كلية العلوم

القسم : **الكيمياء**

السنة : **الاولى**

المادة : فيزياء عامة٢

المحاضرة : الثالثة/عملي/

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

2025

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

مخبر الفيزياء العامة (2) جامعة طرطوس

كلية العلوم: قسم الكيمياء السنة الأولى

تجربة اللزوجة

الغاية من التجربة:

قياس عامل لزوجة سائل بالاعتماد على سقوط كرة فيه (طريقة ستوكس).

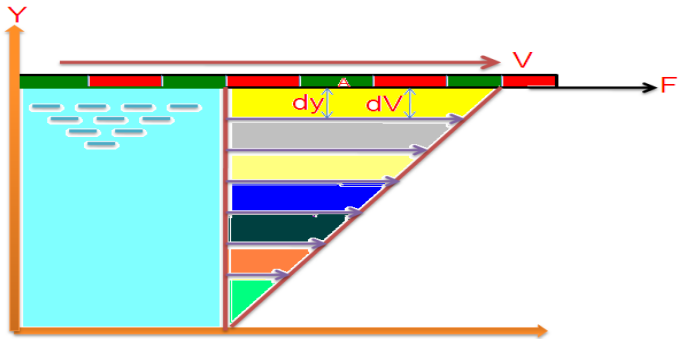
الموجز النظري:

إذا سكبنا كمية من الزيت، وأخرى من الغليسيرين، وثالثة من الماء على مستوى أفقي، نلاحظ اختلافاً في قابلية كل سائل من السوائل الثلاثة على الحركة والانسياب، حيث نجد أن الماء يستجيب بسهولة لتأثير القوة التي تحركه، في حين أن الغليسيرين يستجيب بصعوبة، ويكون بطيئاً في التدفق. تسمى الخاصة التي تميز السائل من حيث استجابته للحركة (درجة انسيابه) باللزوجة، وتنشأ عن قوى الاحتكاك الداخلي بين طبقات السائل (جزيئات السائل الحقيقي)، وكلما زادت قيمة هذا الاحتكاك، زادت لزوجة السائل، وينتج عن هذا الاحتكاك قوة مقاومة لحركة السائل تحد من قدرته على التدفق والانسياب بحرية.

يمكن تعريف ظاهرة اللزوجة بأنها الممانعة التي تبديها طبقات السائل للحركة، أو بمعنى آخر تعرّف بأنها عبارة عن قوى الاحتكاك الداخلي المتبادلة بين جزيئات السائل.

لندرس الآن حركة سائل تحت تأثير قوى احتكاكه الداخلي، سنعتبر في هذه الحالة أن السائل مكون من مجوعة من الطبقات التي تتحرك بجانب بعضها بعضاً بشكل متوازي حيث تزداد سرعة جريانها باتجاه محور الأنبوب (مركزه)، وتتناقص باتجاه جدرانه كما في الشكل (1)، وبالتالي فإن تدرج السرعة هو الفرق في السرعة بين طبقات السائل، ومن أجل التغير المنتظم لسرعة جريان السائل في اتجاه نصف قطر الأنبوب (r) مثلاً، يكون لدينا:

$$\overrightarrow{\text{grad v}} = \frac{d_v}{d_r}$$



الشكل (1)

نرمز لقوة الاحتكاك الداخلي ب (F)، ولسرعة الطبقة الأولى ب(v_1)، ولسرعة الطبقة الثانية (v_2) وهكذا، وللسطح المشترك ب (S)، ولقد وجد نيوتن أن قوة الاحتكاك الداخلي للطبقتين السائلتين المتوازيتين والمتحركتين بسرعتين مختلفتين، ترتبط بسطح التماس، وبطبيعة السائل وبتدرج السرع $\frac{d_v}{d_r}$، وتعطى هذه القوة بالعلاقة التالية:

$$\frac{f}{s} = \xi \frac{d_v}{d_r}$$

ξ : تمثل عامل اللزوجة، وهي تساوي قوة الاحتكاك الداخلي المؤثرة على وحدة المساحة من سطح الطبقة ومن أجل تدرج يساوي الواحد في السرعة.

وبناءً على ذلك يمكن القول إن اللزوجة خاصة مميزة للسائل يقاوم بها الاجهادات الناتجة عن تطبيق قوة عليه موازية لسطحه، وبالتالي فهي تحاول مقاومة التغيرات في شكل السائل.

يقاس عامل اللزوجة بواحدة في الجملة الدولية (النظام العالمي للوحدات):

$$(P_a\ sec = \frac{N\ Sec}{m^2})\ Or\ (Kg\ m^{-1}\ sec^{-1})$$

ويقاس في الجملة السغثية (c.g.s):

$$(Poise = \frac{dyne\ Sec}{Cm^2})\ Or\ (g\ Cm^{-1}\ sec^{-1})$$

وهي مستخلصة من العلاقة التي يمكن كتابتها على النحو التالي:

$$\xi = \frac{F}{S} d_r / d_V$$

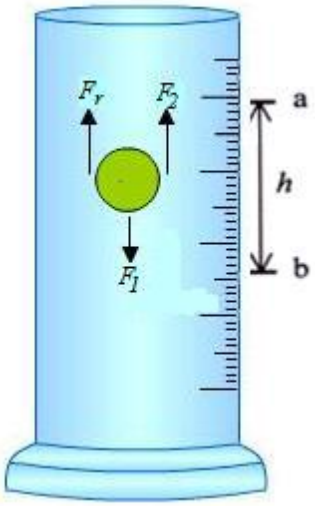
العوامل المؤثرة على عامل اللزوجة:

- درجة الحرارة: تتناقص قيمة عامل اللزوجة في السوائل عند رفع درجة حرارتها، في حين تزداد قيمته في الغازات عند رفع درجة حرارتها.
- الضغط: إن عامل اللزوجة مستقل عن الضغط من أجل الضغوط العادية، لكن عند تطبيق ضغوط عالية فإن قيمته تزداد بشكل كبير جداً في السوائل والغازات على حد سواء.

تعيين عامل اللزوجة من خلال تطبيق قانون ستوك (Stock):

تستخدم هذه الطريقة لقياس لزوجة سائل يتمتع بلزوجة كبيرة نسبياً، وتعتمد هذه الطريقة بشكل أساسي على قياس سرعة سقوط كرات صغيرة من مادة صلبة في سائل.

عند سقوط كرة نصف قطرها (r) وكثافتها (ρ) بشكل حر تحت تأثير ثقلها فقط في حوض يحوي سائل ما، ذو كثافة (ρ') ستخضع هذه الكرة لعدة قوى كما هو موضح بالشكل (2)، وهي:



الشكل (2): القوى المؤثرة على الكرة في أنبوب مقياس اللزوجة.

1) قوة ثقل الكرة F_1 وتكون متجهة نحو الأسفل، وهي تساوي:

$$F_1 = mg \quad (1)$$

ترتبط كتلة الكرة بكثافتها بالعلاقة الآتية: $m = \rho V$

حيث ρ: تمثل كثافة مادة الكرة، V: تمثل حجم الكرة.

وبالتعويض في العلاقة (1) نجد أن: $F_1 = \rho V g$

وبالتعويض عن V بما يساويها نجد:

$$F_1 = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g$$

2) قوة دافعة أرخميدس F_2 التي تساوي ثقل السائل المزاح وتعطى بالعلاقة:

$$F_2 = \rho' V g \quad (2)$$

حيث ρ' : تمثل كثافة السائل (أو الغاز في حالة سقوط الكرة في وسط غازي).

وبالتعويض أيضاً عن V في العلاقة (2) بما يساويها نجد:

$$F_2 = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho' g$$

3) وكما أن الكرة أثناء حركتها ضمن السائل بسرعة ما V ستخضع لقوة احتكاك F_r وهي قوة ممانعة السائل لحركة الكرة التي تنشأ عن خاصية اللزوجة. وتعمل هذه القوة باتجاه معاكس لاتجاه الحركة، أي نحو الأعلى. لقد أثبت ستوكس أن هذه القوة تتناسب طرداً مع كل من نصف قطر الكرة r، وطرداً مع لزوجة السائل، أي مع η، والسرعة الحدية v، وتعطى بالعلاقة الآتية:

$(F_r = 6\,\pi\,\eta\,r\,v)$ والذي يعرف بقانون ستوكس.

إن القوة الكلية التي تخضع لها الكرة الساقطة هي محصلة القوى السابقة، وبالاعتماد على قانون نيوتن الثاني نكتب:

$$\overrightarrow{F_1} + \overrightarrow{F_2} + \overrightarrow{F_r} = m\vec{a}$$

إذا ما أخذنا محوراً منطبقاً على محور الثقالة الأرضية وقمنا بإسقاط العلاقة السابقة، فستكون كل من القوة الناتجة عن اللزوجة ودافعة أرخميدس مخالفة لجهة هذا المحور، بينما تكون القوة الناتجة عن ثقل الكرة موافقة لجهته وهي موجبة، كما أنه عند لحظة سقوط الكرة في السائل ستكون متسارعة وبالتالي ينتج لدينا:

$$F_1 - F_2 - F_r = m\vec{a}$$

وبالتعويض عن $F_1 . F_2 . F_r .$ بما يساويها نجد:

$$\frac{4}{3}\pi\, r^3(\rho - \rho')g - 6\pi\xi r v = m\vec{a}$$

لكن سرعتها ستصل بعد فترة قصيرة إلى قيمة حدية ثابتة ويصبح تسارعها معدوماً وتصبح محصلة القوى المؤثرة على الكرة معدومة وتتحول العلاقة إلى الشكل الآتي:

$$\frac{4}{3}\pi r^3(\rho-\rho')g-6\pi\xi rv=0 \qquad (3)$$

حيث تعبّر (**V**) في العلاقة الأخيرة عن السرعة الحدية الثابتة وقد يرمز لها أحياناً لها ب V_0 ويحسب عامل اللزوجة من العلاقة (3) وهو يساوي إلى:

$$\xi=\frac{2r^2(\rho-\rho')g}{9V_0} \qquad (*)$$

يتضح من العلاقة السابقة سهولة حساب عامل اللزوجة وفقاً لقانون ستوكس إلا أنه يجب التحقق قدر الإمكان من الشروط المناسبة لتطبيق هذا القانون.

شرط التجربة

إن أحد أهم هذه الشروط هو أن يكون تأثير جدران وقاع الأنبوب الحاوي على السائل مهمل على القانون السابق، ويتحقق ذلك إلى حد معقول عند استخدام كمية كبيرة من السائل توضع في وعاء عميق.

يمكن للكرة التي تسقط في السائل عبر فوهة الوعاء أن تصل إلى سرعتها الحدية بعد قطعها مسافة من سطح السائل قبل النقطة (A)، حيث ستكون سرعتها بعد ذلك ثابتة (سرعة حدية) وانطلاقاً من ذلك أصبح بالإمكان حساب عامل اللزوجة للسائل وذلك من خلال تحديد نقطة أخرى (B) في الوعاء تقع أسفل (A) باتجاه قعره، وحساب الزمن الذي تستغرقه الكرة لقطع المسافة المحددة بشكل تام من A إلى B بوساطة ميقاتية (تسقط الكرة بسرعة حدية بين A و B وهي تساوي $\frac{AB}{t}$) وبوساطة قدم قنوية يمكن قياس نصف قطر الكرة الصغيرة التي تسقط في السائل وحساب كثافتها ρ من العلاقة $(\rho=\frac{m}{v})$

تجري التجربة في درجة حرارة ثابتة، وذلك نتيجة التأثير الكبير للحرارة الذي يؤدي إلى انخفاض كبير في لزوجة السوائل عند ارتفاعها.

طريقة العمل:

الأجهزة والأدوات:

١. اسطوانة أو وعاء زجاجي مدرج ويمكن أن يكونا غير مدرجين.
٢. سائل لزج يطلب قياس لزوجته بطريقة ستوكس.
٣. مقياس كثافة لقياس كثافة السائل ويمكن أن تكون معطاة قبل بدء العمل التجريبي.
٤. ميقاتية.
٥. مسطرة مدرجة بالميليمترات.
٦. كرات مختلفة الأقطار من مواد محددة كالحديد أو الرصاص أو .....
٧. قدم قنوية أو ميكرومتر لقياس نصف قطر الكرات.
٨. ميزان حرارة.

خطوات العمل:

١. يوضع السائل اللزج المطلوب حساب عامل لزوجته في الأسطوانة المدرجة، ويوضع فيه مقياس الكثافة لتحديد كثافته ρ' وإن لم تتوفر هذا المقياس تعطى من قبل المشرفين على المخبر.
٢. تحدد نقطتان A و B على الاسطوانة حيث تقع (A) في الجزء العلوي من الاسطوانة وعلى مسافة من السطح العلوي للسائل كافية لكي تبلغ الكرة سرعتها الحدية قبل وصولها إلى (A) بينما تقع (B) بالقرب من قاع الأسطوانة وتحدد المسافة بين النقطتين بوساطة المسطرة إن لم تكن الاسطوانة مدرجة.
٣. تؤخذ إحدى الكرات ويحدد نصف قطرها (r) بوساطة القدم القنوية أو الميكرومتر ثم نسقطها في السائل المراد قياس لزوجته وتشغل الميقاتية عند لحظة مرور الكرة من النقطة (A) وتوقف عند وصولها للنقطة (B) وبذلك يتحدد الزمن الذي تستغرقه لقطع المسافة بين النقطتين (A , B).

ملاحظة:

- يجب إسقاط الكرة من نقطة قريبة جداً من سطح السائل في الاسطوانة وبدون سرعة ابتدائية.
- يجب التأكد أن حركة الكرة أصبحت منتظمة عند مرورها بالنقطة (A).

4) تحسب قيمة السرعة الحدية V_0 عن طريق تقسيم المسافة المقطوعة بين النقطتين (A , B) والتي ترمز لها ب (L) على الزمن الذي تستغرقه الكرة لاجتياز هذه المسافة.

5) تطبق العلاقة (*) لحساب عامل اللزوجة ξ مع الإشارة إلى أنه تعطى على الغالب كثافات كرات المعادن المستخدمة، على سبيل المثال:

إن كثافة مادة الرصاص تساوي ($11,39\ g/Cm^3$) والفولاذ ($7,8\ g/Cm^3$).

6) استنتج علاقة الارتياب النسبي المرتكب في قياس عامل اللزوجة ξ، ثم احسب الارتياب النسبي المئوي والارتياب النسبي المطلق.

إعداد الأستاذ:

بهاء سليمان