

الفصل السادس عشر

التوتر السطحي

١٦-١ مقدمة

١٦-٢ النظرية الجزيئية لتوتر السطحي

١٦-٣ طاقة السطح

١٦-٤ العلاقة بين التوتر السطحي و الشكل الكروي

١٦-٤-١ فقاعة الصابون

١٦-٥ أمثلة محلولة



(١٦-١) المقدمة

- **١- تعريف ظاهرة التوتر السطحي:** هي ظاهرة فيزيائية يمكن ملاحظتها بكثرة في الطبيعة .
- و التي من خلالها يمكننا تفسير تجمع قطرات الندى على ورق الأشجار ، ما الذي يجعل الطبقة السطحية لأي سائل تتصرف كورقة مرنة. وما الذي يسمح للحشرات بالسير على الماء ، وتطفو الأشياء المعدنية الصغيرة كالإبر، أو أجزاء ورق القصدير على سطح الماء.
- ولماذا تميل السوائل للتكور في صورة قطرات و الماء مثلاً يبيلل سطح بعض المواد مثل الزجاج بينما يتكور ولا يبيلل أسطح مواد أخرى مثل الشمع.
- و أيضاً لماذا الماء يرتفع في الأنابيب الشعرية و هو ما يسمى بالخاصية الشعرية بينما ينخفض مستوى سطح الزئبق في الأنبوبة الشعرية التي تغمر فيه وكذلك هناك العديد العديد من الظواهر التي يمكن تفسيرها وفق ظاهرة التوتر السطحي.

الرجاء مراجعة الكتاب المقرر للتعرف على ظواهر أكثر

(١٦-٢) النظرية الجزيئية للتوتر السطحي

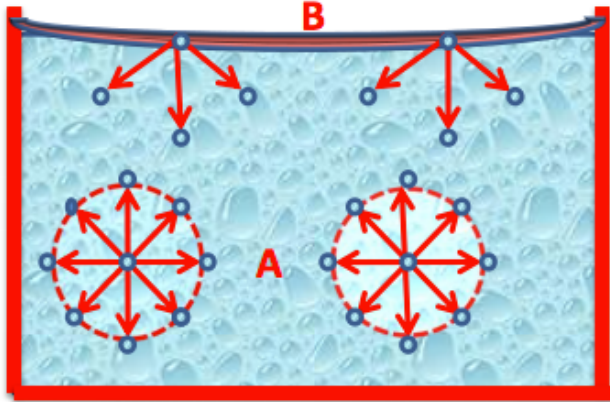
و قبل تفسير ظاهرة التوتر السطحي لابد من التعرف على نوعين من القوى :

١- **قوى التماسك** : و هي قوى التجاذب الناشئة بين جزيئات السائل نفسه

٢- **قوى التلاصق** : و هي قوى التجاذب الناشئة بين جزيئات السائل و جزيئات الإناء الحاوي على السائل.



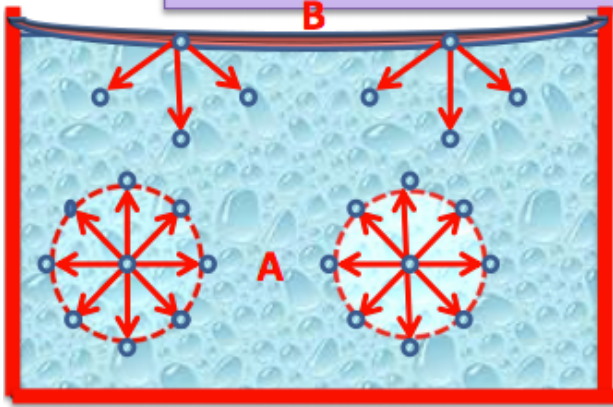
٢- **تفسير ظاهرة التوتر السطحي** : يتم تفسير ظاهرة التوتر السطحي وفق النظرية الجزيئية



■ يحدث التوتر السطحي بسبب التجاذب بين جزيئات السائل بواسطة التغير في قوى الجزيئات الداخلية. في معظم السوائل كل جزيء (A) داخل السائل يتأثر بقوى تجاذب متساوية من جميع الاتجاهات بواسطة جزيئات السائل المحيطة به ، ولذا تكون القوى المؤثرة عليه متزنة أى تكون محصلة هذه القوى تساوى صفر.

■ وعند سطح السائل تسحب الجزيئات (B) بواسطة الجزيئات الأخرى داخل السائل. لماذا؟

■ لان القوى المؤثرة على هذا الجزيء تصبح غير متوازنة و السبب فى ذلك هو أن جزيء من نصف الكرة العلوى يقع فوق سطح السائل و بذلك يكون عدد الجزيئات الجاذبة فيه أقل من تلك الموجودة فى النصف الأسفل و تكون هناك محصلة لقوة الجذب إلى داخل السائل



■ و كلما زاد اقتراب الجزيء من سطح السائل فإن حالة عدم الإتزان تزداد حتى تبلغ قيمتها العظمى عندما يكون الجزيء على سطح السائل . و لذلك فإن الجزيئات الموجودة على سطح السائل تتعرض إلى قوى جذب كبيرة فى اتجاه داخل السائل . هذه القوى تجعل سطح السائل يميل إلى التقلص ليصغر فى المساحة. وهذه القوى تسبب قوى التوتر لسطح السائل والتي تعرف بقوى التوتر السطحي ٢

■ ومما سبق تستنتج أنه لزيادة سطح السائل لابد من بذل شغل لكى ندفع بعض الجزيئات من داخل السائل إلى سطحه و هذا الشغل سيبذل ضد القوى الجاذبة التي تجذب هذه الجزيئات إلى داخل السائل أي ضد قوى التوتر السطحي. وعليه فإن أي جزيء من الجزيئات الموجودة على السطح تكون له طاقة وضع إضافية بالإضافة إلى تلك التي للجزيء المغمور تحت السطح. (طاقة الجزيئات على سطح السائل أكبر من طاقة الجزيئات داخل السائل، و تسمى بالطاقة السطحية)



كما سبق يمكن تعريف

التوتر السطحي γ :

القوة التي تؤثر في اتجاه عمودي على وحدة الاطوال من سطح السائل.

$$\gamma = F/L$$

(١٦-٣) طاقة السطح



طاقة السطح: طاقة الجزيئات على سطح السائل أكبر من طاقة الجزيئات في داخله و يطلق على هذه الزيادة في الطاقة اسم طاقة السطح.

إذا أزيح السلك MN كما في الشكل مسافه قدرها b مع ثبوت درجة الحرارة، فإن الشغل المبذول W لإزاحة السلك يعطى بالمعادله

$$W = F b$$

وبالتعويض عن F بدلالة التوتر السطحي فإن

$$W = 2\gamma L b$$

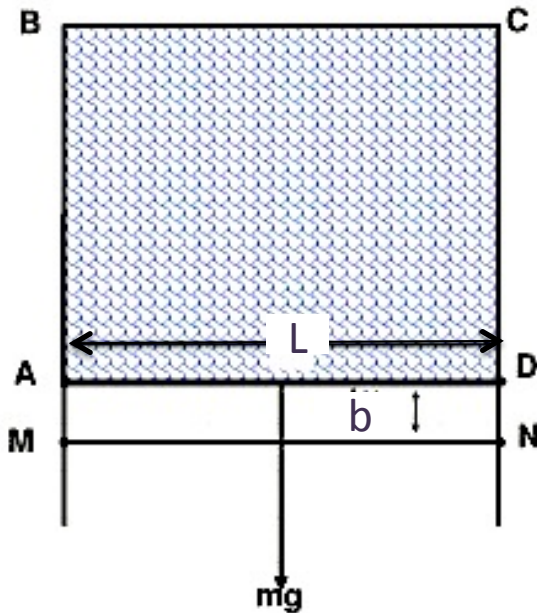
$$W = 2\gamma A \quad \text{بصورة عامة}$$

حيث $2Lb$ هي الزيادة في مساحة سطح الغشاء من الوجهين ، والشغل المبذول لزيادة مساحة السطح بمقدار وحدة

$$\gamma = W / 2Lb \quad \text{المساحات}$$

$$\gamma = W / 2A \quad \text{بصورة عامة}$$

أى أن الشغل المبذول لزيادة مساحة السطح بمقدار وحدة المساحات (وهو ما يعرف بـ طاقة السطح ويرمز له بالرمز γ ووحداته جول/متر²) يساوى التوتر السطحي ووحداته نيوتن/متر وذلك عند ثبوت درجة الحرارة.





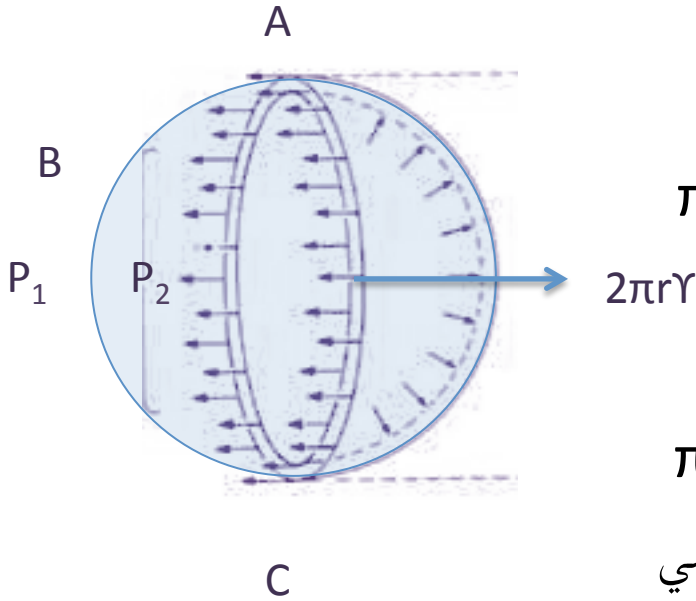
لاحظ إن السائل عندما يزداد مساحته تنخفض درجة حرارته وللحفاظ على درجة حرارة السائل ثابتة فإنه يمتص طاقة حرارية من الوسط المحيط به و هذا يعني عند زيادة مساحة سطح الغشاء فإننا نحتاج إلى طاقة أعلى من الطاقة الميكانيكية التي بذلك لتحريك السلك من AB إلى AB فإذا كانت الحرارة المكتسبة لزيادة وحدة المساحة هي Q فإن اجمالي طاقة السطح اللازمة لزيادة مساحته بمقدار ΔA هي

$$E = (\gamma + Q)\Delta A$$

(١٦-٤) العلاقة بين التوتر السطحي و الشكل الكروي

- شرط التوازن المستقر لأي نظام فيزيائي : لابد أن تكون طاقة الجهد عند حدها الأدنى
- نظرا لان الجزئيات عند سطح السائل ذات طاقة أعلى من طاقة الجزئيات الموجودة في داخله
- من شرط التوازن المستقر يفترض عدد الجزئيات على سطح السائل أقل مايمكن هذا يعني أن مساحة سطح السائل أصغر مايمكن لحجم معين من السائل
- و بما أن الشكل الهندسي الذي تكون مساحته أصغر ما يمكن لحجم معين لذا السوائل تتخذ شكلا كرويا(التوتر السطحي) كما هو الحال في قطرات المطر أو قطرات الزئبق عند سكبه على سطح .

- مقدار الانحناء لقطرة السائل أو لفقاعة متكونة داخل السائل يعتمد على مقدار التوتر السطحي للسائل فإذا افترضنا أن فقاعة نصف قطرها r تكونت داخل سائل كما في الشكل فإن نصف الكرة B تقع تحت تأثير القوى التالية :



- ١- القوة الواقعة عليه نتيجة للضغط الخارجي P_1 و هي $\pi r^2 P_1$ حيث

- πr^2 هي مساحة الوجه الدائري AC

- ٢- القوة الواقعة عليه نتيجة للضغط داخل الفقاعة P_2 و هي $\pi r^2 P_2$
- ٣- القوة الناجمة عن "التوتر السطحي" وهي $2\pi r \gamma$ حيث $2\pi r$ هي محيط الدائرة C

نظرا لاتزان الدائرة AC فإن القوى المؤثرة عليها متوازنة وبالتالي فإن

$$2\pi r \gamma + \pi r^2 P_1 = \pi r^2 P_2$$

$$2\gamma = r(P_2 - P_1)$$

$$P_2 - P_1 = 2\gamma / r$$

$$\Delta P = 2\gamma / r$$

حيث ΔP هو الفرق بين الضغط داخل الفقاعة و الضغط خارجها.

(١٦-٤-١) فقاعة الصابون



- فقاعة الصابون لها سطحين متصلين بالهواء
- بالتالي القوة الناجمة عن التوتر السطحي $2\pi r\gamma \times 2$
- معادلة توازن الفقاعة

$$4\pi r\gamma + \pi r^2 P_1 = \pi r^2 P_2$$

$$P_2 - P_1 = 4\gamma / r$$

$$\Delta P = 4\gamma / r$$



(١٦-٥) زاوية التلامس

- زاوية التلامس : هي الزاوية المحصورة بين المماس لسطح السائل عند التقائه بسطح الزجاج و بين سطح الزجاج.
- تعتمد زاوية التلامس:
 - ١- طبيعة السائل .
 - ٢- طبيعة السطح الصلب الذي يلامس السائل.
 - ٣- طبيعة الوسط الموجود فوق سطح السائل.
- زاوية التلامس:
 - ١- حادة $\theta < 90^\circ$, في هذه الحالة قوة التلاصق أكبر من قوة التماسك ويؤدي إلى انتشار جزئيات السائل على السطح الصلب وتعرف بالسوائل التي تبلل السطح.
 - مثل (الماء - الزجاج) زاوية التلامس بين الماء والزجاج تساوي الصفر في حالة الزجاج على درجة عالية من النظافة و إلا ستكون زاويته لا تساوي الصفر (زاوية حادة)
 - ٢- منفرجة $\theta > 90^\circ$ في حالة كانت قوة التماسك أكبر من قوة التلاصق يؤدي إلى تماسك جزئيات السائل بعضها على بعض لتقليل مساحة سطح السائل وتعرف بالسوائل التي لا تبلل السطح.
 - مثل (الزئبق - الزجاج) زاوية التلامس تساوي 140° في حالة الزجاج و الزئبق



(١٦-٥) الخاصية الشعرية

- تعرف: ارتفاع السوائل التي تبلل السطح في الأنابيب الشعرية (الضيقة) أي السوائل التي فيها قوة التلاصق أكبر من التماسك
- كانتقال الماء من أسفل الشجرة (الجذور) إلى أعلاها (الأوراق)
- تعتمد ارتفاع السائل داخل الأنابيب الشعرية على
- ١- طبيعة السائل
- ٢- قطر الأنبوبة الشعرية (فكلما قل القطر زاد ارتفاع السائل)
$$h = 2\gamma / (r \rho g)$$
- وإذا كانت زاوية التلامس أكبر من الصفر :
$$h = 2\gamma \cos \theta / (r \rho g)$$
- يمكن من خلال هذه العلاقة أيضا حساب التوتر السطحي في الأنبوبة الشعرية عند معرفة قطرها.



حل ١٦-٧ أمثلة صفحة ٤٨٧

مثال رقم ١,٢



حل ١٦-٨ أمثلة اسئلة الفصل ١٩٤

١ و٢ و٣ و٥ و٦ و١٠