كلية العلوم

القسم : علم الحياة

السنة : الثالثة

المادة : كيمياء فيزياء حيوية

المحاضرة : الثالثة/نظري/د.مروى

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

كلية العلوم ، كلية الصيدلة ، الهندسة التقنية

2026

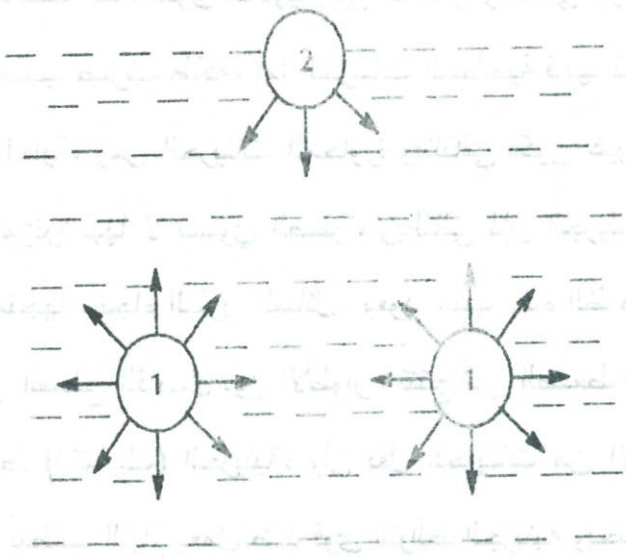
٧

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

المحاضرة الثالثة	الكيمياء الفيزيائية الحيوية	الإثنين: 15/4/2024
قســـم علم الحياة السنة الثالثة – الفصل الثاني 2023 – 2024	الفصل الثاني الخواص السطحية للسوائل Surface Phenomena Of Liquids	د. مروة رباح

2-1- الطاقة السطحية والتوتر السطحي للسوائل:

تختلف الطبقة السطحية للسائل من حيث الخواص الكيميائيّة – 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 1-2)



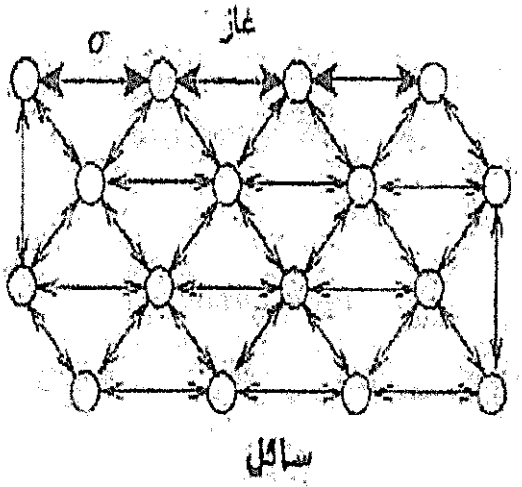
الشكل (1-2)

القوى الجزيئية في الحجم وفي الطبقة السطحية.

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 القوى المؤثرة في واحدة أطوال الخط المحيط بسطح السائل والعاملة على تقليصه.

يعرف التوتر السطحي بأنه القوة اللازمة لتحطيم غشاء سطحي طوله 1 cm أو يمكن القول أن التوتر السطحي يعبر عن القوة التي تؤثر في الجزيئات السطحية كي تتجمع إلى بعضها البعض، ويبين الشكل (2-2) تأثير قوى التجاذب في الجزيئات؛ حيث تتعرض الجزيئات داخل السائل إلى قوى تجاذب متوازنة من جميع الجهات، وبالتالي تكون محصلة هذه القوى مساوية إلى الصفر وبالتالي فإن نقل الجزيئات من مكان لآخر لا يتطلب صرف طاقة، أما الجزيئات السطحية فإنها تخضع لقوى تجاذب من الجزيئات الداخلية، ومن الجزيئات المجاورة وبالتالي تكون غير متوازنة بسبب أن محصلة القوى المؤثرة فيها لا تساوي الصفر، وبالتالي فإن الجزيئات السطحية تلاقي ضغطاً إضافياً متجهاً باتجاه الطور السائل. يعود سبب هذه الظاهرة إلى وجود طاقة حرة إضافية على السطح الفاصل بين الأطوار، تنتج عن الضغط الجزيئي بسبب عدم توازن قوى الترابط (التماسك) الجزيئية، وأن نقل الجزيئات من الأجزاء الداخلية إلى الطبقة السطحية يتطلب القيام بعمل ضد قوى الترابط الجزيئية ويختزن هذا العمل على شكل طاقة سطحية. يمكن بالتالي التعبير عن التوتر السطحي بأنه العمل اللازم لصنع غشاء سطحه مساوياً $1\ cm^2$ عن السطح الفاصل بين الأطوار، وذلك خلال عملية

متوازنة وعند درجة حرارة ثابتة، أو هو الكمية المكافئة لهذا العمل وهي الطاقة الحرة الإضافية في $1\ cm^2$ من السطح الفاصل، ويرمز له بـ σ. نلاحظ مما سبق أن واحدات التواتر السطحي هي إما واحدات قوة، أو واحدات الطاقة، ولقياس التوتر السطحي بواحدات القوة وهي dyn/cm أو mN/m أو بواحدات الطاقة وهي erg/cm^2 أو mJ/m^2 ويجب الإشارة إلى أن جميع هذه الواحدات متكافئة.



الشكل (2-2)

القوى الجزيئية داخل السائل في الطبقة السطحية

2-2- طرائق قياس التوتر السطحي:

تقسم طرائق قياس التوتر السطحي إلى طرائق حركية (يكون السطح الفاصل متحركاً)، وطرائق ساكنة (يكون السطح الفاصل ثابتاً) وتكون الطرائق الحركية أكثر صعوبة، لأن الأجهزة المستخدمة تكون أكثر تعقيداً. تستخدم الطرق الساكنة أو نصف الساكنة بشكل أوسع، والتي تسمح بتحديد قيمة التوتر السطحي التوازنية للسائل. تنتمي إلى الطرق الساكنة: طريقة ارتفاع السائل في الأنبوب الشعري، طريقة وزن القطرة، ومن الطرائق نصف الساكنة توجد طريقة الضغط الأعظمي للفقاعة وطريقة فصل حلقة معدنية ملتصقة بسائل.

أولاً: طريقة ارتفاع السائل في الأنبوب الشعري:

تعتمد هذه الطريقة على قياس ارتفاع السائل في الأنبوب الشعري ذي قطر معروف ومقارنة هذا الارتفاع مع سوية السائل في الوعاء الذي غمر فيه الأنبوب الشعري، ومن الضروري أن تكون جدران الأنبوب الشعري مبللة بالسائل الذي يراد تعيين توتره السطحي. يؤثر في ارتفاع السائل في الأنبوب الشعري القوى التالية:

قوة الثقالة:

$$F_1 = PS = \pi r^2 hg\rho \qquad (2.1)$$

قوة التوتر السطحي:

$$F_2 = 2\pi r\sigma \qquad (2.2)$$

عند التوازن واستقرار ارتفاع السائل في الأنبوب الشعري يكون: $F_1 = F_2$ أي أن:

$$\pi r^2 hg\rho = 2\pi r\sigma \Rightarrow \sigma = \frac{gr}{2} \times h\rho \qquad (2.3)$$

حيث:

- r: نصف قطر الأنبوب الشعري،
- g: تسارع الجاذبية،
- h: ارتفاع السائل في الأنبوب الشعري،
- ρ: كثافة السائل المراد تحديد توتره السطحي.

إن الكمية $\frac{gr}{2}$ هي كمية ثابتة تتعلق بالجهاز، وفي حالة مقارنة سائلين أحدهما معروف توتره السطحي نجد أن:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{h_1\rho_1}{h_2\rho_2} \Rightarrow \sigma_1 = \sigma_2 \frac{h_1\rho_1}{h_2\rho_2}$$

ثانياً: طريقة وزن أو حجم القطرات:

تعتمد هذه الطريقة على معرفة وزن أو حجم القطرات المنفصلة ببطء من نهاية أنبوب شعري (يمكن استخدام سحاحة رفيعة). تكون قوة الثقالة للقطرة في لحظة سقوطها F_1 مساوية إلى قوة التوتر السطحي F_2، حيث تؤثر قوة التوتر السطحي على طول محيط الفتحة التي يخرج منها السائل، وتحاول منع القطرة من السقوط، يمكن في لحظة السقوط كتابة:

$$F_1 = F_2 \Rightarrow mg = 2\pi r\sigma \Rightarrow V\rho g = 2\pi r\sigma \qquad (2.4)$$

$$\Rightarrow \sigma = \frac{V\rho g}{2\pi r} = \left(\frac{V}{n}\right)\frac{\rho g}{2\pi r} \Rightarrow \sigma = \left(\frac{Vg}{2\pi r}\right)\left(\frac{\rho}{n}\right)$$

حيث:

- V: حجم القطرة
- ρ: كثافة السائل
- g: تسارع الجاذبية
- r: نصف قطر الأنبوب الشعري

حيث الكمية $\frac{Vg}{2\pi r}$ ثابتة تتعلق بالجهاز، وعند مقارنة سائلين أحدهما معروف توتره السطحي نجد أن:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_{2(H_2O)}} = \frac{n_2\rho_1}{n_1\rho_2} \qquad (2.5)$$

حيث:

- n_1, n_2: عدد القطرات الساقطة من السائل المدروس والسائل القياسي (الماء)، بحيث يكون الحجمان الكليان للسائلين متطابقين.
- ρ_1, ρ_2: كثافة السائلين (القياسي والمدروس).

ويمكن تبسيط العلاقة السابقة والتعامل مع كتلة القطرات مباشرة حيث:

$$\sigma = \sigma_0 \left(\frac{m}{m_0}\right) \qquad (2.6)$$

حيث:

- σ_0: التوتر السطحي للسائل القياسي عند درجة حرارة التجربة (الماء المقطر عادة)
- m_0: كتلة قطرة واحدة من قطرات السائل القياسي.
- m: كتلة قطرة واحدة من قطرات السائل المدروس.

2-3- قوى التماسك والقوى السطحية:

يدعى التأثير المتبادل بين الجزيئات (أو الذرات) داخل الطور الواحد بقوى التماسك، وهي مجموعة قوى التجاذب المختلفة والمسؤولة عن وجود المادة في الحالة المتكاثفة.

يحدّد عمل التماسك بقيمة الطاقة اللازمة لقطع جسم ما بشكل عكوسي (متوازن) ومتساوي الدرجة، ومساحة مقطعه تساوي واحدة السطوح ويرمز بهذا العمل بـ W_C، وبما أن عملية الانقطاع تولد واحدتي سطوح، فإن عمل التماسك يساوي ضعف قيمة التوتر السطحي للجسم على الحدود الفاصلة مع الطور الغازي، أي:

$$W_C = 2\sigma_{1.2} \qquad (2.7)$$

2-4- ظاهرة الالتصاق:

تحدث ظاهرة الالتصاق نتيجة التأثيرات المتبادلة والتي تتم في الأطوار المتكاثفة وتعرف بأنها التأثير المتبادل بين طورين أو بين سطحين لجسمين متكاثفين على تماس مع بعضهما البعض، تؤدي هذه الظاهرة إلى الارتباط بمتانة محددة نتيجة القوى الجزيئية.

يمكن أن تحدث ظاهرة الالتصاق بين سائلين أو بين سائل وصلب أو بين جسمين في الحالة الصلبة، ويتعلق الالتصاق بين طورين أحدهما سائل بظاهرة أخرى هي ظاهرة التبلل والتي تنتج عن التأثير المتبادل بين الطورين.

تحدث ظاهرة الالتصاق نتيجة ميل الجملة إلى إنقاص طاقتها السطحية، ولذلك فهذه الظاهرة هي عملية تلقائية، ويعبر عن متانة روابط الالتصاق بعمل الالتصاق W_a وهو العمل العكوسي اللازم لقطع روابط الالتصاق عند درجة حرارة ثابتة، ومنسوباً إلى واحدة المساحة، ويقاس بواحدات الطاقة المختلفة.

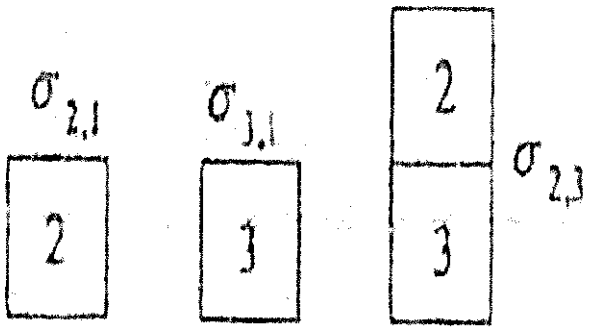
ليكن لدينا طوران متكاثفان (2) و (3) متلاصقان كما في الشكل (3-2)، ومساحة منطقة التماس تساوي واحدة السطوح، ومن خلال ذلك يمكن إيجاد العلاقة بين عمل الالتصاق والتوتر السطحي، حيث عند محاولة فصل الطورين المتلاصقين تتغير الطاقة الحرة للجملة بالمقدار:

$$\sigma_{2,1} + \sigma_{3,1} - \sigma_{2,3} \qquad (2.8)$$

حيث:

$\sigma_{2,1}$, $\sigma_{3,1}$: التوتر السطحي بين كل من الطورين والهواء (1) أي الطور الغازي الذي تتواجد فيه الجملة.

$\sigma_{2,3}$: التوتر السطحي البيني بين الطورين.



الشكل (3-2)

مخطط يوضح عملية الالتصاق

يؤدي فصل الطورين عن بعضهما إلى اختفاء السطح الفاصل بينهما، ويؤدي إلى نشوء سطح فاصل بين كل من الطورين والهواء، وتساوي مساحة كل منهما واحدة المساحة، وبما أن العملية تتم بشكل عكوسي وعند درجة حرارة ثابتة، فيكون العمل مساوياً إلى تغير الطاقة الحرة، أي:

$$W_a = \sigma_{2,1} + \sigma_{3,1} - \sigma_{2,3} \qquad (2.9)$$

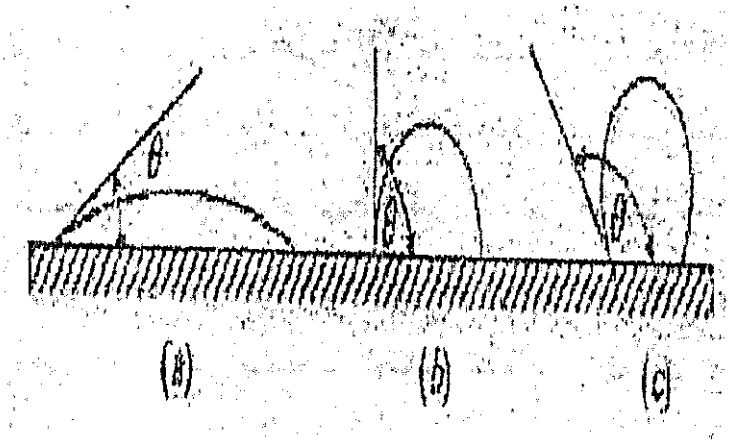
2-5- ظاهرة التبلّل:

ندرس في حالة التبلّل الطاقة السطحية في الجمل المؤلفة من ثلاثة أطوار، ومثالاً على ذلك قطرة من سائل تتواجد على سطح جسم صلب، إن هذه الحالة مؤلفة من ثلاثة أطوار حجمية وهي الجسم الصلب (3) وقطرة السائل (2) والهواء المحيط (1) وتفصل بينهما ثلاثة سطوح، وهي: السطح الفاصل بين الجسم الصلب والهواء (3,1)، وبين الجسم الصلب والسائل (2,3)، وبين السائل والهواء (2,1).

نعبر عن الطاقة السطحية الحرة الإضافية منسوبة إلى واحدة السطوح في كل من الطبقات السطحية الثلاث من خلال مفهوم التوتر السطحي بينها، أي التوتر السطحي بين الجسم الصلب والهواء $\sigma_{3,1}$، وبين الجسم الصلب والسائل $\sigma_{2,3}$ وبين السائل والهواء $\sigma_{2,1}$. تحدد ظاهرة التبلل من خلال مفهوم زاوية التماس وتسمى أيضاً بزاوية التبلل، وهي الزاوية التي يصنعها المماس لسطح القطرة مع السطح الصلب، نقول أن السائل قادر على التبلل أم لا، أو بعبارة أخرى نقول: أن السائل قوي التبلل أو ضعيف التبلل وذلك تبعاً لقيمة زاوية التماس كما سنرى فيما بعد.

يتم التعبير عن درجة التبلل بالزاوية الحدية θ (زاوية التماس) الكائنة بين سطح الجسم الصلب والمماس لسطح السائل في نقطة تقاطع الأطوار الثلاثة الشكل (4–2)؛ حيث تكون الزاوية (θ) باتجاه الطور السائل. إذا كانت $\theta < 90°$ تكون الحالة هي حالة تبلل، الحالة (a)، وإذا كانت $\theta > 90°$ تكون حالة عدم تبلل، الحالة (c)، وأما الحالة b فهي حالة انتقالية. يعتمد التبلل الذي يعبر عنه بالزاوية (θ) على قيم التوتر السطحي على السطوح الفاصلة بين الأطوار والتي تكون على تماس مع بعضها البعض.

للحصول على العلاقة الكمية بين المقادير السابقة (التوتر السطحي وزاوية التماس) تدرس جملة متوازنة مؤلفة من قطرة سائل على سطح جسم صلب في وسط غازي، الشكل (5–2) وندرس شرط توازن نقطة تقاطع الأطوار الثلاثة n (نقطة من محيط التبلل).



الشكل (4–2)

انتشار قطرة السائل على السطح الصلب

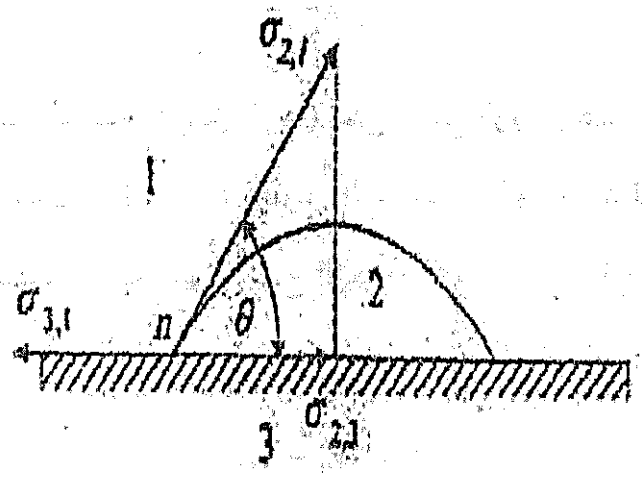
a– حالة تبلل **b**– حالة انتقالية **c**– حالة عدم تبلل

يمكن تمثيل التوتر السطحي بين الجسم الصلب والغاز في النقطة n بقوة مماسة لسطح الجسم الصلب مؤثرة في النقطة n ، ومتجهة بحيث تقلل السطح الفاصل بين الجسم الصلب والغاز، أي $\sigma_{3,1}$ والتوتر السطحي بين الجسم الصلب والسائل في النقطة n يمكن تمثيله بقوة مماسة لسطح الجسم الصلب مؤثرة في النقطة n ومتجهة بحيث تقلل السطح البيني بين الجسم الصلب والسائل، أي $\sigma_{2,3}$، أما التوتر السطحي بين السائل والغاز في النقطة n فيمكن تمثيله بقوة مماسة لسطح السائل في هذه النقطة، ومتجهة بحيث تقلل السطح البينيّ بين السائل والغاز، أي $(\sigma_{2,1})$. إنّ شروط توازن النقطة n على سطح الجسم الصلب هو أن تكون محصلة مساقط القوى المؤثرة فيها على سطح هذا الجسم مساوية للصفر، أي:

$$\sigma_{3,1} = \sigma_{2,3} + \sigma_{2,1} \cos\theta \qquad (2.10)$$

أو:

$$\cos\theta = \frac{\sigma_{3,1} - \sigma_{2,3}}{\sigma_{2,1}}$$



الشكل (2–5)

توضح العلاقة الأخيرة والتي تدعى بعلاقة يونغ (Young) شرط التبلل، فإذا كانت حالة الجملة هي حالة تبلل أي $\theta < 90°$ يكون $\cos\theta > 0$ وعليه يكون $\sigma_{3,1} > \sigma_{2,3}$، وإذا كانت حالة عدم تبلل $\theta > 90°$ يكون $\cos\theta < 0$ وعليه يكون $\sigma_{3,1} < \sigma_{2,3}$، أما إذا كانت $\theta = 90°$ يكون $\cos\theta = 0$ وبالتالي $\sigma_{3,1} = \sigma_{2,3}$.

يحدث الانسياب إذا كان عمل الالتصاق أكبر من عمل التماسك للسائل، تسمى الكمية f بمعامل الانسياب وتعطى بالعلاقة:

$$f = W_a - W_c = \sigma_{3,1} - \sigma_{2,1} - \sigma_{2,3} \qquad (2.11)$$

فإذا كان المعامل f موجباً فإن السائل ينساب على السطح، وإذا كان سالباً فالسائل لا ينساب.

مسألة محلولة:

احسب عمل التصاق الزئبق (W_a) على سطح الزجاج عند الدرجة 293 K إذا علمت أن زاوية التبلل $\theta = 130°$ والتوتر السطحي للزئبق $(475\ \mathrm{mJ/m^2})$، وكذلك احسب معامل انسياب الزئبق على سطح الزجاج (f)، ماذا تستنتج؟

الحل:

$$f = W_a - W_c$$

$$W_a = \sigma_{l,g}(1 + \cos\theta)$$

$$= 475(1 + \cos 130°)$$

$$= 475(1 - 0.64)$$

$$= 171\ \mathrm{mJ/m^2}$$

$$W_c = 2\sigma_{\mathrm{Hg}} = 2 \times 475 = 950\ \mathrm{mJ/m^2}$$

$$f = 171 - (950) = -779\ \mathrm{mJ/m^2}$$

وهذا يعني أنه لا يحدث انسياب للزئبق على سطح الزجاج.

انتهت المحاضرة الثالثة.....

مكتبة A to Z