الفصل الخامس عشر - اللّـــزوجـــــة

15-1) مقدمـة:

يقاوم السائل أي حركة تحدث داخله، وهذه المقاومة هي قوة احتكاك تكون في اتّجاه مضادّ للحركة، وهذه المقاومة ناجمة عن لزوجة السائل؛ فإذا كانت قوة الاحتكاك عالية تكون للسائل لزوجة عالية وهذا النوع من السوائل لا ينساب بسهولة، ومن أمثلة هذه السوائل: الجلسرين والعسل. أمّا إذا كانت قوة الاحتكاك منخفضة، فإنّ السائل يكون ذا لزوجة صغيرة كما هو الحال في الماء – مثلاً وانسياب هذا النوع من السوائل يتحقّق بيُسْر وسهولة.

15-2) النظرية الجزيئية للّزوجة

نتيجة وجزد قوى التجاذب بين الجزيئات في الطّبقات المتجاورة، وهذا يعني أنّه لكي تنزلق طبقة فوق أخرى فإنّه من الضروري بذْل شغل لمعاكسة "قوى التجاذب"، وبالتالي فإنّنا نحتاج إلى إجهاد مماسّ للحصول على انسياب طبقي في السائل

3-15) معامل اللزوجة:

لقد اكتشف العالم البريطاني إسحاق نيوتن أنّه إذا أثّرت قوة F على طبقة من السائل مساحتها A، فإنّ الإجهاد المماسّي $\frac{F}{A}$ يتناسب طرديّاً مع "انحدار السرعة"، وتُكْتب هذه العلاقة رياضيّاً على النحو التالي:

$$\frac{F}{A}=\eta\frac{v}{h}$$

حيث η ثابت خاص بالسائل، ويُعْرَف بـــ"معامل اللزوجة".

ويُمْكن إعادة كتابة هذه العلاقة على النحو التالي:

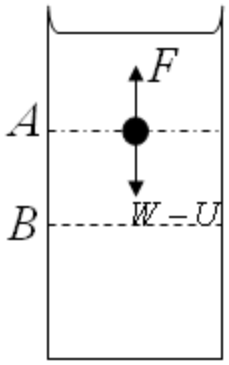
$$\eta=\frac{F/A}{h/v} \qquad (15\text{-}1)$$

يتضّح من هذه العلاقة أنّ "معامل اللزوجة" هو: "قـــوة الاحتكـــاك المماسّة في السائل لوحدة انحدار السرعة"، وتعتمد قيمة هذا المعامل علـــى نوع السائل ودرجة الحرارة.

15-5-1) قياس "معامل اللزوجة" لسائل:

يُمْكن قياس "معامل اللزوجة" لسائل ما باستخدام "قانون ستوكس"، وذلك وفْق الطريقة التالية:

يوضع السائل المُراد قياس معامل لزوجته في أنبوبة واسعة وطويلة كما هو مُبيّن في الشكل ، وتُسْقط كُرة معدنيّة في الأنبوبة.



تكون الكُرة أثناء سقوطها تحت تأثير ثلاث قوى:

1) وزن الكُرة الى أسفل W، ويُعْطي بالعلاقة:

$$W = \frac{4}{3}\pi a^3 \rho_s g \qquad (15\text{-}11)$$

حيث ρ_s كثافة مادة الكُرة.

2) دفْع السائل إلى أعلى U، ويساوي – حسب "قاعدة أرخميدس" – وزن السائل المُزاح الذي يساوي حجمه حجم الكُرة. أيّ أنّ:

$$U = \frac{4}{3}\pi a^3 \rho_L g \qquad (15\text{-}12)$$

حيث ρ_L كثافة السائل.

3) قوة الاحتكاك F،الناجمة عن لزوجة السائل، وتُعْطى بقانون ستوكس:

$$F = 6\pi\eta\, a\nu$$

– عند وصول الكُرة إلى سرعتها النهائيّة، فإنّ مجموع هذه القوى يكون صفراً.

وبالتالي يُمْكن حساب "معامل لزوجة" السائل بمعرفة السرعة النهائيّة للكَرة،ونصف قطرها،وكثافة كلٍّ من السائل ومادة الكُرة.

$$\eta = \frac{2ga^2\,(\rho_s - \rho_L)}{9\nu}$$

مـــثال (15−1):

يتحرك لوح خفيف من المعدن مساحة سطحه $100cm^2$ فوق طبقة من زيت معامل لزوجته $1.55Pa.s$ وسُمكها $2mm$. احسب القوة الأفقيّة اللازمة لتحريك هذا اللوح بسرعة منتظمة قدْرها $3cm/s$.

الحـــل:

تُعطى القوة الأفقيّة اللازمة لتحريك اللوح بالعلاقة:

$$F = \eta A \frac{v}{h}$$

وبالتعويض من المُعطيات نجد أنّ:

$$F = 1.55 \times 10^{-2} \times \frac{0.03}{2 \times 10^{-3}}$$

$$= 0.23 \ N$$

مـــثال (15–5):

أُسقطت كُرة نصف قطرها $10^{-3}m$ ،وكثافتها $2.3 \times 10^{3} kg/m^{3}$ في مـــخبار به جلسرين كـــثافته $1.3 \times 10^{3} kg/m^{3}$، ومـــعامـــل لـــزوجـــته $14 \times 10^{-3} Pa.s$. احسب السرعة النهائيّة للكُرة.

الحـــل:

باستخدام العلاقة (15-3) فإنّ:

$$v = \frac{2}{9} \times \frac{a^{2}}{\eta} (\rho_s - \rho_L) g$$

وبالتعويض من المُعطيات نحصل على:

$$v = \frac{2 \times (10^{-3})^{2} \times (2.3 \times 10^{3} - 1.3 \times 10^{3}) \times 4.8}{9 \times 14 \times 10^{-3}}$$

$$= 0.156 \text{ m/s}$$

الفصل السادس عشر- الـتـوتّـر الـسّـطـحـي

16-1) مقدمـة:

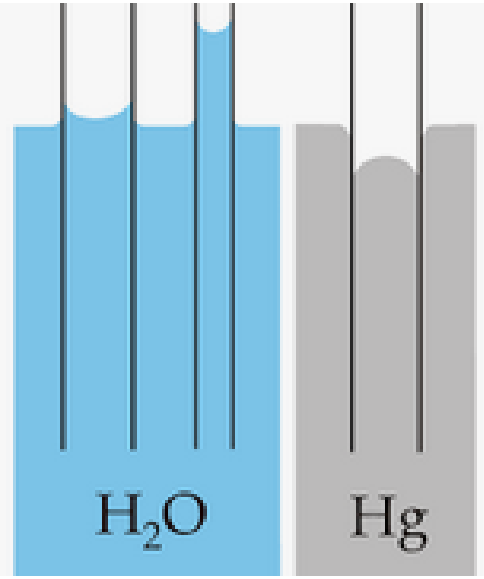
قوى التماسك هي : قوى التجاذب بين جزيئات السائل المُتماثلة

قوى الالتصاق هي : قوى التجاذب الموجودة بين جزيئات السائل وجزيئات الإناء الحاوي

أ) ينتشر الماء على شكل غشاء رقيق إذا قُمْنا بسَكْب كميّة قليلة منه على سطح زجاجيّ نظيف، بينما نجد أنّ الزئبق يتّخذ شكل قطرات كُرويّة، وهذا يرجع إلى أنّ "قوى الالتصاق" بين جزيئات الماء وجزيئات الزجاج أكبر من "قوى التماسك" بين جزيئات الماء.

أمّا في حالة الزئبق فإنّ "قوى التماسك" بين جزيئاته أكبر من "قوى الالتصاق" بين جزيئات الزئبق وجزيئات الزجاج.

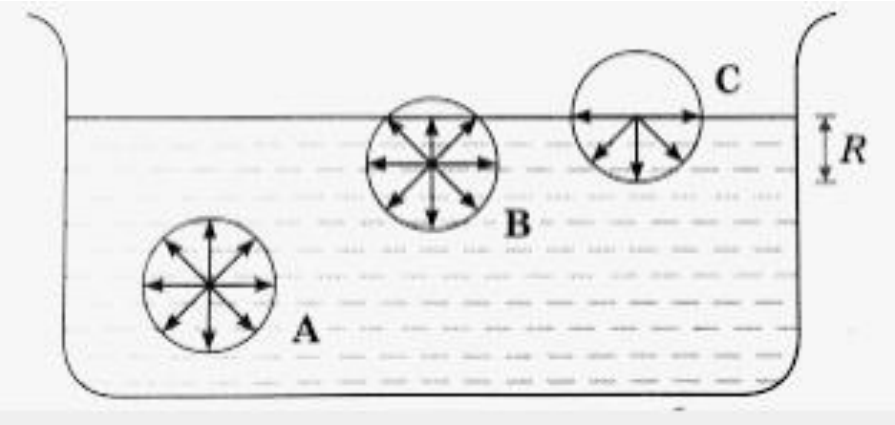
إذا وضعنا أنبوبة شَعْريّة في إناء به ماء وأخرى في إناء به زئبق، فإنّنا نجد أنّ الماء يرتفع داخل الأنبوبة، ويكون سطح الماء في الأنبوبة مُقعّراً؛ وأمّا في حالة الزئبق فإنّ عموده في الأنبوبة الشّعريّة يكون منخفضاً عن سطح الزئبق في الإناء كما أنّ سطحه في الأنبوبة يكون مُحدّباً



2-16) النظريّـة الجزيئيّة للتوتّر السطحي:

الجزئ الموجود في داخل السائل، فإنّنا نجد أنّه مُحاط بعدد متساوٍ من الجزيئات من كلّ الجوانب ، وبالتالي فإنّ محصّلة قوى التجاذب المؤثّرة عليه هي صفر

وبقيّة الجزيئات الموجودة على سطح السائل تخضع لقوى التماسك المتّجهة نحو السائل، وتكون محصّلة هذه القوى عموديّة على سطح السائل، وتسبّب هذه القوى توتّراً للسطح ممّا يجعله يتصرّف كغشاء مَرِن.



6-16) الخاصيّة الشّعْريّـة:

وتُعْرَف الزاوية θ المحصورة بين المماسّ لسطح السائل عند التقائه بسطح الزجاج،وبين سطح الزجاج باسم "زاوية التلامس"،

وتكون زاوية التلامس للزئبق مع الزجاج منفرجة

اما زاوية التلامس بين الماء والزجاج تكون محدبة

وباستخدام هذه العلاقة يُمْكن قياس "التوتّر السطحي" للسوائل

$$h = \frac{2\gamma\cos\theta}{r\rho g}$$

مـــثال (16–2):

احسب التوتّر السطحي للماء إذا كان فرق ارتفاع الماء بين داخـــل أنبوبة شَعْرِيّة وخارجها هو 2cm علماً بأنّ القطر الدّاخلي للأنبوبة 4mm، وافترض أنّ سطح الزجاج نظيف.

الحـــل:

نستخدم العلاقة (16-6) حيث:

$$h = \frac{2\gamma \cos\theta}{r\rho g}$$

ونظراً لأنّ سطح الزجاج نظيف، فإنّ $\theta = 0$ ، ونحصل على:

$$\gamma = \frac{hr\rho g}{2}$$

$$= \frac{0.02 \times 2 \times 10^{-3} \times 10^{3} \times 9.8}{2}$$

$$= 0.196 \text{ N}$$

مـــثال (16–4):

غُمِست أنبوبة شعريّة رأسيّاً في إناء به زئبق فانخفض سطح الزئبق داخلها بمقدار 1.07cm. أوجد مقدار زاوية التلامس التي يصنعها سـطح الزئبق مع جدار الأنبوبة علماً بأنّ كثافة الزئبق $13.6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$، وتوتّر السطحي 0.465 N/m، وقطر الأنبوبة 1.0 mm.

الحـــل:

نستخدم العلاقة (16-6)، ونكتبها على النحو التالي:

$$\cos\theta = \frac{h\, r\, \rho\, g}{2\gamma}$$

ونظراً لأنّ مستوى الزئبق ينخفض في الأنبوبة الشّعريّة فإنّ:

$$h = -1.07 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$\therefore \quad \cos\theta = -\frac{1.07 \times 10^{-2} \times 0.5 \times 10^{-3} \times 13.6 \times 10^{3} \times 9.8}{2 \times 0.465}$$

$$= -0.767$$

$$\therefore \quad \theta = \cos^{-1}(-0.767)$$

$$= 143^0$$

يرتفع الماء في أنبوبة شعرية .. بمقدار (5.8 cm) حسب مدى الانخفاض الذي يطرأ على الزئبق .. داخل الأنبوبة إذا وضعناها .. في وعاء به زئبق علماً بأن .. زاوية التلامس للماء هي صفر وللزئبق 130°

هناك ثوابت في آخر الورقة تكتبها

الحل

$h_{ماء} = \frac{2\gamma\cos\theta}{\rho g r} \Rightarrow r = \frac{2\gamma\cos\theta}{\rho g h}$

$\therefore r = \frac{2(75\times10^{-3})(1)}{(10^3)(9.8)((5.8)\times10^{-2})} = 2.64\times10^{-4}\ m$

$h_{للزئبق} = \frac{2\gamma_j\cos(130)}{\rho_j g r} = \frac{2(547\times10^{-3})(\cos130)}{(136\times10^2)(9.8)(2.64\times10^{-4})}$

$= \frac{-0.7}{35.19} = -0.0198\ m$

اذا كانت سرعه الهواء فوق جناح لطائرة صغيره (40 m/s) وسرعته تحتها (30 m/s) وكانت مساحه الجناح ص (4 m^2) فما حسب قوة دفع الهواء الى اعلى علماً بأنه كثافه الهواء ص (1.3 Kg/m^3)

(a) 200 N (b) 455 N (c) 600 N (d) 1820 N

الحل

$$f = \frac{1}{2} A \rho (v_2^2 - v_1^2)$$

$$= \frac{1}{2}(4)(1.3)(40^2 - 30^2) = 1820 N$$

يمكن استخدام الخاصيه الشعريه لقياس تسارع الجاذبية الأرضيه فإذا كانت لدينا أنبوبة شعرية قطرها الداخلي هو (1mm). وأنه الماء ارتفع إلى (3.1cm) فاحسب تسارع الجاذبية الأرضيه من ذلك المكان اذا علمت أن كثافه الماء هى ($1000\ kg/m^3$) والتوتر السطحي للماء ($0.0725\ N/m$)

(a) $9.81\ m/s^2$ (b) $9.50\ m/s^2$ (c) $9.35\ m/s^2$ (d) $8.9\ m/s^2$

الحل

$$h = \frac{2\gamma}{\rho g r} \rightarrow g = \frac{2\gamma}{\rho h r} = \frac{2(0.0725)}{(1000)(3.1\times10^{-2})(\frac{1\times10^{-3}}{2})} = 9.35\ m/s^2$$

انبوبه شعرية - قطرها — 5 mm - غمرت رأسها فارتفع الماء في الانبوب بمقدار — 5 cm —

فإذا غمرت — انبوبه أخرى - قطرها — 10 mm — فإنه الماء سوف يرتفع الى —

(a) 10 mm — (b) 100 mm — (c) 2.5 mm — (d) 25 mm

الحل

$$h = \frac{2\gamma}{\rho g r} \Rightarrow 2\gamma = h\rho g r \Rightarrow \gamma = \frac{h\rho g r}{2}$$

$$\gamma = \frac{(5\times10^{-2})(1000)(9.8)(\frac{5}{2}\times10^{-3})}{2} = 0.6125\ N/m$$

$$h_2 = \frac{2\gamma}{\rho g r_2} = \frac{2(0.6125)}{(1000)(9.8)(\frac{10}{2}\times10^{-3})} = 0.025\ m$$

$$= 25\ mm$$

٣

انبوبة شعرية نصف قطرها الداخلي (0.5 mm) غمرت في ماء فإذا كان التوتر السطحي للماء (γ = 0.0725 N/m) وكثافته (ρ = 1000 Kg/m³) فإن وزن الماء الذي يصعد داخل الأنبوب هو

(a) 2.28×10^{-4} N (b) 4.56×10^{-4} N (c) 0.91 N (d) 2.33×10^{-5} N

الحل

$$h = \frac{2\gamma}{\rho g r} = \frac{2(0.0725)}{(1000)(9.8)(0.5 \times 10^{-3})} = 0.0296 \text{ m}$$

الارتفاع = h — المساحة المقابلة = πr^2 — الكثافة = ρ — الحجم = V — الكتلة = $m = \rho V = \rho \times \pi r^2 h$ — الوزن = $W = mg$

$$\therefore m = 1000 \times \pi \times (0.5 \times 10^{-3})^2 (0.0296) = 2.3 \times 10^{-5} \text{ Kg}$$

$$\therefore W = (2.3 \times 10^{-5})(9.8) = 2.28 \times 10^{-4} \text{ N}$$