كلية العلوم

القسم : الفيزياء

السنة : الثانية

المادة : ترموديناميك

المحاضرة : الخامسة/عملي/

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

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

التجربة (5)

التوتر السطحي

Surface Tension

1. الغاية من التجربة

قياس التوتر السطحي لسائل بطريقة القطرة.

2. تمهيد نظري

(a) حجم الجزيء الفعلي

إن المول الواحد من جسم نقي يتألف بالتعريف من $N = 6.02 \times 10^{23}$ جزيئاً (عدد أفوكادرو). فالمول من الماء الذي كتلته $18g$ يحوي هذا العدد من الجزيئات. وإن ضخامة هذا العدد هي التي تجعلنا نظن أن الماء جسم مستمر ومثله المواد الأخرى. إلّا أن هذه الجزيئات في الحقيقة منفصل بعضها عن بعض، وتتبادل فيما بينها قوى تسعى إلى تقريب بعضها من بعضها الآخر. وإن ضآلة قابلية السوائل للانضغاط تجعلنا نقبل بأن جزيئاتها يكاد يمس بعضها بعضاً.

لنحسب بالتقريب أبعاد الحيز الذي يواجد فيه الجزيء الفعلي الواحد من الماء. إن حجم المول من الماء 18cm^3 تقريباً ومن ثم فإن نصيب الجزيء الواحدة من الحجم الإجمالي هو $\frac{18}{6.02\text{x}10^{23}}\ \text{cm}^3$، فإذا اعتبرنا هذا الحجم مكعباً ضلعه l يكون :

$$l = \sqrt[3]{\frac{18}{6.02x10^{23}}} = 3.1 \times 10^{-8} cm = 3.1 A^{o}$$

(b) قوى التجاذب بين الجزيئات

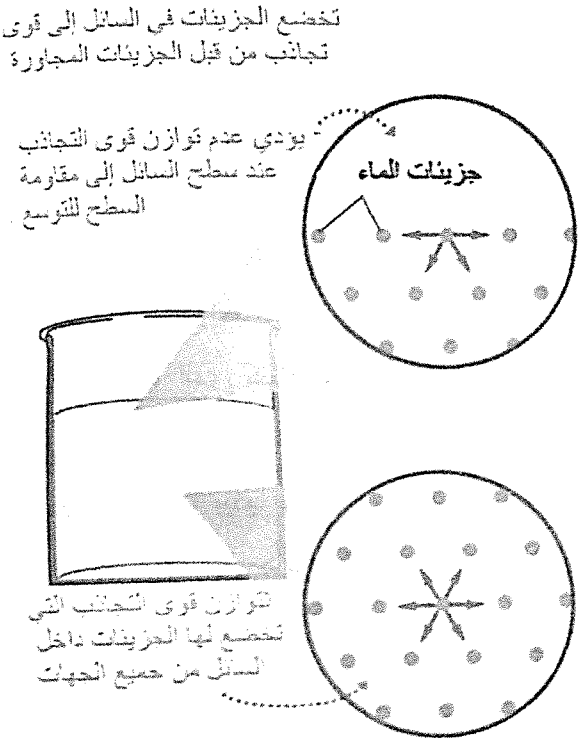
تتكون الجزيئات (مثل جزيء الماء) من بضع ذرات معتدلة كهربائياً عادة، وينطبق في الذرة مركز الشحنات الموجبة على مركز شحناتها السالبة، لكنه قد لا يتحقق ذلك عند تكوّن الجزيئات، فيكون لها عزم ثنائي قطب كهربائي، ولتقارب الجزيئات في السوائل، تنشأ عن العزوم المتبادلة فيما بينها قوى تجاذب تسمى قوى فاندرفالس، وهي التي تسبب تماسك السائل الواحد، كما تفسر بها ظاهرات التلاصق بين المواد المختلفة. إلّا أنه قد توجد جزيئات تختلف فيها قوى الترابط عن قوى فاندرفالس. وتختلف القوى باختلاف البعد l بين مراكز الجزيئات، ويبرهن أنها تتناسب مع $\frac{1}{l^6}$، في حالة قوى فاندرفالس، فهي ضخمة بين الجزيئات المتقاربة، وتتناقص بسرعة مع ازدياد l ويقبل عملياً أن التجاذب بين جزيئين يغدو مهملاً عندما يصبح البعد بين مركزيهما من رتبة مئة أنغستروم. ويسمى هذا البعد الحدي نصف قطر التأثير الجزيئي R.

التوتر السطحي

إن نصف قطر التأثير الجزيئي R أكبر بعشرات المرات من البعد الوسطي بين الجزيئين، ومِنْ ثمَّ فإن الجزيئات الواقعة ضمن كرة مركزها الجزيء M ونصف قطرها R هي وحدها التي تؤثر في هذا الجزيء.

فمن أجل الجزيء الذي تقع كرة تأثيره كلها ضمن السائل (الشكل1)، تتوازن قوى تجاذبه مع سائر الجزيئات الواقعة ضمن كرته، من كل الاتجاهات حوله، ومِنْ ثمَّ فمحصلتها معدومة.

أما إذا نظرنا جزيئاً عند السطح الحر للسائل (الشكل1) فإن القوى التي تنشأ نحوه من الجزيئات الواقعة ضمن المنطقة المخططة لا يكاد يقابلها شيء في المنطقة المناظرة لها من الكرة والواقعة فوق السائل. ولذلك فإن الجزيء القريب من السطح يخضع إلى محصلة قوى متجهة نحو عمق السائل، وتبلغ هذه المحصلة قيمتها العظمى من أجل جزيء يقع على سطح السائل. هذه المحصلات الناشئة في جوار سطح السائل وضمن سمك لا يزيد على 2R تسعى إلى تخفيض حجم السائل، ولاسيَّما تخفيض سطحه الخارجي إن أمكن ذلك.



الشكل1. أوضاع الجزيئات المختلفة في السائل.

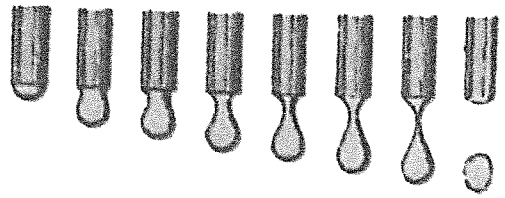
يبدو سطح السائل إذن وكأنه مغشى بطبقة تختلف بخصائصها عن سائر كتلة السائل، تغلِّف سطحه، فتبدو كأنها غشاء مرن مشدود، وتبدي اختلافاً في الكتلة الحجمية وفي قرينة الانكسار وفي الناقلية الكهربائية.

إن النظر إلى هذه الطبقة السطحية على أنها غشاء مشدود يعطيها معنى فيزيائياً يفسر به ميل سطح السائل إلى التقلص، ومن ثم إلى تخفيض حجم السائل. فإذا أحدث شق في غشاء مرن مشدود فإن شفتي الشق تتباعدان، ولا بد من تطبيق قوة لإعادة لأمهما. فإذا افترضنا عنصراً dl من طول الشفة وجب أن يطبق عليه عنصر قوة dF يقع في مستوى السطح، ويكون العنصر ناظمياً على الشفة وشدته متناسبة مع dl فنكتب:

$$dF = \gamma dl$$

حيث γ عامل التوتر السطحي.

ويتضح من هذه العلاقة أن المقدار γ هو نسبة قوة إلى طول، وهذا ما يكافئ أيضاً نسبة طاقة إلى سطح، ويعامل معاملة طاقة كامنة في السطح. وهذا المقدار يقاس في الجملة الدولية بالواحدة N/m ، أو J/m^2.



الشكل2. تشكل القطرة في نهاية أنبوب ضيق.

وقد صنعت مقاييس للتوتر السطحي تعتمد على ظاهرة تقلص سطح السائل بتأثير التوتر السطحي، بيد أننا سنعتمد على ظاهرة أخرى ناشئة من التوتر السطحي أيضاً، وهي تشكل القطرة في أسفل أنبوب ضيق. إن ميل التوتر السطحي لتقليص السطح الحر لقطرة يجعلها تقترب من الشكل الكروي؛ لأن الكرة هي أصغر سطح يمكن أن يحتوي كمية معينة من السائل. لكنه في حالة الأنبوب يؤدي كل من مقطع الأنبوب وحوافه إلى إبعادها عن الشكل الكروي حتى تقترب من الانفصال (الشكل2).

تدل دراسة القوى المؤثرة في القطرة على أن القطرة تبقى عالقة أثناء تشكلها مادام ثقلها أقل من القوة الناشئة عن التوتر السطحي، مضافاً إليها القوة الناشئة عن الفرق ما بين الضغط داخل القطرة والضغط الجوي خارجها.

فإذا كانت m كتلة القطرة لحظة انفصالها، وr نصف قطر الأنبوب الخارجي، وg تسارع الثقالة الأرضية، يبرهن نظرياً وتجريبياً، بتقريب معين، أن:

$$\gamma = \frac{mg}{3.8r} \qquad (1)$$

ويستنتج من العلاقة السابقة أنه يمكن المقارنة بين قيمتي التوتر السطحي لسائلين دونما حاجة إلى قياس نصف قطر الأنبوب إذا جرى القياس بالأنبوب نفسه.

فيكون:

$$\frac{\gamma_1}{\gamma_2} = \frac{m_1}{m_2} \qquad (2)$$

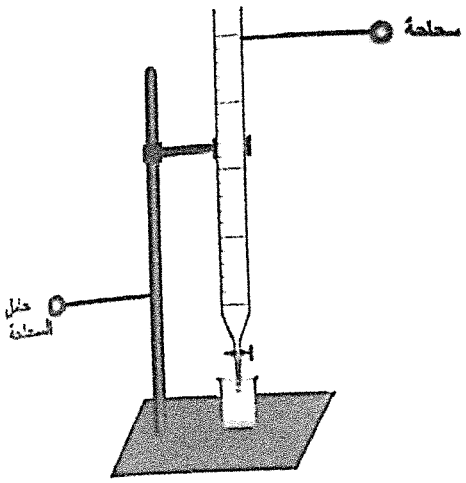
ويكفي عندئذ قياس كتلة القطرة الواحدة من كل سائل ومعرفة التوتر لأحدهما، لكي يستنتج التوتر السطحي للآخر.

وفي تطبيق آخر، يمكن أيضاً تحديد نصف قطر القطارة التي تنتج قطرات ذات كتلة معينة من سائل توتره السطحي معلوم. وهو تطبيق يفيد في صناعة الأدوية.

تتعلق دقة التجربة بإكمال تشكل القطرة، وعدم انفكاكها عن الأنبوب قبل ذلك، ويقتضي هذا أن يكون تشكلها أبطأ ما يمكن لأن العلاقة1 مستمدة من التوازن بين ثقل القطرة وقوة التوتر السطحي. بيد أننا سنختار مدة مناسبة لتشكل القطرة الواحدة وسقوطها، هي نحو ثلاثين ثانية.

هذا وتثبت الدراسة أن التوتر السطحي ينخفض بازدياد درجة الحرارة، ولكن هذا التغير ضئيل، ولا يظهر في قانون التوتر السطحي الذي قدمناه. على أننا سنسجل درجة الحرارة التي نجري فيها قياساتنا، ونفترض أنها ثابتة في جو المخبر طوال زمن التجربة.

3. الأدوات والأجهزة



الشكل3. جهاز قياس التوتر السطحي.

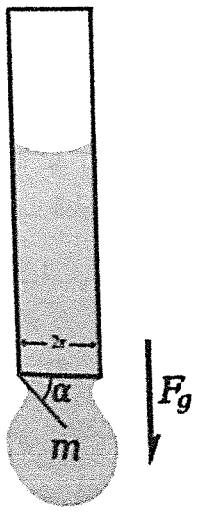
- جهاز قياس التوتر السطحي، وهو يتألف من قمع زجاجي يتصل بأنبوب زجاجي قطره من رتبة 0.5cm بوصلة مطاطية، ركبت عليها ضاغطة تسمح بالتحكم في انسياب السائل (الشكل3)، وهذا الجهاز مثبت بحامل يبقي الأنبوب شاقولياً.
- جفنتان لجمع القطرات وحوض لجمع السائل.
- ميزان حساس وعلبة سنجات.
- سائلان مجهولان هما: الماء المقطر ومحلول الصابون.

ويمكن الاكتفاء بالماء العادي في عملنا بدلاً من الماء المقطر نظراً لأن الميزان المستخدم لقياس كتلة القطرات لا يكشف في أغلب الأحيان الفارق بينهما.

بيد أن هذا الماء يجب أن يكون نظيفاً، وأن لا تمسه الأيدي، إذ يتغير التوتر السطحي تغيرات واسعة في مزيج من سائلين أو وجود دهنيات.

أما زمن تشكل القطرات فلا حاجة لقياسه بأعشار الثواني، بل يكتفي بالثواني الصحيحة، فتكفي ساعة اليد لهذه الغاية.

وأما قطر الأنبوب فيعطى قياسه للطالب، مقيساً بالقدم القنوية العشرية.



الشكل4. التوازن بين القطرة وقوة التوتر السطحي

4. مراحل العمل والخطوات التجريبية

بما أن هذه التجربة تعتمد اعتماداً أساسياً على تجربة الميزان الحساس، لذلك لا غنى فيها عن معرفة مايلي:

(a) طريقة المطالات الثلاثة لتعيين وضعية التوازن.

(b) تقدير الحساسية وفوائدها.

(c) طريقة الوزن المضاعف.

بعد مراجعة هذه الأمور في تجربة الميزان الحساس، قم بالخطوات الآتية:

1. رتب جدولاً كالآتي لإدراج نتائجك فيه:

نوع السائل	n	$M_1 kg$	$M_2 kg$	$M = M_1 - M_2 (kg)$	mkg	$\bar{r}$ (m)	$\gamma = mg/3.8\bar{r}$
الماء العادي							
الوسطي							
محلول الصابون							
الوسطي							

قد يتوفر في المختبر ميزان رقمي وبالتالي يمكن الحصول على الأوزان وارتياباتها من كتيب الميزان.

2. املأ القمع بالماء. افتح الضاغطة حتى يمتلئ الأنبوب الزجاجي بالماء تماماً. ولكي تتخلص من الفقاعات الهوائية استعن بإصبعك لسد أسفل الأنبوب حتى ينتهي خروج الفقاعات، ثم أغلق الضاغطة، ثم أبعد إصبعك عنه.

3. استخدم الحوض لجمع الماء المتقاطر واضبط فتح الضاغطة وإغلاقها حتى يتقاطر السائل بطيئاً بحيث يستغرق تشكل القطرة الواحدة وسقوطها نحو ثلاثين ثانية.

أما إذا وجدت تفاوتاً ملحوظاً في الزمن الفاصل بين سقوط قطرتين متتاليتين فيحتمل أن يكون مرد ذلك بقاء فقاعات هوائية في الوصلة المطاطية أو وجود شوائب عالقة بجدار الأنبوب فحاول التخلص منها.

عوّض ما نقص من ماء القمع.

لا حظ درجة حرارة الجو في المخبر على الميزان الحراري المعلق على الجدار ولتكن T.

4. ضع الجفنة السابقة تحت الأنبوب واجمع فيها عدداً n من القطرات لا يقل عن 20 قطرة. انتبه إلى التساوي التقريبي في الزمن الفاصل بين انفكاك قطرتين متتاليتين.

5. أوجد كتلة القطرات باستخدام العلاقة:

$$M = (M_1 - M_2)kg$$

حيث M_1 كتلة الجفنة والقطرات بداخلها، M_2 كتلة الجفنة فارغة. فتكون كتلة القطرة الواحدة:

$$m = \frac{M}{n}$$

6. احسب عامل التوتر السطحي للماء من العلاقة (2) واستعمل لذلك واحدات الجملة الدولية.

7. أعد التجربة مرة أخرى للماء من أجل عدد مختلف من القطرات وليكن25 قطرة. وأدرج النواتج في الجدول نفسه لسهولة المقارنة.

8. إذا وجدت قيمة عامل التوتر السطحي متقاربة بين التجربتين فاحسب قيمته الوسطية. أما إذا كانت قيمته متفاوتة فيجب إجراء تجربة ثالثة مرجحة وحساب الوسطي من النتيجتين المتقاربتين.

9. أعد خطوات العمل السابقة من أجل محلول الصابون مستخدماً الجهاز السابق أو الجهاز الآخر المخصص لمحلول الصابون إن وجد. آخذاً في الحسبان ما ورد في الفقرة السابقة.

أدرج النتائج في الجدول السابق نفسه لسهولة المقارنة.

10. احسب الارتياب النسبي والارتياب المطلق في γ بطريقة التفاضل اللغارتمي لإحدى تجاربك، لكل من السائلين وقدم نتيجتك بالصيغة:

$$\gamma = (\bar{\gamma} \pm \Delta\gamma) N/m$$

11. تأكد من أن الأنبوب الزجاجي الذي استخدمته في تجارب السائلين له مقطع واحد. وفي هذه الحالة تحقق من صحة القانون (2).

مكتبة A to Z