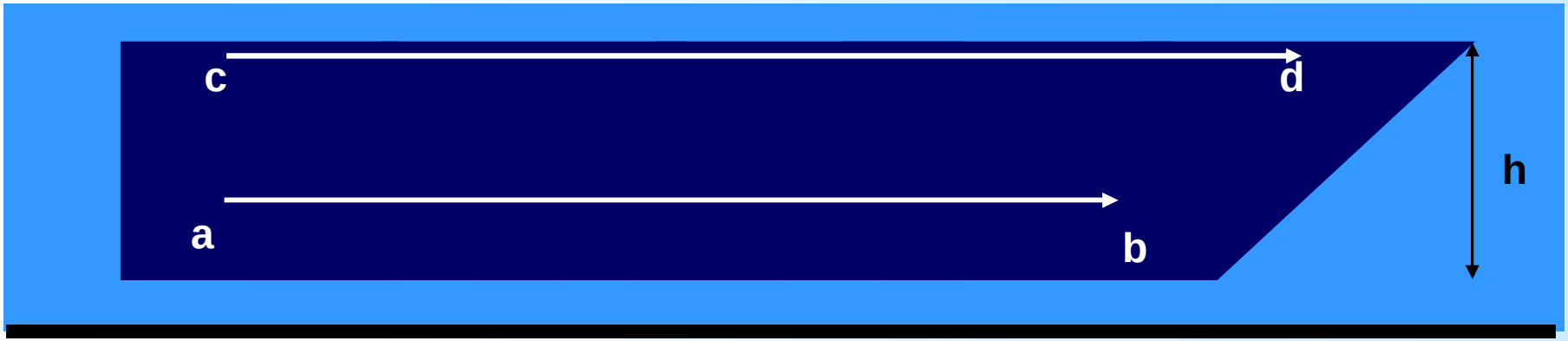
ميل كأسان زجاجيان يحتوى الأول على زيت والثاني على كحول

إنساب سائل على سطح أفقي

سرعة انتقال سائل داخل أنبوبة زجاجية مثلاً

استنتاج معامل اللزوجة لسائل

الاختلاف بين سرعة طبقات السائل الذي يتحرك فوق السطح الأفقي تجعل كتلة مكعبة الشكل من السائل في لحظة ما مثل الكتلة (ac) تصبح بعد لحظة ممثلة بالشكل المعين (bd).



أي أن الطبقة السفلي المكونة لقاعدة المكعب السائل ستتحرك من a إلى b في حين أن السطح العلوي سينتقل من c إلى d في نفس الفترة الزمنية.

فإذا كانت:

- سرعة الوجه العلوي تزيد عن السطح السفلي بالمقدار V
- والمسافة الرأسية بين السطحين h

إذن يعتبر السائل كما لو كان يتعرض لحالة انفعال قص بمعدل V/h وسيظل هذا المعدل ثابتاً طالما كان إجهاد القص الذي يتعرض له السائل ثابتاً.

وسيقاس إجهاد القص الذي يؤثر على مكعب السائل الموضح في الشكل بالقوة على وحدة المساحات من السطح العلوي، و سيمثل بالمقدار F/A

ومن المعروف أن انفعال القص V/h يتناسب مع إجهاد القص F/A الذي يدفع السائل للحركة أي أن:

$$\frac{F}{A} \; a \; \frac{V}{h} \qquad \therefore \; \frac{F}{A} = h \frac{V}{h}$$

حيث h ثابت يتوقف على طبيعة السائل اللزج ويسمى معامل اللزوجة أي أن:

$$h = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{V}{h}} = \frac{Fh}{AV} \quad \text{..... (1)}$$

وقد وجد عمليا أن لزوجة السوائل تقل بارتفاع درجة الحرارة.

و تدلنا المعادلة (1) أن وحدة اللزوجة هي جرام/ سم. ث وتسمى (Poise).

كيف يمكن استنتاج أبعاد وحدة اللزوجة من المعادلة السابقة؟

$$h = \frac{\text{قوة} \times \text{مسافة}}{\text{مساحة} \times \text{سرعة}} = \frac{Fh}{AV}$$

$$\frac{(MLT^{-2}) \times L}{L^2 \times (LT^{-1})} = ML^{-1}T^{-1}$$ أي g / cm . sec

الانسياب الطبقي والثائر

إنسياب منتظم

- سائل أو غاز غير لزج
- لا علاقة له بالسرعة
- حركة منتظمة

إنسياب طبقي

- سائل أو غاز لزج
- يسير بسرعة متوسطة
- حركة طبقية

إنسياب ثائر

- سائل أو غاز لزج
- حركة غير منتظمة
- يسير بسرعة كبيرة

تحديد نوع سريان السائل (عدد رينولد)

يتوقف عدد رينولد على أربعة مقادير هي:

- كثافة السائل **- سرعة السائل**

- معامل اللزوجة **- قطر الأنبوبة التي يمر بها السائل.**

يمكن الاستفادة منه في التمييز بين السريان الطبقي والثائر داخل الأنابيب

Reynold's number (R) يتحدد بالمعادلة:

$$R = \frac{r\ V\ d}{h}$$

حيث r = كثافة السائل (أو الغاز) **V** = متوسط سرعة السائل

h = معامل اللزوجة. **d** = قطر الأنبوبة التي يمر فيها السائل.

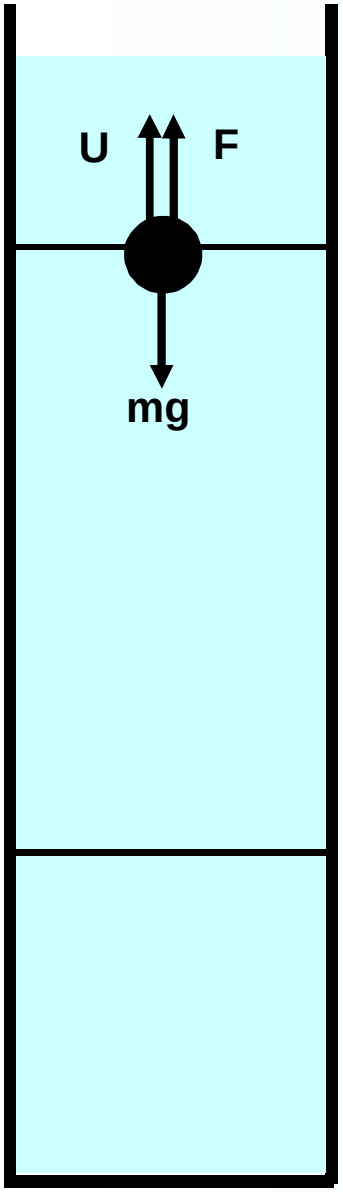
وعدد رينولد هو عدد (لا وحدة له)، وقد أثبتت التجارب انه :

**** عندما تتراوح قيمته بين صفر و ٢٠٠٠ يكون الانسياب طبقياً**

**** إذا زادت قيمته عن ٣٠٠٠ فإن سريان السائل يصبح ثائراً**

**** بين ٢٠٠٠ و٣٠٠٠ يعتبر السائل في حالة انتقال بين هاتين الحالتين من الحركة.**

استنتاج قانون ستوك Stoke's law
لحساب لزوجة السائل



إذا أسقطنا كرة معدنية خلال سائل لزج مثل الجلسرين وكثافته اقل من كثافة مادة الكرة فإن الكرة ستهبط في السائل بسرعة متزايدة القيمة، ولكننا نلاحظ أن هذه السرعة سرعان ما تبلغ قيمة معينة تظل ثابتة عندها لا تتعداها، وتسمى هذه السرعة بالسرعة النهائية

لدراسة هذه الظاهرة يجب أن نعرف القوى المؤثرة على الكرة في السائل وإتجاه هذه القوى:

١. وزن الكرة mg إلى أسفل.
٢. قوة دفع السائل للكرة إلى أعلى (U)
٣. قوة اللزوجة F و تؤثر في عكس اتجاه حركة الكرة (إلى أعلى)

وهذه القوة استنتجها ستوك كما يأتي:

أن المقاومة F التي تتلقاها الكرة أثناء حركتها في السائل تتوقف على العوامل التالية:

١- سرعة الكرة داخل السائل (V) سم/ث
٢- نصف قطر الكرة (r) سم
٣- معامل لزوجة السائل (h) بوحدات الـ Poise

أي أن : $F \alpha \eta r v$

$$\therefore F = K h r v$$

وباستخدام معادلة الأبعاد :

$$\therefore F = K h^a r^b v^c \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

$$MLT^{-2} = K (ML^{-1} T^{-1})^a (L)^b (LT^{-1})^c$$

ومنها نستنتج أن: $\therefore a=1 , b=1 , c=1$

و بالتعويض في المعادلة (١)

$$\therefore \quad F = Khrv$$

ولقد وجد عملياً أن الثابت $K = 6\pi$

$$F = 6\pi hrv \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

و من المعادلة (2) نجد أن قيمة قوة اللزوجة F تتناسب مع سرعة السقوط، وهذا يعني أن السائل اللزج سوف يقاوم حركة سقوط الكرة خلاله وأن هذه المقاومة ستزيد كلما زادت سرعة الكرة، وهكذا سرعان ما نصل إلى الحالة التي تكون فيها قوة اللزوجة المتزايدة والمتجهة إلى أعلى تساوي $mg - U$ التي تدفع الكرة إلى أسفل أي أن:

$$F + U = mg$$

$$\therefore \quad F = mg - U \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

وعند تساوي القوتان F+U، mg ستصبح الكرة الهابطة في السائل متحركة دون أن تؤثر عليها قوة وبذلك تتحرك بسرعة منتظمة هي السرعة النهائية V حيث عندما توضع الكرة في أول الأمر في السائل فإن سرعتها ستزداد تدريجياً من الصفر إلى السرعة النهائية V وعندئذ تثبت عند هذه القيمة وتسقط بسرعة منتظمة.

وعند انتظام السرعة أي الوصول للسرعة لانهائية نلاحظ التالي:

فإذا كانت r هي كثافة الكره فنستطيع كتابة وزن الكرة كحاصل ضرب الحجم × الكثافة × عجلة الجاذبية الأرضية أي على الصورة:

$$\mathbf{mg} = \frac{4}{3} p \ \mathbf{r}^3 \ r_1 \ \mathbf{g} \quad \text{.....(4)}$$

فإذا كانت r_2 هي كثافة السائل فإن:

قوة الدفع = حجم الكرة × كثافة السائل × عجلة الجاذبية أي:

$$U = \frac{4}{3} p\, r^3\, r_2\, g \quad \text{.....(5)}$$

من المعادلات (2), (3), (4), (5) نجد أن : $F = 6\, p\, h\, r\, V$

وحيث أن: $F = mg - U$

$$\therefore \quad 6p\, h\, r\, v = \frac{4}{3} p\, r^3\, g\, (r_1 - r_2)$$

$$\therefore \quad h = \frac{2}{9}\, g\, r^2\, \frac{(r_1 - r_2)}{V} \quad \text{(Poise)}$$

ويسمى هذا القانون بقانون ستوك.

تمرين

احسب السرعة الثابتة النهائية لقطرة من الزيت كثافتها ٠.٩٥ جم/سم^{٣} ونصف قطرها ١٠$^{-٤}$ سم أثناء سقوطها في وسط من الهواء كثافته ٠.٠٠١٣ جم/سم^{٣} ومعامل لزوجته ١٨١ × ١٠$^{-٦}$ جم. سم$^{-١}$. ث$^{-١}$.

الحل

بتطبيق قانون ستوك

$$h = \frac{2}{9}\ g\, r^{2}\ \frac{(r_1 - r_2)}{V}$$

التطبيقات من الناحية الزراعية

حركة السوائل

الأراضي: دراسة حركة المياه بالتربة وتأثيرها على نمو المجموع الجزري.
النبات: حركة السوائل داخل أوعية الخشب.
ميكنة: في حساب معدلات الري وفي بناء السدود وفي توصيل المياه للمزرعة
الدواجن: حركة المياه من الخزانات الرئيسية إلى أن تصل إلى المساقي.

حركة السوائل بالسيفون

الكيمياء: الإستخلاص المستمر للزيوت الغذائية بجهاز سوكسلت
الأراضي: طريقة من طرق توصيل المياه من القنوات الرئيسية للفرعية (ري).

ظاهرة الإنتشار

النبات: تساعد في تسهيل تبادل الغاذات بن النسيج النباتي والوسط الخارجي.
الكيمياء: الفصل الكروماتوجرافي الورقي والغازي لتقدير البروتينات والأحماض الأمينية والدهنية.

الضغط الأسموزي

الأراضي: امتصاص الجذر للعناصر الغذائية والمياه.

الكيمياء: فصل المحاليل الحقيقية عن الغروية.

النبات: انتقال العصارة من خلية لأخرى

الإنتاج الحيواني: تفسر إنتقال المواد الممتصة بين الخلايا الحيوانية.

الألبان: الكشف عن اللبن الناتج من ماشية مصابة بإلتهاب الضرع.

اللزوجة

الأراضي: التحليل الميكانيكي لمعرفة قوام التربة.(قانو استوك)

الإنتاج الحيواني: يقدر لزوجة الدم كمؤشر لصحة الحيوان.

لزوجة الحيوانات المنوية كمقياس لكفائتها.

الميكنة: قياس لزوجة زيوت المحركات.

الفاكهة: لزوجة العصارة داخل الأوعية الناقلة في النبات

لها علاقة بالإدماء حيث تؤثر على ميعاد التقليم وبداية نشاط النمو.

الألبان: عن طريقها يمكن معرفة ما إذا كان اللبن مغشوش.

الصناعات الغذائية: تحديد جودة بعض الأغذية (العسل الأبيض والسمنة)

أسئلة الباب الثالث

حركة السوائل:

- وضح بالرسم والمعادلة كيفية تحرك السوائل بطريقة السيفون؟
- بماذا تنص نظرية برنولي؟ مع استنتاج المعادلة؟
- بماذا تختص نظرية تورشيلي؟ مع استنتاج المعادلة؟
- ما هي الحقائق التي توصل لها جرهام في تحربته عن خاصية الإنتشار؟
- تكلم عن ظاهرة النفاذية – الضغط الإسموزي؟

اللزوجة:

- عرف اللزوجة؟ مع استنتاج معامل اللزوجة لسائل؟
- فرق بين الإنسياب الطبقي والثائر والمنتظم مع التوضيح بالرسم؟
- اكتب معادلة رينولد وبماذا تدل؟
- استنتج قانون استوك؟

أنبوبة قطرها ٤٠ سم عند أحد الأطراف الذي يرتفع عن مستوى الأرض بمقدار ١٠سم وقطرها ٢٠ سم عند الطرف الآخر الذي يرتفع عن سطح الأرض بمقدار ٥ سم فإذا كان ضغط الماء عند المقطع الأول هو ٥ × ١٠^٥ نيوتن/ م^٢ وسرعة السريان عند نفس المقطع ١ م/ث احسب سرعة السريان والضغط عند المقطع الآخر؟

خزان من المياه له فتحة جانبية تبعد ٩٠ سم عن مستوى الماء في الخزان احسب سرعة انسياب المياه من الفتحة؟