جامعة العربي بن مهيدي-أم البواقي
كلية العلوم الدقيقة وعلوم الطبيعة والحياة
قسم علوم المادة

المادة: كيمياء السطوح والتحفيز

السنة الثالثة كيمياء أساسية

الأستاذ: حفصي السعيد

عنوان الدرس: النشاط السطحي "التوتر السطحي"

I. مقدمة

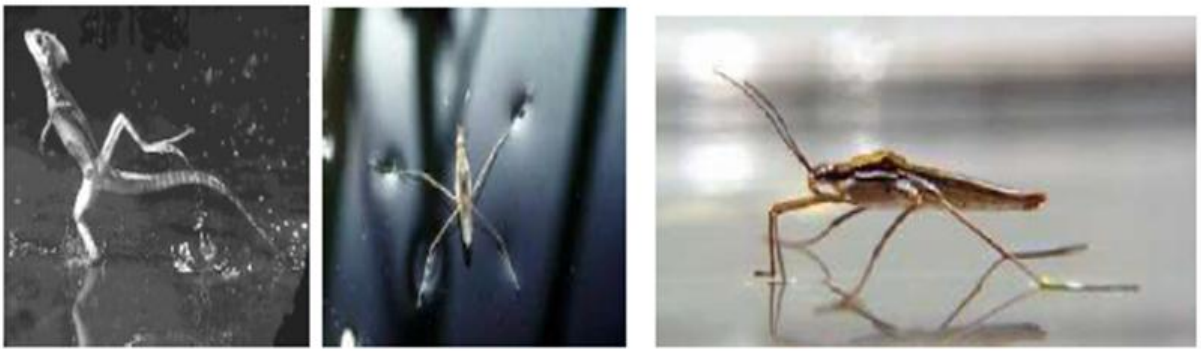
النشاط السطحي، ظاهرة سطحية لا وجود لها داخل السوائل.

الأسئلة المطروحة:

1. **لماذا لا يسقط ماسك ورق معدني أو إبرة معدنية في الماء، رغم أن كثافة المعادن أكبر من كثافة الماء؟**
2. **ما الذي يجعل بعض الحشرات الصغيرة، كالبعوض تمشي فوق سطح الماء دون أن تغرق (الشكل 1)؟**
3. **لماذا تتجمع قطرات الماء على سطح الزهور على شكل كرات؟**
4. **لماذا الماء لوحده لا يزيل الأوساخ على الملابس إلا بوجود الصابون (المنظفات).**

الجواب:

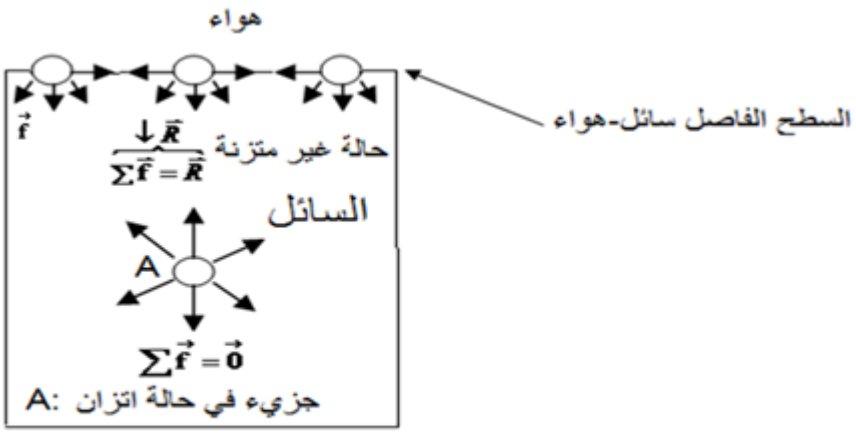
يرجع ذلك إلى خاصية تتميز بها السوائل، إذ تجعل مثلا سطح الماء يعمل كغشاء مرن ومشدود يقاوم اختراق الأجسام الخفيفة، ويطلق على هذه الظاهرة بالنشاط أو التوتر السطحي. وتستغل هذه الظاهرة في المجال الصناعي، مثلا لصناعة الملابس المقاومة للبلل، كالمعاطف والملابس السباحة والمطريات.



الشكل 1: ظاهرة مشي الحشرات على سطح الماء.

II. تفسير الظاهرة

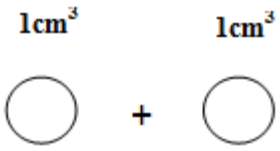
يحدث النشاط أو التوتر السطحي بفعل وجود قوى تجاذب بين جزيئات السائل. هذه القوى هي من نوع قوى فان دار فالس Van der waals. بالنسبة لجزيء A يقع في باطن (داخل) السائل، فإنه يتأثر بقوى تجاذب مع الجزيئات المحيطة به من جميع الاتجاهات، وتكون محصلة هذه القوى تساوي الصفر، ولذلك يكون الجزيء في حالة اتزان. بينما الجزيئات الموجودة على سطح السائل، فإنها تتأثر بقوى تجاذب في جميع الاتجاهات، عدا الاتجاه إلى الأعلى، وهي قوى غير متزنة تعمل إلى جذب الجزيء إلى باطن السائل، مما يسبب في توتر سطح السائل ويجعله يميل إلى التقلص ليأخذ أقل مساحة ممكنة أي ينكمش (الشكل 2).



الشكل 2: ظاهرة النشاط السطحي .

من هنا يتضح أن قوى التوتر السطحي هي قوى انكماشية تعمل على تقليل السطح، فتتخذ قطرات السوائل أشكالا شبه كروية، ذلك لان الكرة هي الشكل الهندسي ذو مساحة السطح الأقل.

مثال



المساحة الكلية: $S \approx 9{,}7\ \mathrm{cm}^2$

بينما مساحة كرة ذات حجم $2\mathrm{cm}^3$، تساوي $S \approx 7{,}7\ \mathrm{cm}^2$ **.**

تكون طاقة الجزيئات على سطح السائل أكبر من طاقة الجزيئات داخل السائل، مما يجعل جزيئات السطح متماسكة مكونة غشاء رقيق مرن ومشدود عند سطح السائل. تكون قوى التوتر السطحي عمودية على سطح السائل وتتجه إلى باطنه. لنقل جزيء A من باطن السائل إلى السطح، أي زيادة المساحة بمقدار ΔS ، لا بد من بذل جهد (عمل) W.

$$W \propto \Delta S \qquad (1)$$

$$W = \gamma . \Delta S \qquad (2)$$

$$\gamma = \frac{W}{\Delta S} : \left(\frac{J}{m^2}\right) \text{ أو } \left(\frac{N}{m}\right) \qquad (3)$$

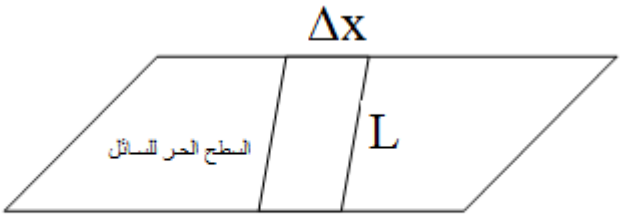
γ : معامل التوتر السطحي.

يمثل معامل التوتر السطحي، الشغل المبذول لزيادة مساحة السطح بمقدار وحدة مساحة. كما يمثل كذلك تماسك سطح السائل ليتحمل الضغط الواقع عليه إلى درجة معينة. يقيس التوتر السطحي كذلك مدى مقاومة السائل على زيادة السطح، وهو كذلك التأثير الذي يجعل الطبقة السطحية لأي سائل

تتصرف كورقة مرنة. سمي سطحيا لأنه يحدث على سطح السائل، وسمي بالتوتر لأن الجزيئات على سطح السائل تعمل كغشاء مرن ومشدود أي متوتر.

تخيل أننا نريد إحداث فتحة بطول L وبعرض Δx على السطح الحر للسائل (الشكل 3). هنا يحاول السائل مقاومة هذه العملية، ومنه:

$$\gamma = \frac{W}{\Delta S} = \frac{F\Delta x}{L\Delta x} = \frac{F}{L} \qquad (4)$$



الشكل 3: شق فتحة على السطح الحر للسائل .

يبلغ سمك الغشاء بين 1nm-100nm.

يشمل الجدول 1، قيّم γ لبعض السوائل ، مقاسة بالنسبة للهواء وعند 20°C.

الجدول 1: قيم γ لبعض السوائل.

السائل	γ (mN/m) عند 20°C
Ethanol	22,27
Hg	4,36
H_2O	72,8
Benzène	29
Ether	17

III. تأثير درجة على الحرارة γ

تعتبر الحرارة من أهم العوامل المؤثرة على التوتر السطحي. كلما زادت درجة الحرارة ، قل التوتر السطحي (علاقة عكسية).

<u>مثال:</u> تأثير درجة الحرارة على التوتر السطحي للماء.

20°C عند $72,80x10^{-3}$ N /m

25°C عند $71,97x10^{-3}$ N/m

50°C عند $67,97x10^{-3}$ N/m

<u>ملاحظة</u>

يقلل الصابون من قيمة التوتر السطحي للماء.

لتفسير الظواهر الناتجة عن النشاط السطحي، لابد من معرفة أن هناك نوعان من القوى التي يؤثر على المادة، وهي قوى التلاصق وقوى التماسك.

IV. قوى التماسك و قوى التلاصق وزاوية التلامس

1. قوى التماسك

وهي عبارة عن قوى الجذب التي تحدث بين جزيئات الحالة الواحدة من حالات المادة، أي قوى تجاذب بين جزيئات السائل و بعضها أو تجاذب بين جزيئات الصلب و بعضها أو تجاذب بين جزيئات الغاز و بعضها.

2. قوى التلاصق

وهي عبارة عن قوى الجذب التي تحدث بين جزيئات حالتين مختلفتين من حالات المادة: صلب مع سائل، غاز مع سائل و غاز مع صلب.

3. زاوية التلامس (التماس)

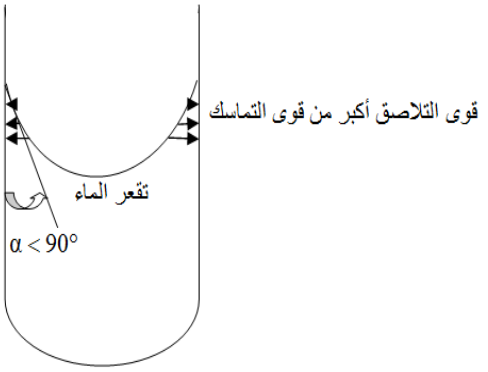
زاوية التماس أو التلامس لسائل موضوع على مادة صلبة، هي الزاوية التي يشكلها سطح الصلب مع المماس للسائل. تعتمد زاوية التماس على طبيعة الصلب الحامل للسائل وطبيعة الغاز المحيط بالاثنين.

- **مثال عن الحالة الأولى**

أ. الماء على سطح الزجاج (الشكل 4)

الشكل 4: الماء ينتشر على سطح الزجاج.

ب. الماء في أنبوب زجاجي (الشكل 5)



الشكل 5: تقعر الماء في أنبوب زجاجي.

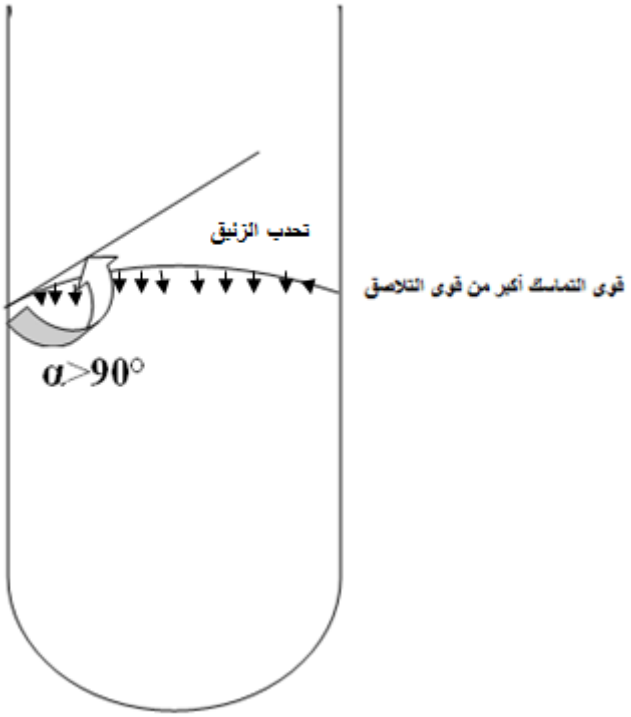
قوى الجذب بين الزجاج والماء، وهي قوى تلاصق (قوى جذب بين جزيئات مواد مختلفة) أكبر من قوى التماسك (قوى جذب بين جزيئات نفس المادة).

- **مثال عن الحالة الثانية**

أ. الزئبق على سطح الزجاج (الشكل 6)

الشكل 6: الزئبق على سطح الزجاج.

ب. الزئبق في أنبوب زجاجي (الشكل 7)

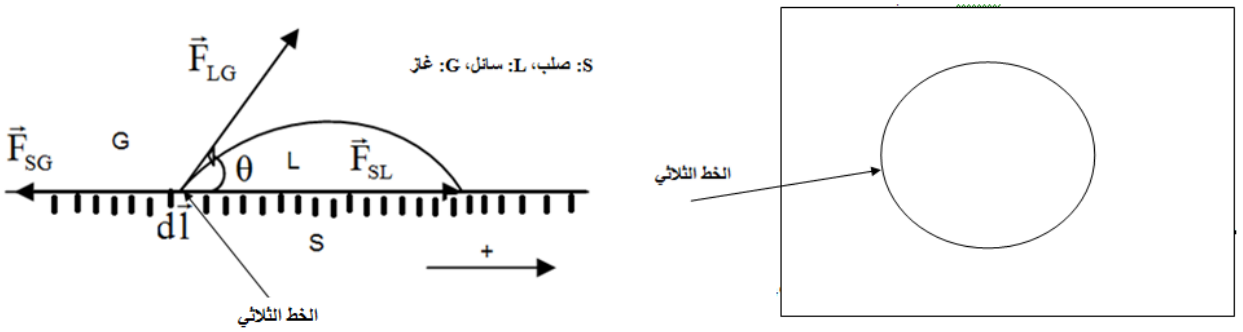


الشكل 7: تحدب الزئبق في أنبوب زجاجي.

قوى التماسك في الزئبق أكبر من قوى التلاصق بين الزئبق والزجاج.

V. قانون Young-Dupré

يدرس قانون Young-Dupré، التبليل الناتج عن انتشار سائل على ركيزة صلبة أو سائلة. يؤدي هذا الانتشار إلى ظهور خط تماس بين ثلاثة أطوار: السائل و الركيزة والغاز المحيط بالاثنين. يطلق على هذا الخط بالخط الثلاثي. كما يطلق على الزاوية θ المحصورة بين السطح البيني سائل-غاز والسطح البيني صلب-سائل، بزاوية التلامس. التبليل هنا، ناتج عن التنافس بين الميولات النسبية للأطوار الثلاثة فيما بينها. في حالة ركيزة صلبة فإن هذه الأطوار تعرّف عن طريق معاملات التوتر السطحي γ_{LG}، γ_{SL}، γ_{SG}. يأخذ سائل على سطح صلب أشكالا مختلفة تعتمد على نوع المادة. ويمكن حساب زاوية التماس باستعمال قانون Young-Dupré. تحسب هذه الزاوية، انطلاقا من الشكل 8.



الشكل 8: زاوية التلامس.

عند الاتزان $\sum \vec{F} = \vec{0}$ ، ومنه:

$$\gamma_{SG} d\vec{l} + \gamma_{SL} d\vec{l} + \gamma_{LG} d\vec{l} = \vec{0} \qquad (5)$$

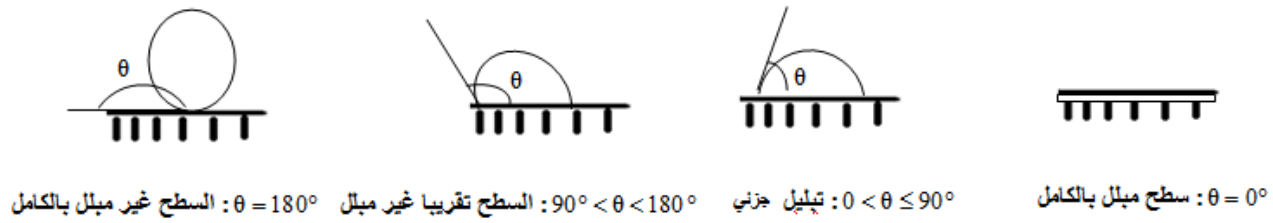
شرط استقرار الخط الثلاثي:

$$F_{LG}\cos\theta + F_{SL} = F_{SG} \qquad (6)$$

$$\gamma_{SG} = \gamma_{LG}\cos\theta + \gamma_{SL} \qquad (7)$$

$$\cos\theta = \frac{\gamma_{SG} - \gamma_{SL}}{\gamma_{LG}} \qquad (9)$$

ومنه، نحصل على الأشكال التالية (الشكل 9):



الشكل 9: الأشكال المختلفة لسائل على سطح صلب.

<u>مثال</u>

احسب زاوية التلامس في الحالتين التاليتين:

- **قطرة ماء على سطح التيفلون Téflon**
- **قطرة حليب على سطح التيفلون Téflon**

مع العلم أن:

$\gamma_{eau/air} = 0{,}072\ \text{J.m}^{-2}$ $\gamma_{lait/air} = 0{,}043\ \text{J.m}^{-2}$

$\gamma_{liq/téflon} = 0{,}050\ \text{J.m}^{-2}$ $\gamma_{téflon/air} = 0{,}019\ \text{J.m}^{-2}$

الجواب

في حالة الماء:

$$\cos\theta = \frac{\gamma_{SG} - \gamma_{SL}}{\gamma_{LG}} = \frac{0{,}019 - 0{,}050}{0{,}072} = -0{,}43 \Rightarrow \theta = 115{,}5°$$

في حالة الحليب:

$$\cos\theta = \frac{\gamma_{SG} - \gamma_{SL}}{\gamma_{LG}} = \frac{0{,}019 - 0{,}050}{0{,}043} = -0{,}72 \Rightarrow \theta = 136{,}0°$$

في كلا الحالتين $\theta > 90°$، وبالتالي سطح التيفلون تقريبا غير مبلل سواء بالماء أو بالحليب، غير أن الحليب أكثر تكورا على سطح التيفلون.

VI. قانون Laplace

قانون Laplace، هو قانون في الفيزياء، يربط الانحناء المحلي لسطح بيني (interface) يفصل بين وسطين مختلفين بالضغط. ومن أهم تطبيقات قانون Laplace:

تفسير:

أ. تكور السوائل،
ب. تشكل فقاعات صابون،
ت. الصعود الشعرية.

1) في حالة قطرة سائل (الشكل 10)

إذا زاد نصف قطر R القطرة بمقدار dR، فإن حجم القطرة يزداد بمقدار dV:

$$dV = SdR = 4\pi R^2 dR \qquad (10)$$

حيث: S مساحة القطرة.

الشغل الناتج عن الفرق في الضغط داخل وخارج القطرة:

$$\delta W_P = (P_i - P_e)dV = \Delta P dV = \Delta P 4\pi R^2 dR \quad (11)$$

P_i: الضغط الداخلي P_e: الضغط الخارجي

الشغل الناتج عن قوى التوتر السطحي:

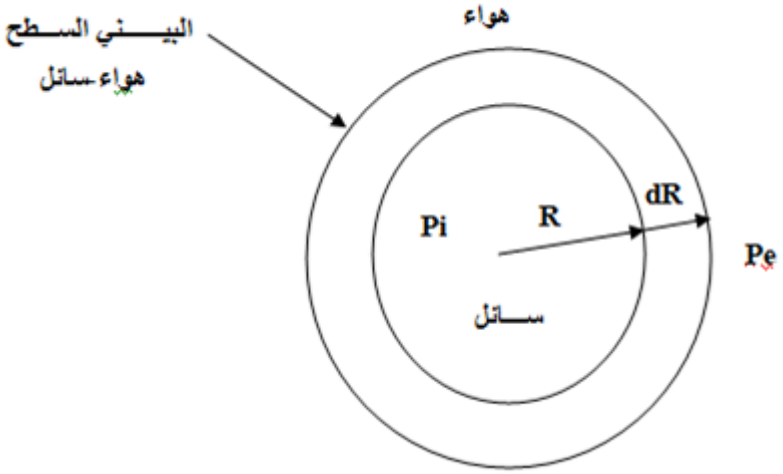
$$\delta W_S = \gamma\, dS = \gamma\, 8\pi R dR \qquad (12)$$

عند الاتزان:

$$\delta W_P = \delta W_S \qquad (13)$$

ومنه:

$$\Delta P = (P_i - P_e) = \frac{2\gamma}{R} \qquad R \nearrow \quad \Delta P \searrow \qquad (14)$$



الشكل 10: الزيادة في الضغط داخل قطرة سائل.

2) في حالة فقاعة صابون (الشكل 11)

- **الزيادة في الضغط، الناتجة عن الطبقة الخارجية:**

$$P - P_e = \frac{2\gamma}{(R + \Delta R)} \qquad (15)$$

- **الزيادة في الضغط، الناتجة عن الطبقة الداخلية:**

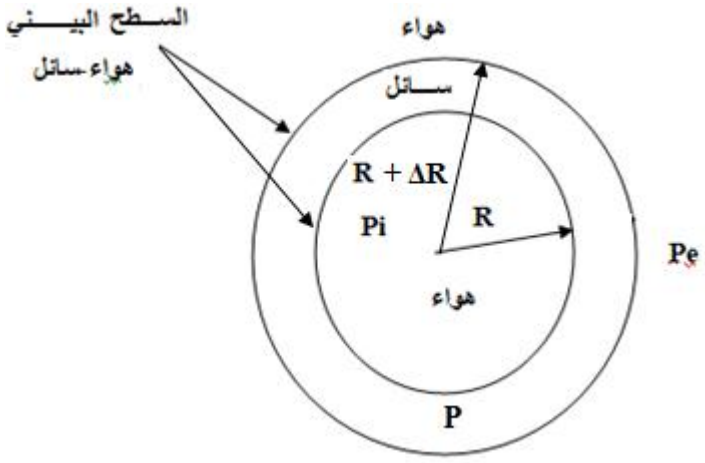
$$P_i - P = \frac{2\gamma}{R} \qquad (16)$$

- **الزيادة في الضغط داخل الفقاعة:**

$$\Delta P = P_i - P_e = \frac{2\gamma}{R} + \frac{2\gamma}{(R + \Delta R)} \qquad (17)$$

في حالة $\Delta R << R$، فإن:

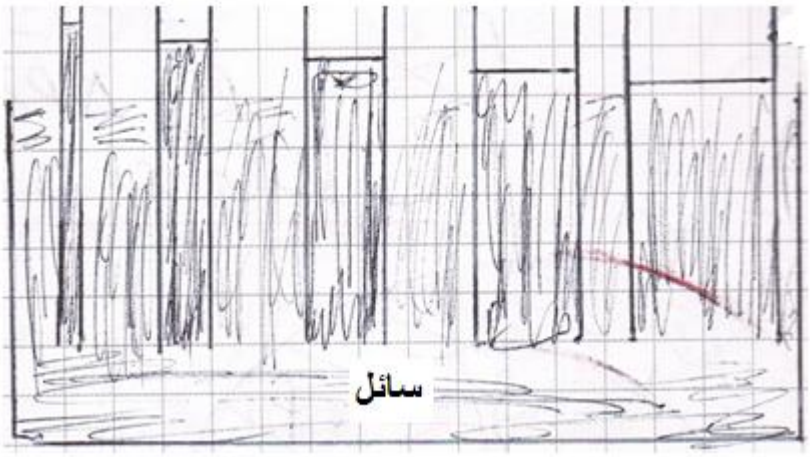
$$\Delta P = P_i - P_e = \frac{4\gamma}{R} \qquad (18)$$



الشكل 11: الزيادة في الضغط داخل فقاعة صابون.

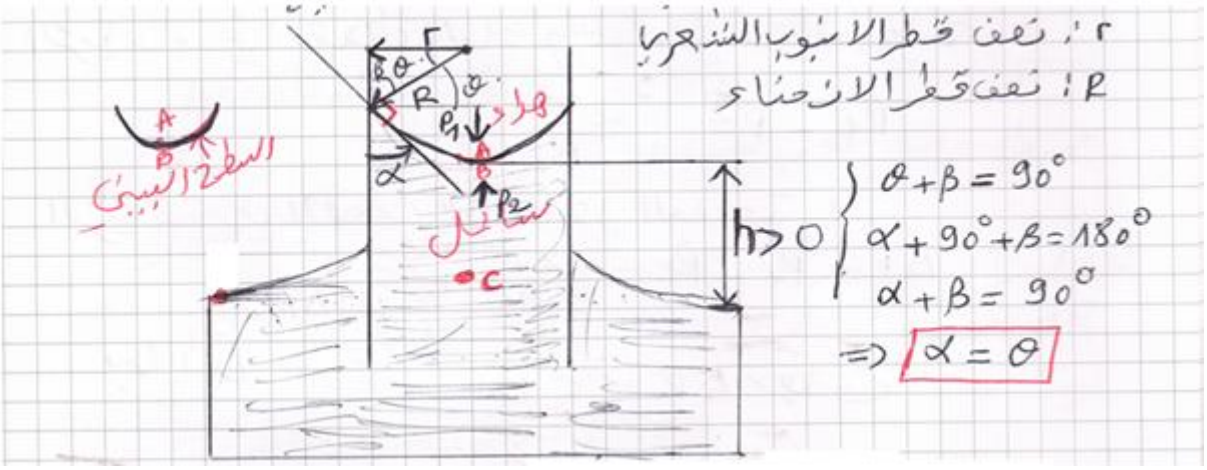
VII. الظاهرة الشعرية وقانون Jurin

الخاصية الشعرية، هي خاصية فيزيائية يتم بواسطتها انتقال السائل من الأسفل إلى الأعلى في الأنابيب الشعرية كانتقال الماء من أسفل الشجرة (الجذور) إلى أعلاها (الأوراق)، أو كارتفاع سائل عن طريق أنبوب من الأسفل إلى الأعلى دون التأثير عليه بقوة خارجية عند وضعه في إناء (الشكل 12).



الشكل 12: أنابيب زجاجية مختلفة الأقطار ومفتوحة الطرفين، مغمورة بشكل عموديا في سائل.

<u>شرح الظاهرة</u>



r : نصف قطر الأنبوب الشعري
R : نصف قطر الانحناء

$$\left.\begin{array}{l}\theta+\beta=90^\circ\\ \alpha+90^\circ+\beta=180^\circ\\ \alpha+\beta=90^\circ\end{array}\right\} \Rightarrow \boxed{\alpha=\theta}$$

ارتفاع Ascension

$$\cos\theta=\frac{r}{R}$$

ملاحظة

لابد النظر دائما باتجاه الانحناء للموقة حاليا صطحة يكون فيها الضغط مرتفعا.

لأن الانحناء متجه دائما للأسفل $P_A > P_B$

$P_C - P_B = \rho \cdot g \cdot h$: و تسارع الجاذبية

ρ : الكتلة الحجمية للسائل

من جهة أخرى، و حسب قانون Laplace جاء

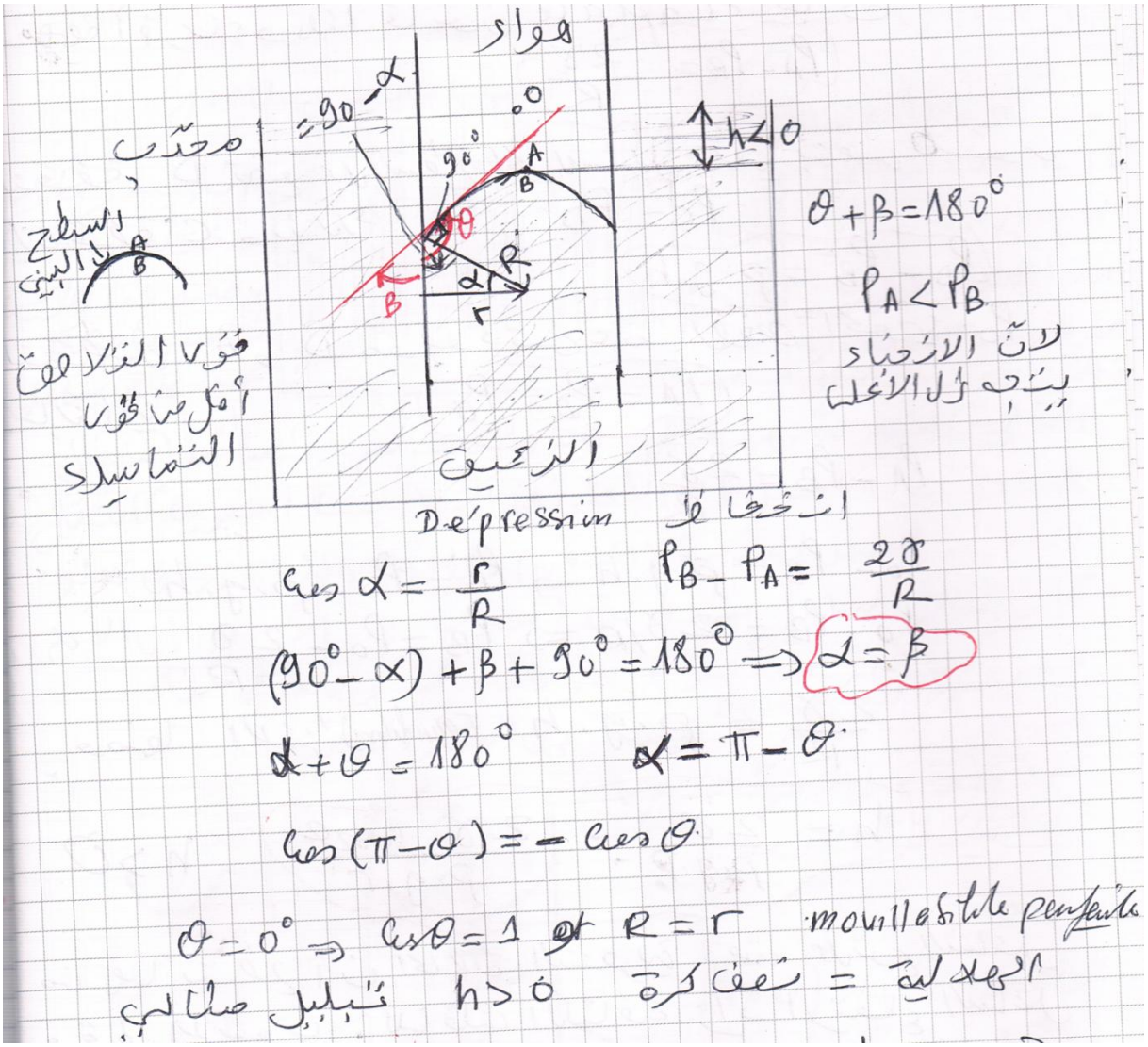
$$P_A - P_B = \frac{2\gamma}{R}$$

$$\frac{2\gamma}{R} = \rho \cdot g \cdot h$$ وضعنا الاتزان Equilibrium

$$h = \frac{2\gamma}{\rho \cdot g \cdot R} = \frac{2\gamma \cdot \cos\theta}{\rho \cdot g \cdot r} \qquad h > 0$$

من هنا يتضح أن الخاصية الشعرية تعتمد على نوع السائل وقطر الأنبوب. كلما قلت الكثافة زاد ارتفاع السائل في الأنابيب (علاقة عكسية). كذلك كلما قل نصف قطر الأنبوب زاد ارتفاع السائل فيه (علاقة عكسية).

في هذه الحالة، تكون محصلة قوى التماسك أقل من محصلة قوى التلاصق - وبالتالي يأخذ السائل شكلاً مقعراً (مثال: الماء داخل أنبوب زجاجي)، ويكون السائل مبلل للمادة إذا كانت زاوية α بين زاوية حادة أقل من 90°.



$\theta+\beta=180°$

$P_A < P_B$

لأن الارتفاع يتجه نحو الأعلى

قوى التلاصق أكبر من قوى التماسك

$P_B - P_A = \frac{2\sigma}{R}$

$\cos\alpha = \frac{r}{R}$

$(90°-\alpha)+\beta+90° = 180° \Rightarrow \alpha = \beta$

$\alpha+\theta = 180°$ $\quad \alpha = \pi - \theta$

$\cos(\pi-\theta) = -\cos\theta$

$\theta = 0° \Rightarrow \cos\theta = 1$ et $R = r$ mouillabilité parfaite

انعدام الزاوية = نصف كرة $h>0$ تبليل عالي

$\theta \in]0, \frac{\pi}{2}[\Rightarrow \cos\theta > 0$ $\quad h>0$

Mouillabilité partielle تبليل جزئي

$\theta \in]\frac{\pi}{2}, \pi[\Rightarrow \cos\theta < 0$

تبليل ضعيف $h<0$

=

تبليل منعدم $\theta = \pi = 180°$