



كلية العلوم

القسم : علم الحياة

السنة : الثالثة

المادة : فيزياء حيوية

المحاضرة : الثانية/عملي/د. مروى

{{ مكتبة A to Z }}

مكتبة A to Z Facebook Group :

2026

كلية العلوم ، كلية الصيدلة ، الهندسة التقنية

يمكنكم طلب المحاضرات برسالة نصية (SMS) أو عبر (What's app-Telegram) على الرقم 0931497960





جامعة طرطوس  
كلية العلوم  
قسم علم الحياة  
عملي مقرر الكيمياء الفيزياء الحيوية  
التجربة الثانية  
د. مروة رياح

## الخواص السطحية للسوائل Surface Phenomena Of Liquids

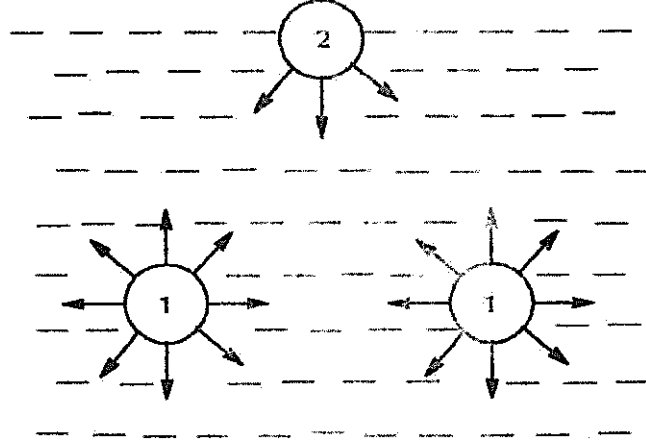
### IV-1. الطاقة السطحية والتوتر السطحي للسوائل:

#### Surface Energy and Surface Tension of Liquids

تختلف الطبقة السطحية للسائل من حيث الخواص الكيميائية – الفيزيائية، عن الطبقات الداخلية. إذ تؤثر في كل جزيء داخل السائل، قوى التجاذب مع الجزيئات المحيطة من الجهات جميعها بشكل منتظم (الوضعية 1 من الشكل IV-1)، لذلك تكون محصلة قوى التجاذب المؤثرة في كل جزيء مساوية الصفر. أما في حالة الجزيئات المشكلة للطبقة السطحية (الوضعية 2)، فتؤثر قوى التجاذب من جهة الجزيئات الواقعة تحتها فقط عملياً، حيث أن القوى المؤثرة من جهة البخار تكون مهملة عادة. لذلك لا تكون محصلة قوى التجاذب مساوية للصفر، بل تكون متجهة إلى أسفل (الشكل IV-1).

نظراً لوجود محصلة قوى تجاذب جزيئية تشد الجزيئات السطحية إلى داخل السائل، فإن سطح السائل يميل للتقلص، ويتعين لتكبير السطح بذل عمل ضد محصلة القوى هذه. يُدعى العمل اللازم لصنع واحدة السطوح في شروط انعكاسية ثابتة الدرجة، توتراً سطحياً، وبما أن العمل في هذه الشروط يتحول إلى طاقة حرة سطحية، يمكن تعريف التوتر السطحي على أنه الطاقة الحرة الإضافية في واحدة السطوح. بما أن سطح السائل يميل للتقلص بسبب وجود قوى ساحبة للجزيئات من السطح إلى داخل

السائل، يمكن بيان أن التوتر السطحي يساوي القوة المؤثرة في واحدة أطوال الخط المحيط بسطح السائل والعاملة على تقليصه.



الشكل (IV-1)

القوى الجزيئية في الحجم وفي الطبقة السطحية.

يمكن تشكيل سطوح جديدة للسائل بتشتيته، إذ ينتقل خلال عملية تشتيت Dispersion السائل جزء من الجزيئات من الحجم إلى الطبقة السطحية. فتتولد نتيجة لذلك طاقة حرة سطحية  $F_s$  تكون مساوية للعمل المنجز خلال عملية التشتيت في شروط انعكاسية ثابتة الدرجة.

$$F_s = \sigma \cdot s \quad (IV-1)$$

حيث  $\sigma$  التوتر السطحي، أي الطاقة الحرة الإضافية في واحدة السطوح، و  $s$  مساحة السطح الفاصل.

وفقاً لمبادئ الترموديناميك، يمكن كتابة العلاقة التالية عند درجة حرارة ثابتة:

$$F_s = U_s - TS_s \quad (IV-2)$$

حيث  $F_s$  تغير الطاقة الحرة لهيلمولتز عند تشكل السطح، وتدعى للاختصار الطاقة الحرة السطحية Surface Free Energy، و  $U_s$  و  $S_s$  الطاقة الكلية السطحية Surface Internal Energy، والإنتروبية السطحية Surface Entropy على الترتيب.

المعروف أنه إذا كانت العملية المدروسة انعكاسية وثابتة الدرجة، يكون:

$$TS_s = Q_s \quad (IV-3)$$

حيث  $Q_s$  حرارة تشكل الطبقة السطحية.

بالتعويض في المعادلة (IV-2) والترتيب، نجد في شروط انعكاسية ثابتة الدرجة أن:

$$U_s = F_s + Q_s \quad (IV-4)$$

المعروف من مبادئ الترموديناميك أن:

$$dF = -SdT - PdV \quad (IV-5)$$

ومن ثم إذا أهملنا تغير الحجم (وهذا طبيعي في حالة الطور السائل)، يمكن من أجل الطبقة السطحية كتابة:

$$-S_s = \frac{\partial F_s}{\partial T} \quad (IV-6)$$

بالتعويض في المعادلة (IV-2) والترتيب نجد:

$$U_s = F_s - T \frac{\partial F_s}{\partial T} \quad (IV-7)$$

بتقسيم المعادلات (IV-2) و (IV-4) و (IV-6) و (IV-7) على مساحة السطح الفاصل والترتيب نجد:

$$E = \sigma + T \eta \quad (IV-8)$$

$$E = \sigma + q \quad (IV-9)$$

$$\eta = -\frac{\partial \sigma}{\partial T} \quad (IV-10)$$

$$E = \sigma - T \frac{\partial \sigma}{\partial T} \quad (IV-11)$$

حيث  $E$  الطاقة الكلية السطحية منسوبة لوحد السطح،  $\sigma$  الطاقة الحرة لوحد السطح،  $\eta$  انتروبية وحدة السطح،  $q$  حرارة تشكل وحدة السطح.

بينت التجارب أن التوتر السطحي يتناقص خطياً بارتفاع درجة الحرارة بعيداً عن الدرجة الحرجة، أي:

$$\frac{\partial \sigma}{\partial T} = \text{const} < 0$$

وعليه فبناءً على المعادلات السابقة، تكون انتروبية واحدة السطوح  $\eta$ ، كمية ثابتة وموجبة، وحرارة تشكل واحدة السطوح  $q$  في شروط انعكاسية ثابتة الدرجة، موجبة، وتزداد خطياً مع درجة الحرارة:

$$q = T \eta \quad (\text{IV-12})$$

أما الطاقة الكلية لواحدة السطوح  $E$  فثابتة، لا تتغير مع درجة الحرارة، ويمكن بيان هذا باشتقاق المعادلة (IV-11) بالنسبة لدرجة الحرارة، وبيان أن هذا المشتق يساوي الصفر.

$$\frac{\partial E}{\partial E} = \frac{\partial \sigma}{\partial T} - \frac{\partial \sigma}{\partial T} - T \frac{\partial^2 \sigma}{\partial T^2} = 0$$

لأن  $\frac{\partial \sigma}{\partial T}$  كمية ثابتة كما سبق ذكره.

لقد أشرنا إلى أن التوتر السطحي يتناقص خطياً مع درجة الحرارة، وقد اقترح العالمان رمزي وشيلس المعادلة التالية للتعبير عن علاقة التوتر السطحي بدرجة الحرارة.

$$\sigma = K(T_{cr} - T - \alpha) \quad (\text{IV-13})$$

حيث  $K$  (يتعلق بطبيعة فتحة السحاحة) و  $\alpha$  ثابتان تعتمد قيمتهما على طبيعة السائل المدروس، أما  $T_{cr}$  فالدرجة الحرجة للسائل.

2-IV. طرائق قياس التوتر السطحي:

## Methods of Measuring Surface Tension

هناك طرائق عديدة لقياس التوتر السطحي، ولعل أهمها طريقة الضغط الأعظم للفقاعة، وطريقة عد القطرات، وطريقة الارتفاع الشعري، وطريقة نزع الحلقة أو الصفيحة، وستشرح هنا طريقتي الضغط الأعظم للفقاعة، وعد القطرات.

#### - طريقة عد القطرات (الستالاغومتريّة):

بنيت هذه الطريقة على حقيقة أن كتلة القطرة (أو عدد القطرات المتشكلة من حجم محدد من السائل) التي تنفصل من نهاية أنبوب رفيع شاقولي تحت تأثير الجاذبية الأرضية، متناسبة مع التوتر السطحي بين السائل والهواء (التناسب طردي في حالة كتلة القطرة، وعكسي في حالة عدد القطرات). حيث يوازن وزن القطرة، قوى التوتر السطحي المؤثرة في دائرة القطرة شاقولياً. ومن ثم فوزن القطرة  $P$  يتناسب مع التوتر السطحي:

$$P = k \sigma \quad (IV-14)$$

حيث  $k$  ثابت الستالاغومتر Stalagmometer، وهو اسم الجهاز المستخدم لقياس التوتر السطحي بهذه الطريقة (الشكل IV-2) يتألف الجهاز من ماصة وضعت عليها إشارتان 1 و 2، لتحديد حجم السائل المناسب، حيث يبدأ بعد القطرات عند بلوغ مستوي السائل الإشارة 1، ويوقف عدها عند بلوغه الإشارة 2. ينتهي الجزء السفلي من الماصة بأنبوب شعري نهايته معرضة ومصقولة، وذلك للحصول على قطرات متماثلة.

إذا كان حجم السائل المناسب  $V$ ، وعدد قطرات السائل  $n$ ، والكتلة الحجمية للسائل  $d$ ، فإن وزن القطرة يساوي:

$$P = \frac{V d g}{n} \quad (IV-15)$$

حيث  $g$  التسارع الأرضي.

بمقارنة المعادلتين (IV-14) و (IV-15) نجد:

$$\sigma = \frac{V d g}{k n} \quad (IV-16)$$

لنكتب المعادلة (IV-16) من أجل سائل قياسي، الذي يمكن أن يكون الماء مثلاً:

$$\sigma_{H_2O} = \frac{V d_{H_2O} g}{k n_{H_2O}} \quad (IV-17)$$

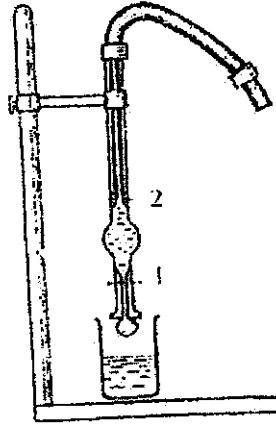
بتقسيم المعادلة (IV-16) على المعادلة (IV-17) والاختصار نجد:

$$\frac{\sigma}{\sigma_{H_2O}} = \frac{d n_{H_2O}}{d_{H_2O} n}$$

ومن ثم:

$$\sigma = \sigma_{H_2O} \frac{d n_{H_2O}}{d_{H_2O} n} \quad (IV-18)$$

حيث تحدد  $n_{H_2O}$  و  $n$  تجريبياً، وتؤخذ  $d$  و  $d_{H_2O}$  و  $\sigma_{H_2O}$  من الجداول.



الشكل (IV-2)

ستالاغومتر

- طريقة الضغط الأعظم للفقاعة:

يعرض في الشكل (IV-3) جهاز لقياس التوتر السطحي لسائل بطريقة الضغط الأعظم للفقاعة Maxim Bubble Pressure Method. يغمر في السائل المدروس

الكائن في الأنبوب ذي التفريجة الجانبية 1، أنبوب 2 ذو نهاية شعيرية، وتمر منه فقاعات هوائية، يعمل تفريغ في الأنبوب فوق السائل المدروس. ينجز التفريغ بصب الماء من قارورة 3 أو قمع فصل كبير. يقاس فرق الضغط العظم  $\Delta P_{\max}$ ، بين داخل الأنبوب الحاوي على السائل المدروس والضغط الجوي اللازم لخروج الفقاعة، بواسطة مقياس الضغط 4. حيث يلاحظ أن فرق الضغط هذا يزداد بالتدرج خلال عملية التفريغ، حتى خروج الفقاعة، حيث ينعدم، ثم يزداد ثانية حتى يبلغ قيمة عظمى، ثم تخرج الفقاعة، وينعدم. وتتكرر هذه العملية. إن فرق الضغط الأعظم المقيس موافق للضغط الشعري:

$$\Delta P_{\max} = \frac{2\sigma}{r} \quad (IV-19)$$

حيث  $r$  هنا نصف قطر الأنبوب الشعري، و  $\sigma$  التوتر السطحي بين السائل والهواء. بتطبيق المعادلة (IV-19) على سائل قياسي، الذي يمكن أن يكون الماء مثلاً، نجد:

$$\Delta P_{\max(H_2O)} = 2 \frac{\sigma_{H_2O}}{r} \quad (IV-20)$$

بتقسيم المعادلة (IV-19) على المعادلة (IV-20)، نجد بعد الترتيب والاختصار:

$$\frac{\sigma}{\sigma_{H_2O}} = \frac{\Delta P_{\max}}{\Delta P_{\max(H_2O)}} \quad (IV-21)$$

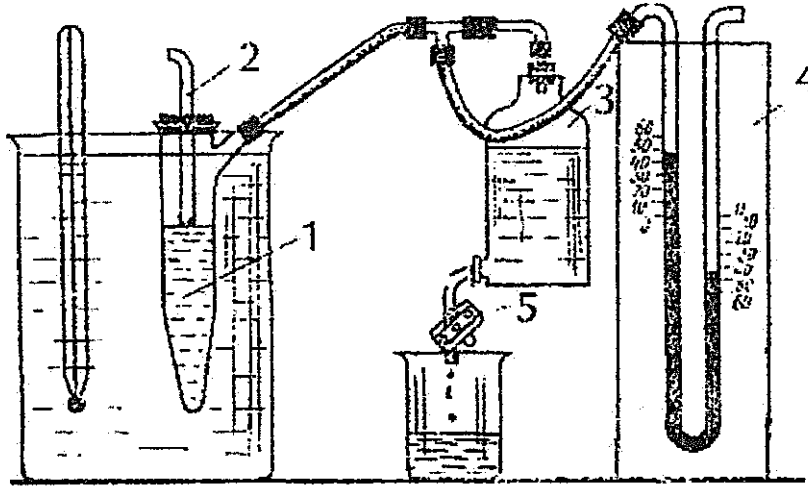
بما أن  $\Delta P = \Delta h d g$  حيث  $\Delta h$  فرق الارتفاع بين فرعي مقياس الضغط، و  $d$  الكتلة الحجمية للسائل في مقياس الضغط، ولا علاقة لها بطبيعة السائل المدروس، فإن:

$$\frac{\Delta P_{\max}}{\Delta P_{\max(H_2O)}} = \frac{\Delta h_{\max}}{\Delta h_{\max(H_2O)}}$$

حيث  $\Delta h_{\max}$  و  $\Delta h_{\max(H_2O)}$  فرق الارتفاع الأعظم في حالي السائل المدروس والماء على الترتيب. بالتعويض في المعادلة (IV-21) نجد:

$$\sigma = \sigma_{H_2O} \frac{\Delta h_{\max}}{\Delta h_{\max(H_2O)}} \quad (IV-22)$$

بقياس  $\Delta h_{\max}$  و  $\Delta h_{\max(H_2O)}$ ، ومعرفة  $\sigma_{H_2O}$ ، يمكن حساب  $\sigma$ .



الشكل (IV-3)

جهاز قياس الضغط الأعظم للفقاعة

3-IV. تحديد التوتر السطحي لسائل بطريقة عد القطرات:

#### Determination of Surface Tension by Stalagmometry

يثبت المقياس (الستالاغمو متر) في حامل بشكل شاقولي، ويغمر طرفه السفلي في السائل المراد تحديد توتره السطحي، ويوصل من الأعلى بواسطة أنبوب مطاطي، بأجاصة مطاطية، يُمص السائل إلى المقياس بواسطة الأجاصة. بحيث يغدو مستوى السائل أعلى من الإشارة العليا 1، مع الحرص على عدم تشكيل فقاعات غازية في أنبوب المقياس. ثم يسمح للسائل بالسيلان من الأنبوب الشعري للمقياس ببطء (قطرة كل 10 ثواني تقريباً). عندما ينطبق مستوى سطح السائل على الإشارة العليا، يُبدأ بعد

القطرات، ويوقف العد عند بلوغ مستوى سطح السائل الإشارة السفلى 2. تكرر التجربة من أجل كل سائل عدة مرات، ويؤخذ المتوسط.

تُجرى التجربة أولاً على الماء المقطر، ثم على سوائل عضوية، أو محاليل مائية لمواد عضوية. تقترح مثلاً دراسة محاليل  $0.5 M$  من الكحول الميثيلي، والكحول الإيثيلي، والكحول الأميلي. نعتبر هنا بالتقريب أن الكتلة الحجمية لهذه المحاليل مساوية  $1 \text{ g cm}^{-3}$ . نأخذ التوتر السطحي للماء عند درجة حرارة المختبر من الملحق  $A_6$ ، الذي عرضت فيه قيم التوتر السطحي بين السائل والهواء، لسوائل عديدة، وعند درجات حرارة عدة.

#### 4-IV. تحديد التوتر السطحي لسائل بطريقة الضغط الأعظم للفقاعة:

#### Determination of Surface Tension by Maximum Bubble Pressure Method

يُصب حجم مناسب من الماء المقطر في أنبوب المقياس ذي التفريجة الجانبية 1 من خلال غطاءه المطاطي، ويمرر أنبوب ذو نهاية شعرية 2 من ثقب مناسب في الغطاء، بحيث لا يتسرب الهواء بين الأنبوب والغطاء، وبحيث يغمر رأس الأنبوب الشعري في الماء بشكل طفيف جداً.

يوصل الجهاز بمقياس الضغط 4، والقارورة ذات الفتحة الجانبية 3، ويتم التأكد من إغلاق جميع المنافذ في الجملة بإحكام. يسيل الماء عند فتح الصنبور 5 من القارورة قطرة قطرة، ويتم في الوعاء 1 بالتدرج التفريغ من الهواء، ويراقب فرق الارتفاع  $\Delta h$  بين فرعي مقياس الضغط 4، المتناسب مع فرق الضغط  $\Delta P$  بين الجملة والجو الخارجي.

يلاحظ أن فرق الارتفاع  $\Delta h$ ، يزداد بالتدرج ثم يهبط إلى الصفر عند خروج الفقاعة، وتتكرر هذه العملية بشكل دوري. بعد التأكد من جاهزية الجهاز للعمل، يغلق

الصنبور 5، ويغمر الأنبوب ذو التفريجة الجانبية 1 في كأس كيميائي (بيشر) مناسب مملوء بالماء، ويغمر في الماء ميزان حرارة، ويعمل على تنظيم درجة حرارة الماء عند الدرجة 20°C لمدة عشر دقائق على الأقل. ثم يفتح الصنبور 5، ويحدد فرق الارتفاع الأعظم من أجل الماء عند هذه الدرجة  $\Delta h_{\max(H_2O)}$  عدة مرات، ويؤخذ المتوسط. ثم تنظم درجة حرارة الماء بالتسخين عند الدرجة 50°C لمدة عشر دقائق على الأقل، ويقاس فرق الارتفاع الأعظم من أجل الماء عند هذه الدرجة. ثم تكرر العملية بالنسبة للماء بتنظيمه عند الدرجة 80°C بطريقة مماثلة.

يفرغ الأنبوب 1 من الماء جيداً، ويوضع بدلاً منه حجم مماثل من البنزن، وتكرر العملية المذكورة سابقاً عند درجتي الحرارة 20°C و 50°C. ثم تكرر التجربة عند الدرجة 20°C باستخدام رابع كلور الكربون.

تنظم النتائج في جدول على النحو التالي:

السائل المدروس	القيمة المتوسطة لـ $\Delta h_{\max}$		
	20°C	50°C	80°C
ماء			
بنزن			
رابع كلور الكربون			

تُحسب قيمة التوتر السطحي للماء عند درجتي الحرارة 50°C و 80°C، وللبنزن عند درجتي الحرارة 20°C و 50°C، ولرابع كلور الكربون عند الدرجة 20°C بدلالة التوتر السطحي للماء عند الدرجة 20°C، الذي سنعتبره حالة قياسية، وذلك باستخدام المعادلة (IV-22). اعتبر أنّ التوتر السطحي للماء عند الدرجة 20°C يساوي  $.73 \text{ Erg/cm}^2$ .

ينظم جدول مماثل للسابق، ويكتب فيه بدلاً من قيم  $\Delta h_{\max}$ ، قيم التوتر السطحي الموافقة.

اعتبر أن  $\alpha$  في المعادلة (IV-13) تساوي 6، واكتب هذه المعادلة بالشكل:

$$\sigma = K(T_{cr} - 6) - K T$$

وأنشئ المستقيم المعبر عن علاقة  $\sigma$  بـ  $T$  من أجل الماء، وحدد ميله المساوي  $-K$ ، وطول القطعة التي يحدها على محور الترتيب، المساوي  $K(T_{cr} - 6)$ ، واحسب كلاً من  $K$  و  $T_{cr}$ . حدد بالاستعانة بالمستقيم السابق، قيم  $\eta$  و  $q$  و  $E$  عند الدرجة  $50^\circ\text{C}$ ، مستخدماً المعادلات (IV-10)، (IV-12)، (IV-11) على الترتيب.

$$\eta = -\frac{\partial \sigma}{\partial T} \quad (\text{IV-10})$$

$$E = \sigma + q \quad (\text{IV-11})$$

$$q = T \eta \quad (\text{IV-12})$$