7500 B10-2

جامعة حمص

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

التجارب العملية لمادّة الفيزياء / 1 /

لطلاب السنة الأولى

هندسة الكهرباء- هندسة الميكانيك

أ. رشا يوسف

قائم بالأعمال في قسم العلوم الأساسية
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

د. طارق السبعة

رئيس قسم العلوم الأساسية
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

4- ماذا يفعل الطالب قبل مغادرته المختبر:

1. يُطلع الطالب الأستاذ المشرف على النتائج التي حصل عليها ويقوم الطالب بعد التأكد من صحة نتائجه وحساباته بكتابتها على دفتر العملي.
2. تنظيف أجهزة وأدوات التجربة وتنظيف الطاولة من الأوراق والمخلفات.
3. يعيد ترتيب أجهزة وأدوات التجربة بالشـــكل الملائم لبدء التجربة من جديد والتأكد من ســـلامتها ويطلب من المحضـــر استلامها.
4. يُوقعُ الدفتر بكل نتائجه وحساباته والخطوط البيانية من قبل الأستاذ المشرف قبل مغادرة المختبر.
5. يجب على كل طالب أن يعرف تجربته القادمة قبل مغادرته المختبر لكي يحضرها في الأسبوع القادم.

التجربة الأولى

حساب الأخطاء في عملي الفيزياء

$\boxed{P.V = m.RT}$

ضغط P atm
الحجم V m^3
ثابت الغاز العام R = 8,31
درجة الحرارة T = K°

1-1- الغاية من التجربة:

أن يتعرف الطالب على الأخطاء وطرق حسابها في تجارب عملي الفيزياء.

1-2- الموجز النظري:

1-2-1- قياس المقادير الفيزيائية

المقدار الفيزيائي هو تعبير كمي عن خاصية من خواص المادة, ويعبر عن المقدار الفيزيائي بعدد مرفق بواحدة قياس مميزة لنوع ذلك المقدار (كالطول . الوزن . الحجم . الكثافة ....الخ).

$P = const$

$\frac{V}{T} = const$

يقاس المقدار الفيزيائي بإحدى الطريقتين التاليتين:

1- قياس مباشر:

يجري هذا القياس بأدوات مباشرة ويقرأ ناتجه مباشرة, كقياس الطول بالمسطرة ـــ أو قياس الكتلة بالميزان ـــ أو قياس الزمن بالميقاتية . أو شدة التيار بمقياس الأمبير...الخ.

2- قياس غير مباشر:

هو القياس الذي يحصل بالحساب من علاقة بين عدة مقادير, بعد إجراء القياس المباشر عليها, كقياس الحجم بعد معرفة الأبعاد ـ أو قياس السرعة بعد معرفة المسافة المقطوعة والزمن ـ أو قياس المقاومة الكهربائية لجهاز ما بعد معرفة فرق الكمون المطبق عليه وشدة التيار المار به...الخ.

1-2-2- الأخطاء:

يستحيل أن نقيس مقداراً فيزيائياً من دون أخطاء و السبب يعود إلى:

1 . أخطاء شخصية ناتجة عن حواس المجرب نفسه.

2 . أخطاء ناتجة عن أدوات القياس؛ وهي تقدر بشكل عام بقيمة نصف أصغر تدريجة موجودة على أداة القياس.

3 ـــ أخطاء خارجية تتعلق بالظروف الخارجية؛ مثل تغير الضغط الجوي في تجربة بويل ماريوت أو تغير درجة الحرارة في تجربة سرعة الصوت.

قبل دراسة الخطأ في القياسات المباشرة وغير المباشرة سنعرف الخطأ المطلق والخطأ النسبي والخطأ النسبي المئوي (الدقة).

1. الخطأ المطلق: $\boxed{\Delta X}$ $x_2 - x_1$

هو قياس لدرجة الشك في تقدير المقدار الفيزيائي ونرمز له بالرمز (ΔX) إذا كان المقدار الفيزيائي المقاس هو (X).

وله واحدة مثل واحدة المقدار الفيزيائي (X).

2. الخطأ النسبي: $\boxed{\frac{\Delta X}{X}}$

هو نسبة الخطأ المطلق إلى القيمة المقاسة ($\Delta X / X$). كما هو واضح لا يوجد للخطأ النسبي واحدة.

(يشترط هنا أن يكون لـ (X) ولـ (ΔX) نفس الواحدة تماماً).

$\frac{عدد}{0} = \infty$ $\quad \frac{\Delta x}{x} \; ; x \neq 0 \quad x \neq 0$

$\frac{0}{عدد} = 0$ لكن

$$\boxed{A = (\overline{A} \pm \overline{\Delta A})}$$

ونضع لها نفس واحدة قياس المقدار (A).

2- الطريقة التفاضلية اللغارتمية:

تتضمن معظم التجارب الفيزيائية حسابات تعتمد على علاقات رياضية تحوي عدة مقادير فيزيائية. لحساب الخطأ المطلق لمقدار فيزيائي (X) في علاقة رياضية نتبع الخطوات التالية:

1. نكتب العلاقة الرياضية.
2. نعزل المقدار الفيزيائي (X) في طرف وبقية المقادير الأخرى في طرف.
3. نأخذ لوغاريتم طرفي العلاقة الأخيرة.
4. نفاضل طرفي العلاقة الأخيرة.
5. نستبدل رمز التفاضل (d) برمز الخطأ (Δ) مع استبدال الإشارات السالبة بين الحدود بإشارة موجبة لكي تبدو القيمة المطلقة للخطأ النسبي أعظمية.
6. نعوض في قيم المقادير الفيزيائية و قيمة الخطأ في قياس كل مقدار فيزيائي.
   (حسب الجهاز الذي تم به قياس هذا المقدار).

مثال (1):

$$X = A + B$$
$$\Delta X = \Delta A + \Delta B$$

مثال (2):

$$X = A - B$$
$$\Delta X = \Delta A + \Delta B$$

مثال (3):

$\ln x \Rightarrow \frac{1}{x} dx$

$$X = A.B.C$$
$$\ln X = \ln A + \ln B + \ln C$$
$$\frac{dX}{X} = \frac{dA}{A} + \frac{dB}{B} + \frac{dC}{C}$$ المتغير النسبي
$$\frac{\Delta X}{X} = \frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta B}{B} + \frac{\Delta C}{C}$$ الخطأ النسبي

مثال (4):

$$X = \frac{A.B}{C}$$
$$\ln X = \ln A + \ln B - \ln C$$
$$\frac{dX}{X} = \frac{dA}{A} + \frac{dB}{B} - \frac{dC}{C}$$ المتغير النسبي
$$\frac{\Delta X}{X} = \frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta B}{B} + \frac{\Delta C}{C}$$ الخطأ النسبي

مثال (5):

لدينا سلك معدني ما, يختلف قطره قليلاً من نقطة إلى أخرى بسبب طريقة صنعه. قسنا قطره عدة مرات فكانت لدينا النتائج التالية: D = (3.51 - 3.52 - 3.52 - 3.50 - 3.49 - 3.53 - 3.49) mm المطلوب: احسب الخطأ المطلق والنسبي والنسبي المئوي في تقدير قيمة قطر السلك بالطريقة الإحصائية, ثم املأ نتائجك في الجدول التالي:

D (mm)	$\overline{D}$ (mm)	ΔD (mm)	$\overline{\Delta D}$ (mm)

تمرين (2):

في تجربة النواس البسيط نحسب تسارع الجاذبية الأرضية خمس مرات حسب اختلاف طول النواس فكانت لدينا النتائج التالية: $g = (9.89 - 9.92 - 9.80 - 9.73 - 9.71)\ m / Sec^2$

المطلوب: احسب الخطأ المطلق والنسبي والنسبي المئوي في حساب تسارع الجاذبية الأرضية بالطريقة الإحصائية, ثم املأ نتائجك في الجدول التالي:

g m / Sec^2	$\overline{g}$ m / Sec^2	Δg m / Sec^2	$\overline{\Delta g}$ m / Sec^2

تمرين (3):

لدينا سلك من معدن ما طوله (L = 53.4 cm) ومقاومته (R = 1.04 Ω) وقطره (D = 0.57 mm), احسب الخطأ المطلق والنسبي والنسبي المئوي في حساب المقاومة النوعية للسلك (ρ) بالطريقة التفاضلية اللغارتمية. علماً أن الخطأ في قياس المقادير الفيزيائية هو (Δ L = 0.05 cm) و (Δ R = 0.01 Ω) و(ΔD = 0.01 mm) و $(R = \rho \frac{L}{S})$ حيث (S) هو سطح مقطع السلك.

ρ

تمرين (4):

لدينا في المخبر نواس بسيط طوله (L = 1.5 m) وكان دوره (T = 2.45 Sec). المطلوب: احسب الخطأ المطلق والنسبي و النسبي المئوي في حساب تسارع الجاذبية الأرضية بالطريقة التفاضلية اللغارتمية. علماً أنه تم قياس طول النواس بالمسطرة العادية وتم قياس الدور بميقاتية تقيس بدقة قدرها (0.005 Sec). ويعطى قانون دور النواس البسيط بالقانون:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$$

5- نحدد النقاط على الورقة. إن كل قيمتين متقابلتين للمتغيرين في الجدول تمثلان نقطة من البياني. ويفضـــل أن نحدد موقع كل نقطة بإشارة إما إشارة (X) أو بدائرة سوداء صغيرة وواضحة أو مربع صغير أو مثلث صغير.

6- نرسم البياني وفقاً لما يلي:

- إذا كان البياني المتوقع مستقيماً (يمكن استنتاج ذلك من العلاقة بين المتغيرين إن وجدت فإذا كانت من الدرجة الأولى كان البياني مستقيماً) أو إذا كان توضع النقاط على الورقة الميليمترية يوحي بذلك، فإننا نرسم المستقيم بحرف المسطرة الشـــفافة بحيث يمر بأكبر عدد ممكن من النقاط المحددة وتتوزع بقية النقاط الأخرى بالتســـاوي على جانبيه كما في الشكل (2-1).(نستخدم المسطرة الشفافة عند رسم المستقيم لأنها تسمح بمشاهدة جميع النقاط عند اختيار الرسم المناسب للمستقيم).
- أما إذا كان البياني المتوقع ليس مســـتقيماً أي منحنياً (يمكن اســـتنتاج ذلك من العلاقة بين المتغيرين إن وجدت فإذا كانت من الدرجة الثانية أو أكثر كان البياني منحنياً) أو إذا كان توضع النقاط على الورقة الميليمترية يوحي بذلك فإننا نرسم المنحني بحرف مسطرة لينة يمكن أن تنحني مع النقاط لكي يصبح المنحني انسيابياً وليس مكسراً وبحيث يمر من معظم النقاط أو من قرب النقاط.
- إذا وجدت نقاطاً بعيدة جداً عن المســـتقيم أو عن المنحني, (نقاطاً شـــاذة) تعاد القياســـات المتعلقة بها للتحقق من صحتها.

2-2-3- أهم أشكال الخطوط البيانية:

1- المستقيم:

1. إن أغلب المستقيمات التي تُرسم في مخبر الفيزياء هي من النوع:

$$Y = a\,X$$

أي مستقيم يمر من مبدأ الإحداثيات ومثال على ذلك قانون أوم ($V = R\,I$) كما في الشكل (2-1) ميل هذا المستقيم هو المقاومة الكهربائية ($m = R$).

2. يوجد بعض المستقيمات من النوع:

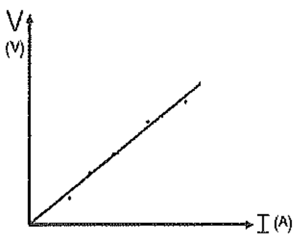
$f(x) = ax + b$
$= mx + p$

$$\boxed{Y = a + b\,X}$$

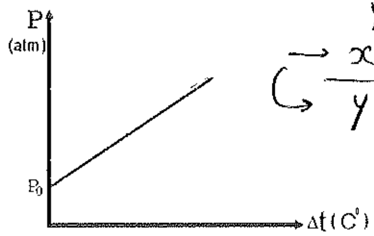
أي مستقيم يقطع محور العينات (OY) في النقطة (0 , a) ومثال على ذلك تغير ضغط كمية غاز بتغير درجة حرارتها المئوية:

$$P = P_0\,(1 + \alpha\,\Delta t) = P_0 + P_0\,\alpha\,\Delta t$$

كما في الشكل (2-2) إن ميل هذا المستقيم هو ($m = P_0\,\alpha$) ويقطع محور العينات (المحور (P)) في النقطة (P_0).



الشكل (2-1)



الشكل (2-2)

$y = 4x + 1$

x	0	1
y	1	5

$y = 2x$

$$\ln\frac{I}{I_0} = -\mu X \Rightarrow \ln\frac{I_0}{I} = \mu X$$

ويصبح مستقيم. وميل هذا المستقيم ($m = \mu$).

2-2-4- تحليل الخطوط البيانية:

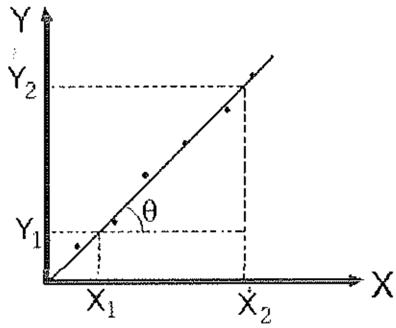
يمكن استخدام الخطوط البيانية في التطبيقات التالية:

- التأكد من صحة العلاقة الفيزيائية التي تربط مقدارين أو أكثر.
- إيجاد قيم بعض الثوابت الفيزيائية مثل حساب ميل المستقيم الذي يمثل غالباً بعض الثوابت الفيزيائية.
- الاستقراء الداخلي و الخارجي.

2-2-5- طريقة حساب الميل:

$\tan\theta = m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$

$y - y_0 = m(x - x_0)$



الشكل (2-3)

إذا كانت معادلة المستقيم من الشكل ($Y = aX$) أو من الشكل ($Y = aX + b$) فإن (a) يمثل ميل المستقيم، والذي نحسبه من العلاقة:

$$m = tg\theta = a = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}$$

حيث (X_1 , Y_1) و (X_2 , Y_2) إحداثيات نقطتين اختياريتين من نقاط المستقيم (يجب أن نأخذ نقطتين لا تجريبيتين خوفاً من أن تكون إحداها شاذة أو لا تقع مباشرة على المستقيم)، ويفضل لزيادة الدقة اختيار نقطتين متباعدتين قدر الإمكان. كما في الشكل (2-3).

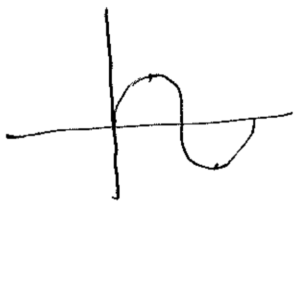
ملاحظة: إن واحدة قياس الميل هي حاصل قسمة واحدة المقدار الفيزيائي (Y) على واحدة المقدار الفيزيائي (X).

$f(x) = 4x + 3$ $\quad x_0 = 2$

$\boxed{m = 4}$ $\quad y_0 = 4(2) + 3 = 11$

$y - y_0 = m(x - x_0)$

$y - 11 = 4(x - 2)$



التجربة الثالثة

النواس البسيط

5-1- الغاية من التجربة:

- دراسة العوامل المؤثرة في دور النواس البسيط.
- التحقق من صحة قانون دور النواس البسيط.
- حساب تسارع الجاذبية الأرضية في المخبر.

5-2- الموجز النظري:

يُعرف النواس المركب: بأنه كل جسم يهتز تحت تأثير ثقله حول محور ما. ويُعرف النواس البسيط: بأنه نقطة مادية معلقة بخيط عديم الكتلة والفتل والتمدد, ثبت طرفه العلوي بنقطة ثابتة (O) تسمى نقطة التعليق.

تُعرف النقطة المادية: بأنها جسم ذو كتلة (m) مهمل الأبعاد.

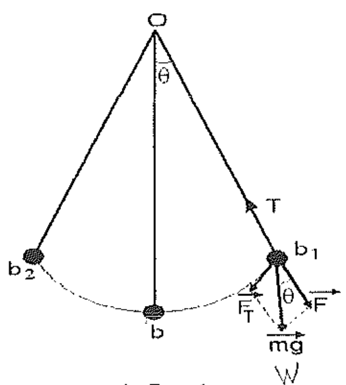
لايمكن تحقيق النواس البسيط عملياً ولكن يمكن صنع نواس أقرب ما يكون إلى النواس البسيط المثالي بتعليق كرة صغيرة ثقيلة بخيط طويل ودقيق بحيث يكون طول الخيط أكبر بكثير من نصف قطر الكرة.

إن الوضع الشاقولي (Ob) كما في الشكل (5-1) هو وضع التوازن للنواس للبسيط, فإذا أزيح عن وضعية التوازن بزاوية (θ) تسمى سعة النوسان إلى الوضعية الجديدة (Ob_1), ثم ترك وشأنه قام بحركة اهتزازية بين الوضعين المتناظرين (Ob_1) و (Ob_2).

نطلق اسم **النوسة** على الحركة التي يقوم بها النواس عندما يشرع بالحركة من نقطة معينة وحتى يعود إلى هذه النقطة متجهاً بالجهة نفسها التي بدأ بها الحركة.

يُطلق **دور** النواس (T) على المدة اللازمة ليقوم النواس بنوسة واحدة. والتواتر (f) هو مقلوب الدور ($f = 1 / T$).

إذا كانت كتلة النواس البسيط (m) وطوله (L = Ob), وبفرض أن النواس أُزيح إزاحة صغيرة جداً عن وضعه الشاقولي بزاوية (θ), تتحرك كرة النواس حركة توافقية بسيطة, وتكون القوة المؤثرة فيها هي المركبة المماسية (F_T) لقوة الثقل (mg) وهي التي تسعى لإعادة كرة النواس لوضع الاتزان كما في الشكل (5-1), أما المركبة الناظمية (F) فإنها تساوي قوة توتر الخيط (T) وتعاكسها على هذا الأساس نجد: $F_T = -mgSin\theta$



الشكل (5-1)

حيث (θ) هي السعة مقدرة بالراديان.

5-3- الأجهزة وأدوات التجربة:

حامل معدني مع ماسك ــ ميقاتية ــ خيط مهمل الكتلة وعديم الاستطالة ــ مسطرة عادية بطول متر ــ كرات مختلفة الكتلة (يمكن أن تكون مختلفة النوع أو من نفس النوع ولكن مختلفة الأقطار).

5-4- الإجراء التجريبي:

5-4-1- التحقق من أن دور النواس لا يتعلق بسعته في حال النوسات الصغيرة:

1- نأخذ خيطاً مهمل الكتلة وعديم الاستطالة ونعلق بنهايته كرة ما بحيث يتشكل لدينا نواس بسيط طوله (1 m).

2- نزيح النواس عن وضع توازنه بزاوية ($\theta = 3^\circ$) التي توافق إزاحة الكرة عن وضعها الشاقولي مسافة (5 cm)، ثم نحسب زمن (25) نوسة.

3- نكرر الخطوة السابقة مرة أخرى.

4- نحسب متوسط زمن (25) نوسة, ثم نحسب زمن النوسة الواحدة (T).

5- نكرر الخطوات السابقة من أجل سعات أخرى ($\theta = 6^\circ$) التي توافق إزاحة الكرة عن وضعها الشاقولي مسافة (10 cm) و ($\theta = 9^\circ$) التي توافق إزاحة الكرة عن وضعها الشاقولي مسافة (15 cm).

6- نرتب نتائجنا في الجدول التالي:

L = 1 m					
السعة θ° راديان	مقدار الإزاحة (cm)	زمن (25) نوسة (Sec)			$T = \frac{\bar{t}}{25}$ (Sec)
		t_1	t_2	$\bar{t} = \frac{t_1 + t_2}{2}$	
3	5	233	237	$\bar{t} = \frac{233+237}{2}$	$T = \frac{235}{25} = 9.4$ Sec
6	10	230	240	$\bar{t} = \frac{230+240}{2}$	$T = 9.4$ Sec
9	15	235	235	$\bar{t} = \frac{470}{2}$	$T = 9.4$ Sec

7- ماذا تستنتج من نتائج الجدول السابق.

6- نكرر الخطوات السابقة من أجل أطوال مختلفة (60- 70- 80- 90- 100 cm) مع مراعاة أن مقدار الإزاحة في كل مرة هو (L / 10).

7- نرتب نتائجنا في الجدول التالي:

L (cm)	زمن (25) نوسة (Sec)			$T = \frac{\bar{t}}{25}$ (Sec)	T^2 (Sec)	g (m /Sec^2)
	t_1	t_2	$\bar{t} = \frac{t_1 + t_2}{2}$			
60	233	237	$\frac{470}{2}$	$T = \frac{235}{25}$	$(9.4)^2$	9.81
70	230	240	$\frac{470}{2}$	$T = \frac{235}{25}$	$(9,3)^2$	9,80
80	235	235	$\frac{470}{2}$	$T = \frac{235}{25}$	$(9,45)^2$	9,82
90	225	235	$\frac{460}{2}$	$T = \frac{230}{25}$	$(9,2)^2$	9,825
100	225	235	$\frac{460}{2}$	$T = \frac{230}{25}$	$(9,2)^2$	9,835
					$\bar{g} =$	9,818

8- مثل بيانياً (($T^2 = f(L)$). ثم احسب ميل هذا المستقيم واستخرج قيمة (g) من هذا الميل وقارنها مع قيمة (g) الوسطية التي حصلت عليها سابقاً.

9- احسب الخطأ المطلق والنسبي المئوي المرتكب في حساب (g) مستخدماً الطريق التفاضلية اللوغارتمية للعلاقة (5-5).

5-5- أسئلة حول التجربة:

1- أزح النواس (L = 1 m) زاوية كبيرة ولتكن (θ = 45°) وقس دوره كما سبق وتأكد من أن دوره في هذه الحالة يختلف عن

دور النواس في الجدول الأول (في السعات الصغيرة), وتأكد من أن الدور في هذه الحالة يحقق العلاقة (6-5).

2- احسب الخطأ المطلق والنسبي المئوي في قياس (g) بالطريقة الإحصائية.

3- إذا كان لدينا نواس معلق في نقطة عالية (في سقف المخبر مثلاً) وطلب منا قياس طوله تجريبياً من دون استخدام المسطرة! ماذا تعمل؟

هذا يعني لتعيين الكثافة (ρ) لجسم ما في الدرجة (t) (درجة حرارة المختبر)، يكفي تعين نسبة كتلة الجسم إلى كتلة مثل حجمه من الماء المقطر في درجة الحرارة نفسها، ثم تضرب هذه النسبة بالكثافة للماء المقطر في درجة الحرارة نفسها أيضاً.

تعريف الكثافة النسبية: تعريف الكثافة النسبية لجسم ما في الدرجة (t) بأنها نسبة كتلة هذا الجسم في الدرجة (t) نفسها إلى كتلة مثل حجمها من الماء المقطر في الدرجة ($+ 4\ C^o$).

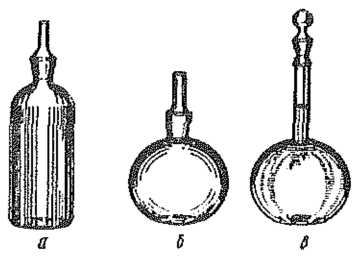
ملاحظة: أخذت الدرجة ($+ 4\ C^o$) لأن الكثافة الحجمية للماء تكون عند هذه الدرجة عظمى وتساوي الواحد تقريباً.

19-3- الأجهزة وأدوات التجربة:

ميزان حساس . دورق الكثافة . سائل (ماء مالح او زيت أو كحول) . قطع (أو كرات) من جسم صلب ما . ماء مقطر.

دورق الكثافة:

هو دورق صغير من الزجاج الرقيق ذو فوهة خشنة واسعة يغلق بسدادة زجاجية من الزجاج ذاته اسطوانية من الأعلى ومخروطية من الأسفل مثقوبة من الداخل بقناة صغيرة القطر تشكل أنبوبا شعرياً.ويجب مسك الدورق بالأصابع من عنقه لكي لا يسخن هو وما فيه من الماء أو السائل فيتمدد وينسكب من الثقب كما في الشكل (19-1).



الشكل (19-1)

لقياس درجة الحرارة ($t\ C^o$) نضع ميزان الحرارة في الماء المقطر الموضوع في البيشر لعدة دقائق وعندما تثبت درجة الحرارة تقريبا نسجلها ولتكن ($t\ C^o$).

19-4- الإجراء التجريبي:

19-4-1- إيجاد الكثافة النسبية لسائل:

1- زن الدورق مع السدادة وهو فارغ بعد تجفيفه وتنظيفه ($W_1 =$ gr).

2- املأ الدورق بالماء المقطر ثم ضع السدادة حتى يفيض عدة قطرات من الماء عبر قناة الشعرية.جفف الدورق والسدادة بورق ناشف بشكل جيد مع التأكد من عدم وجود فقاعة هوائية في عمق الدورق ثم زن الدورق ($W_2 =$ gr).

3- أفرغ الماء المقطر من الدورق وجففه جيداً ثم املأه بالسائل المراد قياس كثافته ثم ضع السدادة حتى يفيض عدة قطرات من السائل عبر القناة الشعرية.ثم جفف الدورق بشكل جيد مع التأكد من عدم وجود فقاعة هوائية في القناة الشعرية.ثم زن الدورق ($W_3 =$ gr)

4- احسب الكثافة النسبية للجسم السائل باستخدام العلاقة :

التجربة الخامسة

قياس لزوجة سائل باستخدام قانون ستوكس

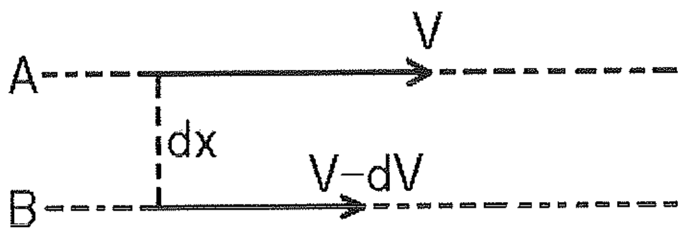
5-1- الغاية من التجربة:

إيجاد معامل لزوجة سائل اعتماداً على قانون ستوكس.

5-2- الموجز النظري لزوجة مائع:

في الموائع الحقيقية تكون قوى الاحتكاك بين طبقات المائع وجدران الوعاء الذي يحويه غير مهملة وبالتالي سنتناول حركة هذه الموائع بحيث نأخذ لزوجة المائع بعين الاعتبار. تتجلى اللزوجة عندما تتحرك طبقات المائع إحداها بالنسبة إلى الأخرى.

لنأخذ مائعاً يكون للسرعة فيه منحى واحد في جميع نقاطه. ولنفرض أن للسرعة قيمة واحدة في جميع نقاط المستوي الواحد (A) الذي يمثل طبقة من جزيئات المائع كما في الشكل (5-1). فبسبب الاحتكاك الذي يقع بين طبقتين متجاورتين تجر الطبقة المجاورة لها (B) التي تقع على بعد (dx) منها, فتتحرك الطبقة (B) بسرعة (V- dV) تقل قليلاً عن (V) سرعة الطبقة (A). وتبذل الطبقة (A) قوة (F) تجر بها الطبقة (B).وتبذل كذلك الطبقة (B) قوة معاكسة لتلك القوة ومساوية لها. ويمكننا أن نقبل أن مقدار القوة (F) متناسبة مع السطح (S) (سطح الطبقتين سويةً) ومع تدرج السرعة (dV/ dx) وفق المحور الشاقولي (OX).



الشكل (5-1)

نلاحظ من الشكل (5-1) أن القوة التي تطبقها إحدى الطبقتين على الأخرى تكون موازية للسرعتين (V , V-dV) بالتالي يمكن أن نكتب:

$$F \sim S\frac{dV}{dx} \Rightarrow F = \eta S\frac{dV}{dx} \qquad (5\text{-}1)$$

حيث (η) عامل تناسب يسمى **عامل لزوجة المائع** أو يسمى **لزوجة المائع** اختصاراً وتعرف **بأنه القوة التي إذا أثّرت في وحدة المساحات من سائل أحدثت فيه تغيراً في وحدة معدّل السرعة. ويقدر بالجملة السغثية بواحدة تسمى البواز**

$$1\ \text{Poise} = \text{dyin.Sec.cm}^{-2} = \text{Parye.Sec}$$

وتقدر في الجملة الدولية بواحدة الداكا بواز

$$1\ \text{Poise} = \text{N.Sec.m}^{-2} = \text{Pa.Sec}$$

$$\frac{2}{3}.r^2.g(\rho_0-\rho)=3.\eta.V \Rightarrow r^2=\frac{9.\eta.V}{2g(\rho_0-\rho)}=(\frac{d}{2})^2 \Rightarrow$$

$$\frac{d^2}{4}=\frac{9.\eta.V}{2g(\rho_0-\rho)} \Rightarrow 36.\eta.V=2g(\rho_0-\rho)d^2 \Rightarrow$$

$$\eta=\frac{g(\rho_0-\rho)d^2}{18V} \qquad (5\text{-}2)$$

حيث إن (d) قطر الكرة.

23-3- الأجهزة وأدوات التجربة:

اسطوانة زجاجية مدرجة – سائل لزج يطلب تعيين لزوجته مثل (غليسرين أو زيت أو ماء) . (يمكن أن يكون جهاز عبارة اسطوانة زجاجية مدرجة تحوي كرة زجاجية أو معدنية تحوي السائل يدور حول نفسه كما في المخبر) - مسطرة مدرجة - مقياس الكثافة للسوائل- ميزان حرارة –ميقاتية - ميكرومتر لقياس قطر الكرات.

23-4- الإجراء التجريبي:

1-نملأ الأسطوانة المدرجة بالسائل المراد قياس لزوجته ونضع علامتين كما هو مبين في الشكل (5-2) الأولى تحت سطح السائل بمسافة (6 cm) ولتكن (X) والثانية فوق قاعدة الأسطوانة بقليل (Y) وتكون المسافة بينهما (L).

2- يتم قياس نصف قطر كرة ما إن لم يكن معلوماً بواسطة الميكرومتر ومن ثم يتم إسقاطها سقوطاً حراً ضمن السائل المدروس وبواسطة الميقاتية نقيس زمن سقوط الكرة بين (Y) و (X) وبتقسيم هذه المسافات على الزمن نحصل على السرعة.

3- أعد ما سبق عدة مرات ويتم ملء الجدول التالي :

رقم التجربة	L M	t sec	V m/s	d m	d^2 m^2	H
1 2 3						

يتم حساب قيمة معامل اللزوجة (η) في العلاقة (5-2).بعد معرفة كثافة السائل وكثافة الكرة. أو يتم حسابها بدورق الكثافة.

4- كرر التجربة عند الدرجة 40°C وتأكد من أنّ معامل اللزوجة يتغير بشكل ملحوظ مع تغير درجة الحرارة.

5- احسب الخطأ النسبي و الخطأ النسبي المئوي و الخطأ المطلق المرتكب في حساب اللزوجة من العلاقة (5-2) (مستخدماً الطريقة اللوغاريتمية) وكتابتها بالشكل ($\eta = \eta \pm \Delta\eta$). مع اعتبار أن كثافة السائل وكثافة الكرة وقطر الكرة و (g) ثوابت.

$\Delta t = t_2 - t_1$

نغطس هذا الجسم في ماء المسعر ونغلق المسعر بشكل جيد ثم نخلط قليلا في المخلط حتى يحدث توازن حراري جديد، نسجل درجة الحرارة النهائية (t_f) وتكون كمية الحرارة التي أعطاها الجسم الصلب (الساخن) مساويةً:

$$\boxed{Q_2 = m\, c\, (t_2 - t_f)}$$

وقد استخدمت كمية الحرارة هذه في رفع درجة حرارة الكتلة (m_1) من الماء الموجودة في المسعر وجميع توابع المسعر مثل وعاء المسعر ذي الكتلة (m_2) والحرارة الكتلية (c_2) والمخلط ذي الكتلة (m_3) والحرارة الكتلية (c_3) وميزان الحرارة ذي الكتلة (m_4) والحرارة الكتلية (c_4), إن مجموع السعات الحرارية لجميع هذه الملحقات يساوي:

μ ميو

$$\boxed{\mu = m_2 c_2 + m_3 c_3 + m_4 c_4}$$

وهو ما يسمى بالمعادل المائي للمسعر أو مكافئه المائي.

تكون كمية الحرارة التي تلقاها ماء المسعر ووعاء المسعر وملحقاته (الأجسام الباردة):

t_f درجة الحرارة النهائية

$$Q_1 + Q_3 = m_1(t_f - t_1) + \mu\, (t_f - t_1)$$
$$Q_1 + Q_3 = (m_1 + \mu)\, (t_f - t_1)$$

ولكن حسب مبدأ التوازن الحراري نجد:

$$\boxed{Q_2 = Q_1 + Q_3}$$
$$m.c\, (t_2 - t_f) = (m_1 + \mu)\, (t_f - t_1)$$
$$\boxed{c = \frac{(m_1 + \mu)(t_f - t_1)}{m(t_2 - t_f)}} \qquad \textit{(12-1)}$$

نستخدم العلاقة الأخيرة لحساب (c) الحرارة النوعية للجسم الصلب ولكن نحتاج تحديد (μ) المكافئ المائي للمسعر ولذلك نقوم بما يلي:

بدلاً من تغطيس الجسم الصلب نضيف إلى وعاء المسعر كتلة (m_2) من الماء الساخن درجة حرارته (t_2) ويجب أن تكون ($t_2 >> t_1$). فترتفع درجة الحرارة الابتدائية (t_1) إلى الدرجة النهائية (t_f) وبما أن الحرارة الكتلية للماء تساوي الواحد، فلدينا:

$$m_2\, (t_2 - t_f) = (m_1 + \mu)\, (t_f - t_1)$$

ومن هذه العلاقة نستنتج (μ) المكافئ المائي للمسعر وملحقاته جميعاً ونعوض بقيمته في العلاقة (12-1) لحساب الحرارة النوعية للجسم الصلب.

ويمكن حساب (μ) بطريقة تقريبية بإهمال ($m_4 c_4$) السعة الحرارية لميزان الحرارة ويتحقق ذلك بأخذ كمية كبيرة من الماء وبالتالي **يمكننا إهمال كمية الحرارة التي يستهلكها ميزان الحرارة ونصنع المخلط من معدن وعاء المسعر نفسه** عندها تتحول العلاقة (12-1) إلى الشكل:

$$c = \frac{(m_1 + m_2 c_2)(t_f - t_1)}{m(t_2 - t_f)} \qquad \textit{(12-2)}$$

حيث (m_2) كتلة وعاء المسعر والمخلط معاً و (c_2) الحرارة النوعية لمعدنها.

5- نرفع غطاء المسعر ونضعه تحت فوهة المسخن ثم نرفع الحاجز إلى أعلى كي تسقط القطع المعدنية في الوعاء الداخلي للمسعر بعيداً عن ميزان الحرارة كي لا ينكسر. أو نضع القطعة المعدنية الكبيرة في الوعاء الداخلي للمسعر .

6- نغلق المسعر بغطائه حالاً ونبدأ بتحريك المخلط إلى أعلى وأسفل تحريكاً لطيفاً ونراقب ميزان حرارة المسعر في أثناء ذلك. ومتى وصلت درجة حرارة المزيج أعلى قيمة لها نسجل هذه القيمة (t_f). نعدّ هذه الدرجة درجة حرارة التوازن النهائية للمزيج.

7- نطبق العلاقة (12-2) لحساب الحرارة النوعية للكرات للمعدن الأول.

8- نعيد ما سبق تماماً مرة أخرى بعد تنشيف الكرات (أو بعد تنشيف القطعة المعدنية الكبيرة) . ثم نحسب الحرارة النوعية الوسطية للمعدن الأول (الحديد).

9- نعيد ما سبق على المعادن الأخرى مثل الألمنيوم أو الرصاص أو النحاس ونرتب نتائجنا في الجدول التالي:

$m_2 c_2 =$ Cal C^{o-1}								
المعدن	التجربة	M (gr)	m_1 (gr)	t_1 (C^o)	t_2 (C^o)	t_f (C^o)	c Cal gr^{-1} C^{o-1}	$\bar{c}$
الحديد	الأولى							
	الثانية							
الألمنيوم	الأولى							
	الثانية							
الرصاص	الأولى							
	الثانية							

لتسخين الكرات الصغيرة نملأ المسخن الحراري حتى منتصفه بالماء العادي, ثم ندخل القطع المعدنية داخل الفجوة, ثم ندخل ميزان الحرارة بين هذه القطع، ثم نضع المسخن على السخانة (أو على الموقد الغازي). عندما يخرج البخار من منفذه نراقب ميزان الحرارة إلى أن تثبت قراءته (t_2). أما إذا كانت قطعة معدنية كبيرة نغمرها في ماء يغلي في وعاء معدني مع ميزان حراري لعدة دقائق حتى تأخذ درجة حرارة الماء المغلي ونسجل درجة الحرارة هذه وهي (t_2).

12-5- أسئلة حول التجربة:

1- إذا كان المخلط مصنوعاً من معدن مختلف عن المعدن المصنوع منه الوعاء الداخلي للمسعر فكيف تصبح العلاقة (12-2) لهذه الحالة.

2- قس المكافئ المائي للمسعر (μ) بالطريقة المشروحة في الموجز النظري لهذه التجربة. ثم احسب الحرارة النوعية للقطع المعدنية السابقة (c) وفق العلاقة (12-1) وقارنها مع النتائج التي حصلت عليها وفق العلاقة (12-2).

أما إذا وقع الجسم على يسار العدسة في نقطة (f_2) تبعد مسافة (F) عن مركز العدسة فيتشكل له خيال في اللانهاية. نسمي النقطة (f_2) بمحرق العدسة الجسمي. ونسمي تجاوزاً النقطتين (f_1, f_2) بالمحرقين و المسافة (F) بالبعد المحرقي للعدسة **وهي المسافة بين محرق العدسة ومركزها**. ويعرف المحرق بأنه **نقطة تجمع الأشعة المتوازية الواردة والتي توازي المحور البصري الرئيسي.**

يعطى القانون العام للعدسات الرقيقة بالعلاقة التالية:

$$\frac{1}{S}+\frac{1}{S'}=\frac{1}{F} \qquad (18\text{-}1)$$

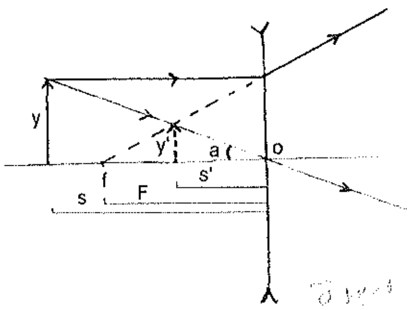
حيث (S) بعد الجسم عن مركز العدسة, و (S\`) بعد الخيال عن مركز العدسة, و (F) البعد المحرقي للعدسة.

18-2- 1- قياس البعد المحرقي للعدسة بالطريقة المباشرة:

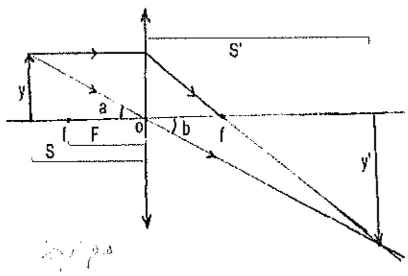
نشكل للجسم خيالاً حقيقياً بالعدسة المقربة الرقيقة كما في الشكل (18-4).

نقيس بعد الجسم (S) عن مركز العدسة, ثم نقيس بعد الخيال (S\`) عن مركز العدسة ثم نطبق العلاقة (18-1) لقياس (F) البعد المحرقي للعدسة بعد تعديلها. أما خيال جسم أمام عدسة مبعدة فهو خيال وهمي كما في الشكل (18-5)

$$F=\frac{SS'}{S+S'} \qquad (18\text{-}2)$$



الشكل (18-5)



الشكل (18-4)

18-2- 2- البعد المحرقي لجملة عدستين متلاصقتين:

عندما نأخذ عدستين مقربتين متلاصقتين لهما قرينة انكسار واحدة ولهما محور رئيسي واحد فإنهما تشكلان عدسة مقربة واحدة يعطى بعدها المحرقي بالعلاقة :

$$\frac{1}{F}=\frac{1}{F_1}+\frac{1}{F_2} \qquad (18\text{-}3)$$

حيث (F) البعد المحرقي لجملة العدستين.

18-3- الأجهزة وأدوات التجربة:

منبع إنارة ينتهي بجسم على شكل سهم - جسر ضوئي - عدستان مقربتان البعد المحرقي لكل منهما لا يتجاوز (0.2 m).

عدسة مبعدة بعدها المحرقي أكبر من (0.2 m) - حامل عدسات - حاجز أبيض على حامل - مسطرة مترية خشبية.

18-4-3- قياس البعد المحرقي للعدسة المبعدة:

1- ألصق العدسة المقربة الأولى ذات البعد المحرقي (F_1) مع العدسة المبعدة ذات البعد المحرقي (F_3) المجهول.

2- أوجد البعد المحرقي (F) لجملة العدستين المتلاصقتين وذلك بإتباع الطريقة السابقة نفسها. ثم سجل النتائج في جدول كالتالي:

التجربة	S (m)	S` (m)	$F = \dfrac{SS'}{S+S'}$ (m)
1 2			
			$\overline{F} =$

3- أوجد البعد المحرقي (F_3) للعدسة المبعدة حسب العلاقة (18-4).

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{F_1} + \frac{1}{F_3} \qquad (18\text{-}4)$$

18-5- أسئلة حول التجربة:

1- اشرح مع الرسم لماذا لم يتم حساب البعد المحرقي (**F_3**) للعدسة المبعدة بالطريقة المباشرة مثل العدسات المقربة (**F_1**) و (**F_2**).

2- ارسم خيال جسم يقع على بعد (S) من عدسة مقربة واذكر صفات هذا الخيال وموقعه عندما :

-1 $S > F$

-2 $S = F$ ناقش هذه الحالة بالرسم وبالحساب.

-3 $S < F$

3- ارسم خيال جسم يقع على بعد (S) من عدسة مقربة واذكر صفات هذا الخيال وموقعه عندما :

-1 $S > 2F$

-2 $S = 2F$

-3 $F < S < 2F$ ناقش هذه الحالة بالرسم وبالحساب.

10-2-1- شروط غوص في المرايا الكروية:

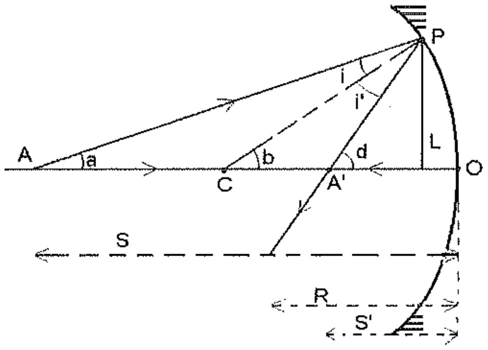
لكي نحصل على خيال واضح في المرايا الكروية يجب أن تتحقق الشروط التالية (وتسمى شروط غوص في المرايا الكروية) وسنفرض تحقق هذه الشروط دائماً في دراسة المرايا الكروية :

- أن تكون فتحة المرآة الكروية صغيرة لا تتجاوز عشر درجات.
- أن يكون الجسم صغيراً.
- أن يكون الجسم قريباً من المحور الأصلي.

10- 2-2- قانون المرايا الكروية:

سنكتفي في دراستنا هنا بدراسة المرايا الكروية المقعرة لأنها تعطي خيالاً حقيقياً بينما المرايا الكروية المحدبة فتشكل خيالاً وهمياً .

لنرسم خيال النقطة (A) في المرايا الكروية المقعرة فيتشكل لها خيال في النقطة (A') كما في الشكل (10-3):



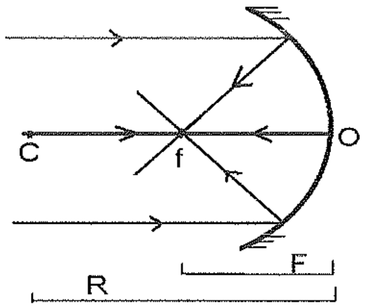
الشكل (10-3)

$$\frac{1}{S}+\frac{1}{S`}=\frac{2}{R} \qquad (10\text{-}1)$$

نسمي العلاقة (10-1) بقانون ديكارت للمرايا الكروية. حيث (S) هو بعد النقطة (A) عن رأس (أو قطب) المرآة (o) و (S' هو بعد الخيال (A') عن رأس (أو قطب) المرآة (o).

10- 2-3- المحرق و البعد المحرقي للمرايا الكروية المقعرة:

إذا وقع الجسم النقطي في اللانهاية ويرسل أشعة متوازية وتوازي المحور الأصلي للمرآة المقعرة تلتقي هذه الأشعة بعد انعكاسها عن المرآة في نقطة وحيدة (f) تسمى محرق المرآة كما في الشكل (10-4).



الشكل (10-4)

10-4- الإجراء التجريبي: قياس البعد المحرقي لمرايا مقعرة:

1- ضع المرآة المقعرة الأولى على الحامل مقابل المنبع الضوئي وعلى بعد (S) ثم حرك الحاجز أمام المرآة حتى يتشكل خيالاً واضحاً عليه.ثم قس بعد الحاجز عن المرآة وهو (S')

2- احسب البعد المحرقي للمرآة وفق العلاقة (10-2).

3- كرر الخطوة السابقة خمس مرات وسجل نتائجك في جدول كالتالي:

التجربة	S(m)	1/ S(m^{-1})	S`(m)	1/ S'(m^{-1})	$F_1 = \frac{SS'}{S+S'}$ (m)
1					
2					
3					
4					
5					
					$\overline{F}_1 =$

4- ارسم العلاقة $(\frac{1}{S} = f(\frac{1}{S'}))$ ثم احسب البعد المحرقي لهذه المرآة F_1 من هذا البياني.

7- كرر الخطوات الثلاث الأولى من أجل المرآة الثانية إن وجددت وحدد F_2 (أي دون رسم الخطوة السادسة).

16-5- أسئلة حول التجربة:

ارسم خيال جسم (ab) عمودي على المحور الأصلي لمرآة مقعرة في الحالات التالية:

1. إذا وقع الجسم أبعد من مركز انحناء المرآة (S > R).
2. إذا وقع الجسم في مركز انحناء المرآة (S = R) ناقش هذه الحالة حسابياً.
3. إذا وقع الجسم أقرب من مركز انحناء المرآة و أبعد من المحرق (R > S > F).
4. إذا وقع الجسم في محرق المرآة (S = F) ناقش هذه الحالة حسابياً.
5. إذا وقع الجسم في نقطة أقرب إلى المرآة من محرقها (S < F).

21-3- الأجهزة وأدوات التجربة:

سوار من الألمنيوم معلق بخيط-ميزان نابضي مدرج يعلق به الخيط المعلق به السوار-وعاء زجاجي يوضع فيه الماء-حامل مع قاعدة لتثبيت الميزان النابضي-قاعدة معدنية لوضع الوعاء الذي يحوي السائل عليها بحيث يمكن تغيير ارتفاعها بلولب جانبي كما في الشكل(21-3).

21-4- الإجراء التجريبي: تعين التوتر السطحي لسائل باستخدام سوار من الألمنيوم:

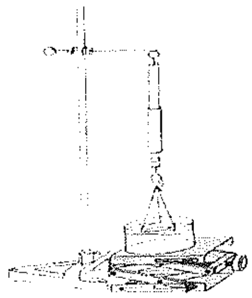
1- نظف سوار الألمنيوم جيدا في محلول كيميائي أن توفر ثم بالماء النقي.

2- نظف الوعاء الزجاجي الذي يوضع فيه السائل بنفس الطريقة السابقة.

3- حدد نصف قطر السوار (R) باستخدام القدم القنوية.

4- علق سوار الألمنيوم بنهاية الميزان النابضي المعلق بشكل شاقولي بواسطة الحامل.

5- ضع الوعاء الزجاجي بعد تعبئته بالماء على القاعدة المعدنية الصغيرة واجعل سوار الألمنيوم داخل الماء كما في الشكل (21-3).



الشكل (21-3)

6- اخفض الطاولة المعدنية الحاملة للوعاء الزجاجي بالتدريج بتدوير لولبها ببطء مما يؤدي إلى انخفاض السطح الفاصل بين الماء والهواء إلى الأسفل. في أثناء ذلك راقب قراءة تدريج الميزان النابضي الذي يقيس محصلة القوى المؤثرة في سوار الألمنيوم فتجد أن هذه القراءة تزداد مع انخفاض المنضدة إلى أن تصل إلى وضع ينفصل فيه السوار عن سطح الماء عند ذلك تجد أن قراءة تدريج الميزان النابضي قد نقصت فجأة.

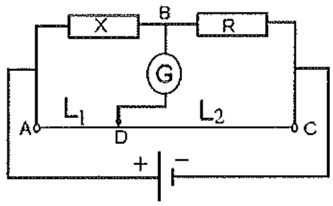
7- سجل قراءة الميزان النابضي قبل وبعد انفصال سوار الألمنيوم عن سطح الماء مباشرة.

8- احسب قيم التوتر السطحي (y).

9- كرر الخطوات في الفقرتين الخامسة والسادسة أربع مرات ثم سجل النتائج في جدول كالتالي:

التجربة	قراءة الميزان قبل انفصال السوار W_1	قراءة الميزان بعد انفصال السوار W_2	$mg = W_2 - W_1$	التوتر السطحي $y = \frac{mg}{4\pi R}$
1 2 3 4 5				
				$\bar{y} =$

10- نكرر ماسبق لقياس التوتر السطحي لسائل أخر إن وجد.



الشكل (2-14)

كما نبدل المقاومة (R_1) بالمقاومة المجهولة التي نرمز لها بالرمز (X) والمقاومة (R_2) بالمقاومة المعلومة (R). لتوازن الجسر نحرك الزالقة (D) على السلك يميناً ويساراً.إن نسبة مقاومتي سلكين متجانسين في المادة والمقطع تساوي نسبة طوليهما (حسب قانون أوم الثاني $R = \rho \frac{L}{S}$):

$$\frac{R_4}{R_3} = \frac{L_1}{L_2}$$

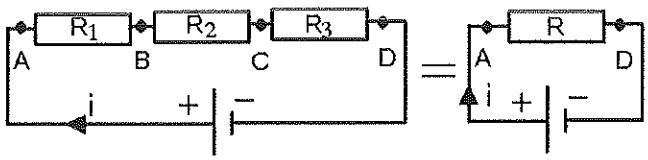
فتصبح العلاقة (1-14) من الشكل:

$$X = R\frac{L_1}{L_2} \qquad (14\text{-}2)$$

توصل المقاومات في الدارات الكهربائية بطريقتين: طريقة الوصل على التسلسل وطريقة الوصل على التفرع (التوازي).

1- طريقة الوصل على التسلسل:

يتم وصل المقاومات على التسلسل بوصل بداية كل مقاومة مع نهاية المقاومة السابقة كما في الشكل (3-14):



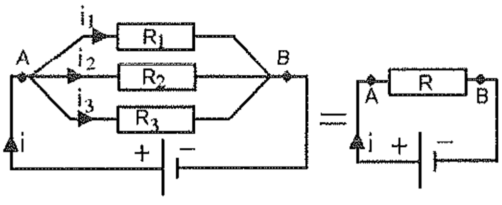
الشكل (3-14)

إن المقاومة المكافئة لعدة مقاومات موصلة على التسلسل تساوي مجموع المقاومات:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots\ldots + R_n \qquad (14\text{-}3)$$

2- طريقة الوصل على التفرع (التوازي):

يتم وصـل المقاومات على التفرع (التوازي) بوصـل بداية المقاومات إلى نقطة واحدة (A) ونهاية المقاومات إلى نقطة ثانية (B) كما في الشكل (4-14):



الشكل (4-14)

إن مقلوب المقاومة المكافئة لعدة مقاومات موصولة على التفرع (التوازي) تساوي مجموع مقلوب هذه المقاومات:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots\ldots + \frac{1}{R_n} \qquad (14\text{-}4)$$

3- أعد الخطوات السابقة بعد أن نضع المقاومة المعلومة الأخرى (R = 100 Ω).

6- احسب (X) الوسطية.

7- رتب نتائجك في جدول كالتالي:

8- قارن قيمة ($\overline{X}$) مع قيمة ($\overline{X}_1 + \overline{X}_2$). ماذا تستنتج؟.

R(Ω)	L_1(mm)	L_2(mm)	$X = R\dfrac{L_1}{L_2}$ (Ω)	$\overline{X}$ (Ω)	$\overline{X}_1 + \overline{X}_2$ (Ω)
10					
100					

14-4-3- التحقق من قانون جمع المقاومات على التفرع (التوازي):

1- قم بوصل المقاومتين (X_1) و (X_2) على التفرع وصلهما إلى الدارة المبينة في الشكل (14-2).

خذ (R = 10 Ω).

2- حرك الزالقة (D) حتى يتوازن الجسر سجل قيمة (L_1) و (L_2).ثم احسب قيمة (X) من العلاقة (14-2).

3- أعد الخطوات السابقة بعد أن نضع المقاومة المعلومة الأخرى (R = 100 Ω).

6- احسب (X) الوسطية.

7- رتب نتائجك في جدول كالتالي:

R(Ω)	L_1(mm)	L_2(mm)	$X = R\dfrac{L_1}{L_2}$ (Ω)	$\overline{X}$ (Ω)	$\dfrac{\overline{X}_1 . \overline{X}_2}{\overline{X}_1 + \overline{X}_2}$ (Ω)
10					
100					

8- قارن قيمة ($\overline{X}$) مع قيمة ($\dfrac{\overline{X}_1 . \overline{X}_2}{\overline{X}_1 + \overline{X}_2}$). ماذا تستنتج؟.

14-5- أسئلة حول التجربة:

1- ماذا نستفيد من توصيل المقاومات على التسلسل وعلى التفرع؟

2- ماذا يحصل إذا زدنا عدد المقاومات الموصولة على التفرع (أو أنقصناه)؟