

الفصل الرابعالسوائل

تتميز الحالة السائلة للمادة عن الحالة الصلبة والغازية بامتلاكها حجم ثابت وشكل المتغير، اذ تأخذ شكل الوعاء الذي توضع فيه وتكون قوى الترابط بين ذرات وجزيئات السائل أقل كثيراً مما هي عليه في الحالة الصلبة، وبناء على ذلك فان السوائل لا تظهر مقاومة للاجهاد المسلط عليها.

الكثافة (ρ)

تعرف الكثافة الكتلية على انها كتلة وحدة الحجم.

ان كثافة مادة ما كتلتها (m) وحجمها (V) تعرف بالمعادلة الآتية:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ووحدة الكثافة الكتلية في النظام العالمي (SI) هي (Kg / m^3) او (g / cm^3). ان كثافة الماء الكتلية عند درجة حرارة 4°C هي $10^3 \text{ Kg} / \text{m}^3$ او $1 \text{ g} / \text{cm}^3$ وكثافة الزئبق عند درجة حرارة الغرفة تساوي $13.6 \times 10^3 \text{ Kg} / \text{m}^3$ او $13.6 \text{ g} / \text{cm}^3$.

تتغير كثافة المادة بتغير درجة حرارتها. ويعود السبب في ذلك الى ان جزيئات المادة تهتز بمسافات اكبر عندما تزداد درجة حرارة المادة، لذا فان معدل المسافة بين الجزيئات سوف يزداد، أي ان كتلة المادة ستحتل حجماً اكبر مما يؤدي الى تغير الكثافة بتغير درجة الحرارة. وبصورة عامة تقل كثافة المواد بارتفاع درجة حرارتها (ما عدا بعض الاستثناءات التي تزداد فيها الكثافة بارتفاع درجة الحرارة ضمن مدى معين من درجات الحرارة، ومن الأمثلة المعروفة الماء الذي تزداد كثافته عندما ترتفع درجة الحرارة من 0°C الى 4°C). والجدول (1) يبين كثافة بعض السوائل المعروفة، كذلك يبين الجدول (2) اعتماد كثافة الماء على درجة الحرارة.

الجدول (1) كثافة بعض السوائل المعروفة

المادة	الكثافة الكتلية g / cm^3
الماء	0.998
البنزين	0.879
الزئبق	13.6
ماء البحر	1.025

الجدول (2) كثافة الماء ودرجة الحرارة

المادة	الكثافة الكتلية g / cm^3
الماء عند 0°C	0.9998
الماء عند 4°C	1.000
الماء عند 20°C	0.9982
الماء عند 100°C	0.9584
ماء البحر عند 15°C	1.025

تعتمد كثافة المادة على عاملين رئيسيين وهما:

- 1- كتلة الذرات او الجزيئات.
 - 2- المسافة البينية بين الذرات والجزيئات.
- مثال ذلك الحديد والألومنيوم ، اذ نجد ان نسبة كثافة الحديد 7.9 g / cm^3 الى كثافة الألومنيوم 2.7 g/cm^3 هي (2.9) بينما نجد ان نسبة العدد الذري للحديد (56) الى العدد الذري للألمنيوم (27) هي أكثر من (2) بقليل . فإذا كانت المسافة بين الذرات هي نفسها للمادتين فستكون نسبة كثافة الحديد الى الألومنيوم هي الضعف وهذا يدل على ان ذرات الحديد تكون متقاربة أكثر مما تكون عليه ذرات الألومنيوم.

الوزن النوعي Specific Gravity

الوزن النوعي (SG) خاصية مرتبطة ارتباطاً وثيقاً بالكثافة، وتعرف بالنسبة بين كثافة المادة وكثافة الماء عند 4°C .

$$SG = \frac{\rho}{\rho_{H_2O}} \dots\dots\dots (2)$$

حيث أن الوزن النوعي نسبة لا أبعاد لها، فإن له نفس القيمة في كل نظم الوحدات.

الخاصية الشعرية Capillarity

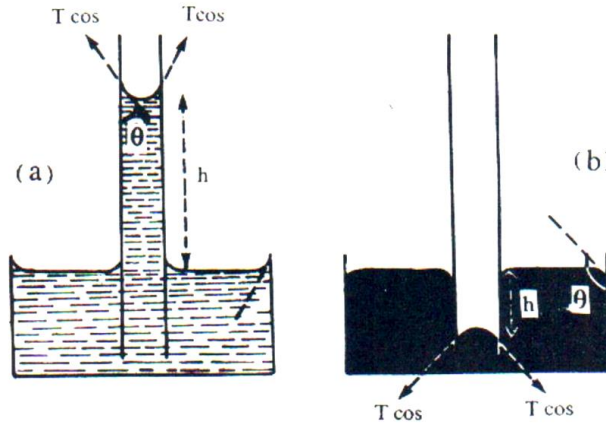
عند وضع انبوب شعري مفتوح الطرفين في سائل، فإن تأثير الشد السطحي للسائل سيؤدي الى إحدى الحالتين الآتيتين:-

1- ارتفاع السائل في الانبوب الشعري، في حالة صنع السائل زاوية حادة (اقل من 90°) مع سطح الانبوب الشعري. مثال ذلك الماء الذي يرتفع داخل الانبوب الشعري الى ارتفاع معين فوق سطحه الخارجي. كما في الشكل (1a).

2- انخفاض السائل في الانبوب الشعري، في حالة صنع السائل زاوية منفرجة (اكثر من 90°) مع السطح الداخلي للانبوب الشعري. مثال ذلك الزئبق الذي ينخفض داخل الانبوب الشعري الى مستوى معين تحت سطحه الخارجي . كما في الشكل (1b).

إن ارتفاع السائل او انخفاضه داخل الانابيب الشعرية يعتمد على محصلة القوة بين قوى التماسك وقوى التلاصق بين جزيئات السائل وجزيئات سطح الانبوب الشعري فيعزى ارتفاع الماء الى داخل الانابيب الشعرية الى تغلب قوى التلاصق على قوى التماسك ، أي ان محصلة القوى ستكون نحو الأعلى فتؤدي الى ارتفاع جزيئات السائل داخل الانبوب الشعري كما ويعزى انخفاض الزئبق داخل الانابيب الشعرية الى تغلب قوى التماسك على قوى التلاصق مما يسبب ان تكون محصلة القوى نحو الاسفل فتؤدي الى انخفاض سطح الزئبق داخل الانبوب الشعري عن مستواه خارج الانبوبة . تستمر عملية ارتفاع

جزيئات الماء داخل الانبوبة الشعرية الى ان يحصل التوازن بين مركبة محصلة القوى المتجهة نحو الأعلى (ولتكن F) مع وزن عمود السائل (وليكن W) والذي ارتفاعه h ، والمتجه بصورة عمودية نحو الأسفل .



الشكل (1) الخاصية الشعرية للماء والزئبق

الشّد السطحي Surface Tension

من خواص السوائل المهمة ميل سطحها للتقلص من أجل الحصول على أقل مساحة سطحية ممكنة، ونظراً لامتلاك الكرة أقل مساحة سطحية لأي حجم معين من المادة، لذلك تكون قطرات المطر الساقطة خلال الهواء كروية الشكل تقريباً. وللسبب نفسه تمتلك فقاعات الهواء في الماء وقطرات الزئبق الصغيرة شكلاً كروياً أيضاً. ان عدم امتلاك القطرات الكبيرة للماء والزئبق شكلاً كروياً تماماً (بل شكلاً مفلطحاً) يرجع الى تأثير وزن المادة فيها. وفضلاً عما تقدم فان هناك كثيراً من الظواهر المألوفة في السوائل منها تحذب سطح الماء في ورق صغير مملوء بالماء بأكثر من سعته قليلاً وعدم انسكابه وطفو بعض القطع المعدنية كالإبرة وشفرة الحلاقة الجافتين على سطح الماء الساكن ووقوف او سير بعض الحشرات على سطح الماء من دون ان تغرس في الماء على الرغم من ان كثافة هذه الاجسام تفوق كثيراً كثافة الماء. وهناك أيضاً ظاهرة ارتفاع الماء في الانابيب الشعرية وانخفاض الزئبق فيها عن المستوى الخارجي لهما. كل هذه الظواهر وغيرها يعزى الى وجود ظاهرة

الشّد السطحي في السوائل. ويعرف الشّد السطحي على انه القوة المؤثرة لكل وحدة طول من سطح السائل. ووحدة الشّد السطحي هي N/m او $dyne/cm$.

تتوقف قيمة الشّد السطحي لسائل ما على نوع السائل ودرجة حرارته، اذ تقل قيمة الشّد السطحي للسائل كلما ارتفعت درجة حرارته. وهذا يفسر لماذا يستخدم الماء الحار والصابون لازالة البقع الدهنية، اذ يقل الشّد السطحي للبقع الدهنية بتأثير الحرارة وتفتت تلك البقع. ان وجود الشّد السطحي يدل على ان الجزيئات القريبة من السطح تكون متباعدة عن بعضها البعض اكثر من الجزيئات الواقعة داخل السائل. الجدول (3) يبين قيم الشّد السطحي لبعض السوائل.

الجدول (3) الشّد السطحي لبعض السوائل.

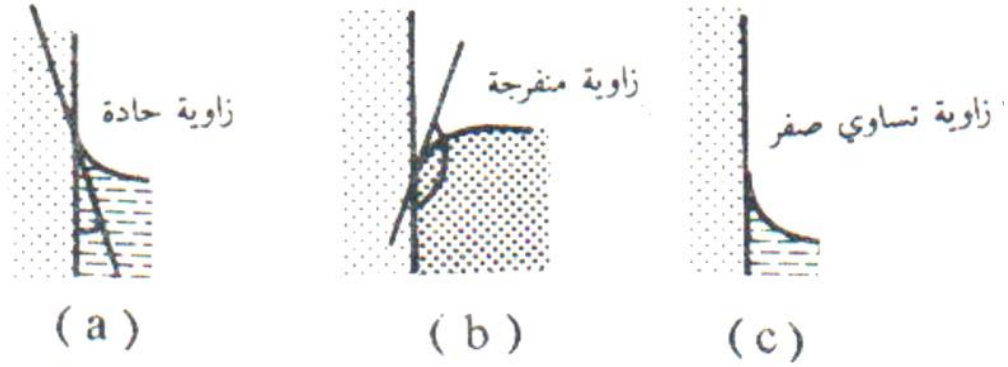
المادة	الشّد السطحي $10^{-3} (N/m)$
الزئبق	465
الماء عند $4^{\circ}C$	73
زيت الزيتون	32
البنزين	29

زاوية الاتصال (زاوية التماس) (θ) Angle of Contact

وتعرف على انها الزاوية المحصورة بين السطح الصلب والسطح المماس لسطح السائل، وتقاس داخل السائل. وتعتمد قيمة هذه الزاوية على نوع السائل ونوع السطح الصلب. وبصورة عامة يمكن تشخيص ثلاث حالات لهذه الزاوية وهي كما يأتي:

- 1- يصنع السائل زاوية حادة مع السطح الصلب، كما في الشكل (2a). وهي الحالة التي تنطبق على الماء وسطح الزجاج.

- 2- يصنع السائل زاوية منفرجة مع السطح الصلب. كما في الشكل (2b). وهي الحالة التي تنطبق على الزئبق وسطح الزجاج.
- 3- تصنع بعض السوائل زاوية مقدارها صفراً مع بعض السطوح الملساء والنظيفة جداً، كما في الشكل (2c). وهي حالة تنطبق على الماء وبعض السوائل العضوية عند تلامسها مع سطح زجاجي نظيف جداً.
- في الحالة الأولى تكون قوة التلاصق اكبر من قوة التماسك مما يؤدي الى انتشار جزيئات السائل والتصاقها بالسطح الصلب.



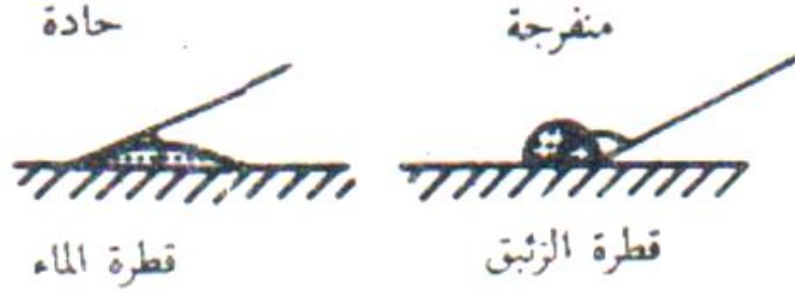
الشكل (2) يوضح زاوية التصاق السائل مع السطح المجاور

وفي الحالة الثانية يحدث العكس اذ تكون قوة التلاصق اصغر من قوة التماسك مما يؤدي الى تكوين السطح المحدب وتجمع الجزيئات وابتعادها عن السطح الصلب بدلاً من الانتشار والالتصاق به.

اما في الحالة الثالثة فتكون قوة التلاصق كبيرة جداً عند مقارنتها مع قوة التماسك مما يؤدي الى انتشار السائل وتكوين غشاء رقيق من الجزيئات مواز تقريباً الى السطح الصلب في نقطة التماس.

يوضح الشكل (3) قطرتين احدهما من الماء والاخرى من الزئبق على سطح أملس، اذ نجد ان قطرة الماء تتفطح وتحاول الانتشار على السطح الصلب، بينما قطرة الزئبق تحاول

التجمع وعدم الانتشار على السطح الصلب. فالسوائل التي تصنع زاوية حادة مع السطح الصلب يقال بأنها تبلل السطح، بينما السوائل التي تصنع زاوية منفرجة يقال بأنها لا تبلل السطح المذكور.



الشكل (3) يوضح قطرة الماء والزئبق على السطح الاملس

أما قيم زاوية التماس، فيصنع الماء مع السطح الزجاجي زاوية مقدارها حوالي 10° مما يسبب له الانتشار وتكوين غشاء رقيق من الماء. بينما تكون قيمة الزاوية التي يصنعها الزئبق مع سطح الزجاج مساوية الى 140° مما يؤدي الى تكوين قطرات الزئبق بدلاً من الانتشار على السطح المذكور.

عند وضع الانبوب الشعري في السائل نجد ان انحناء السطح (الشكل 4) يجعل الضغط عند النقطة 4 أقل من الضغط الجوي عند النقطة 5 ، مما يدفع السائل الى الارتفاع في الانبوبة الشعري لأجل معادلة الضغط عند النقطتين. أفرض ان الضغط عند النقاط 1 و 2 و 3 و 4 و 5 يساوي P_1 و P_2 و P_3 و P_4 و P_5 على التوالي (الشكل 4) عند تحقيق تعادل الضغط يكون:

$$P_1 = P_2 \dots\dots\dots (3)$$

لأن فرق الضغط عبر السطح الأفقي يساوي صفراً، كما ويكون:

$$P_1 = P_2 = P_3 \dots\dots\dots (4)$$

أي ان :

$$P_1 = P_4 + \rho gh \quad \dots\dots\dots (5)$$

حيث أن ρ تمثل كثافة السائل و h ارتفاعه خلال الانبوبة الشعرية. فضلاً عما تقدم

$$P_5 = P_4 + \frac{2\gamma}{r} \quad \dots\dots\dots (6)$$

حيث أن γ تمثل الشد السطحي و r تمثل نصف قطر الانبوبة الشعرية.

ولكن قيمة الضغط عن النقطتين 1 و 5 متساويتان لانهما يمثلان الضغط الجوي، أي ان

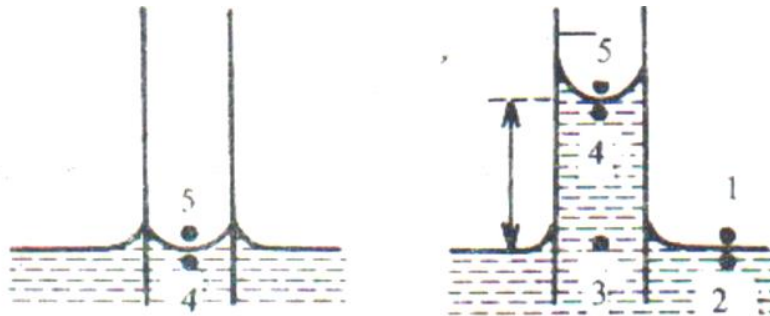
$$P_1 = P_5 \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$P_4 + \rho gh = P_4 + \frac{2\gamma}{r}$$

$$\gamma = \frac{\rho g h r}{2} \quad \dots\dots (8)$$

أو

$$h = \frac{2\gamma}{\rho g r} \quad \dots\dots\dots (9)$$



الشكل (4) الشد السطحي

الضغط في السوائل (P)

يؤثر السائل بقوة على الجدران الجانبية وقاعدة الوعاء الذي يحتويه، وتكون القوة عمودية على جميع نقاط السطح الذي تؤثر عليه. ويعرف الضغط على انه القوة المؤثرة لوحدة المساحة، أي ان

$$P = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (10)$$

ووحدة الضغط في النظام العالمي للوحدات (SI) هي (N/m²)، ويطلق على هذه الوحدة احياناً Pascal واختصاراً يرمز لها بـ (Pa). ويقاس الضغط ايضاً بدلالة الجو atmosphere ويرمز لها بـ (atm)، اذ ان

$$1 \text{ atm} = 1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

كما يرمز للضغط بارتفاع عمود الزئبق الذي كثافته (13.6 g/cm³)، ويكافيء الضغط الجوي عند سطح البحر 76 cm Hg . أما الضغط الواطيء فيقاس بوحدات مثل mm Hg والتي تسمى أحياناً بالـ (torr). حيث ان

$$1 \text{ mm Hg} = 1 \text{ torr}$$

$$\frac{1}{760} \text{ atm} = 1 \text{ mm Hg}$$

وتستخدم أيضاً وحدة البار (bar) أو الملي بار mbar ، اذ ان

$$1 \text{ bar} = 10^6 \text{ dyne/cm}^2$$

$$1 \text{ mbar} = 10^2 \text{ N/m}^2 = 0.750 \text{ mm Hg}$$

يتناسب الضغط الذي يسلطه السائل نتيجة لوزنه عند اية نقطة داخل السائل مع كثافة السائل ومع عمق تلك النقطة عن سطح السائل.

فإذا أخذت نقطة على عمق h cm في سائل كثافته ρ g/cm³. إن القوة التي يؤثر بها السائل على مساحة مقدارها A عند تلك النقطة تساوي

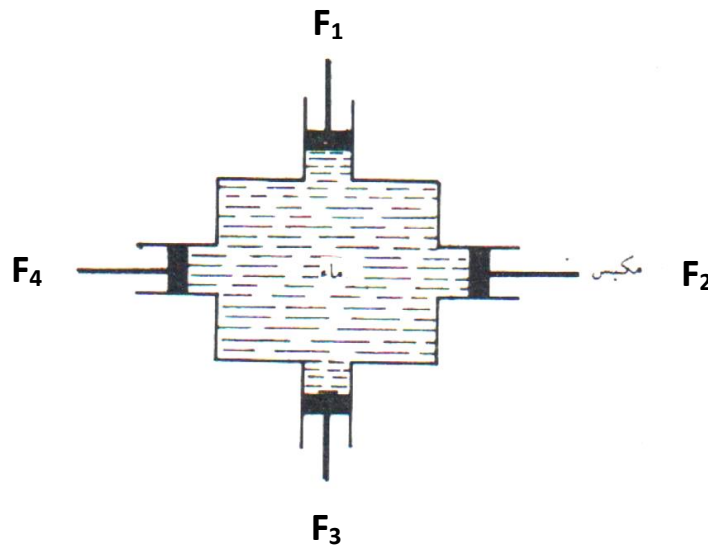
$$F = A \rho g h \quad \text{dyne}$$

ويكون الضغط (أو القوة لوحدة المساحة) تساوي:

$$P = \frac{F}{A} = \rho g h \quad \text{dyne/cm}^2$$

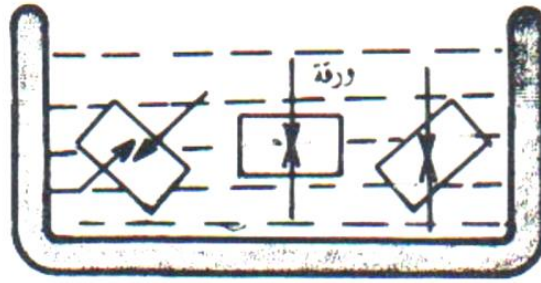
ينتقل الضغط المسلط على سائل محصور في وعاء مغلق الى جميع انحاء السائل بالتساوي. ويمكن إثبات هذه الحقيقة تجريبياً، وذلك اذا أخذنا وعاء مغلقاً يحتوي على عدد من المكابس مملوء بالماء كما في الشكل رقم (4) فإذا كانت مساحة هذه المكابس متساوية وواقعة على نفس العمق. وسلطت قوة على احد هذه المكابس، فإن قوى متساوية يجب ان تسلط على المكابس الأخرى من أجل المحافظة عليها في نفس اماكنها، أي ان

$$F_1 = F_2 = F_3 = F_4$$



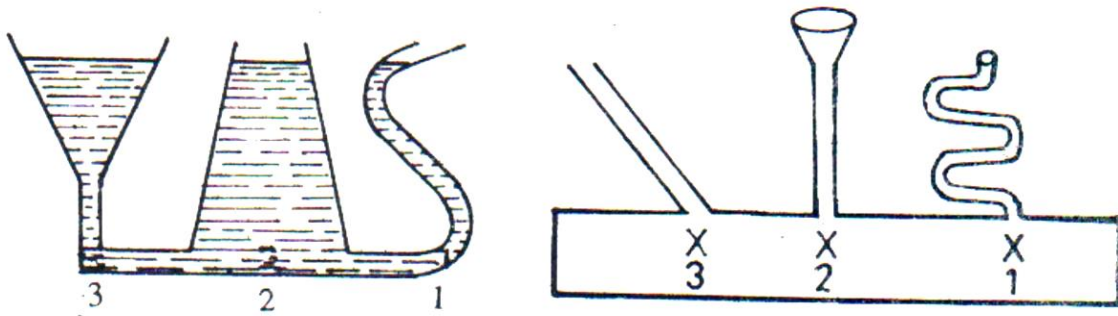
الشكل (5) انتقال الضغط في السوائل

وكمثال آخر على حقيقة الضغط يؤثر في جميع الاتجاهات داخل السائل، نأخذ قطعة من الورق ونضعها في حوض ماء، سنجد ان قطعة الورق لا تتحرك بدرجات محسوسة وغير اعتيادية ولا تنطوي أو تنكسر نتيجة الضغط الذي يسلطه السائل. وهذا يدل على ان الضغط الذي يسلطه الماء على احد وجهي الورقة يقابله ضغط مساو له في المقدار ومعاكس له في الاتجاه يؤثر على الوجه المقابل لكي يحدث التوازن. وينطبق الشيء نفسه مهما كان وضع او اتجاه الورقة داخل السائل انظر الشكل (6)، وعليه فان ضغط السائل في نقطة معينة يجب ان يكون متساوياً في جميع الاتجاهات.



الشكل (6) تأثير الضغط في جميع الاتجاهات داخل السائل

يكون الضغط واحداً عند جميع النقاط الواقعة على عمق معين للسطح، وهذا الضغط يؤثر على اية نقطة واي سطح على هذا العمق مهما كان اتجاهه. ومثال على ذلك تكون النقاط 1 و 2 و 3 تحت نفس الضغط شكل رقم (7). ان الاختلال في الضغط بين نقطة واخرى يؤدي الى انسياب السائل في اتجاه مناسب أو آخر الى ان يأخذ سطح السائل شكلاً افقياً.



الشكل (7) تساوى الضغط عند العمق الواحد

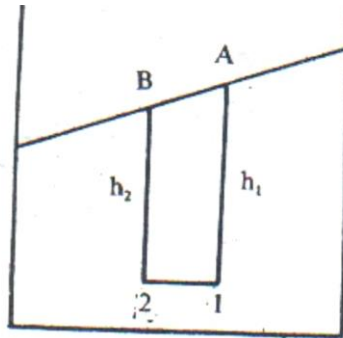
افرض ان سطح السائل ليس أفقياً كما في الشكل (8) ولتكن النقطتان 1 و 2 في داخل السائل عند المستوى الافقي نفسه فإذا كانت h_1 و h_2 تمثلان ارتفاع السائل فوق النقطتين (1) و (2) على التوالي، فان الضغط المسلط على النقطة (1) والنقطة (2) سيكون مساوياً الى $\rho g h_1$ و $\rho g h_2$ على التوالي. وهذان الضغطان يجب ان يكونا متساويين والا فان السائل سوف ينساب من النقطة (1) الى النقطة (2) وعليه فان:

$$\rho g h_1 = \rho g h_2$$

أو

$$h_1 = h_2$$

وعليه فان السطح (AB) من السائل يجب ان يكون افقياً.



الشكل (8) سطح السائل الأفقي

مسائل الفصل الرابع

س1: ما هو الحجم الذي تشغله كمية من الزئبق مقدارها 300 g ؟ كثافة الزئبق 13600 Kg/m³.

الحل

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$V = \frac{m}{\rho}$$

$$V = \frac{300 \times 10^{-3} \text{ Kg}}{13600 \text{ Kg/m}^3}$$

$$V = 2.2 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

س2: ما هي كتله لتر واحد من زيت بذرة القطن. اذا كانت كثافته 926 Kg/m³ ؟ وما مقدار وزنه.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

الحل

$$m = \rho V$$

$$m = 926 \text{ Kg/m}^3 \times 1000 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$m = 0.926 \text{ Kg}$$

$$\text{weight} = mg$$

$$\text{weight} = 0.926 \text{ Kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \quad \Longrightarrow \quad \text{weight} = 0.9074 \text{ N}$$

س3 : الوزن النوعي للحديد هو 7.8 . احسب كثافته وكتلة 60 cm^3 منه.

الحل

$$SG = \frac{\rho}{\rho_{H_2O}}$$

$$\rho = SG \times \rho_{H_2O}$$

$$\rho = 7.8 \times 1000 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho = 7800 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = \rho V$$

$$m = 7800 \text{ Kg/m}^3 \times 60 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$m = 0.468 \text{ Kg}$$

س4 : قارورة مدرجة كتلتها 30 g وهي فارغة، و 81 g وهي مملوءة بالماء، و 68 g وهي مملوءة بالزيت. احسب كثافة الزيت.

الحل:- نوجد أولا حجم القارورة من العلاقة $\rho = \frac{m}{V}$ باستخدام بيانات الماء

$$V = \frac{m}{\rho}$$

$$V = \frac{(81-30) \times 10^{-3} \text{ Kg}}{1000 \text{ Kg/m}^3}$$

$$V = 51 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

إذن بالنسبة للزيت يكون:

$$\rho_{oil} = \frac{m_{oil}}{V}$$

$$\rho_{oil} = \frac{(68-30) \times 10^{-3} \text{ Kg}}{51 \times 10^{-6} \text{ m}^3}$$

$$\rho_{oil} = 745 \text{ Kg/m}^3$$

س5 : احسب قيمة الضغط عند عمق 76 cm في وجود مائع ساكن اذا كان هذا المائع

(أ) ماء ($\rho_w = 1000 \text{ Kg / m}^3$). (ب) زئبق ($\rho = 13600 \text{ Kg / m}^3$).

الحل: (أ)

$$P = \rho_w g h$$

$$P = 1000 \text{ Kg / m}^3 \times 9.8 \text{ m / s}^2 \times 76 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$P = 7448 \text{ N / m}^2 = 7.448 \text{ Kpa}$$

(ب)

$$P = \rho g h$$

$$P = 13600 \text{ Kg / m}^3 \times 9.8 \text{ m / s}^2 \times 76 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$P = 101292.8 \text{ N / m}^2$$

س6 : مكعب من اليورانيوم ($\rho_u = 18.68 \text{ Kg / m}^3$) طول كل من اضلاعه 2 cm

(أ) أوجد كتلته.

(ب) ما طول ضلع مكعب من الثلج ($\rho_i = 920 \text{ Kg / m}^3$) له نفس الكتلة؟

س7 : احسب الكثافة والوزن النوعي للكارولين، اذا كان 51 g منه يشغل 75 cm^3 .

س8 : شريحة رقيقة من رقاقة ذهب مساحتها 3.12 cm^2 وكتلتها 6.5 mg . احسب سمك

الشريحة. كثافة الذهب هي $\rho = 19300 \text{ Kg / m}^3$.

س9: ما كثافة مادة نواة ذرة الهيدروجين؟ يمكن اعتبار النواة كأنها كرة نصف قطرها

$1.2 \times 10^{-15} \text{ m}$ ، وكتلتها $1.67 \times 10^{-27} \text{ Kg}$.