جامعة الملك سعود
كلية العلوم
قسم الفيزياء والفلك

جامعة الملك سعود
King Saud University

فيزياء عامة (2) فيز 102

الفصل السادس عشر: التوتر السطحي Surface tension

الفصل السادس عشر: التوتر السطحي Surface tension

١٦–١ مقدمة

١٦–٢ النظرية الجزئية لتوتر السطحي

١٦–٣ طاقة السطح

١٦–٤العلاقة بين التوتر السطحي و الشكل الكروي

١٦–٤–١ فقاعة الصابون

١٦–٥أمثلة محلولة

(١٦-١)المقدمة

- **١- تعريف ظاهرةالتوتر 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 السطحيّة 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 فى صورة قطرات و الماء مثلا يبلل سطح بعض المواد مثل الزجاج بينما يتكور ولا يبلل أسطح مواد أخرى مثل الشمع.
- و أيضاً لماذا الماء يرتفع فى الأنابيب الشعرية و هو ما يسمى بالخاصيّة الشعريّة بينما ينخفض مستوى سطح الزئبق فى الأنبوبة الشعرية التى تغمر فيه وكذلك هناك العديد العديد من الظواهر التى يمكن تفسيرها وفق ظاهرة التوتر السطحى.

الرجاء مراجعة الكتاب المقرر للتعرف على ظواهر أكثر

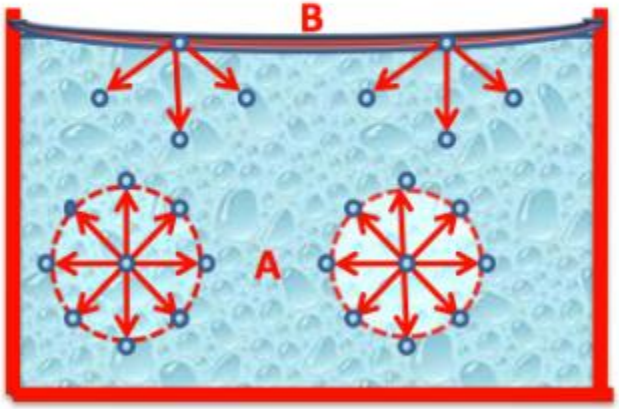
(٢-١٦)النظرية الجزيئية للتوتر السطحي

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 جزئيات الإناء الحاوي على السائل.

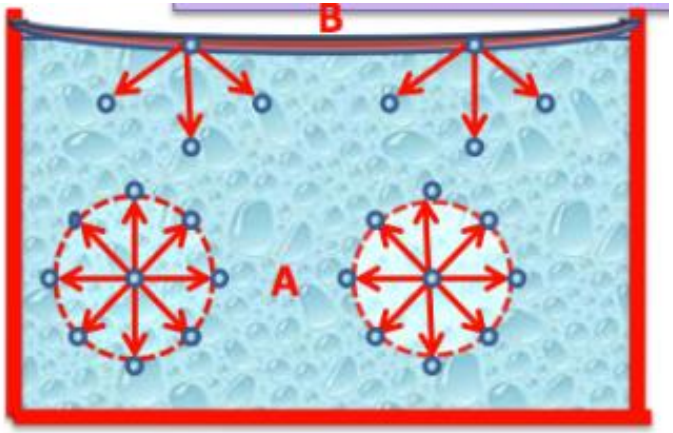
٢- تفسير ظاهرة التوتر السطحي :يتم تفسير ظاهرة التوتر السطحي وفق النظرية الجزيئية



- يحدث التوتر السطحي بسبب التجاذب بين جزيئات السائل بواسطة التغير في قوى الجزيئات الداخليّة. في معظم السوائل كل جزيء (A) داخل السائل يتأثر بقوى تجاذب متساوية من جميع الإتجاهات بواسطة جزيئات السائل المحيطة به ، ولذا تكون القوى المؤثرة عليه متزنة أى تكون محصّلة هذه القوى تساوى صفر.
- وعند سطح السائل تسحب الجزيئات (B) بواسطة الجزيئات الأخرى داخل السائل. لماذا؟

▪لان القوى المؤثرة على هذا الجزىء تصبح غير متوازنة و السبب فى ذلك هو أن جزىء 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 والتى تعرف بقوى التوتر السطحى 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 التى تجذب هذه الجزيئات إلى داخل السائل أي ضد قوى التوتر السطحى. 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)

مما سبق يمكن تعريف

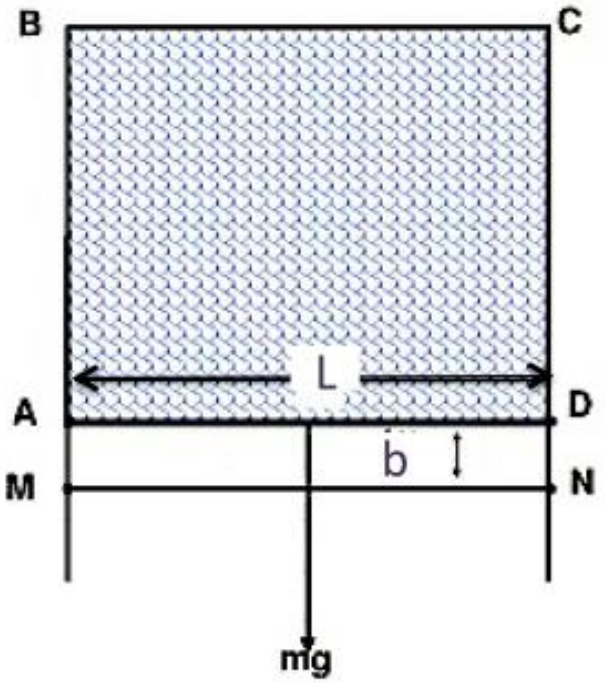
التوتر السطحي γ :

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

$$\gamma = F/L$$

(٣-١٦)طاقة السطح

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



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

$$W=F\,b$$

وبالتعويض عن F بدلالة التوتر السطحى فإن

$$W=2\gamma Lb$$

$$W=2\gamma A \quad \text{بصورةعامة}$$

حيث 2Lb هى الزياده فى مساحة سطح الغشاء من الوجهين ، والشغل المبذول لزيادة مساحة السطح بمقدار وحدة المساحات

$$\gamma=W/2Lb$$

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

أى أن الشغل المبذول لزيادة مساحة السطح بمقدار وحدة المساحات (وهو ما يعرف بـ طاقة السطح ويرمز له بالرمز E ووحداته جول/متر^2) يساوى التوتر السطحى ووحداته نيوتن/متروذلك عند ثبوت درجة الحراره.

لاحظ إن السائل عندما يزدد مساحته تنخفض درجة حرارته وللحفاظ على درجة حرارة السائل ثابته 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

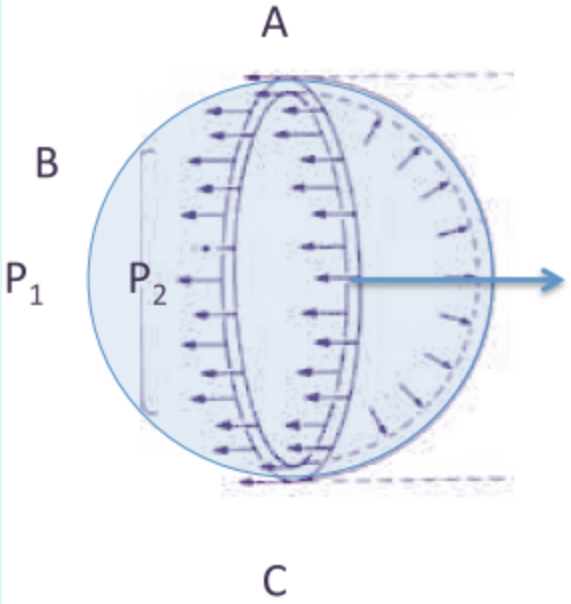
$$E=(2+Q)\Delta A$$

(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 المتسقر يفترض عدد الجزئيات على سطح السائل أقل مايمكن هذا يعني أن مساحة سطح السائل أصغر مايكن 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_1و هي $\pi r^2 P_1$

حيث

- AC هي مساحة الوجه الدائري πr^2

٢- القوة الواقعة عليه نتيجة للضغط داخل الفقاعةP_2و هي $\pi r^2 P_2$

٣-القوة الناجمة عن" التوترالسطحي" وهي $2\pi r\gamma$حيث $2\pi r$ هي محيط الدائرةC

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) فقاعةالصابون

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

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

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

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

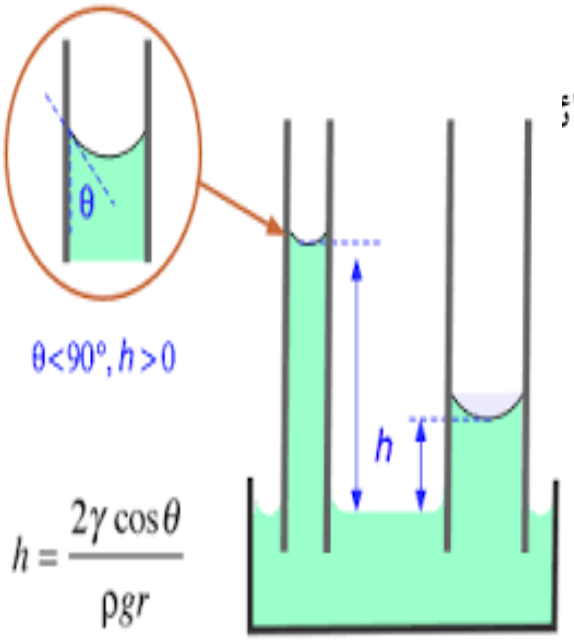
(١٦-٥)الخاصية الشعرية

- تعرف:ارتفاع السوائل التي تبلل السطح في الأنابيب الشعرية(الضيقة) اي السوائل التي فيها قوة التلاصق أكبر من التماسك
- كانتقال الماء من أسفل الشجرة (الجذور) إلى أعلاها(الأوراق)
- تعتمد ارتفاع السائل داخل الانابيب الشعرية على
- ١– طبيعة السائل
- ٢– قطر الانبوبة الشعرية (فكلما قل القطر زاد ارتفاع السائ

$$h=2\Upsilon/(r\rho g)$$

واذا كانت زاوية التلامس أكبر من الصفر :

$$h=2\Upsilon\cos\theta/(r\rho g)$$



يمكن من خلال هذه العلاقة ايضا حساب التوتر السطحي في الانبوبة الشعرية عند معرفة قطرها.

حل ١٦-٧ أمثلة صفحة ٤٨٧

مثال رقم ١,٢

حل ١٦-٨ أمثلة اسئلة الفصل ٤٩١

١و٢و٣و٥و٦و١٠