كلية العلوم

القسم : علم الحياة

السنة : الثالثة

المادة : فيزياء حيوية

المحاضرة : الاولى/عملي/د.مروى

{{ 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

لزوجة السائل

The Viscosity of Liquids

اللزوجة هي الاحتكاك الداخلي الذي ينشأ عند حركة طبقات السائل المتجاورة بالنسبة لبعضها بعضها، والذي يعتمد على الفعل المتبادل بين الجزيئات. يعبر قانون نيوتن عن علاقة قوى الاحتكاك الداخلي بالعوامل المختلفة، وبأخذ رياضيا الشكل التالي:

$$F = \eta \frac{du}{dx} s \qquad (\text{III} - 1)$$

حيث F قوى الاحتكاك مقدرة بالنيوتن، s المساحة الجانبية للطبقة المتحركة مقدرة بالـ m^2، du/dx تدرج السرعة Viscosity Gradient، حيث du الفرق بين سرعتي طبقتين تبعدان عن بضعهما البعض مسافة dx (اتجاه x عمودي على u)، η معامل اللزوجة الحركية Dynamic Viscosity Coefficient، والتي تدعى اللزوجة للتسهيل.

تكتب المعادلة (III-1) بالشكل:

$$\eta = \frac{F\, dx}{s\, du}$$

ومن ثم فواحدة قياس اللزوجة هي:

$$\frac{\text{N.m}}{\text{m}^2.\text{m/s}} = \text{N.s.m}^{-2} = \text{Pa.s}$$ (باسكال. ثانية)

تقاس اللزوجة في الجملة السغثية بالبواز $(\text{g.cm}^{-1}.\text{s}^{-1})$، وهو يساوي 0.1 Pa.s

III–1. طرق قياس لزوجة سائل Methods of Measuring Liquid Viscosity

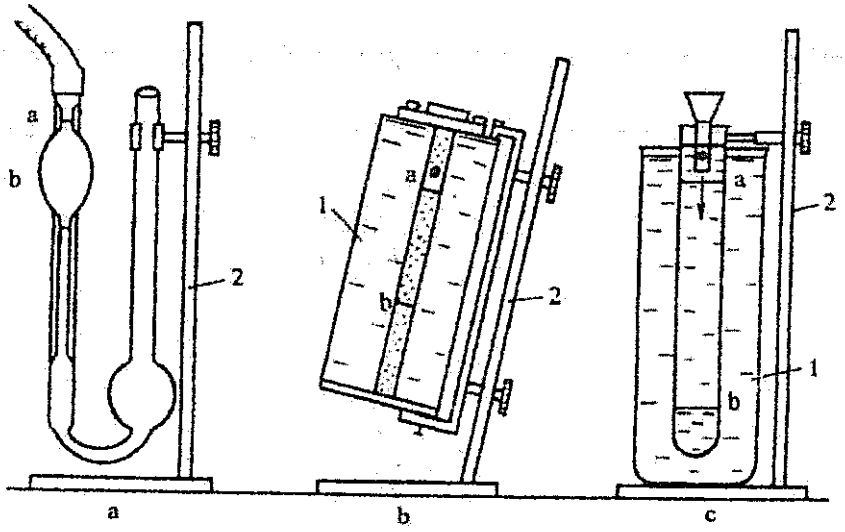
توجد طرق عدة لتحديد اللزوجة، وأكثرها انتشاراً الطريقة الشعرية Capillary Method، وطريقة الكرة الساقطة Faling Ball Method.

الطريقة الشعرية:

تُستخدم هذه الطريقة في حالة السوائل قليلة اللزوجة مثل الماء – الميتانول – الايتانول... إلخ، ويدعى الجهاز المستخدم لقياس اللزوجة، مقياس اللزوجة Viscosimeter. ويُعرض في الشكل (III-1a) نموذج بسيط عن مقياس اللزوجة الشعري، وهو على شكل أنبوب كالحرف U. حيث يوجد انتفاخ في فرعه الأيسر، فوقه وتحته إشارتان a و b. ومتصل من الأسفل بأنبوب شعري، كما يحوي الفرع الأيمن في أسفله انتفاخاً. يصب السائل الذي ستقاس لزوجته في الفرع الأيمن، حتى امتلاء الانتفاخ السفلي، ويُمص السائل بواسطة أجاصة مطاطية أو بالتخلية، إلى الفرع الأيسر، بحيث يصل مستوى السائل إلى ما فوق الإشارة a. ثم يُحدد بواسطة ميقاتية، الزمن اللازم ليقطع مستوى السائل المسافة من الإشارة العليا a إلى الإشارة السفلى b. تستخدم في حالة الجريان الصفيحي Laminar Flow للسائل في الأنابيب الشعرية، معادلة بوازيل، التي يمكن استنتاجها من معادلة نيوتن، وتأخذ معادلة بوازيل الشكل التالي:

$$\eta = \frac{\pi r^4 P t}{8 V \ell} \qquad (III-2)$$

حيث V حجم السائل الذي يعبر الأنبوب الشعري (حجم السائل المحصور بين الإشارتين a و b)، r نصف قطر الأنبوب الشعري، P الضغط الذي يجري السائل تحت تأثيره، t زمن جريان السائل (بين الإشارتين a و b)، ℓ طول الأنبوب الشعري.



الشكل (III – 1)

مقاييس لزوجة: a ملزاج شعري، b ملزاج هيلر ذو كرة ساقطة، c ملزاج ذو كرة ساقطة بسيط.

حرصاً على تفادي الصعوبات في قياس نصف قطر الأنبوب الشعري وطوله والكميات الأخرى في المعادلة (III – 2)، يُلجأ إلى تحديد اللزوجة النسبية Relative Viscosity، أي نسبة لزوجة السائل المدروس إلى لزوجة سائل قياسي لزوجته معروفة. حيث يؤخذ عادة الماء المقطر كسائل قياسي. تحدد اللزوجة النسبية من زمني انسياب حجمين متساويين من السائل المقيس والسائل القياسي عبر الأنبوب الشعري ذاته، فعند استخدام الملزاج نفسه تعطى لزوجة الماء بالعلاقة:

$$\eta_o = \frac{\pi r^4 P_o t_o}{8V\ell} \qquad (III - 3)$$

ولزوجة السائل المدروس بالعلاقة:

$$\eta_x = \frac{\pi r^4 P_x t_x}{8V\ell} \qquad (III\text{-}4)$$

بقسمة المعادلة (III -3) على المعادلة (III – 4) طرفاً على طرف نجد:

$$\frac{\eta_o}{\eta_x} = \frac{P_o t_o}{P_x t_x}$$

بما أن السائلين كليهما ينسابان تحت تأثير ضغط ثقلهما، فإن نسبة الضغطين تساوي نسبة الكتلتين الحجميتين، ومن ثم تأخذ المعادلة السابقة الشكل التالي:

$$\frac{\eta_o}{\eta_x} = \frac{d_o t_o}{d_x t_x}$$

ومن ثم:

$$\eta_x = \eta_o \frac{d_x t_x}{d_o t_o} \qquad (III - 5)$$

تحدد الكميات d_x, t_o, t_x بالتجربة عند درجة حرارة ثابتة، أما الكميتان d_o, μ_o فتؤخذان من المراجع عند درجة الحرارة ذاته، تعرض في الملاحق A_5, A_4, A_3 قيم اللزوجة للماء، وللمحاليل المائية للغليسرين، وبعض السوائل الهامة، عند درجات حرارة مختلفة.

<u>طريقة الكرة الساقطة:</u>

عند سقوط كرة في وسط سائل، تؤثر فيها قوتان، هما القوة المرسبة، وهي تساوي وزن الكرة مطروحاً منه دافعة أرخميدس، وقوى المقاومة اللزجة. تُعطى القوة المرسبة بالعلاقة:

$$F_1 = \frac{4}{3}\pi r^3 (d - d_\ell) g \qquad (III - 6)$$

حيث r نصف قطر الكرة، d كتلتها الحجمية، d_ℓ الكتلة الحجمية للسائل الذي تسقط فيه الكرة، g تسارع الجاذبية الأرضي.

أما قوى المقاومة اللزجة، فتعطى وفقاً لستوكس بالعلاقة:

$$F_2 = 6\pi r \eta u$$

حيث η لزوجة الوسط السائل، u سرعة حركة الكرة في الوسط.

تتسارع الكرة في البداية تحت تأثير القوة المرسبة الثابتة، وتزداد بالتدريج قوى المقاومة (المتناسبة مع السرعة u)، وعندما تغدو القوتان متساويتين، تسير الكرة بسرعة حدية ثابتة، ويمكن عندها كتابة:

$$6\pi r\eta u_c = \frac{4}{3}\pi r^3(d-d_\ell)g \Rightarrow \eta = \frac{4}{18}\frac{(d-d_\ell)g}{u_c}$$

حيث $u_c = \frac{h}{t}$ السرعة الحدية الثابتة للكرة، وتساوي المسافة المقطوعة h مقسومة على الزمن t، ومن ثم:

$$\eta = \frac{2r^2g(d-d_\ell)}{9u_c} = \frac{2r^3g(d-d_\ell)t}{9h} = \frac{2r^2g(d-d_\ell)}{9v} \qquad (\text{III}-7)$$

وفي حال استخدام كرة محددة ومقياس لزوجة محدد، يمكن كتابة:

$$\eta = K(d-d_\ell)t \qquad (\text{III}-8)$$

حيث K الكميات الثابتة من أجل ملزاج ثابت في المعادلة (III – 7).

عند إجراء التجربة من أجل سائل عياري، يمكن كتابة:

$$\eta_o = K(d-d_{\ell,o})t_o \qquad (\text{III}-9)$$

حيث $d_{\ell,o}$ الكتلة الحجمية للسائل العياري، t_o الزمن اللازم لتقطع الكرة الساقطة المسافة نفسها في السائل العياري، η_o لزوجة السائل العياري.

بتقسيم المعادلة (III – 8) على المعادلة (III – 9) طرفاً على طرف نجد:

$$\frac{\eta}{\eta_o} = \frac{(d-d_\ell)t}{(d-d_{\ell,o})t_o} \qquad (\text{III}-10)$$

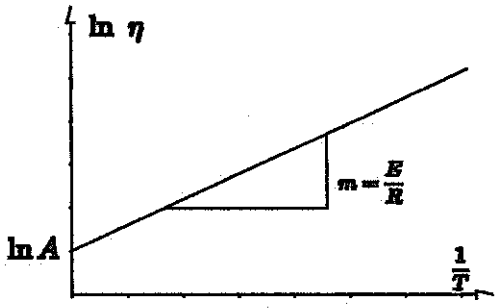
وهكذا بقياس الزمن اللام لتقطع الكرة المسافة نفسها في السائل المدروس، والسائل العياري t و t_o، ومعرفة الكتلة الحجمية للكرة d، وللسائل المدروس d_ℓ، وللسائل العياري $d_{1,o}$، ومعرفة لزوجة السائل العياري، يمكن تحديد لزوجة السائل المدروس η.

تستخدم علاقة لزوجة سائل بدرجة حرارته لتحديد طاقة تفعيل الجريان، وتستخدم من أجل ذلك المعادلة:

$$\eta = Ae^{E/RT}$$

حيث A و E ثابتات يعتمدان على طبيعة السائل المدروس، ويعبر الثابت E عن طاقة تفعيل الجريان، وتكتب المعادلة السابقة بالشكل:

$$\ln \eta = \ln A + \frac{E}{R}\left(\frac{1}{T}\right) \qquad (\text{III} - 11)$$



يتضح من هذه المعادلة أنّ العلاقة خطية بين $\ln \eta$ و $1/T$. يُنشئ الطالب الخط الموافق، من أجل قيم اللزوجة عند درجات الحرارة 15°C, 20°C, 2°C، ويحسب من ميل هذا الخط، قيمة E/R، حيث $R = 8.31\ \text{J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ، ومن ثم تحديد قيمة E مقيسة بالجول.

يدعى مقلوب اللزوجة، السيولة، ويرمز للسيولة بـ Φ، أي أن:

$$\Phi = \frac{1}{\eta} \qquad (\text{III} - 12)$$

تحسب السيولة لمزيج، في حالة السوائل غير المترابطة، بالمعادلة:

$$\Phi = \sum_i \Phi_i . x_i \qquad (\text{III} - 13)$$

حيث Φ_i سيولة المكون، و x_i كسره المولي في المزيج.

تأخذ هذه المعادلة في حالة المزاج الثنائية، الشكل التالي:

$$\Phi = x_1.\Phi_1 + x_2.\Phi_2 = x_1.\Phi + (1 - X_1)\Phi_2 \qquad (III - 14)$$

تعرض في الملحقين A_3 وA_4 قيم اللزوجة للماء ومحلات عضوية هامة عند درجات حرارة مختلفة، كما تعرض في الملحق A_5 قيم اللزوجة لمحاليل مائية للغليسرين ذات تراكيز مختلفة عند درجات الحرارة 20°C و 25°C و 30°C.

<u>طريقة العمل في الملزاج الشعري:</u>

يصب الماء والمادة المنظفة في الفرع الأيمن العريض للملزاج، وبعد غسله جيداً بالماء المقطر وتفريغه، يصب في الفرع ذاته بواسطة ماصة كمية محدودة من الماء المقطر ويغمر الملزاج في المنظم الحراري عند الدرجة المرغوبة لمدة لا تقل عن عشر دقائق، ويبقى فيه حتى نهاية التجربة، ويتعين أن يكون الفرع الأيسر موصولاً بأنبوب مطاطي، يوصل الأنبوب المطاطي بالإجاصة المطاطية (أو مخلية الهواء)، ويُمص الماء المقطر إلى الفرع الأيسر حتى مستوى أعلى من الإشارة العليا a. يُسمح بعد ذلك للسائل بالهبوط تحت تأثير وزنه الذاتي ماراً بالأنبوب الشعري، ويُقاس الزمن اللازم ليقطع مستوى الماء المسافة بين الإشارتين a وb. تكرر هذه العملية عدة مرات، ويُحسب الزمن المتوسط لسيلان الماء المقطر. يُفرغ الملزاج من الماء، ويُصب فيه بالماصة الكمية ذاتها من السائل المدروس، ويُنظم حرارياً عند الدرجة ذاتها، ويُمص السائل المدروس إلى الفرع الأيسر من الملزاج، ويُقاس الزمن اللازم لعبور مستوى السائل المسافة بين الإشارتين a وb، وتكرر التجربة عدة مرات، ويُحسب الزمن المتوسط. يُجرى الحساب وفقاً للمعادلة (III – 5)، حيث يتعين أن تكون الكميتان η_o و ρ_o معلومتين (تؤخذان من الجداول عند الدرجة المدروسة)، وأن تقاس، أو تكون معلومة الكمية ρ_x في الشروط نفسها.

<u>طريقة العمل في الملزاج ذي الكرة الساقطة (طريقة ستوكس):</u>

يستخدم هذا الملزاج لقياس لزوجة السوائل العالية اللزوجة كالغليسرين، أو المحاليل العالية اللزوجة كمحلول الجيلاتين في الماء 0.5%. يتألف الجهاز من أنبوب اختبار طويل أو أنبوب زجاجي مغلق من أسفله جيداً، وقد وضع فيه قمع زجاجي مناسب لتوجيه الكرة الزجاجية وفقاً لمحور الأنبوب، يُغمر الأنبوب في منظم حراري (كأس كيميائي طويل مملوء بالماء)، ويُغمر إلى جواره في المنظم ميزان حرارة (الشكل III–1c). ينظم السائل المدروس (الغليسرين) حرارياً عند الدرجة المرغوبة (20°C مثلاً) لمدة لا تقل عن عشر دقائق، بحيث يكون الأنبوب مملوءاً بالغليسرين إلى ما فوق الإشارة العليا، وتحت مستوى السائل بما لا يقل عن 2 cm. تمسك كرة زجاجية مناسبة، التي يفضل أن تكون منظمة حرارياً عند درجة الحرارة ذاتها، بإصبعين عند فتحة الأنبوب، وتترك لتسقط فيه، ويحدد بواسطة ميقاتية، الزمن اللازم لتقطع الكرة المسافة بين الإشارتين. سنعتبر أن الغليسرين عند الدرجة 20°C هو السائل العياري. ومن ثم يكون زمن سقوط الكرة بين الإشارتين هو t_o، علماً بأن لزوجته معروفة وتساوي 1495 سنتي بواز، وكتلته الحجمية $d_{l,o} = 1.260\ g\ cm^{-3}$، وسنعتبر أن الكتلة الحجمية للكرة الزجاجية من أجل التجارب الطلابية، $d = 2.7\ g\ cm^{-3}$.

تكرر التجربة عند درجتي الحرارة 25°C و 30°C، مع العلم أن الكتلتين الحجميتين للغليسرين عند هاتين الدرجتين، تساويان على الترتيب $1.257\ g\ cm^{-3}$ ، $1.255\ g\ cm^{-3}$، تكرر التجربة من أجل مزيج غليسرين – ماء ذي التركيز 95% وزناً من الغليسرين عند الدرجة 20°C، مع العلم أن كتلته الحجمية تساوي $1.247\ g\ cm^{-3}$

المهام المطلوبة:

1–تحديد لزوجة رابع كلور الكربون، والبنزن، وحمض الخل، أو غيرها من المحلات عند الدرجة 20 °C بالطريقة الشعرية.

2–تحديد لزوجة الماء عند درجات الحرارة 20°C و25°C و 30°C و35°C بالطريقة الشعرية آخذين بالاعتبار أن لزوجة الماء عند الدرجة 20°C تساوي 1 سنتي بواز

وكتلتها الحجمية عند الدرجات المذكورة تساوي على الترتيب 0.9982 و 0.9965 و 0.9952 و 0.9937. وتحديد طاقة تفعيل الجريان اللزج للماء E باستخدام المعادلة (III – 11).

3-تحديد لزوجة الغليسرين بطريقة الكرة الساقطة عند درجتي الحرارة 30°C, 25°C باستخدام المعادلة (III – 10).

4-تحديد طاقة تفعيل الجريان اللزج للغليسيرين بطريقة الكرة الساقطة، وباستخدام المعادلة(III–11).