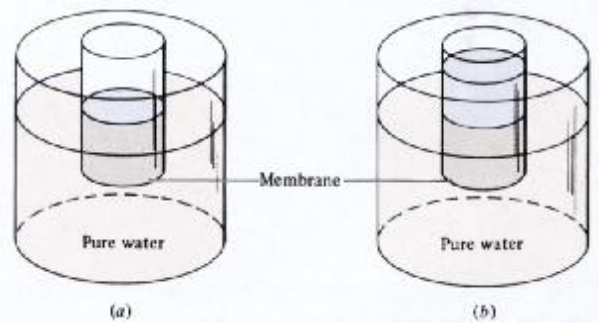
3. 10. السوائل الممددة والضغط الأسموزي

إن سلوك الغازات الحقيقية غالباً ما يكون له سلوك الغاز المثالي تقريباً أي يخضع لنفس القوانين والمعادلات، تلك القوانين يمكن إيجادها باعتماد نموذج الجزئيات الصغيرة التي لا تتأثر ببعضها وليس بينها تصادمات تتبادل بها الطاقة، تلك الشروط المطبقة على السوائل الممددة نسميها بالضغط الاسموزي.

في الشكل (3.14) بينا آلية الضغط الأسموزي، وهي أن نغمر أسطوانة مملوءة بالماء ومغلقة من أسفلها بغشاء مرن نصف نفوذي في أسطوانة أكبر منها مملوءة بماء نقي، ونضع في الأسطوانة الداخلية وإلى نفس الارتفاع مع الخارجية محلول سكري مركز بحيث تستطيع جزيئات الماء المرور من خلال الغشاء المرن بينما جزيئات السكر لا تستطيع ذلك.



الشكل (3.14)

في الشكل (3.14) بما أن هنالك اختلاف بتركيز السكر بين الاسطوانتين الداخلية والخارجية فتلاحظ أن السائل المركز يمتص الماء من خلال الغشاء المرن وترتفع سوية الماء في الاسطوانة الداخلية – إن ارتفاع السائل في الأسطوانة يزيد من قيمة الضغط داخلها بسبب ازدياد ضغط عمود السائل داخل الاسطوانة. نسمي الضغط المرافق لزيادة الارتفاع π.

نسمي الضغط في الاسطوانة الخارجية والتي تحتوي على الماء النقي P_W^0

P_W^i: الضغط في الأسطوانة الداخلية

P_S: الضغط الإضافي المرافق لإضافة السكر في الاسطوانة الداخلية وبذلك يصبح الضغط في الاسطوانة الداخلية:

$$P_S + P_W^i$$

أما الضغط الأسموزي فيساوي:

$$p = \left(P_W^i + P_S\right) - P_W^0$$

فإذا كانت السوائل الممددة تخضع لقوانين الغاز المثالي فنكتب:

$$P_S V = nRT \Rightarrow p = P_S = \frac{nRT}{V}$$

حيث n عدد جزيئات السكر وV حجم المحلول السكري في الاسطوانة الداخلية.

إذا استخدمنا التركيز بدل عدد الجزيئات فيكون تركيز المحلول:

$$C = \frac{n}{V}$$

في الجملة الدولية يكون التركيز C مقدراً بـــ$mole.m^{-3}$ وتصبح العلاقة:

$$p = CRT$$

يمكن فهم ظاهرة الضغط الاسموزي بالمثال التالي:

<u>مثال:</u>

يصعد النسغ في شجرة البلوط نتيجة ظاهرة الضغط الأسموزي واختلاف تركيز السكر بين الجذر والساق، فإذا كان النسغ العادي يحوي 1% من سكر القصب $C_{12}H_{22}O_{11}$ في الماء وبافتراض أن درجة الحرارة 275^o فأوجد:

a) تركيز المحلول السكري بواحدة $mole.m^{-3}$

b) أوجد الضغط الأسموزي

c) ما هو أكبر ارتفاع يبلغه النسغ في الساق

<u>الحل:</u>

a) إن الكتلة الجزيئية للسكروز تساوي:

$$(12)(12\ U)+22(1\ U)+11(16\ U)=342$$

أو $342\ (g)$

إن متر مكعب من المحلول السكري يحتوي على $1m^3$ من الماء أو 10^3kg من الماء و1% من كتلة سكر السكروز أي $10(kg)$ أو $10^4(g)$ أو:

$$\frac{10^4\,(g)}{342\left(g.mole^{-1}\right)} = 29.2\ moles.m^{-3}$$

b) الضغط الأسموزي

$$\begin{aligned} p &= CRT \\ &= \left(29.2\ moles.m^{-3}\right)\left(8.314\ Jmole^{-1}K^{-1}\right)(JooK) \\ &= 7.28\times10^4\,Pa \end{aligned}$$

c) لحساب الارتفاع الذي يصل إليه النسغ نأخذ وزن عمود المحلول السكري ويساوي $W=mg$ أو $W=\rho Vg$ حيث ρ تمثل الكثافة وتساوي $1000\ Kg.m^{-3}$ أما الارتفاع فنأخذه من الحجم $V=Ah$ حيث A تمثل المقطع:

$$p=\frac{W}{A}=\frac{r\,ghA}{A}=r\,gh$$

$$h=\frac{p}{r\,g}=\frac{7.28\times10^{4}\,Pa}{\left(1000\ Kg.m^{-3}\right)\left(9.8\ mS^{-2}\right)}=7.43m$$

3. 11. اللزوجة

عندما يتحرك جسمان متلامسان بسرعتين مختلفتين، تنشأ عند السطح الفصل بينهما قوى احتكاك، تظهر من خلال تحول الطاقة الحركية إلى حرارية، فيما يخص الموائع، فإن ظواهر مشابهة تحدث عندما لا تتحرك جميع الجزيئات المكونة للمائع بالسرعة نفسها، لكنها تختلف عن الأجسام الصلبة من حيث أن السرعة داخل المائع تتغير من نقطة إلى أخرى، أي أن الاحتكاك لا يحدث عند السطح الفاصل الذي لا وجود له بل يحدث داخل المائع.

يمكن تعريف اللزوجة في حالة سائل يجري بصورة طبقية تختلف سرعة كل طبقة عن مجاورتيها، بأنها الممانعة التي تبديها طبقات السائل للحركة. فلو تخيلنا مائعاً في إناء يتكون من طبقات بعضها فوق بعض، وسماحة كل طبقة (B) والمسافة العمودية بين الطبقة العليا والسفلى (y)، وأثرنا بقوة (F) على الطبقة العليا كما في الشكل (3.15) فإن هذه الطبقة ستتحرك بسرعة (V)، بينما تتحرك الطبقة التي تليها بسرعة أقل .... وهكذا حتى تصل السرعة إلى الصفر في الطبقة السفلى الشكل (B3.15)

الشكل (3.15)

ويمكن تلخيص اعتماد السرعة (V) على القوة المؤثرة (F)، وعلى مساحة طبقة المائع (B)، وعلى المسافة العمودية بين طبقتي المائع العليا والسفلى (y)، كالآتي:

$$V \propto \frac{F.y}{B}$$

أي أن

$$V = \frac{F.y}{hB}$$

أو

$$h = \frac{F/B}{V/y} \qquad (3.4)$$

المعادلة البعدية للزوجة:

$$h = \frac{MLT^{-2}/L^2}{LT^{-1}/L} = ML^{-1}T^{-1}$$

حيث h معامل اللزوجة، وهو يعتمد على نوع المائع، ودرجة حرارته. تسمى النسبة F/B بإجهاد القص، وهي القوة المؤثرة على وحدة المساحة، واحدة اللزوجة في الجملة الدولية $N.S/m^2$، ولكن واحدة اللزوجة الشائعة في الجملة السغثية هي $dyn.S/cm^2$ وتسمى بواز، وتساوي

$$1 \text{ poise} = \text{dyne.Sec/cm}^2$$

وتعتمد لزوجة المائع اعتماداً كبيراً على درجة حرارته، كما ذكرنا، ولكن

لزوجة السائل تقل بارتفاع درجة الحرارة بينما لزوجة الغازات تزداد بارتفاع درجة الحرارة، وذلك يعود إلى الفرق في قوة الترابط بين الحالتين وعدد التصادمات.
يعطي الجدول (3.1) معامل اللزوجة لبعض المواد في درجات حرارة مختلفة.

الجدول (3.1)

الهيدروجين 10^{-6} Pa.s	الهواء 10^{-6} Pa.s	البنزين 10^{-3} Pa.s	الماء 10^{-3} Pa.s	T (°C)
8.4	17.1	0.912	1.787	0
8.7	18.1	0.652	1.002	20
9.1	19.0	0.501	0.653	40
9.5	20.0	0.392	0.466	60
9.8	20.9	0.329	0.355	80
10.2	21.8	-	0.282	100

ولعله من المفيد أن نعلم أن الدم يعتبر مائعاً، ولكنه لا يخضع لما سبق ذكره، من علاقات خاصة بالموائع وذلك لعدم تجانسه، فتكون العلاقة بين القوة الأفقية المؤثرة فيه والسرعة ليست علاقة خطية.

ومما سبق يمكن تعريف معامل اللزوجة، بالقوة المماسية المؤثرة في وحدة المساحات من طبقة في السائل، لينتج عنها فرق في السرعة مقداره واحدة السرعة، بين طبقتين المسافة العمودية بينهما واحدة المسافة.

3. 12. قياس معامل اللزوجة h

3. 12. 1. قياس معامل اللزوجة لسائل بواسطة معادلة بوازوي *POISEUILLE*

تستخدم معادلة بوازوي (*poiseuille*) لإيجاد معامل لزوجة السوائل سهلة الحركة في الأنابيب كالماء والكحول.

يتكون الجهاز كما في الشكل (3.16) من مستودع للسائل (*B*) يستقبل

السائل من صنبور (A)، وتثبت أنبوبة شاقولية مفتوحة الطرفين، بحيث تنفذ من فتحة في قاع المستودع، وتعمل هذه الأنبوبة على حفظ مستوى سطح السائل في المستودع ثابتاً على الدوام أثناء إجراء التجربة.

يثبت. في فتحة جانبية في المستودع أنبوبة ضيقة (cd)، يمر بداخلها السائل وينسكب من طرفها c، ويتجمع في مخبار مدرج لفترة معينة، تجمع كمية من السائل (v) المنسكب من الأنبوبة في زمن معين t، ويحسب معدل التدفق $Q = \frac{v}{t}$ وبمعرفة نصف القطر الداخلي للإنبوبة، وكذلك طولها (L).

وباستخدام المعادلة:

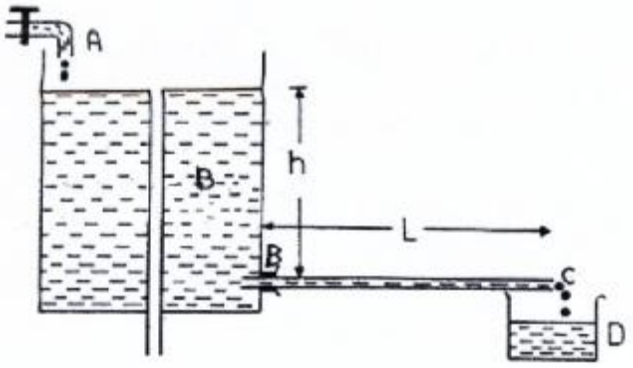
$$Q = \frac{p r^4 P}{8 h l}$$

وبتعويض

$$P = r g h$$

حيث h فرق ارتفاع سطح السائل في المستودع (B) عن مستوى محور الأنبوبة (cd) وP فرق الضغط بين طرفي الأنبوبة (cd) و ρ كثافة السائل يمكن إيجاد:

$$h = \frac{p}{8} \frac{r^4}{Q} \frac{r g h}{l} \qquad (3.5)$$



الشكل (3.16)

3. 12. 2. مقياس معامل اللزوجة لسائل بواسطة الكرة الساقطة (طريقة ستوك)

إذا أسقطنا كرة معدنية صغيرة نصف قطرها (r)، في سائل معامل لزوجته h، نلاحظ أن سرعة الكرة الساقطة تتزايد تدريجياً حتى تصل إلى سرعة ثابتة، تسمى بالسرعة العظمى (V)، وتخضع الكرة عند السقوط إلى ثلاث قوى:

1- قوة ثقلها المتجهة إلى الأسفل (mg) وتساوي:

$$F_1 = \frac{4}{3} p r^3 r v g$$

2- القوة الناتجة عن دفع السائل للكرة واتجاهها للأعلى

$$F_2 = \frac{4}{3} p r^3 r g$$

حيث ρ كثافة السائل المراد تعيين لزوجته

و r نصف قطر الكرة

3- القوة الناتجة عن مقاومة المماثل لحركة الكرة F_3، واتجاهها عكس اتجاه الحركة، ودرسها ستوكس واستنتج قيمتها:

$$F_3 = 6 p h r V$$

هذه المعادلة تسمى قانون ستوكس.

وحيث أن الكرة تسير بسرعة عظمى ثابتة، فإن محصلة القوى المؤثرة عليها تساوي الصفر.

$$\frac{4}{3} p r^3 r g + 6 p h r V - \frac{4}{3} p r^3 r v g = 0$$

$$h = \frac{2}{9} \frac{r^2}{V} (r_V - r) g \qquad \text{Kgm}^{-1}\text{S}^{-1} \quad (\mathbf{3.6})$$

مثال (4):

أوجد السرعة القصوى لسقوط كرة من النحاس قطرها (*4 cm*) في ماء درجة حرارته (*20°C*).

الحل : باستخدام قانون نيوتن الثاني:

$$F=ma$$

حيث (F) هي مجموعة القوى المؤثرة على الكرة، وهي في هذه الحالة

$$F_1 = mg = \frac{4}{3}p r^3 rvg$$

$$F_2 = \frac{4}{3}p r^3 r g$$

$$F_3 = 6phrV$$

$$F_1 + F_2 + F_3 = ma$$

$$\frac{4}{3}p r^3 rvg - \frac{4}{3}p r^3 r g - 6phrV = ma$$

وبما أن مجموع القوى المؤثرة على الكرة يساوي صفراً، فإن $a=0$ وتكون سرعة الكرة هي السرعة العظمى V

$$6phrV = \frac{4}{3}p r^3 g\left(r_v - r\right)$$

$$V = \frac{2}{9}\frac{r^2}{h}\left(r_v - r\right)g$$

حيث ρ_v للنحاس

و ρ للماء

معامل اللزوجة للماء عند الدرجة *20°C* يساوي ($1.002.10^{-3}$ $Kg.m^{-3}$)

وكثافة النحاس $8.90.10^3$ Kg/m^3

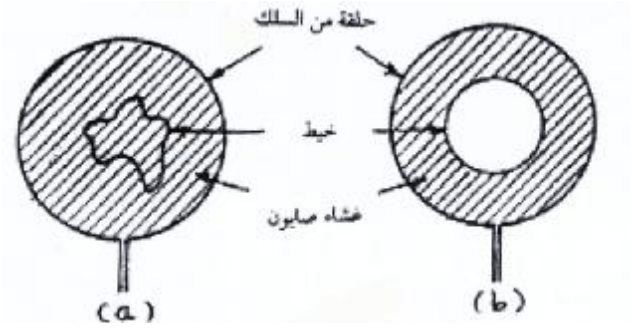
وبالتعويض في المعادلة الأخيرة عن هذه القيم نجد أن:

$$V=789.44\ m/s$$

3. 13. الشد والتوتر السطحي

كثيراً ما نرى في حياتنا اليومية حشرات صغيرة تسير فوق سطح الماء، دون أن تبتل، وعند تغطية إبرة بطبقة رقيقة من الدهن، ثم وضعها على ورقة ترشيح، ووضع الورقة برفق فوق سطح الماء، نشاهد أن ورقة الترشيح قد غاصت في الماء، في حين تظل الإبرة عالقة على السطح على الرغم من أن كثافة مادة الإبرة أكبر من كثافة الماء.

وبملاحظة الطبقة السطحية الرقيقة للماء. نجد أنها تتقوس أي يعمل سطح الماء كغشاء مشدود، يحمل الإبرة ويمنع اختراقها له يشبه هذا ما يحدث لغشاء من الصابون في حلقة من سلك رفيع عندما يوضع على الغشاء خيط الشكل (3.17) ثم يثقب ما داخل الخيط فيأخذ غشاء الصابون الشكل (3.17).



الشكل (3.17)

وللسبب نفسه فإن قطرات الماء تأخذ عند سقوطها شكلاً كروياً تقريباً.
مثال آخر نشاهده، وهو أنه عند غمر أنبوبة شعرية نظيفة في كأس ماء، يرتفع مستوى الماء في الأنبوبة الشعرية، ويصبح مستوى الماء في الأنبوبة الشعرية أعلى منه بالكأس، وإذا غمرت الأنبوبة الشعرية في كأس بداخله زئبق، يرتفع مستوى الزئبق وينخفض في الأنبوبة عما هو عليه بالكأس.
كل هذه المشاهدات خاصية من خواص سطح السائل تعرف بالتوتر السطحي.

3. 14. النظرية الجزيئية للتوتر السطحي

افترض لابلاس أنه يوجد حيز كروي نصف قطره (r)، داخل سائل وفي مركزه يقع الجزيء المراد دراسة قوى التجاذب المطبقة عليه، ويسمى نصف قطر هذا الحيز بمدى التجاذب الجزيئي. وهو يعتمد على نوع السائل، وافترض لابلاس أن الجزيئات داخل هذا الحيز، هي التي تؤثر بشكل ملموس في الجزيء، وأهمل تأثير الجزيئات الواقعة خارج الحيز.

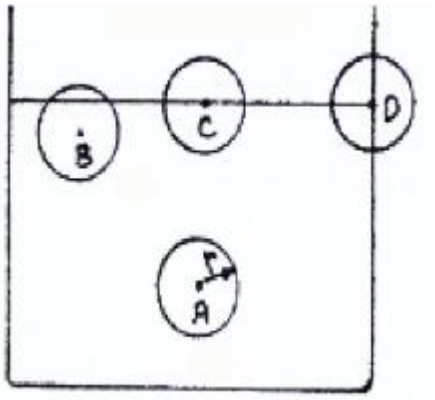
فإذا كانت الجزيئات الواقعة داخل الحيز، من نوع الجزيء نفسه المراد دراسته، سميت قوى التجاذب بقوى التماسك.

أما إذا كانت هذه الجزيئات من نوع آخر، غير نوع الجزيء المدروس، سميت قوى التجاذب بقوى التلاصق.

نفترض وجود جزيء (A) داخل السائل، وآخر (B) عند سطح السائل، بحيث أن جزءاً من الحيز يقع داخل السائل، والجزء الآخر خارج السائل الشكل (3.18).

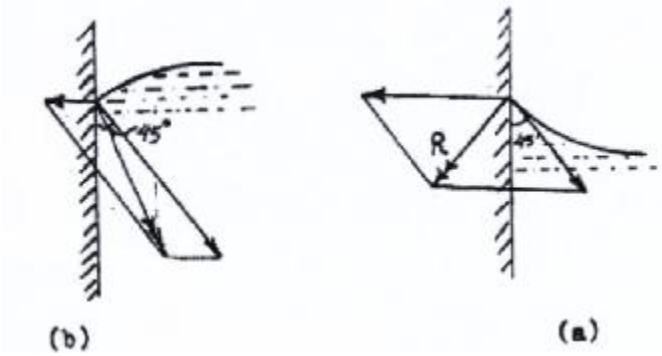
ونظراً لقوى التجاذب بين جزيئات السائل، الجزيء A المحاط من جميع الاتجاهات بجزيئات السائل الأخرى، ستكون محصلة قوى التماسك التي تؤثر بها في هذه الجزيئات تساوي صفراً. أما الجزيء (B) الواقع عند سطح السائل، فإنه يخضع لقوى تماسك ناتجة من تأثير جزيئات السائل الموجودة داخل السائل، وقوى تلاصق ناتجة من تأثير جزيئات الهواء الموجودة خارج السائل. وبما أن قوى التلاصق هذه صغيرة بالنسبة لقوى التماسك، تتجه محصلة القوى المؤثرة في الجزيء (B) إلى أسفل السائل، وهذه المحصلة تزداد قيمتها كلما اقترب الجزيء من سطح السائل، وتصل إلى نهايتها العظمى عندما يقع الجزيء على سطح السائل، مثل الجزيء (c)، أما الجزيئات القريبة من سطح

السائل، وفي نفس الوقت قريبة من جدار الإناء، مثل الجزيء (c)، يأخذ بالإضافة إلى قوى التماسك، وقوى التلاصق السابقة، فإن الجزيء يتأثر بقوى تلاصق ناتجة عن جزيئات مادة جدار الإناء الواقعة داخله، وتكون قيمة محصلة قوى اللاصق هذه أكبر بكثير من قوى التلاصق الناتجة من جزيئات الهواء، والتي يمكن إهمالها كما ذكرنا. ونتيجة لذلك يكون الجزيء واقعاً تحت تأثير محصلتين للقوى كما في الشكل (3.18)



الشكل (3.18)

فإذا كانت محصلة قوى التلاصق أكبر من محصلة قوى التماسك، فإن سطح السائل يأخذ شكلاً مقعراً، وذلك لأن سطح السائل يجب أن يكون عمودياً على محصلة القوى، لأنه لو كان غير ذلك، فإن مركبة المحصلة في اتجاه السطح ستتسبب في وجود حركة في اتجاه سطح السائل، ولا يمكن أن يحدث هذا لأن السائل في حالة سكون، ويقال للسائل في هذه الحالة أنه سائل مبلل، كما في حالة الماء مع الزجاج. الشكل (3.19). أما إذا كانت محصلة قوى التماسك أكبر من محصلة قوى التلاصق، فإن سطح السائل سيأخذ شكلاً محدباً ويحدث هذا في حالة الزئبق مع الزجاج، (سائل لا يبلل الجدار) انظر الشكل (3.19)



الشكل (3.19)

وعندما تكون قوى التماسك وقوى التلاصق متساوية لا يرتفع سطح السائل ولا ينخفض عند ملامسته لجدار الإناء الحاوي له كما في حالة الماء في إناء من الفضة.

3. 15. تعريف ظاهرة التوتر السطحي

مما سبق يمكن تعريف ظاهرة التوتر السطحي بأنها ظاهرة تنشأ عن قوى التماسك المؤثرة في جزيئات سطح السائل، مما يجعل سطح السائل يعمل كغشاء رقيق مرن مشدود، وتعرف قوى الشد السطحي لهذا الغشاء بقوى التوتر السطحي. تعريف التوتر السطحي: يمكن تعريف التوتر السطحي على أنه قوة مطبقة على واحدة الطول أو طاقة مختزنة في واحدة السطوح.

3. 16. الخاصة الشعرية وزاوية التلامس

إذا غمرت أنبوبة شعرية في سائل، نلاحظ ارتفاع السائل داخل الأنبوبة وهذه الظاهرة تسمى بالخاصة الشعرية، وتعود لوجود توتر سطحي للسائل، ونلاحظ أن ارتفاع السائل في الأنبوبة يتناسب عكسياً مع قطر الأنبوبة، كما نلاحظ أيضاً أن سطح الماء في الأنبوبة ليس مسطحاً بل منحنياً إلى أسفل على شكل هلال.

أما إذا وضعنا الأنبوبة في الزئبق، فإننا سنلاحظ العكس تماماً، وهي أن الزئبق قد انخفض في الأنبوبة، وأن سطح الزئبق ينحني إلى أعلى.

يمكن شرح الخاصة الشعرية، أي ارتفاع السائل وانخفاضه في الأنبوبة الشعرية على أساس وجود قوتين قوة التماسك، وقوة التلاصق. فإذا كانت قوة التلاصق بين جدار الأنبوبة وجزيئات السائل أكبر من قوة التماسك - كما في حالة الماء - فإن محصلة هاتين القوتين يكون اتجاهها إلى أعلى ويرتفع سطح الماء في الأنبوبة. وإذا كانت قوة التلاصق بين جدار الأنبوبة وجزيئات السائل أصغر من قوة التماسك (كما في حالة الزئبق) فإن المحصلة ستؤثر إلى أسفل، مما ينتج عنه انخفاض الزئبق في الأنبوبة.

ولإيجاد العلاقة بين ارتفاع السائل في الأنبوبة والتوتر السطحي، نعرف ما يسمى بزاوية التماس، ويرمز لها بالرمز (θ)، وهي الزاوية المحصورة بين اتجاه المماس لسطح السائل عند النقطة التي يمس فيها السائل سطح الأنبوبة، كما في الشكل (3.20) وتكون مركبة قوة التوتر السطحي المؤثرة في اتجاه جدار الأنبوبة.

$$F = 2p\,r g\ \cos q$$

حيث r نصف قطر الأنبوبة الشعرية.

(g) التوتر السطحي للسائل.

وهذه القوة تؤثر إلى أعلى، أما القوة المؤثرة إلى أسفل فهي وزن عمود السائل في الأنبوبة (W).

$$W = r p r^2 g h$$

حيث (ρ) كثافة السائل

h ارتفاع السائل في الأنبوبة

وبما أن عمود السائل في حالة اتزان، فإن هاتين القوتين، لا بد أن تكونا متساويتين أي أن:

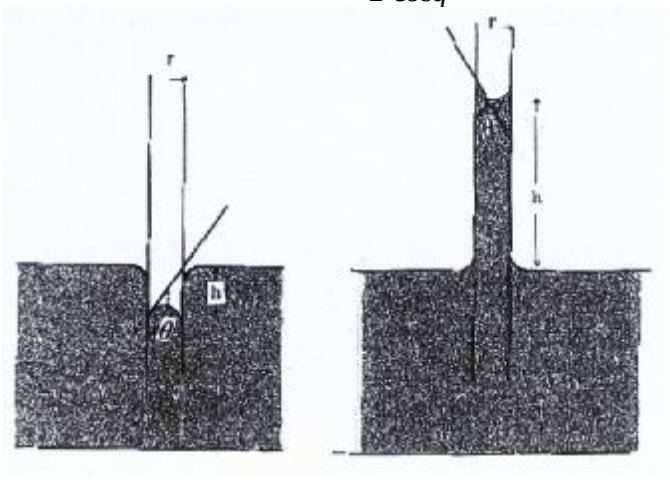
$$2p\,r g\ \cos q = r p r^2 g h$$

ومنها يمكن حساب قيمة ارتفاع السائل في الأنبوبة

$$h = \frac{2g\ \cos q}{r\,g r} \qquad (3.7)$$

ويمكن حساب قيمة التوتر السطحي:

$$g = \frac{r\,g h r}{2\ \cos q} \qquad (3.8)$$



الشكل (3.20)

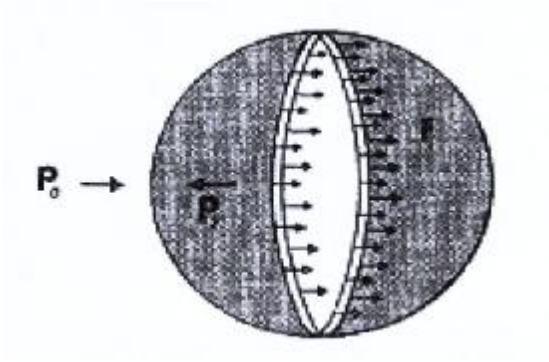
الجدول (3.2)

السائل	الجدار	زاوية التماس (θ)
ماء	زجاج	0^o
ماء	فضة	90^o
ماء	بارافين	107^o
كيروسين	زجاج	26^o
زئبق	زجاج	140^o

3. 17. فرق الضغط بين وجهي سطح منحني (قانون لابلاس)

لندرس هنا العلاقة بين التوتر السطحي والفرق في الضغط داخل وخارج فقاعة سواء كانت هذه الفقاعة في الهواء كفقاعة الصابون أو فقاعة هوائية في سائل.

تتكون الفقاعة الصابونية في الهواء، من غشائين دقيقين بينهما سائل، ولكي تتوازن فإنها لابد أن تكون واقعة تحت تأثير قوتين هما قوة التوتر السطحي (F)، والتي تعمل على تقليل مساحة السطح، والقوة الثانية الناتجة عن الفرق في الضغط داخل الفقاعة (P_i) والضغط خارج الفقاعة (P_0)، كما في الشكل (3.21).



الشكل (3.21)

هاتان القوتان متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه، فإذا كان نصف قطر الفقاعة (r)، والتوتر السطحي للصابون (g)، فإن قوة التوتر السطحي (F)، لسطح واحد من الغشاء هي:

$$F = g\,(2p\,r)$$

حيث $(2p\,r)$ محيط الفقاعة، وتكون قوة التوتر السطحي للغشائين:

$$F = 2g\,(2p\,r) = 4gp\,r$$

أما الفرق في الضغط بين داخل وخارج الفقاعة فإنه يؤثر عمودياً في مساحة المقطع $(p r^2)$، وتكون القوة الناتجة هي:

$$(P_i - P_0) p r^2$$

وبما أن هاتين القوتين متساويتان فنجد:

$$4gp r = (P_i - P_0) p r^2$$

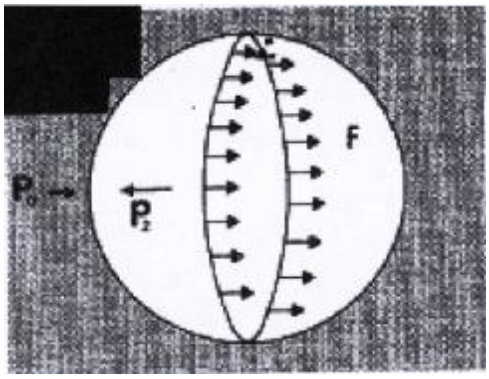
$$(P_i - P_0) = \frac{4g}{r} \qquad (\mathbf{3.9})$$

أما في حالة وجود فقاعة هوائية داخل السائل، فإنها تتكون من غشاء واحد فقط كما في الشكل (3.22).

ومن ثم فإن قوة التوتر السطحي (F)، هي $(2p r)$ العلاقة (3.9) كالتالي:

$$(P_i - P_0) = \frac{2g}{r} \qquad (\mathbf{3.10})$$

نلاحظ من المعادلتين السابقتين، أن الفرق في الضغط بنن داخل وخارج الفقاعة، يتناسب طرداً مع التوتر السطحي (g)، وعكساً مع نصف القطر (r)، فإذا قل الفرق في الضغط، فإن التوتر السطحي يجب أن يقل حتى تحافظ الفقاعة على حجمها، وهذا ما يحدث أثناء عمليه التنفس.



الشكل (3.22)

أسئلة ومسائل الفصل الثالث

1- ما هو تأثير درجة الحرارة على لزوجة السوائل.

2- ما هو الفرق في ضغط الدم بين القدمين والقلب لشخص واقف، إذا كان مستوى القدمين على بعد ($140\ cm$) من مستوى القلب.

3- عندما أجريت تجربة تورشيللي فوق قمة جبل وجد أن ارتفاع الزئبق يساوي ($73.70\ cm$) أوجد مقدار الضغط الجوي.

4- احسب ما يقابل ضغط ($16\ cm$) من الزئبق بالواحدات التالية:

1) Pa
2) CmH_2O
3) $Torr$
4) bar

5- صب غليسرين في وعاء حتى كان ارتفاعه ($12\ cm$)، ثم أضيف إليه ببطء بنزن حتى كان الضغط الكلي على قاع الإناء ($1.035\ .\ 10^5\ N/m^2$) فإذا علمت أن الغليسرين والبنزن لا يختلطان، أوجد ارتفاع البنزن.

6- يضخ القلب الدم في الأوردة بضغط انقباضي قدره ($110\ mm\ Hg$)، فإذا كانت مساحة مقطع الأوردة ($2.6\ cm^2$) احسب مقدار القوة التي يطبقها القلب لإدخال الدم للأوردة.

7- ما معنى أن معامل التوتر السطحي لسائل يساوي ($74.10^3\ N/m^2$).

8- اشرح خطوات تجربة عملية لإثبات أن سطح السائل يعمل كغشاء مرن مشدود.

9- وضح ما يحدث عندما تتساوى قوى التماسك وقوى التلاصق لسائل ما داخل الإناء مع ذكر مثال يوضح ذلك.

10- أثبت بالتجربة أن السوائل التي تبلل السطوح الصلبة تكون زاوية التماس لها أقل من 90^o في السوائل التي لا تبلل السطوح.

11- عرف معامل اللزوجة واذكر واحدات قياسه.

12- احسب التوتر السطحي للماء إذا كان فرق ارتفاع الماء في أنبوبة شعرية عن خارج الأنبوبة $3\ cm$ علماً بأن قطرها الداخلي $4\ mm$.

13- احسب ارتفاع الماء في أنبوبة شعرية قطرها الداخلي $5mm$ عندما غمر طرفها السفلي في إناه معامل توتره السطحي $0.0736\ N/m$ علماً بأن تسارع الجاذبية الأرضية $9.8\ m/S^2$ وكثافة الماء $10^3\ Kg/m^3$.

14- غمست أنبوبة شاقولية في حوض به زئبق فانخفض سطح الزئبق داخلها بمقدار $1.08cm$. أوجد قيمة زاوية التماس إذا علمت أن كثافة الزئبق ($13.1.10^3\ Kg/m^3$) والتوتر السطحي له $0.466\ N/m$ وقطر الأنبوبة $1mm$.