كلية العلوم

القسم : الفيزياء

السنة : الثانية

المادة : ترموديناميك

المحاضرة : الثانية/عملي/

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

كلية العلوم ، كلية الصيدلة ، الهندسة التقنية

٦

2026

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

قياس عامل اللزوجة لسائل ما

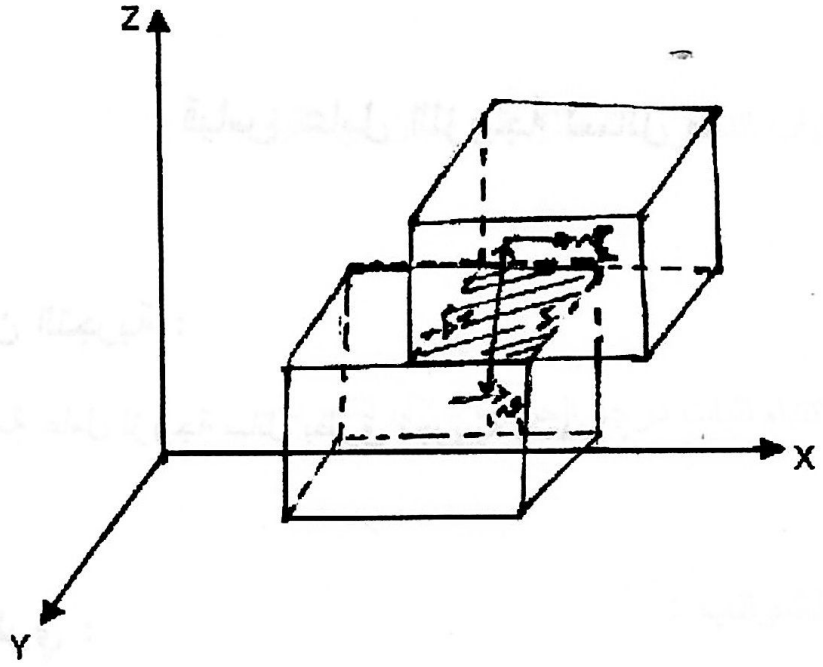
الغاية من التجربة :

حساب قيمة عامل لزوجة سائل بطرق تجريبية متعددة .

تمهيد نظري :

تعرف اللزوجة بأنها عبارة عن قوى الاحتكاك الداخلي المتبادلة بين جزيئات السائل ، وتظهر هذه القوى بين طبقات السائل التي تتحرك بسرع مختلفة أثناء جريانه نتيجة للحركة العشوائية لجزيئاته التي تتبدل مواضعها في الطبقات المتجاورة، ويؤدي ذلك إلى إنقاص سرعة الطبقات ذات السرع الكبيرة وزيادة سرعة الطبقات ذات السرع المنخفضة . وهذا الأمر هو الذي يولد قوى الاحتكاك الداخلي ، الناتجة عن التأثيرات المتبادلة بين جزيئات السائل المعني ، وأبرز مثال على ذلك قوة المقاومة التي تظهرها قوى الاحتكاك هذه في أثناء جريان السائل والتي تؤدي إلى الإقلال من سرعة أي جسيم متحرك داخله .

سنعتبر أثناء دراسة حركة سائل تحت تأثير قوى احتكاكه الداخلي ، أنه مكون من مجموعة من الطبقات التي تتحرك بجانب بعضها بعضاً بشكل متوازي لكنها تملك سرع متباينة ، كما يبين ذلك الشكل (1) .



شكل (1)

نرمز لقوة الاحتكاك الداخلي بـــ (F) ، ولسـرعة الطبقـة الأولـى $_1$ق ، وللثانية $_2$ق ، وللسطح المشترك بينهما بـ S_1 ، ولقد وجد نيوتن أن قـوة الاحتكـاك الداخلي F_1 للطبقتين السائلتين المتوازيتين والمتحركتين بسرعتين مختلفتين ، تـرتبط بسطح التماس S ، وبطبيعة السائل وبتدرج السرع (dv/dz) ، وتعطى هـذه القـوة بالعلاقة الآتية :

$$F / s = \xi . dv / dz \qquad (1)$$

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 للسـائل يقـاوم بهـا الاجهادات الناتجة عن تطبيق قوة عليه موازية لسطحه ، التي نطلـق عليهـا اسـم إجهادات القص ، وبالتالي فهي تحاول مقاومة التغيرات في شكل السائل .

يظهر من العلاقة (1) أن عامل اللزوجة يتعلق بصورة رئيسية بقوة التماسك بين العناصر المؤلفة للسائل .

يتأثر عامل اللزوجة بدرجة الحرارة ، حيث يلاحظ نقصان قيمة هذا العامل في السوائل عند رفع درجة حرارتها ، في حين تزداد قيمته في الغازات عند رفع درجة حرارتها ، بينما هو مستقل عن الضغط من أجل الضغوط العادية ، لكن عند تطبيق ضغوط عالية فإن قيمته تزداد بشكل كبير جداً في السوائل والغازات على حد سواء.

يقاس عامل اللزوجة بواحدة الباسكال – ثانية (Kg/m.sec) في الجملة الدولية أو بـ النيوتن ثانية – متر مربع $N.sec/m^2$ ، بينما واحدة قياسه في الجملة السفتية هي البواز وتعطى بـ $poise = dyne.sec / cm^2$ وهي مستخلصة من العلاقة (1) التي يمكن كتابتها على النحو :

$$\xi = (F/s)/(dv/dz) = F/s.\frac{dz}{dv}$$

منه نجد أن أبعاد (ξ) تحسب وفق ما يلي في الجملة العملية أو الدولية .

$$[\xi] = N.\sec/m^2 = kg.(m/\sec^2).\sec/m^2 = (N/m^2).\sec$$
$$= kg.\sec^{-1}.m^{-1} = M.L^{-1}.T^{-1}$$

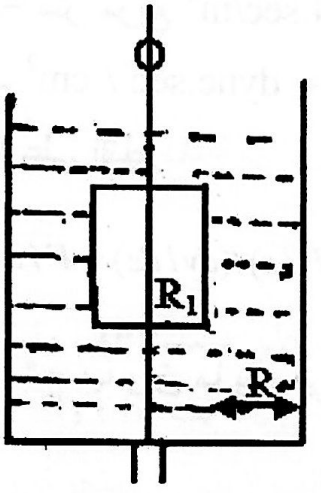
طرق قياس عامل اللزوجة :

1- طريقة كوويت Couette Method :

يتألف جهاز قياس عامل اللزوجة بطريقة كوويت من اسطوانة كبيرة نصف قطرها (R) تحوي السائل المراد قياس عامل لزوجته ، وتدور بسرعة زاوية ثابتة (W) حول محورها ، ويوضح ذلك الشكل (2) ، ويوجد داخل الاسطوانة الكبيرة

اسطوانة ذات حجم أصغر متمركزة ومعلقة بخيط فتل ، وتنحرف بمقدار ثابت عن دوران الاسطوانة الكبيرة حول محورها بالسرعة الزاوية الثابتة W .

تبين التجربة أن جزيئات السائل الملامسة لجدار الاسطوانة الداخلية والتي تشكل طبقة ملاصقة له تكون ساكنة أي ذات سرعة مساوية للصفر من أجل نصف قطر $r = R'$ ولتزداد سرعة جزيئات السائل لطبقات مجاورة للطبقة السابقة كلما ابتعدنا عن جدار الاسطوانة الداخلية باتجاه جدار الاسطوانة الخارجية وهو ما نطلق عليه تدرج السرع ، ولتصبح هذه السرعة مساوية لـ W.R من اجل r = R



شكل (2)

ويعطى تدرج السرع بالعلاقة الآتية :

$$\frac{dv}{dr} = \frac{W.R}{R - R'} \qquad (2)$$

تعطى القوة المؤثرة على الاسطوانة الداخلية بالعلاقة :

$$F = \xi - s\frac{dv}{dr} = \xi.2\pi \;\; R'h\frac{WR}{R - R'} \qquad (3)$$

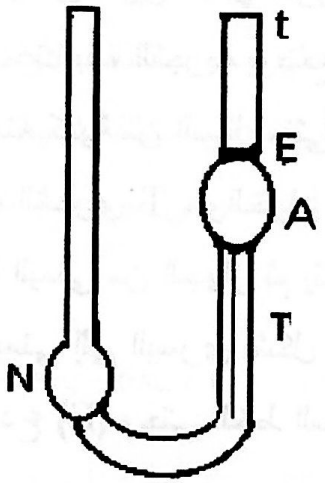
بينما تعطى قيمة مزدوجة الفتل بالعلاقة :

$$\alpha = F.R' = 2\pi\xi h\frac{R.R'^2WR}{R-R'} = C \qquad (4)$$

تمثل (c) ثابتة الفتل للسلك ، و (h) ارتفاع الاسطوانة الداخلية . و يحسب عامل اللزوجة بسهولة من العلاقة (4) .

2- طريقة أوستغالد Ostwald Method :

تتعلق كمية السائل الكلية التي تجري عبر الأنبوب الشعري بعامل لزوجة هذا السائل وبالأبعاد الهندسية لهذه الأنابيب ، وبالتالي سيكون زمناً جريان سائلين مختلفين في عاملي لزوجتيهما ρ , ρ' في الأنبوب نفسه مختلفين وبالتالي ستكون غزارة جريان السائل الأول مختلفة عن غزارة جريان الثاني عبر الأنبوب ذاته ، وتحسب الغزارة في جهاز أوستغالد المبين في الشكل (3) .



شكل (3)

المكون من أنبوب زجاجي وخزان (N) في الجهة اليسرى ، ومن أنبوب زجاجي (t) وخزان صغير (E) في الجهة العليا اليمنى يليه من الأسفل خزان كبير نوعاً ما (A) وموصول بأنبوب شعري يوصل بدوره بالخزان (N) بوساطة (أنبوب زجاجي منحني) من حاصل قسمة الحجم المحصور من السائل بين الخطين الموجودين عند أعلى الخزان (A) وأسفله على زمن جريان هذا الحجم . وتوجد علاقة تعطي قيمة الغزارة للسائل بتابعية عامل اللزوجة والكتلة النوعية وزمن الجريان ، وبأخذ النسبة بين قيمتي الغزارة للسائلين المختلفين الذين يجريان في الأنبوب نفسه سنحصل على العلاقة الآتية :

$$\frac{\xi'}{\xi} = \frac{\rho' . t'}{\rho . t} \qquad (5)$$

حيث :

ρ', ρ الكتلتين النوعيتين للسائلين t', t زمن جريان الحجمين المتساويين منهما . وينتج من العلاقة (5) أنه يمكن تعيين عامل اللزوجة من خلال قياس غزارة السائلين والتي تتم بالشكل التالي ، عند بدء التجربة يوضع في جهاز القياس الموضح بالشكل (3) وفي الجزء اليساري منه كمية من السائل حتى السوية العليا للخزان (N)، ويتم بعد ذلك إملاء الأنبوب الشعري T ، والخزان (A) ، عن طريق سحب السائل حتى السوية (E) في الجهة اليمنى من الجهاز ثم يترك السائل المسحوب بعدئذٍ يسيل أو يجري من الجهة اليمنى إلى اليسرى بشكل حر مع تسجيل الزمن الذي يستغرقه جريان السائل من المستودع (E) وحتى الخط السفلي المحيط بالمستودع (A) ثم يكرر ذلك للسائل الآخر ونحصل بذلك على t , t'. إن ρ , ρ' يمكن قياسهما بسهولة من العلاقة $\rho = \frac{m}{v}$ وإذا كان أحد السائلين هو الماء أو أي سائل آخر عامل لزوجته معروف فيمكن حساب عامل اللزوجة للسائل الآخر باتباع الخطوات السابقة ، ويطلق على هذه الطريقة اسم طريقة أوستفالد .

يلاحظ عدم إمكانية قياس عامل الزوجة لأي سائل بدون أن يكو لدينا سائل عياري كالماء مثلاً ، وهذا يعني عدم إمكانية استخدام جهاز القياس هذا بشكل مطلق أو تام لقياس عامل اللزوجة .

3- تعيين عامل اللزوجة من خلال تطبيق دستور ستوك Stock :

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 لقوة ثقلها التي تساوي : $\frac{4}{3}\pi r^3.\rho.g$ حيث (g) تسارع الجاذبية الأرضية ، ولدافعة أرخميدس التي تساوي ثقل السائل المزاح وتعطى بالعلاقة $\frac{4}{3}\pi r^3 p'.g$ وكما أن الكرة أثناء حركتها ضمن السائل بسرعة ما (v) ستخضع القوة متجهة نحو الأعلى عائدة للزوجة السائل وتعطى بالعلاقة الآتية $6\pi.\eta.r.v$ (قانون ستوكس) .

إن القوة الكلية التي تخضع لها الكرة الساقطة هي محصلة القوى السابقة ، وإذا ما أخذنا محوراً منطبقاً على محور الثقالة الأرضية فستكون كل من القوة الناتجة عن اللزوجة ودافعة أرخميدس مخالفة لجهة هذا المحور ، بينما تكون القوة الناتجة عن ثقل الكرة موافقة لجهتة وهي موجبة و تعطى محصلة هذه القوى بالعلاقة:

$$\frac{4}{3}\pi r^3(\rho-\rho)g-6\pi\xi.r.v \qquad (6)$$

عند لحظة سقوط الكرة في السائل ستكون متسارعة وبالتالي نجد :

$$\frac{4}{3}\pi r^3(\rho-\rho')g-6\pi.\xi.rv=m\vec{a} \qquad (7)$$

لكن سرعتها ستصل بعد فترة قصيرة إلى قيمة حدية ثابتة ويصبح تسارعها معدوماً وتصبح محصلة القوى المؤثرة على الكرة معدومة و تتحول العلاقة (7) إلى الشكل الآتي :

$$\frac{4}{3}\pi r^3(p-p')g - 6\pi\xi.r.v - o \qquad (8)$$

حيث تعبّر (V) في العلاقة (8) عن السرعة الحدية الثابتة وقد يرمز لها أحياناً لها بـ V_0 ويحسب عامل اللزوجة من العلاقة (8) وهو يساوي إلى :

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

يتضح من العلاقة السابقة سهولة حساب عامل اللزوجة وفقاً لقانون ستوكس إلا أنه يجب التحقق قدر الإمكان من الشروط المناسبة لتطبيق هذا القانون وإن 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 كما هو موضح بالشكل (4) .

شكل (4)

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 النقطة (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 $\rho = \frac{m}{v}$. تحدد (m) بواسطة ميزان كهربائي، وتجري التجربة في درجة حرارة ثابتة، وذلك لتلافي التأثير الكبير للحرارة الذي يؤدي إلى انخفاض كبير في لزوجة السوائل عند ارتفاعها .

طريقة العمل في قياس عامل اللزوجة وفقاً لقانون ستوكس المستخدمة في المخبر :

الأجهزة والأدوات :

1- اسطوانة أو وعاء زجاجي مدرج و يمكن أن يكونا غير مدرجين .

2- سائل لزج يطلب قياس لزوجته بطريقة ستوكس .

3- مقياس كثافة لقياس كثافة السائل ويمكن أن تكون معطاة قبل بدء العمل التجريبي .

4- ميقاتية .

5- مسطرة مدرجة بالمليمترات .

6- كرات مختلفة الأقطار من مواد محددة كالحديد أو الرصاص أو ...

7- قدم قنوية أو ميكرومتر لقياس نصف قطر الكرات .

8- ميزان حرارة .

خطوات العمل :

1- يوضع السائل اللزج المطلوب حساب عامل لزوجته في الاسطوانة المدرجة ، ويوضع فيه مقياس الكثافة لتحديد كثافته ρ' وإن لم يتوفر هذا المقياس تعطى ρ' من قبل المشرفين على المخبر .

2- تحدد النقطتان 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 الاسطوانة و تحدد المسافة بين النقطتين بوساطة المسطرة إن لم تكن الاسطوانة مدرجة .

3- 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) .

<u>ملاحظة :</u>

يجب إسقاط الكرة من نقطة قريبة جداً من سطح السائل في الاسطوانة وبدون سرعة ابتدائية . والتأكد 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 يرمز لها بـ (L) على الزمن الذي تستغرقه الكرة لاجتياز هذه المسافة .

5- تطبق العلاقة (9) لحساب عامل اللزوجة (ξ)مع الإشارة إلى أنه تَعطى 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- تُكرر الخطوات السابقة من أجل كرات أخرى وتُرتب النتائج في جدول وفق الآتي :

رقم التجربة	نصف قطر الكرة r(cm)	مسافة السقوط L(cm)	زمن السقوط t(sec)	السرعة الحدية V_0(cm/sec)	عامل اللزوجة ξ
1					
2					
3					
1					
1					
1					

7- تجرى التجربة في درجة حرارة ثابتة لأن قيمة عامل اللزوجة تتغير بشكل ملحوظ عند اختلاف درجة الحرارة ، لذلك تذكر درجة حرارة السائل عند إجراء التجربة .

8- يحسب الارتيابان النسبي والمطلق المرتكبين في الحساب .