منشورات وزارة التعليم العالي

دمشق

عملي الفيزياء للسنة التحضيرية للكليات الطبية

د. سهام الطرابيشي

د. كمال كايد،

د. فاتن الفيل

المعيد. محمد مروان الراعي

المدقِّقون العلميُّون

د. فوزي عوض، أستاذ في قسم الفيزياء، جامعة دمشق

د. سهام الطرابيشي، أستاذ في قسم الفيزياء، جامعة دمشق

المدقِّق اللُّغوي

الدكتور محمَّد قاسم

2015 – 2016م

1436 – 1437هـ

الفِهْرِس

	مقدمة المؤلفين	
	مقدمة إلى القياسات الفيزيائية	9
التجربة (1)	تحليل النتائج التجريبية	21
التجربة (2)	قياس الأطوال	31
التجربة (3)	النواس البسيط	41
التجربة (4)	الحركة الاهتزازية التوافقية	47
التجربة (5)	التوتر السطحي	51
التجربة (6)	قياس معامل اللزوجة	57
التجربة (7)	المرآة المقعرة	61
التجربة (8)	قوانين العدسات	69
التجربة (9)	المجهر الضوئي	79
التجربة (10)	الموشور	85
التجربة (11)	المطياف ذو الموشور	93
التجربة (12)	راسم الاهتزاز المهبطي	101
التجربة (13)	التيار المتناوب	111
التجربة (14)	قياس المقاومات الكهربائية (جسر وطسطون)	119
التجربة (15)	قانونا أوم وبعض تطبيقاتهما	129
التجربة (16)	المعادل الميكانيكي للحريرة	135
التجربة (17)	الحرارة النوعية لجسم صلب	141
الملحق الأول	جدول بعض الثوابت الفيزيائية	145
الملحق الثاني	قيم الكثافة الحجمية لبعض المواد	145
الملحق الثالث	بعض الواحدات المشتقة في الجملة الدولية	146
الملحق الرابع	المصطلحات	141

مقدمة المؤلفين

يتصدر هذا الكتاب مقدمة للقياسات الفيزيائية تتضمن تعريفاً بالأرقام المعنوية والواحدات المستخدمة في تقدير القياسات. يتعرف فيها الطالب أنواع الارتيابات، ويتعلم على كيفية تقدير الارتيابات في المقادير المقيسة. ويتعلم طرائق القياس المباشر وغير المباشر، كما يتعرف أنواع أجهزة القياس الميكانيكية وأجهزة القياس الكهربائية وأجهزة القياس الضوئية، كما تتضمن مجموعة من التمرينات تخص التجارب التي يمكن للطالب أن يجريها.

يتضمن الكتاب مجموعة من التجارب الأساسية (التجربتان1 و2) والميكانيكية (التجارب 3 و4 و5 و6) والضوئية (التجارب 7 و8 و9 و10 و11) والكهربائية (التجارب 12 و13 و14 و15) والحرارية (التجربتان 16 و17).

من التجارب الأساسية التي يتضمنها الكتاب دراسة تحليلية لنتائج تجريبية يترتب على جميع الطلاب القيام بها في الوقت نفسه. إذ يتعلم فيها الطالب كيفية الرسم على الورق المليمتري والتمييز بين الميل الهندسي الذي تعلَّمه في المرحلة الثانوية، الذي تتماثل فيه واحدات المحورين الأفقي والشاقولي، فيمثل في هذه الحالة ظل الزاوية، والميل الفيزيائي الذي تختلف فيه واحدات المحورين الأفقي والشاقولي، كأن يمثل أحدهما الزمن ويمثل الثاني المسافة التي يقطعها متحرك خلال الزمن، فيمثل الميل في هذه الحالة سرعة المتحرك.

من التجارب الأساسية التي يتضمنها الكتاب أيضاً تجربة لقياس الأطوال يترتب على جميع الطلاب إجراؤها في الوقت نفسه، يتعلم فيها الطالب كيفية إجراء قياسات الطول الدقيقة بكل من القدم القنوية والدوّارة اللولبية ومقياس الكرة.

وفي الكتاب مجموعة من التجارب يقوم الطلاب بإجرائها على التتالي كالعادة التي يتم فيها إجراء التجارب في مختبرات الفيزياء.

نستعرض فيما يأتي التجارب التي يقوم الطلاب بإجرائها على التتالي بالإضافة إلى ذكر أهميتها الحيوية:

يتقدم هذه التجارب تجربتان تعالجان الحركة الدورية، وهما "الحركة الاهتزازية للنواس البسيط" و "الحركة الاهتزازية لنابض" يتعلم الطالب من الأولى كيفية التعامل مع الحركات الدورية الحيوية كدورية القلب في تطبيق موجة الضغط على الدم، ويتعلم من الثانية بالإضافة إلى الدورية شيئاً من خصائص مرونة النابض كالاستطالة والانضغاط، ويستعين بها في فهم خصائص مرونة النسج التي تدرس في الفصول

14 و15 و20 من كتاب الفيزياء للسنة التحضيرية للكليات الطبية، وتساعده في فهم آليات الكشف عن الكتل والأورام في نسيج معين بتطبيق نبضة قصية (ميكانيكية منخضة التواتر يتمدد خلالها النسيج ويسترخي ببطء بحيث يمكن للأمواج فوق الصوتية أن ترصده) وأخرى فوق صوتية.

في الكتاب أيضاً تجربتا اللزوجة والتوتر السطحي يتعرف الطالب فيهما طبيعة كل منهما عن قرب فيفهم دور اللزوجة في جريان الدم ودور التوتر السطحي في آلية التنفس (الفصل14 من الفيزياء للسنة التحضيرية).

يتضمن الكتاب أيضاً تجارب المجهر وراسم الاهتزاز والمطياف. يتعلم الطالب من خلال المجهر كيفية قياس الأبعاد المكرومترية، ويتعلم براسم الاهتزاز قياس الكمونات المستمرة والمتناوبة وقياس التواترات والمقاومات، ويتعلم بالمطياف قياس الأطوال الموجية؛ وهي قياسات لا بد أن يلم بها خريج الكليات الطبية، مهما كان موقعه.

يضم الكتاب أيضاً تجارب المرآة المقعرة والعدسات والموشور يتدرب فيهما الطالب على قياس الأبعاد البؤرية والتكبير وقرينة الانكسار، وقد تم إعداد التمهيد النظري لهما لاستكمال الفصل الثالث من كتاب الفيزياء للسنة التحضيرية للكليات الطبية.

يتضمن الكتاب ثلاث تجارب كهربائية وهي "التيار المتناوب" و" جسر وطسطون" و"قانونا أوم" يتعلم الطالب في كل منها كيفية إجراء القياسات الكهربائية. يمكن لمنسق عملي الفيزياء في كل جامعة أن يختار واحدة منها في المختبر بحسب الأدوات المتوافرة.

في الكتاب أيضاً تجربتان حراريتان وهما " المعادل الميكانيكي للحريرة " و"قياس الحرارة النوعية لمعدن" يتعلم الطالب فيهما كيفية التعامل مع القياسات الحرارية. ويمكن لمنسق عملي الفيزياء أن يختار إحدى التجربتين في كل مختبر بحسب الأدوات المتوافرة.

لدى الاطلاع على الأدوات والتجهيزات المختبرية في مختلف مخابر جامعتي حلب وتشرين وجد تباين كبير في أشكالها الخارجية، ولو أن كلها تقوم بالدور نفسه في كل المخابر، ولذلك حرصنا على أن يكون وصف أدوات التجربة وتجهيزاتها عاماً لا يخص مختبراً معيناً، مستخدمين رسوماً واضحة لها، لا يخطئ الأستاذ المشرف على الجلسة أو الطالب في أي مخبر سحب مواصفاتها على التجهيزات لديه.

وقد بالغنا في حرصنا على كتاب عملي الفيزياء هذا حرصاً جعله لا يقل عن الكتاب النظريّ الذي يتمُّ به، وينعقد بمجموعهما لبنةٌ صالحةٌ ينهل منها طلبتنا طلبة الكليات الطبية، ولا يعدم الباحث الفيزيائي من مختلف الاختصاصات فوائدَ جمَّةً منه.

ومازل الاهتمام منصبَّاً على إغناء هذا الكتاب وإخراجه الإخراج الأنيق حتى خالف ما جرت عليه العادةُ من الإهمال في صناعة كتب العملي.

وهنا لا بد أن نتقدم بوافر الشكر لمن أطلعنا على صور التجهيزات المتوافرة في الجامعات الأخرى نخص منهم الدكتورة سلّامة أبو الشملات والأستاذ علاء زين الدين من جامعة تشرين ولبنى الناعمي من جامعة حلب.

وكذا نشكر طالبة الماجستير النَّابهة "ساندي العمري" للعناية الفائقة التي أبدتها في اجتلاب صور الكتاب وأشكاله تتوخّى في ذلك أدق الصور وأعلاها قيمةً في الأداء، بورك فيها، وكتبها الله في أهل العلم المخلصين.

وليس يفوتنا في تمام هذه المقدمة أن نتقدم بأخلص الشكر إلى زملائنا في جامعات حلب وتشرين ودمشق الذين تفضلّوا بالإسهام في وضع مفردات هذا الكتاب ولبناته الأولى بناء على طلب وزارة التعليم العالي، وهم الدكتور محمد أمين البيك والدكتور غسان ناشد من جامعة حلب، وكل من الدكتور محمد الحلبي والدكتورة سلّامة أبو الشملات من جامعة تشرين وكل من الدكتور محمود الغفري والدكتور فادي قمر من جامعة دمشق.

وكذا نشكر الأستاذة الدكتورة هند داود نائب رئيس جامعة دمشق للشؤون العلمية التي حرصت على رعايتها اجتماعات وضع مفردات هذا الكتاب، وعهدت إلى جامعة دمشق بمهمة تأليف الكتاب ليسهل التداول بين مؤلفيه، ليخرج الكتاب بكل فصوله بماء واحد ونسق متشابه وليكون مكملاً للكتاب النظري.

ولا يفوتنا أيضاً في تمام هذه المقدمة أن نشكر اللجنة العلمية المؤلفة من الأستاذ الدكتور فوزي غالب عوض والأستاذة الدكتورة سهام الطرابيشي بالشكر الجزيل والثناء الجم لما بذلته من جهد طيب مبارك، فكم أغنت الكتاب بملاحظها الثرة القيمة، وقوَّمت ما انآد منه حتى جعلته مستوياً على الجادة في أبهى حلّة.

وكذا نشكر الزميل الدكتور محمد عبد الله قاسم مدرس النحو والصرف في جامعة دمشق الذي تفضل بتدقيق الكتاب تدقيقاً لغوياً، ونكْبِرُ ما أبداه من حرصٍ وغيرة وسرعة لم تَجُر على الجودة في سبيل إنجاز هذا الكتاب، له منا خالص الشكر وموفور الثناء.

المؤلفون

مقدمة إلى القياسات الفيزيائية

تتضمن معظم التجارب الفيزيائية مقادير فيزيائية متعددة يجري الحصول عليها بالقياس المباشر أو القياس غير المباشر، ولا بد عند قياس أي مقدار فيزيائي تجريبياً من الوقوع بشيء من عدم التعيين في تحديده، وذلك نتيجة عدد من الأسباب (سيجري ذكرها لاحقاً)، وندعو عدم التعيين أو عدم التحديد في قياس أي مقدار بالارتياب، وهذا يقودنا إلى قاعدة مهمة عند إجراء القياسات الفيزيائية بغية الحصول على مقدار ما، وهي أن نرفق ذلك المقدار بعدد يدل على القيمة الكمية لذلك المقدار وقيمة الارتياب الذي يمكن ارتكابه عند إجراء القياس على المقدار المطلوب، بالإضافة إلى ذلك يجب أن نرفق المقدار المقيس بواحدة تدل على طبيعة ذلك المقدار، عندئذ يشير العدد الذي يدل على القيمة الكمية للمقدار المقيس إلى عدد الأجزاء أو عدد المضاعفات التي يساويها ذلك المقدار من الواحدة المستخدمة.

سنتحدث في هذه المقدمة عن المبادئ الأساسية للقياسات الفيزيائية، وهي الارتيابات التجريبية والواحدات المستخدمة عند إجراء القياسات بالإضافة إلى الحديث عن الأرقام المعنوية المرتبطة بالارتياب ارتباطاً وثيقاً، لما لها من أهمية عند إجراء القياسات الفيزيائية التجريبية، وكذا سنتطرق إلى ذكر أهم أنواع أجهزة القياس.

1. الأرقام المعنوية

يعرف الرقم المعنوي بأنه الرقم الموثوق عند قياس مقدار ما. فعند قياس طول ما بمسطرة عادية مدرجة بالمليمترات مثلاً يمكن تسجيل النتيجة 5.6cm. وتشير هذه الكتابة إلى أن عدد الأرقام الموثوقة في هذا القياس رقمان وهما 5 و6، ومِنْ ثمَّ فعدد الأرقام المعنوية في قياس هذا الطول يساوي اثنين؛ تتعلق هذه الأرقام، كما نلحظ، بالمقدار، أي الطول هنا، والأداة المستخدمة لتحديده تجريبياً. ولو أردنا كتابة نتيجة القياس السابقة بواحدة المتر لوجدنا أن النتيجة في هذه الحالة تصبح مساوية 0.056m وهنا نلحظ أن عدد الأرقام في هذه الكتابة أربعة أرقام إلّا أن الأرقام المعنوية في هذه الحالة رقمان اثنان وهما 5 و6، لأن الأرقام المعنوية هي التي يكون لها معنى تجريبي فقط، وهي الأرقام الموثوقة عند إجراء القياس التجريبي، وما أجريناه هو تغيير في الواحدة وتغيير الواحدة لا يمكن أن يغير من دقة القياس.

2. الواحدات المستخدمة

ذكرنا أن قياس أي مقدار فيزيائي لا بد أن يرافقه واحدة تدل على طبيعته، عندئذ يشير العدد إلى عدد الواحدات الممثلة لذلك المقدار.

ويوجد عدة جمل من الواحدات في كل منها عدد من الواحدات الأساسية (وهي الواحدات التي يتم تعريفها عملياتياً باختيار معيار لها وإعطاؤها طابعاً خاصاً بها) والواحدات المشتقة (وهي الواحدات التي يُحصل عليها من الواحدات الأساسية عن طريق علاقات رياضية تربطها بها).
وأهم جمل الواحدات الجملة الدولية والجملة السغثية (cm,g,s)؛ إذ يبين الجدول1 أهم الواحدات الأساسية في الجملة الدولية:

أما الواحدات المشتقة فهي كثيرة، وكما أسلفنا يمكن الحصول عليها بسهولة عن طريق علاقات رياضية تربطها بالواحدات الأساسية في الجملة الدولية.

الجدول1. الواحدات الأساسية في الجملة الدولية

المقدار	اسم الواحدة	رمز الواحدة
الكتلة	الكيلوغرام	kg
الطول	المتر	m
الزمن	الثانية	s
شدة التيار	الأمبير	A
شدة الإضاءة	الشمعة	cand
درجة الحرارة	الكلفن	K^o
الزاوية	الراديان	rad

مثال: السرعة وواحدتها متر في الثانية m/s وهي تعتمد تعريف السرعة $v = dx/dt$ وكذلك واحدة القوة في الجملة الدولية هي النيوتن N وهي واحدة مشتقة من الكتلة والزمن والطول، حاصل ضرب الكتلة بالتسارع، وهي مستنتجة من قانون نيوتن الثاني $F = md^2x/dt^2$، أي $N = kg \cdot m/s^2$.

3. ارتيابات المقادير التجريبية

ذكرنا أن المقادير الفيزيائية التي يتم قياسها تتصف بشيء من عدم التحديد في القياس، وذلك نتيجة عدة عوامل وأسباب تؤدي إلى عدم معرفة القيمة الحقيقية الدقيقة، وندعو عدم التحديد هذا بارتياب القياس، ومِنْ ثَمَّ يعرف ارتياب القياس بأنه الانحراف عن القيمة الحقيقية للمقدار المقيس تجريبياً. وتقترب القيمة المقيسة من القيمة الحقيقية عند تكرار القياس عدداً كبيراً من المرات وأخذ متوسط هذه القيم؛ ومِنْ ثَمَّ نقوم عند إجراء قياس ما بتعيين المجال الذي تقع القيمة الحقيقية ضمنه، ويكون عرض المجال مرتبطاً بالارتياب. يبرهن إحصائياً أنه كلما كانت عدد مرات القياس أكبر اقتربنا من القيمة الحقيقية، كما يعبر الانحراف المعياري المرتبط بالمتوسط عن الثقة التي يمكن أن نوليها للقياس؛ لكننا نكتفي عادة ببضعة قياسات، ونعالج الأمر بإعطاء الارتياب الأعظمي المحسوب وفق قواعد بسيطة.

تتعدد الأسباب المؤدية إلى حدوث الارتيابات في القياس، وعلى هذا الأساس نجد عدة أنواع من الارتيابات التجريبية يمكن تلخيصها على النحو الآتي:

3.1. الارتيابات النظامية أو ارتيابات منظومة القياس المستخدمة

وهي ارتيابات يمكن تلافيها، لها علاقة بانحراف قراءة المقياس عن القيمة المعايرة فيه؛ فمثلاً عند قياس التيار الكهربائي بمقياس أمبير مدرج يمكن أن نجد مبدأ القياس فيه لا ينطبق على التدريجة صفر، وأنه ينطبق على التدريجة الأولى مثلاً، وذلك دون إمرار أي تيار فيه، ومِنْ ثَمَّ نجد عند قياس أي تيار قيمة للتيار الكهربائي مضافاً لها قيمة التدريجة الأولى، ويمكن تلافي هذا الارتياب بطرح قيمة التدريجة الأولى من القيمة الناتجة.

وقد تنتج الارتيابات النظامية عن المجرب نفسه. قد يقوم المجرب، على سبيل المثال، بأخذ القراءة في مقياس ذي مؤشر بالنظر إلى المؤشر أو النظر إلى التدريجات بصورة مائلة، وهذا بالطبع سوف يعطي نتيجة خاطئة للقياس. ويمكن تلافي هذه النتيجة الخاطئة بإعادة إجراء القياس مرة ثانية والنظر إلى المؤشر والتدريجات بشكل عمودي، لذلك يزود المقياس أحياناً بتدريج عاكس إلى جانب تدريج القراءة، وتكون القراءة الصحيحة عند التدريجة التي يتطابق عندها المؤشر وخياله.

3.2. الارتيابات العشوائية أو الارتيابات التكرارية

وهي الارتيابات الناتجة عن اختلاف الشروط المحيطة بالمقياس، مثل اختلاف درجة الحرارة أو وجود تيارات هوائية أو اهتزازات، وهذه عشوائية يصعب التحكم بها. لذلك تكرّر القياسات لنفس المقدار مرات متعددة، وتعالج هذه الارتيابات باتباع الطرائق الإحصائية للحصول على المقدار المقيس القريب من القيمة الحقيقية، وذلك لتحديده بدقة عالية. وتجدر الإشارة إلى أن هذه الارتيابات وضعت لها نظرية خاصة بها، وهي نظرية الارتيابات الإحصائية.

3.3. الارتياب المطلق والارتياب النسبي

نتعامل عند قياس المقادير الفيزيائية المختلفة مع صنفين من الارتيابات وهما:

1. الارتياب المطلق وهو يمثل الفرق بين القيمة الحقيقية للمقدار الذي نريد قياسه وقيمته المقيسة؛ فإذا رمزنا للمقدار المقيس بالرمز X وللارتياب المطلق المرتكب عند قياسه بالرمز التغيري ΔXفعندئذ يمكن كتابة القيمة الفعلية للمقدار المقيس على الشكل الآتي:

$$\overline{X} = X \pm \Delta X \qquad (1)$$

حيث X ، القيمة المقيسة للمقدار و $\overline{X}$ ، القيمة الفعلية للمقدار، و ΔX الارتياب المطلق الذي يمكن ارتكابه في قياس المقدار.

2. **الارتياب النسبي** وهو يمثل نسبة الارتياب المطلق المرتكب إلى القيمة المقيسة لذلك المقدار، وباتباع الرموز السابقة نكتب الارتياب النسبي δ على الشكل الآتي:

$$\delta = \frac{\Delta X}{X} \qquad (2)$$

ويكتب عادة الارتياب النسبي على شكل نسبة مئوية، وهي معروفة بدقة القياس.

نلحظ وجود فارق مهم بين الارتياب المطلق والارتياب النسبي، وهو أن الارتياب المطلق دوماً سوف يكون له واحدة هي واحدة المقدار المقيس نفسه بينما لا يمتلك الارتياب النسبي أي واحدة لأنه يمثل النسبة بين مقدارين لهما الواحدة نفسها. يفيد الارتياب النسبي أو الدقة بالتعرف مباشرة على جودة القياس مهما كان كبر المقدار، ومِنْ ثمَّ يشير إلى طريقة تحسين القياس باستعمال مقياس مناسب.

3.4. الارتيابات في المقادير التقريبية

يرتبط معظم المقادير الفيزيائية بعضها ببعض بعلاقات تحتوي على مقادير يجري قياسها بالإضافة إلى ثوابت عديدة بعضها أعداد غير منتهية مثل العدد π والعدد e أساس اللغارتمات الطبيعية، وبعضها الآخر مقيس في مختبرات معايرة عالمية مثل شحنة الإلكترون، لذلك نأخذ في كثير من الحالات عدداً معيناً من الأرقام، ومِنْ ثمَّ نكون قد عوضنا قيمة قريبة من القيمة الفعلية لهذا الثابت أو العدد، وفي هذه الحالة نكون قد ارتكبنا ارتياباً في تحديد قيمة ذلك الثابت أو العدد. غير أنه يمكن تخفيض هذا الارتياب قدر ما نشاء بأخذ عددٍ أكبر من الأرقام، ويحكم ذلك إذن الارتيابات الأخرى في المقادير المقيسة، ويمكن توضيح هذه الأخطاء بمثال مهمّ.

مثال: يرد الثابت π في كثير من العلاقات التي تربط الكثير من المقادير الفيزيائية بعضها ببعض؛ ونلحظ أن هذا الثابت هو عدد غير منتهٍ، ونلحظ باستخدام الآلة الحاسبة أن الثابت π يعطى القيمة الآتية:

$$\pi = 3.1415926536.........$$

ولكن في كثير من الحالات يمكن الاكتفاء بتعويض عدد معين من الأرقام التي يحتويها هذا الثابت؛ وفي كل حالة يمكن تقدير قيمة الارتياب الأعظمي المرتكب عند الاكتفاء بهذا العدد من الأرقام. وعند إجراء مثل هذا التقريب يجب النظر إلى القيمة الفعلية للثابت كما يجب النظر إلى القيمة التقريبية له وعلى هذا الأساس يتم تحديد الارتياب الأعظمي المرتكب عند إجراء ذلك التقريب.

الجدول 2

قيمة الثابت π	الخطأ المطلق	الخطأ النسبي
3	0.14159265	4.4%
3.1	0.04159265	1.5%
3.14	0.00159265	0.06%
3.14159	0.00000265	0.01%

يبين الجدول2 أمثلة لعدد الأرقام التي يمكن تقريب الثابت π بها عند تعويض قيمة هذا الثابت وكل من الارتياب المطلق والارتياب النسبي المرتكب عند إجراء ذلك التقريب.

نلحظ من الجدول السابق أن العمود الأول يحتوي على القيمة العددية التي يمكن تقريب الثابت π بها، وأن العمود الثاني يحتوي على قيمة الارتياب المطلق الذي يتم ارتكابه عند تعويض هذه القيمة، والعمود الثالث يحتوي على قيمة الارتياب النسبي الذي يتم ارتكابه عند الاكتفاء بهذه القيمة للثابت.

4. القياس المباشر والقياس غير المباشر

تقسم الطرائق المتبعة لتحديد المقادير الفيزيائية إلى طريقتين وهما:

4.1. طريقة القياس المباشر

وهنا يتم تعيين قيمة المقدار الفيزيائي الذي نريد الحصول عليه مباشرة عن طريق اختيار جهاز قياس مناسب لذلك المقدار. وفي هذه الحالة فإن الارتياب الأعظمي الذي يمكن ارتكابه في تعيين قيمة ذلك المقدار هو ارتياب يتعلق بالمجرب وبجهاز القياس المستخدم، وهنا يكتب المقدار مباشرة على الشكل الآتي:

$$\overline{X} = X \pm \Delta X$$

حيث ΔX الارتياب الأعظمي الممكن ارتكابه عند إجراء القياس على المقدار المطلوب، وهنا نشير إلى حالة مهمة جداً، وهي قراءة النتيجة من مقياس مدرج، ففي هذه الحالة يكون الارتياب المطلق الأعظمي الذي يمكن ارتكابه في القياس هو أصغر جزء يمكن للمجرب أن يميزه أثناء القراءة، ومِنْ ثمَّ يختلف الارتياب المطلق المرتكب من شخص إلى شخص آخر. على سبيل المثال، قياس طول ما بواسطة مسطرة مدرجة، فقد تكون التدريجة عريضة على نحو يميّز شخصٌ ربع التدريجة، ويميز آخر نصف التدريجة، ويميز ثالث التدريجة كاملة فقط؛ وفي كل الأحوال يجب ذكر الرقم الصحيح وعدد الأرباع أو الأنصاف المقابل لكل مجرب.

4.2. طريقة القياس غير المباشر

وهنا يجري تعيين المقدار المطلوب بواسطة علاقات معينة تربط ذلك المقدار بمقدار آخر يمكن قياسه مباشرة. وكمثال على هذه الطريقة نذكر قياس حجم أسطوانة، إذ يتم قياس طول الأسطوانة وقطرها أو نصف قطرها ثم تطبيق العلاقة التي تعطي حجم الأسطوانة بدلالة طولها ونصف قطرها. يقدّر الارتياب الأعظمي في حساب مثل هذه المقادير باتباع عدة قواعد أهمها:

1. حالة المجموع الجبري: أي إن المقدار المحسوب يساوي حاصل جمع أو طرح مقدارين يتم

قياسهما، وفي هذه الحالة فإن الارتياب المطلق الأعظمي المرتكب في حساب هذا المقدار يساوي مجموع الارتيابيْن المطلقين في قياس كل مقدار على حِدةٍ، وتعمم هذه الحالة إذا كان المقدار يساوي حاصل جمع أو طرح عدة مقادير.

مثال:

$$X = X_1 - X_2 + X_3 \qquad (3)$$

حيث X_1 و X_2 و X_3 مقادير يتم قياسها مباشرة، X، مقدار يراد الحصول عليه عن طريق علاقته بالمقادير السابقة. ومن ثم فإن الارتياب المطلق الأعظمي ΔX الذي يمكن ارتكابه في حساب المقدار X، يساوي في هذه الحالة:

$$\Delta X = \Delta X_1 + \Delta X_2 + \Delta X_3 \qquad (4)$$

ΔX_1 و ΔX_2 و ΔX_3 الارتيابات المطلقة العظمى المرتكبة في قياس المقادير X_1 و X_2 و X_3 على الترتيب.

نلحظ في هذه الحالة أننا وضعنا إشارة (+) أمام جميع الحدود؛ لأننا نريد الحصول على أعظم قيمة ممكنة في حساب الارتياب المطلق، إضافة إلى هذا فإن الارتياب المطلق غير معروف الإشارة فقد يكون بالزيادة أو النقصان.

أما بالنسبة للارتياب النسبي المرتكب في هذا القياس فيمكن الحصول عليه مباشرة من علاقة الخطأ النسبي على الشكل الآتي:

$$\delta = \frac{\Delta X}{X}\% \qquad (5)$$

وهنا نلحظ كتابة الارتياب النسبي في حساب المقدار على شكل نسبة مئوية.

2. حالة الضرب بعدد ثابت: أي إن المقدار المحسوب يساوي جداء مقدار يتم قياسه بشكل مباشر مضروباً بعدد ثابت، وفي هذه الحالة يكون الارتياب الأعظمي المرتكب يساوي جداء العدد الثابت مضروباً بالارتياب المطلق المرتكب في المقدار المقيس.

مثال:

$$Y = 3X \qquad (6)$$

حيث X، مقدار يتم الحصول عليه بشكل مباشر؛ Y، مقدار يراد الحصول عليه عن طريق العلاقة السابقة. يكون الارتياب المرتكب في هذه الحالة في حساب المقدار Y يساوي:

$$\Delta Y = 3\Delta X \qquad (7)$$

حيث ΔY، الارتيـاب المطلـق الأعظمـي المرتكـب فـي حسـاب المقـدار Y؛ ΔX، الارتيـاب المطلـق الأعظمي المرتكب في قياس المقدار X.
ويتم بسهولة الحصول على الارتياب النسبي المرتكب في حساب المقدار السابق.

3. حالــة الجــداء والقســمة: أي إن التـابع أو المقـدار الـذي نريـد حسـابه يسـاوي جـداء أو حاصـل قسـمة عـدد مـن المقـادير التجريبيـة التـي يـتم قياسـها بشـكل مباشـر. نحصـل عندئـذ علـى الارتيـاب الأعظمـي المرتكـب فـي حسـاب المقـدار بواسـطة طريقـة التفاضـل اللغـارتمي لسـهولة الحسـاب؛ وذلـك بـأن نأخـذ لغـارتم طرفـي العلاقـة، ثـم نقـوم بالاشـتقاق، ونكتـب الارتيـاب المطلـق مكـان التفاضـل، فنحصـل علـى الارتيـاب النسـبي المرتكـب فـي حسـاب المقـدار المطلـوب، ومنـه نحصـل على الارتياب المطلق المرتكب.
توضَّـح هـذه الطريقـة مـن خـلال المثـال الآتـي الـذي يبـين كيفيـة حسـاب الارتيـاب المرتكـب فـي قياس حجم كرة.
مثـــال: احسـب قيمـة حجـم كـرة وقيمـة الارتيـاب المطلـق المرتكـب فـي حسـاب حجمهـا علمـاً أن نتيجة قياس قطرها تعطى على الشكل الآتي:

$$D = (3.43 \pm 0.01)cm$$

نعلم أن حجم الكرة بدلالة قطرها يساوي $\frac{1}{6}\pi D^3$، ومِنْ ثمَّ فإن حجم الكرة يساوي:

$$V = \frac{1}{6}\pi D^3 = \frac{1}{6}(3.14)(3.43)^3 = 21.12cm^3 \tag{8}$$

ولحسـاب الارتيـاب الأعظمـي المرتكـب فـي حسـاب حجـم الكـرة نتبـع طريقـة التفاضـل اللغـارتمي فنأخذ لغارتم طرفي علاقة حجم الكرة فنحصل على العلاقة الآتية:

$$\log V = \log 1 - \log 6 + \log \pi + 3\log D \tag{9}$$

باشتقاق طرفي العلاقة السابقة نحصل على:

$$\frac{dV}{V} = 0 - 0 + \frac{d\pi}{\pi} + 3\frac{dD}{D} \tag{10}$$

وهنـا نلحـظ أننـا أبقينـا على مشـتق الثابـت π؛ لأن تعـويض قيمـة هـذا الثابـت سـوف يـؤدي إلـى ارتياب مرتكب في تقريبه؛ بينما لا يوجد مثل هذا التقريب للعددين الآخرين.
بالانتقـال إلـى رمـوز الارتيـاب وأخـذ الارتيـاب الأعظمـي الممكـن (تحويـل كـلّ الإشـارات السـالبة إلـى إشـارات موجبـة) نحصـل علـى الارتيـاب النسـبي الأعظمـي المرتكـب فـي حسـاب حجـم الكـرة علـى الشكل الآتي:

$$\frac{\Delta V}{V}=\frac{\Delta\pi}{\pi}+3\frac{\Delta D}{D} \tag{11}$$

حيث $\frac{\Delta D}{D}$، الارتياب النسبي المرتكب في قياس قطر الكرة؛ $\frac{\Delta\pi}{\pi}$، الارتياب النسبي المرتكب في تقريب قيمة الثابت π؛ $\frac{\Delta V}{V}$ الارتياب النسبي المرتكب في حساب حجم الكرة.

وكما نلحظ فإن نتيجة قياس قطر الكرة تعطي الارتياب المطلق المرتكب في هذا القياس، ومِنْ ثمَّ يمكن حساب الارتياب النسبي المرتكب في قياس قطر الكرة على النحو الآتي:

$$\Delta D=0.01cm \Rightarrow \frac{\Delta D}{D}=0.003=0.3\% \tag{12}$$

أما الارتياب النسبي المرتكب في تعويض قيمة الثابت π فيمكن إيجاده بملاحظة أننا قربنا الثابت إلى عددين عشريين، ومِنْ ثمَّ فإن قيمة الارتياب المطلق والارتياب النسبي المرتكب في تقريب قيمة الثابت يساوي حسب الجدول2:

$$\pi \approx 3.14 \Rightarrow \frac{\Delta\pi}{\pi}=0.0006=0.06\% \tag{13}$$

ومِنْ ثمَّ فإن الارتياب النسبي والارتياب المطلق المرتكب في حساب حجم الكرة السابقة يساوي:

$$\frac{\Delta V}{V}=0.0006+0.009=0.0096=0.96\% \Rightarrow \Delta V=0.2cm^3 \tag{14}$$

نلحظ صغر الارتياب النسبي للثابت π مقارنة بالارتياب النسبي للقطر عند الاكتفاء برقمين عشريين؛ إذ كان من الممكن تصغيره أكثر بأخذ ثلاثة أرقام عشرية معروفة له. فتكتب النتيجة النهائية لحساب حجم الكرة السابقة نتيجة قياس قطرها على الشكل الآتي:

$$\bar{V}=(21.1\pm 0.2)cm^3 \tag{15}$$

نلحظ أن حساب الارتياب المطلق الأعظمي في حساب حجم الكرة السابقة يعطي نتيجة الارتياب برقم عشري واحد، لذلك حذفنا باقي الأرقام في حساب الحجم، فعوضاً عن كتابة قيمة حجم الكرة السابقة على الشكل $21.12cm^3$ قمنا بكتابته على النحو $21.1cm^3$؛ لأن الارتياب برقم عشري واحد، ولا داعي لكتابة باقي الأرقام بعد الفاصلة. ومن الجدير ذكره أنه لدينا في هذه الحالة ثلاثة أرقام معنوية، ويبقى الأمر كذلك لو غيّرنا واحدة القياس من cm إلى m إذْ ستنزاح الفاصلة لكن يبقى عدد الأرقام المعنوية ثلاثة يعينها الارتياب المطلق الذي يعطي الثقة بآخر رقم مكتوب.

ونؤكد ثانية أن الارتياب المطلق الموجود في عبارة النتيجة النهائية للمقدار المحسوب أو المقدار المقيس يجب إرفاقه بالإشارتين الموجبة والسالبة لأنّ الخطأ قد يحدث في الزيادة أو في النقصان.

5. أجهزة القياس

نشير في نهاية هذه المقدمة المتعلقة بالقياسات الفيزيائية إلى وجود عدد كبير من أجهزة القياس الفيزيائية يمكن تلخيص أهمها وفقاً لأنواعها المختلفة على النحو الآتي:

5.1. المقاييس الميكانيكية وأهمها:

(1) أجهزة قياس الأطوال مثل المسطرة المدرجة العادية والقدم القنوية التي تستخدم لقياس الأطوال الدقيقة والدوّارة اللّوْلبية.

(2) أجهزة قياس الزوايا وأشهرها المنقلة.

(3) أجهزة قياس المدد الزمنية وأشهرها الميقاتيات الزمنية.

تستخدم المقاييس الميكانيكية في تجارب النواس البسيط والحركة الاهتزازية التوافقية وفي بعض التجارب الضوئية.

5.2. المقاييس الكهربائية وأهمها:

(1) أجهزة قياس التيار الكهربائي.

(2) أجهزة قياس التوتر الكهربائي.

(3) أجهزة القياس الكهربائية المتعددة، وهي أجهزة تستطيع قياس عدد من المقادير الكهربائية في نفس الوقت مثل قياس التيار الكهربائي والتوتر الكهربائي والمقاومة الكهربائية، ومنها المقاييس ذات المؤشر والمقاييس الرقمية.

(4) راسم الاهتزاز المهبطي حيث سيجري إفراد تجربة خاصة به.

5.3. المقاييس الحرارية، وأهمها مقياس درجة الحرارة أو ميزان الحرارة.

تستخدم المقاييس الكهربائية والحرارية في تجارب التيار المتناوب وقياس كمية الحرارة بالمسعر بالإضافة إلى تجربة راسم الاهتزاز المهبطي.

5.4. المقاييس الضوئية وأهمها:

(1) مقاييس الشدة الضوئية.

(2) مقاييس الأطوال الموجية في الأطياف الضوئية.

تستخدم المقاييس الضوئية في التجارب الضوئية مثل تجربة المطياف ذي الموشور.
وهذه تشمل معظم الأجهزة التي سنستعملها في تجاربنا.
ملحوظة مهمّة: لا تقبل أي نتيجة تجريبية في عملي الفيزياء إذا لم تكن مرفقة بالارتياب الأعظمي الذي يمكن ارتكابه وواحدة المقدار المقيس.

تمارين:

1. إذا علمت أن نتيجة قياس ارتفاع أسطوانة مصمتة h وقطرها D تعطى على الشكل الآتي:

$$D = (5.55 \pm 0.01)cm \quad و \quad h = (0.57 \pm 0.02)m$$

(1) اكتب قيمة ارتفاع الأسطوانة h بواحدة المليمتر واذكر عدد الأرقام المعنوية فيه.
(2) احسب قيمة حجم الأسطوانة السابقة وقيمة الارتياب المطلق المرتكب في حساب حجم تلك الأسطوانة، ثم اكتب النتيجة النهائية بواحدة المتر المكعب.

2. يستخدم النواس البسيط لحساب ثابت الجاذبية الأرضية، وذلك بقياس دور النواس وطوله كما مر معك في المرحلة الثانوية، إذ يعطى دور النواس البسيط في حالة السعات الصغيرة على الشكل الآتي:

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

فإذا علمت أن نتيجة قياس دور نواس بسيط T وطوله d يعطيان على الشكل الآتي:

$$d = (1.551 \pm 0.002)m \quad و \quad T = (2.50 \mp 0.08)s$$

- احسب قيمة ثابت الجاذبية الأرضية بالاعتماد على المعطيات السابقة، واحسب قيمة الارتياب الأعظمي المرتكب في حسابه، ثم اكتب النتيجة النهائية بواحدات الجملة الدولية.

3. قيس حجم كتلة معينة من دم رجل بالغ بغية تحديد كثافة دم ذلك الرجل، فإذا علمت أن كتلة الدم المسحوبة من جسم ذلك الرجل تساوي $(7.13 \pm 0.07)\times 10^{-3} kg$، وأن حجم تلك الكتلة يساوي $(6.7 \pm 0.1)cm^3$، فاحسب كثافة دم ذلك الرجل ρ واكتب النتيجة النهائية على الشكل $\bar{\rho} = \rho \pm \Delta\rho$ مقدرة بواحدة (g/cm^3)، واذكر عدد الأرقام المعنوية في كثافة دم ذلك الرجل في هذه الحالة.

4. يظهر العدد الأسي النيبري e في الكثير من العبارات التي تصف بعض الظواهر الطبيعية مثل الظواهر الاهتزازية المتخامدة وقانون التناقص الأسي للأشعة الكهرطيسية في المادة. ومن المعلوم أن العدد الأسي النيبري هو عدد حقيقي غير منته شأنه شأن العدد π، وتعطى قيمته على الشكل الآتي:

$$e = 2.178281828...,$$

– نظم جدولاً مثل الجدول2 (الذي يتضمن بعض القيم التقريبية للعدد π والارتياب المطلق والارتياب النسبي المرتكب في إجراء التقريب) يتضمن بعض القيم التقريبية للعدد الأسي النيبري بحيث يتم في الحالة الأولى تقريب العدد الأسي النيبري إلى الآحاد فقط ثم تقريبه لرقم عشري واحد فقط ثم تقريبه إلى رقمين عشريين ثم تقريبه إلى ثلاثة أرقام عشرية والارتياب المطلق والارتياب النسبي المرتكب في كل حالة.

5. يقاس ضغط سائل معين بالاعتماد على كثافته وعلى طول الوعاء أو ارتفاع الوعاء الموضوع فيه ويعطى بالعلاقة الآتية:

$$P = \rho g h$$

حيث ρ الكثافة الحجمية للسائل (كتلة واحدة الحجوم)، g تسارع الجاذبية الأرضية، h ارتفاع السائل في الوعاء.

– فإذا علمت أن تسارع الجاذبية الأرضية يساوي $(9.81 \pm 0.05) ms^{-2}$، وأن الكثافة الحجمية للزئبق قيست في إحدى التجارب، ووجدت أنها تساوي $(13.54 \pm 0.03) \times 10^3 kg/m^3$، فاحسب ضغط زئبق يشغل وعاء ارتفاعه يساوي $76cm$، واحسب الارتياب المطلق المرتكب في حسابه، ثم اكتب النتيجة على الشكل $\overline{P} = P \pm \Delta P$.

6. يقاس ثابت صلابة النابض أو ثابت مرونة النابض بتطبيق قوة معينة عليه تؤدي إلى استطالته ثم توازنه عند تلك الاستطالة، وأسهل أنواع القوى التي يتم تطبيقها هي قوة الثقل، وذلك بتعليق كتلة محددة في نهاية النابض تؤدي إلى استطالته. ومن تساوي قوة إرجاع النابض مع قوة ثقل الكتلة المعلقة نستطيع قياس ثابت صلابة النابض من العلاقة الآتية:

$$k = mg / x$$

حيث m الكتلة، g تسارع الجاذبية الأرضية، x استطالة النابض.

– فإذا علمت أن إحدى التجارب التي أجريت لقياس ثابت صلابة نابض معين تمت باستخدام كتلة تساوي 50g مقيسة بدقة تساوي 1% فأدت إلى استطالة النابض بمقدار x، حيث تم قياس الاستطالة بمسطرة مدرجة عادية، فكانت النتيجة أن مقدار الاستطالة يساوي $(1.00 \pm 0.01) cm$. فاحسب قيمة ثابت صلابة النابض السابق، ثم احسب الارتياب المرتكب في حسابه، واكتب النتيجة على الشكل الآتي $\overline{k} = k \pm \Delta k$ بفرض أن ثابت الجاذبية الأرضية يساوي $(980 \pm 1) cms^{-2}$.

7. يجري تعيين الحرارة النوعية للنحاس C بقياس كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة كتلة معينة m من الماء بمقدار ΔT، وتعطى كمية الحرارة التي يكتسبها النحاس بالعلاقة:

$$\Delta Q = mC\Delta T$$

فإذا علمت أن كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة 2kg من النحاس بمقدار $\Delta T = (5 \pm 0.5)K^{\circ}$ تساوي $\Delta Q = (3890 \pm 7)Joul$ ، وذلك في إحدى التجارب. احسب الحرارة النوعية للنحاس بالاعتماد على المعطيات السابقة، واحسب الارتياب المرتكب في هذا الحساب، ثم اكتب النتيجة على الشكل الآتي:

$$\overline{C} = C \pm \Delta C$$

8. إذا كان المقدار x يعطى بالعلاقة $x = \frac{b^3 \sqrt{a}}{(a-b)^2}$ ، وكانت واحدة كل من المقدارينa وb، مقدرة بالمتر. أوجد واحدة المقدار x.

9. يتم قياس قيمة تسارع الجاذبية الأرضية بالاعتماد على تجربة السقوط الحر التي يتم فيها قياس الزمن اللازم لسقوط كتلة من ارتفاع معين وبتطبيق قوانين الحركة المستقيمة المتغيرة بانتظام نجد أن العلاقة بين زمن سقوط الكتلة والارتفاع تعطى على الشكل الآتي:

$$h = \frac{1}{2} g t^2$$

– وذلك بفرض أن السرعة الابتدائية للكتلة معدومة. فإذا علمت أنه تم قياس الزمن اللازم لسقوط كرة كتلتها $50g$ من ارتفاع يساوي $4.51m$ دون سرعة ابتدائية فكان هذا الزمن مساوياً $(0.91 \mp 0.05)s$، فاحسب قيمة تسارع الجاذبية الأرضية بالاعتماد على هذه المعطيات، واحسب الارتياب المرتكب في تعيينه علماً أن الارتفاع المقيس أجري باستخدام مقياس دقته تساوي 1%، ثم اكتب النتيجة بالشكل النهائي:

$$\bar{g} = g \pm \Delta g$$

10. بفرض أن المقدار Y يعطى بدلالة المقادير X وZ وT بالعلاقة الآتية:

$$Y = \frac{35}{3.75} \sqrt[3]{X} \frac{T^{25}}{\sqrt{Z}}$$

– استنتج عبارة الارتياب النسبي المرتكب في حساب المقدار Y بالاعتماد على طريقة التفاضل اللغارتمي.

التجربة (1)

تحليل النتائج التجريبية

Data Analysis

1. الهدف من التجربة

(1) تعلّم استخدام أوراق الرسم البياني.

(2) التمييز بين الميل الفيزيائي والميل الهندسي.

(3) التدرب على تحليل النتائج والمعطيات التجريبية باستخدام التمثيل البياني.

2. تمهيد نظري

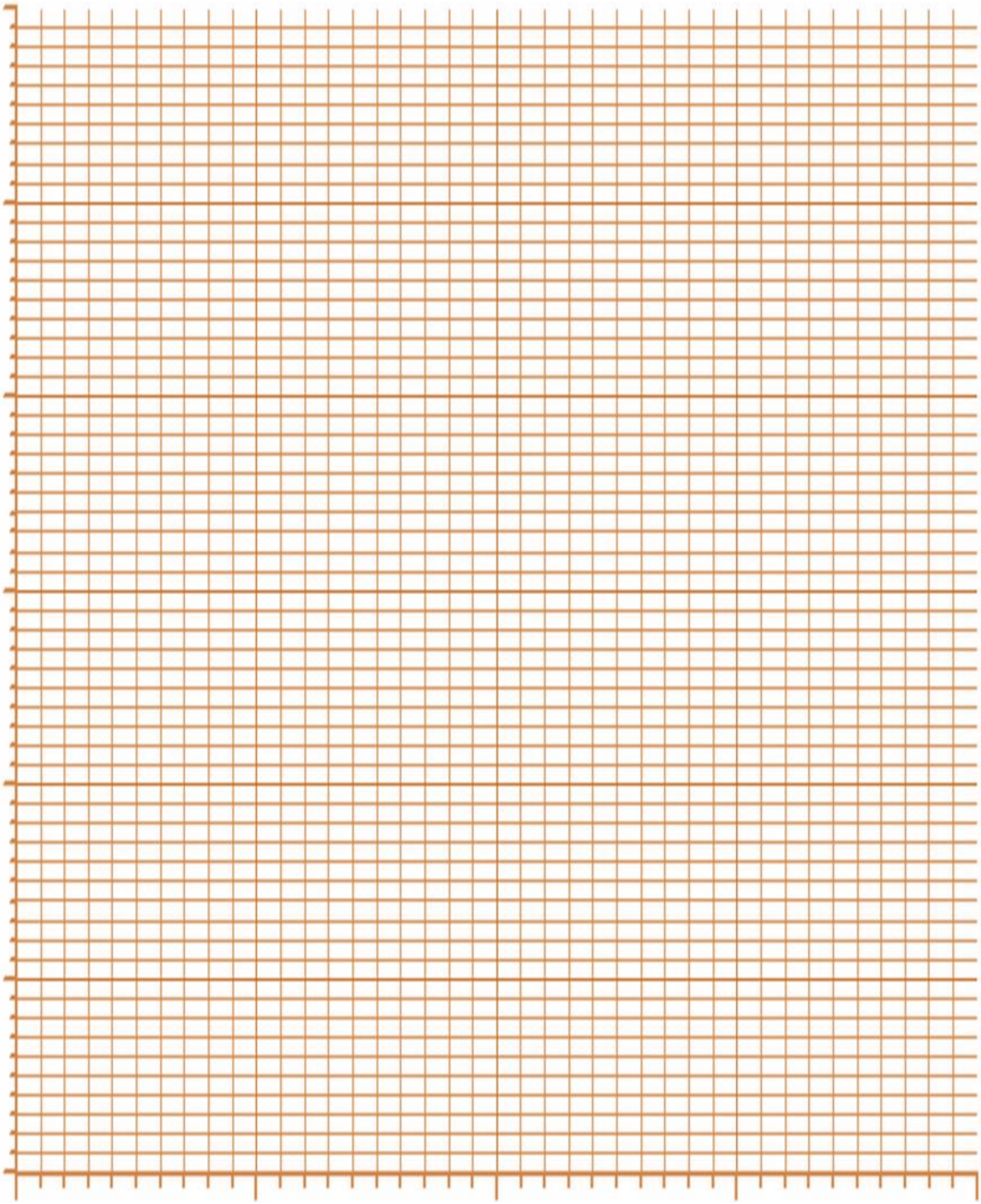
تتعدد نتائج قياسات التجارب الفيزيائية وفي كلّ الأحوال تدل هذه النتائج على علاقات معينة بين المقادير المقيسة، وغالباً ما تدل على العلاقة بين مقدارين يجري قياسهما في تجربة معينة كالمسافة والزمن أو الضغط السكوني لمائع ودرجة حرارة ذلك المائع أو فرق الكمون الكهربائي المطبق بين طرفي مقاومة كهربائية والتيار الكهربائي المار فيها...إلخ. ولا بد في كل تجربة من إيجاد العلاقة الكمية التي تربط بين المقدارين المقيسين والتي يمكن الحصول عليها بعدد من الطرائق كالمواءمة الحاسوبية أو التمثيل البياني للمعطيات التجريبية، وهي الطريقة التي سيتم التركيز عليها في هذه التجربة بغية تحليل النتائج التي يتم الحصول عليها من التجارب المختلفة.

3. تحليل النتائج التجريبية بالرسم البياني

يمكن استخدام طريقة التمثيل البياني لتحليل المعطيات التجريبية الناتجة عن التجارب المختلفة كما ذكرنا، ويتمتع تحليل النتائج التجريبية اعتماداً على طريقة الرسم البياني بميزات هامة كالتحقق من العلاقات التي تربط بين المقادير الفيزيائية وحساب مقادير أو ثوابت فيزيائية لا يمكن الحصول عليها مباشرة في التجربة أو إيجاد قيم لم يتم أخذها خلال التجربة لمتحول معين بدلالة متحول آخر، وتدعى هذه الطريقة بالاستقراء. إذ يجري تمثيل النتائج التي تربط بين مقدارين معينين على أوراق الرسم البياني والتي تتوافر بثلاثة أنواع، وهي الأوراق المليمترية والأوراق اللغارتمية والأوراق نصف اللغارتمية، ويجري اختيار النوع المناسب من الأوراق بحسب

شكل العلاقة التي تربط بين المقدارين المقيسين والتي قد تكون علاقة خطية أو علاقة تربيعية أو علاقة أسية وهذا طبعاً عائد إلى التجربة الذي يتم إجراؤها.

أولاً: الأوراق المليمترية



الشكل1. الورقة المليمترية

تتألف الورقة المليمترية كما هو موضح في الشكل1 من محورين تكون التقسيمات على كل منهما خطية ومتساوية فيما بينها، ويمكن اختيار التدريجات المناسبة لمعطياتنا التجريبية بحسب

ما نرغب على كل من المحورين. ويتم استخدام هذا النوع من الأوراق غالباً لتمثيل العلاقات الخطية بين مقدارين معينين. والعلاقة الخطية كما هو معلوم هي علاقة تُمثَّل بيانياً بخط مستقيم وتعطى من أجل مقدارين x و y كما هو معلوم وفقاً للمعادلة العامة الآتية:

$$y = mx + c \tag{1}$$

حيث c نقطة التقاطع مع محور التراتيب و m ميل المستقيم، ويعطى في هذه الحالة على النحو:

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \tag{2}$$

حيث (x_1, y_1) و (x_2, y_2) أي نقطتين من المستقيم، ويفضل أن تكون هاتان النقطتان بعيدتين قدر الإمكان بعضهما عن بعض ولو لم تكن هاتان النقطتان من النقاط التجريبية. ويعد ميل المستقيم في حالة التمثيل على الأوراق المليمترية الذي يدعى **بالميل الفيزيائي** أكثر الأمور أهمية عندما تكون العلاقة بين المقدارين المقيسين علاقة خطية؛ فهو يدل على مقدار فيزيائي يربط بين هذين المقدارين، وهذا ما سيتم التحقق منه عند إجراء مراحل التجربة. وكما هو واضح من العلاقة 2 فإن الميل الفيزيائي له واحدة، فهو يدل على مقدار فيزيائي محدَّد، ولذا يدعى بهذا الاسم.

ثانياً. الأوراق اللغارتمية

تستخدم الأوراق اللغارتمية لتمثيل علاقات من الشكل $y = ax^n$ حيث a ثابت، وهي تتألف كما هو واضح من الشكل2 من محورين تكون التقسيمات غير متساوية على كل منهما، وتتبع سلماً لغارتمياً عشرياً. واختيار التدريجات في هذه الحالة، بعكس الأوراق المليمترية، يكون غير تحكمي؛ إذ لا يمكننا اختيار أي تدريجات نشاء على كل من محوري الورقة، فنحن مقيدون بالتباعد اللغارتمي بين التدريجات. فإذا اخترنا الرقم 1 الموجود عند بداية المحور على أنه يساوي التدريجة 1 فإن الرقم 1 الذي يليه يشير إلى التدريجة 10 والرقم 1 الذي يليه يشير إلى التدريجة 100 وهكذا دواليك. وتدعى المسافة بين (1 و 10) أو بين (10 و 100) أو بين (100 و 1000) بالوحدة اللغارتمية العشرية أو الدور اللغارتمي العشري على الأوراق اللغارتمية العشرية. وكمثال على تحليل النتائج باستخدام الأوراق اللغارتمية العشرية نأخذ العلاقة المكافئية التي تستخدم في أمور عديدة كحركة السقوط الحر وحركة جسيم مشحون في حقل كهربائي معامد لسرعته الابتدائية وهذه العلاقة تأخذ الشكل الآتي:

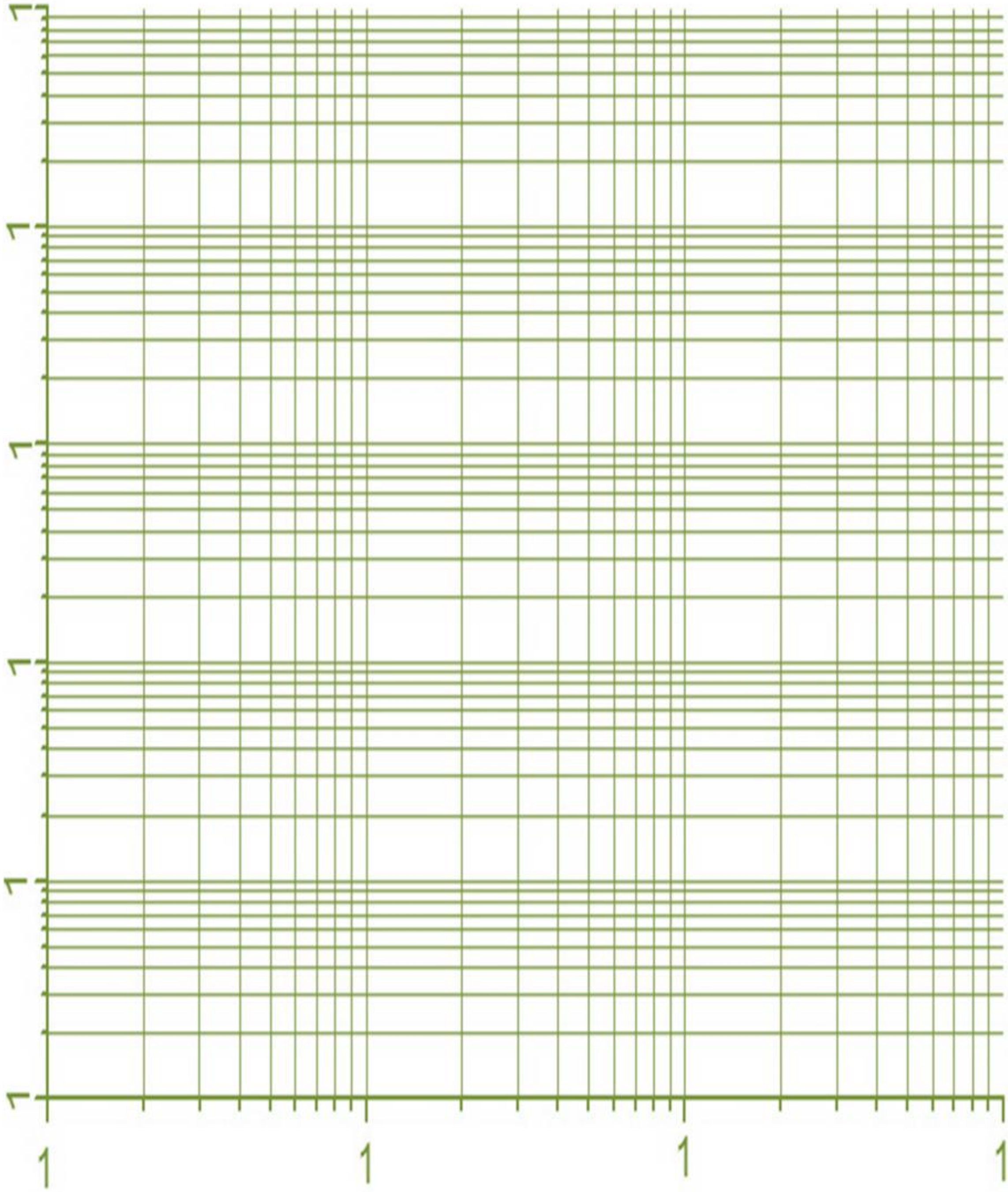
$$y = ax^2 \tag{3}$$

وبأخذ لغارتم طرفي العلاقة السابقة نجد أنها تكتب على النحو الآتي:

$$\log y = \log a + 2\log x \tag{4}$$

وكما هو واضح فإن هذه العلاقة تصبح بترميز $Y = \log y$ و $X = \log x$ و $C = \log a$ على النحو:

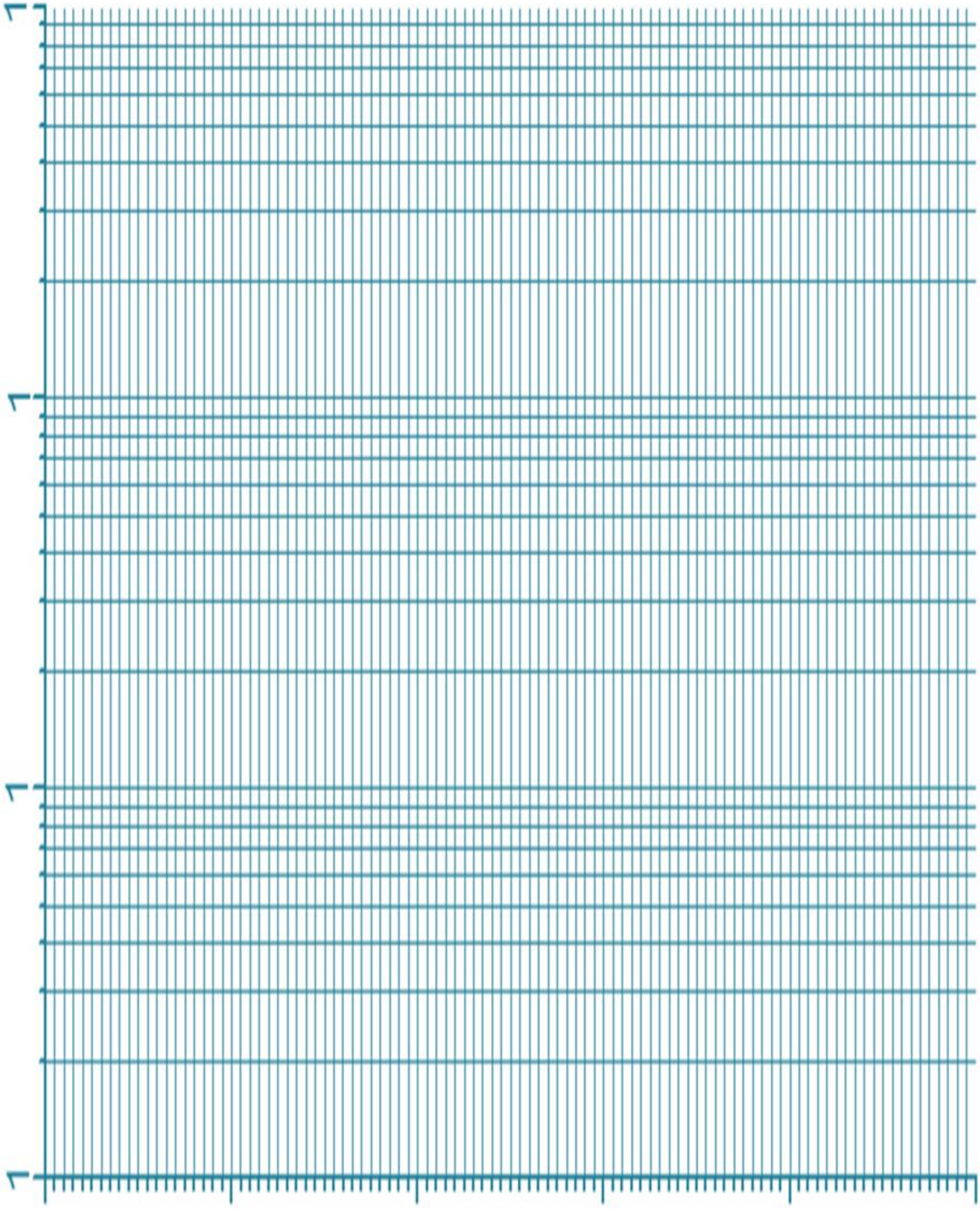
$$Y = C + 2X \tag{5}$$



الشكل2. الورقة اللغارتمية

وهي علاقة خطية تمثل خطاً مستقيماً يربط بين المتحولين X و Y ميله يساوي 2، وهو مقدار هندسي يساوي أس المتحول x. وكما نلحظ هنا أن الميل في هذه الحالة لا واحدة له، ويتم الحصول عليه بقياس $\tan\theta$ ظل الزاوية θ وهي الزاوية التي يصنعها الخط المستقيم مع محور الفواصل، وذلك بإنشاء مثلث قائم وقياس الضلع المقابل والضلع المجاور وحساب ظل الزاوية بسهولة، ولذا فالميل هنا هو **ميل هندسي لا واحدة له.**

ثالثاً: الأوراق نصف اللغارتمية



الشكل3. الورقة نصف اللغارتمية

يبين الشكل 3 أحد أنواع الأوراق النصف لغارتمية، وهي تتألف كما هو موضح في الشكل من محورين أحدهما يتبع سلماً خطياً مليمترياً، والآخر يتبع سلماً لغارتمياً، لذا فهو يدعى بالورق نصف اللغارتمي. ويستخدم هذا النوع من الأوراق لدراسة العلاقات الأسية التي تأخذ الشكل الآتي:

$$y = be^{ax} \tag{6}$$

حيث e^x التابع الأسي النيبري، a و b ثابتان. وبأخذ اللغارتم الطبيعي لطرفي العلاقة السابقة نجد:

$$\log y = \log b + ax \tag{7}$$

وبترميز $Y = \log y$ و $B = \log b$ نجد أن العلاقة السابقة تكتب على النحو الآتي:

$$Y = B + ax \tag{8}$$

فهي، كما نلحظ، علاقة خطية تمثل خطاً مستقيماً يربط بين x و Y وميله يساوي a، ويمكن حسابه على الشكل الآتي:

$$m = a = \frac{\ln y_2 - \ln y_1}{x_2 - x_1} \tag{9}$$

حيث (x_1, y_1) و (x_2, y_2) أي نقطتين من المستقيم، ويفضل كما في حالة الأوراق المليمترية أن تكون هاتان النقطتان بعيدتين قدر الإمكان بعضهما عن بعضٍ حتى لو لم تكن هاتان النقطتان من النقاط التجريبية.

والميل، كما نلحظ، يمثل في هذه الحالة، مقداراً فيزيائياً معيناً. فالميل هنا ميل فيزيائي كما في حالة الأوراق المليمترية، وهذا الميل له واحدة هي واحدة مقلوب المتحول الذي يتم تمثيله على محور الفواصل.

ملحوظات مهمّة:

(1) يجب كتابة عنوان منحني الرسم البياني عند تمثيل المعطيات التجريبية بيانياً كأن يكتب المجرب في حالة دراسة المقاومة الكهربائية لناقل كهربائي (تحولات فرق الكمون الكهربائي المطبق بين طرفي المقاومة الكهربائية بدلالة التيار الكهربائي المار فيها) كعنوان للمنحني الذي يقوم بتمثيله لدراسة مقاومة ذلك الناقل الكهربائي.

(2) يجب كتابة واحدات لكل من محور الفواصل ومحور التراتيب بحسب واحدات المقدار المقيس والممثل على كل منهما، كما ينبغي ذكر اسم المقدار الممثل على كلا المحورين أو ذكر الرمز الذي يمثله في التجربة.

(3) يفضل حساب قيمة ميل المستقيم في حالة العلاقات الخطية وكتابته أو كتابة آلية حسابه على ورقة الرسم البياني، كما يجب كتابة واحدته عندما يكون الميل فيزيائياً.

(4) يفضل الرسم باستخدام قلم الرصاص، ويُمنَع الكتابة على أوراق التمثيل البياني إلا بقلم رصاص كما في حالة كتابة عنوان للمنحني البياني أو في حالة كتابة ميل المستقيم في حالة العلاقات الخطية. ومن

المستحسن أن تكون نهاية قلم الرصاص رفيعة قدر الإمكان، وذلك لتفادي الارتياب الناتج عن سماكة نهاية قلم الرصاص.

(5) يقسم كل محور إلى واحدات رئيسة وجزئية تناسب تمثيل القيم العددية المعطاة في التجربة من أصغرها إلى أكبرها. وليس من الضروري أن يكون طول التدريجة الواحدة على المحور الأفقي مساوياً طول التدريجة على المحور الشاقولي، ولا أن يبدأ تدريج أي منهما بالصفر، وذلك كي يشغل المنحني أكبر مساحة من ورقة الرسم.

(6) إذا كانت القيم التي يتم تمثيلها على أحد المحورين أو على كليهما صغيرة للغاية أو كبيرة للغاية، فيجب في هذه الحالة استخدام عامل للضرب من قوى العشرة مثل 10^{-5} في حالة القيم الصغيرة أو 10^{4} في حالة القيم الكبيرة، ويكتب عامل الضرب عند طرف المحور باتجاه التزايد. ولا يجب استخدام أعداد فيها أكثر من رقمين معنويين لتمثيل التدريجات الرئيسة على المحورين.

(7) يجب أن يمر المنحني بأغلب النقاط التجريبية ولاسيَّما إذا كان خطاً مستقيماً وإذا كان لدينا عشر نقاط تجريبية مثلاً فيجب على المنحني أن يشملها جميعاً إذا كانت جميعها صحيحة ضمن حدود الأخطاء التجريبية، وفي هذه الحالة يمكن تمرير الخط المستقيم بحيث تكون النقاط التجريبية على يمينه تساوي النقاط التجريبية على يساره.

4. أدوات التجربة

أوراق مليمترية ولغارتمية ونصف لغارتمية، مسطرة مدرجة، أقلام رصاص.

5. مراحل العمل

أولاً: استخدام الأوراق المليمترية: نورد هنا مثالاً على استخدام الأوراق المليمترية لتحليل النتائج والمعطيات التجريبية نتائج تجربة الحركة المستقيمة المنتظمة، وهي كما تعلمت في المرحلة الثانوية تشمل حركة جسيم على منحى مستقيم بسرعة ثابتة قيمةً وحاملاً وجهةً، ويتبع هذا النوع من الحركة (كما مر معك في المرحلة الثانوية) المعادلة العامة الآتية:

$$x = v_0 t + x_0 \qquad (10)$$

حيث x يمثل موضع الجسيم في اللحظة الزمنية t، و x_0 موضع الجسيم عند بدء الزمن أي موضع الجسيم في اللحظة الزمنية $t = 0s$، أما v_0 فهي سرعة الجسيم وهي ثابتة كما ذكرنا. يحتوي الجدول1 على تغيرات موضع عربة كهربائية تسير بسرعة ثابتة على خط مستقيم، وذلك بدلالة الزمن اللازم لقطع تلك المسافة التي تقدر بواحدة السنتمتر.

الجدول1. موضع عربة تتحرك وفق منحى مستقيم بدلالة الزمن

$t(s)$	$x(cm)$	$t(s)$	$x(cm)$
1	12.0	6.5	**61.5**
1.5	16.5	9	**84.0**
2	21.0	9.5	**88.5**
2.5	25.5	10	**93.0**
3	30.0	10.5	**97.5**
3.5	34.5	17.5	**160.5**
4	39.0	20	**183.0**
4.5	43.5	25	**228.0**
5	48.0	27	**246.0**
5.5	52.5	30	**273.0**
6	57.0	35	**318.0**

(1) قم بتمثيل موضع العربة السابقة بدلالة الزمن على ورقة مليمترية مستفيداً من الملحوظات الواردة في الفقرات السابقة حول التمثيل البياني للمعطيات التجريبية.

(2) احسب قيمة سرعة العربة مقدرة بجملة الواحدات السغثية وجملة الواحدات الدولية، وذلك اعتماداً على ميل الخط البياني الناتج. ثم بين إذا كان ميل الخط فيزيائياً أم هندسياً.

(3) عيّن موضع العربة عند اللحظة الزمنية الابتدائية، وذلك اعتماداً على الخط الناتج.

(4) اكتب المعادلة العامة لحركة العربة، وذلك اعتماداً على نتائج الطلبات السابقة.

(5) احسب قيمة كل من موضع العربة وسرعتها عند كل لحظة من اللحظات الزمنية الواردة في الجدول2، وذلك اعتماداً على المنحني البياني الناتج والمعادلة العامة لحركة العربة.

الجدول2

$t(s)$	**7**	**15**	**32.5**	**37**	**40**
$x(cm)$					
$v(cms^{-1})$					

ثانياً: استخدام الأوراق اللغارتمية: نورد مثالاً على استخدام الأوراق اللغارتمية لتحليل النتائج والمعطيات التجريبية نتائج تجربة السقوط الحر، وهي كما مر معك في المرحلة الثانوية عبارة عن حركة سقوط الجسم تحت تأثير قوة ثقله فقط التي نعتبرها ثابتة تقريباً بالقرب من سطح الأرض، ومِن ثَمَّ فهي تمثل حركة جسم بتسارع ثابت، أي إنها عبارة عن حركة مستقيمة متغيرة بانتظام. ومِن ثَمَّ فإن معادلة حركة جسم

يسقط سقوطاً حراً قرب سطح الأرض باعتبار مبدأ الإحداثيات منطبق على نقطة تنطبق على الارتفاع الابتدائي تأخذ الشكل الآتي:

$$h = \frac{1}{2} a_0 t^2 \qquad (11)$$

حيث h يمثل متمم ارتفاع الجسم الذي يؤخذ بدءاً من نقطة السقوط الابتدائية التي نعتبرها مبدأ الإحداثيات وليس بدءاً من سطح الأرض، وذلك عند الحظة الزمنية t أما a_0، فيمثل التسارع الثابت للجسم الذي يساوي في هذه الحالة تسارع الجاذبية الأرضية قرب سطح الأرض. يحتوي الجدول3 على تغيرات موضع جسم كتلته m يسقط سقوطاً حراً قرب سطح الأرض.

الجدول 3. نتائج لتجربة السقوط الحر

$t(s)$	1.00	2.24	3.16	3.87	4.47	5.48	6.32	7.07	10.00
$t^2(s^2)$	1	5	10	15	20	30	40	50	**100**
$h(m)$	4.9	24.5	49.0	73.5	98.0	147.0	196.0	245.0	490.0

(1) قم بتمثيل متمم ارتفاع الجسم $h(m)$ بدلالة الزمن على ورقة لغارتمية مستفيداً من الملحوظات الواردة في الفقرات السابقة حول التمثيل البياني للمعطيات التجريبية.

(2) احسب قيمة ميل الخط البياني الناتج، وبيّن إذا كان هذا الميل فيزيائياً أم هندسياً.

(3) احسب قيمة تسارع الجاذبية الأرضية من الخط البياني الناتج، ثم اكتب المعادلة العامة لحركة الجسم في هذه الحالة.

التجربة (2)

قياس الأطوال

Lengths Measurement

1. الغاية من التجربة

(1) التعرف على بعض الأدوات المستخدمة لقياس الأبعاد واختيار الأداة المناسبة للدقة المطلوبة.

(2) حساب حجم كرة معدنية وحجم أسطوانة معدنية بشكل دقيق.

(3) حساب حجم موشور خشبي بشكل دقيق.

2. تمهيد نظري

تتنوع التجارب التي يضطر فيها المجرب لقياس الأبعاد مثل قياس نصف قطر كرة أو قياس طول سلك...إلخ، فمنها ما تكون فيها أبعاد الجسم كبيرة نسبياً بحيث يمكن استخدام الأدوات التقليدية لقياس الأبعاد مثل المسطرة العادية أو المتر المعدني، ومنها ما تكون فيها أبعاد الجسم صغيرة نسبياً، وهنا نلجأ إلى استخدام أدوات ذات قدرة على قياس الأبعاد الصغيرة مثل القدم القنوية والدوّارة اللّولبية اللّتين توصفان في هذه التجربة لدراسة كيفية قياس الأطوال باستخدامهما، ومِنْ ثمَّ تحسين الدقة في القياس.

3. أدوات قياس الأطوال

أولاً: المسطرة العادية

يمكن للمجرب الذي يقوم بقياس أبعاد جسم ما باستخدام المسطرة العادية، إلّا أن دقة القياس في هذه الحالة قد لا تكون مناسبة. فمن المعلوم أن المسطرة العادية تكون مدرجة بالمليمترات، ومِنْ ثمَّ فإننا يمكن أن نقيس أبعاداً بارتياب قدره مليمتر فقط أو نصف ذلك، باستخدام المسطرة العادية، وهذا يعود إلى عاملين هما:

(1) إمكان المجرب تمييز الأبعاد الصغيرة، ومِنْ ثمَّ ارتياب المجرّب.

(2) سماكة الخط المستخدم للتدريج الذي يصل في بعض المساطر إلى ثلاثة أجزاء عشرية من المليمتر.

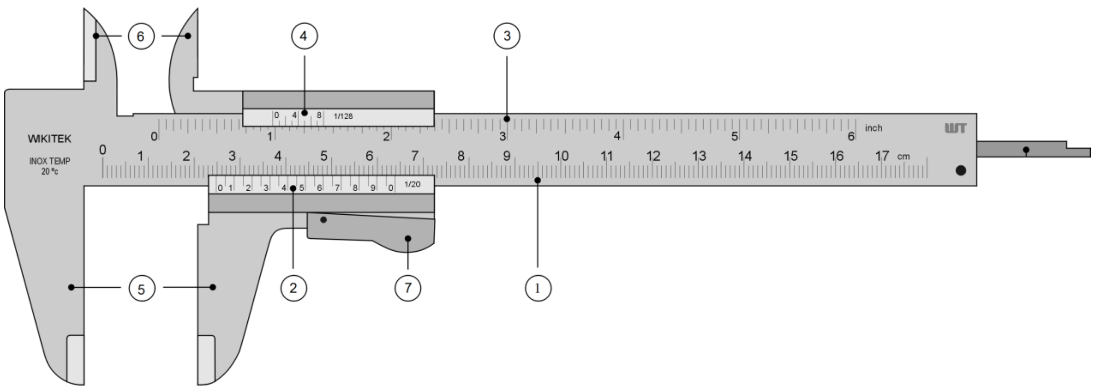
وهذا يعني أن استخدام المسطرة العادية لقياس الأبعاد سوف يكون تقديرياً جداً إذا كانت الأبعاد المطلوب قياسها من مرتبة المليمتر أو أجزائه، كما أنها سوف تكون دون جدوى في حال كان المجرب يتطلب دقة كبيرة في القياس حتى لو كانت أبعاد الجسم ليست من مرتبة المليمتر أو أجزائه، وهنا يلزم استخدام أدوات أخرى للقياس تلبي الدقة المطلوبة في التجربة كالقدم القنوية والدوّارة اللّولبية.

ثانياً: المتر المعدني

يشابه المتر المعدني كثيراً المسطرة العادية سواء من حيث دقة القياس أم من حيث تقسيم تدريجاته إلّا أنه يستخدم لقياس الأطوال الكبيرة نسبياً التي تكون عادة من مرتبة الأمتار، وقد يزيد على المسطرة العادية ارتياب إمكان تمدده حرارياً.

ثالثاً: القدم القنوية

تعد القدم القنوية من أدوات قياس الأبعاد المفيدة حين نحتاج إلى تحسين دقة القياس، وهي عبارة عن مسطرة عادية، وتدعى في بعض الأحيان بالمسطرة الثابتة، وهي مدرّجة بالمليمترات أو البوصات تنزلق عليها مسطرة أخرى تدعى بالمسطرة الفرنية (نسبة إلى مبتكرها Vernier)، وتدعى في بعض الأحيان بالمسطرة المتحركة. تستخدم القدم القنوية لقياس الأبعاد من مرتبة أجزاء تدريجات المسطرة العادية (المليمتر مثلاً).



الشكل1. أجزاء القدم القنوية

تتألف القدم القنوية كما يبين الشكل1 من:

1. مسطرة عادية مدرجة بالمليمترات، وهي تستخدم لقياس الأبعاد من مرتبة المليمترات وعشرات المليمترات، تحقق من التدريجات على المسطرة والواحدة المذكورة يمين المسطرة.
2. مسطرة الفرنية المليمترية، وهي تستخدم لقياس الأبعاد من مرتبة الأجزاء العشرية والأجزاء المئوية من المليمتر، لذا تحقق من عدد تدريجات الفرنية مقارنة بعدد تدريجات المسطرة العادية.
3. مسطرة عادية أخرى مدرجة بالبوصات أو الإنشات، وهي تستخدم لقياس الأبعاد من مرتبة البوصات وأجزائها العشرية.
4. مسطرة الفرنية الخاصة بالأجزاء العشرية أو المئوية للبوصة، وهي تستخدم لقياس الأجزاء المئوية للبوصات وفي بعض الأحيان الأجزاء بالألف من البوصة.

5. فكَّي القياس الخارجي، وهما يستخدمان لقياس الأقطار الخارجية والأبعاد المحيطة بالأجسام كما يستخدمان لقياس السماكات.

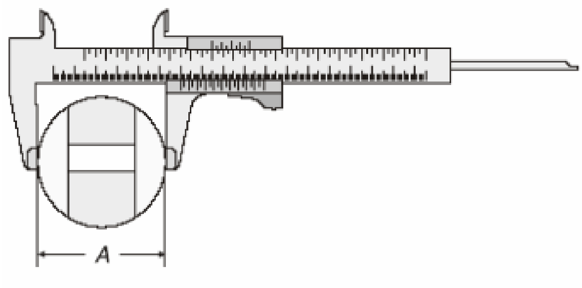
6. فكَّي القياس الداخلي، وهما يستخدمان لقياس الأقطار الداخلية.

7. المقبض ذي النابض، وهو يستخدم لتثبيت القياس على قيمة معينة لسهولة الرجوع إليه.

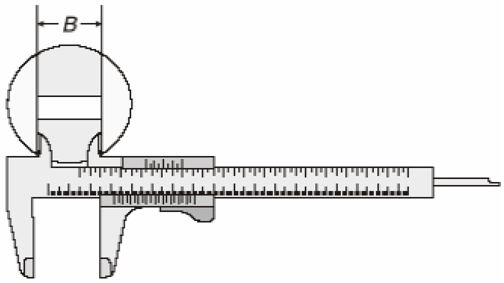
بالإضافة إلى هذه الأجزاء توجد ساق أسفل القدم القنوية (أقصى اليمين) تستخدم لقياس الأعماق، وهي واضحة في الشكل السابق.

يُلحظ انطباق صفر المسطرة العادية على صفر مسطرة الفرنية حين يكون الفكان الداخليان والخارجيان ونهاية الساق في قناته متلامسة في خط واحد كلها.

يبين الشكلان2 و3 كيفية قياس الأقطار الداخلية والأقطار الخارجية باستخدام القدم القنوية.



الشكل2. قياس القطر الخارجي



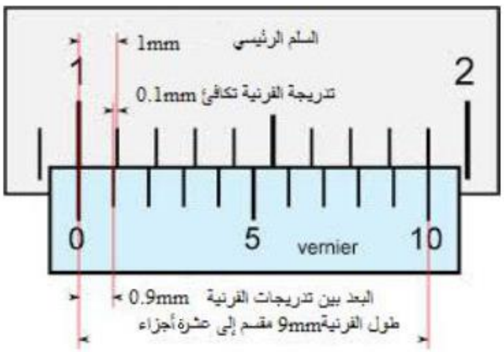
الشكل3. قياس القطر الداخلي

مبدأ القدم القنوية في قياس الأبعاد

يجري القياس باستخدام القدم القنوية بوضع الجسم المراد قياس طوله بين الفكين وقراءة نتيجة القياس من المسطرة العادية، وهي تشير إلى الأبعاد بالمليمترات ثم قراءة أجزاء المليمتر على المسطرة الفرنية، وذلك بأخذ قراءة تدريجة الفرنية الموافقة لأفضل انطباق على إحدى تدريجات المسطرة العادية.

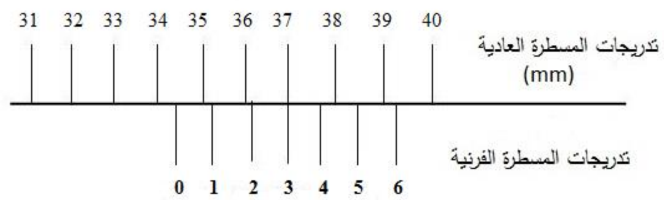
مبدأ القياس بالفرنية

يعتمد تحسين قياس الأطوال بالفرنية على اختلاف عدد تقسيمات الفرنية عن عدد تقسيمات المسطرة، ففي الفرنية تزيد بقدر تدريجة واحدة على عددها في المسطرة العادية، ومِنْ ثمَّ فإن مدى التدريجة على الفرنية أقل بقدر مليمتر واحد مقسوماً على عدد تدريجات الفرنية. فإذا قابلت عدد تدريجات الفرنية العشر تسع تدريجات



الشكل4a

من المسطرة العادية، أي تسع مليمترات مثلاً، تكون كل تدرجة من الفرنية أصغر بقدر عشر المليمتر من مقابلتها على المسطرة العادية، فنحصل عند طرح الطولين المتقابلين من الفرنية والمسطرة العادية عند تطابق تدريجة معينة من الفرنية على تدريجة من المسطرة، على قياس الطول (الشكل4a)

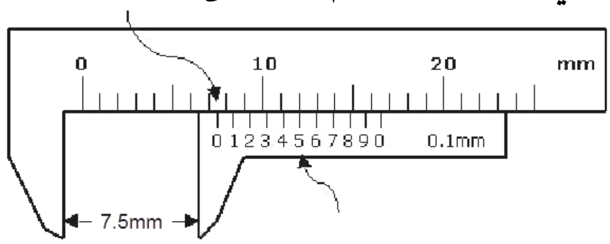


الشكل4b

وكمثال على القياس باستخدام القدم القنوية نلحظ في الشكل4b أن النتيجة من المسطرة العادية تشير إلى التدريجة 34 مع زيادة تقع بين 34 و 35؛ تعين هذه الزيادة بالبحث عن أفضل انطباق بين تدريجة على الفرنية وتدريجة على المسطرة لنجد أن أفضل انطباق لتدريجات مسطرة الفرنية على تدريجات المسطرة العادية عند التدريجة الثالثة لمسطرة الفرنية، ومِنْ ثمَّ فإن فرق الطولين يعطي هذه الزيادة $3\times1/10=0.3mm$، على فرض أن عشر تدريجات من الفرنية تقابل تسع تدريجات من المسطرة، لتكون نتيجة القياس الكلية في هذه الحالة $34.3mm$.

ملحوظة مهمّة:

يجب قبل بدء القياس باستخدام القدم القنوية التأكد من أن صفر المسطرة العادية منطبق على صفر المسطرة الفرنية، وذلك عند تلامس الفكين المقابلين وإلّا سوف نقع في خطأ قياس يمكن تلافيه (كيف يمكن ذلك؟) وكذلك معرفة عدد التدريجات المتقابلة فهي قد تختلف من قدم قنوية إلى أخرى.



الشكل5.

يبين الشكل5 مثالاً آخر على القياس باستخدام القدم القنوية. وكما نلحظ تشير تدريجات المسطرة العادية إلى التدريجة ذات الرقم 7 وأفضل انطباق لتدريجات الفرنية عند الرقم 5 ومِنْ ثمَّ فإن نتيجة القياس تكون $7.5mm$.

قياس القدم القنوية

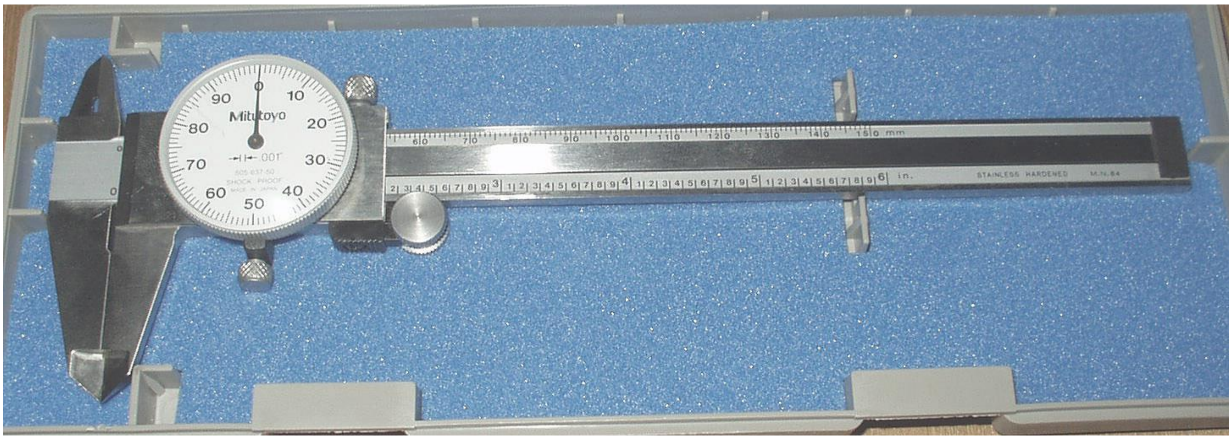
يُلحظ من المثالين السابقين أن المسطرة الفرنية مقسمة إلى أجزاء عشرية من المليمتر، ومِنْ ثمَّ فإن دقة القياس باستخدامها تكون مساوية إلى $0.1mm$، ويوجد بعض الأقدام القنوية تكون مقسمة إلى أجزاء مئوية من المليمتر وفي هذه الحالة تكون دقة القياس مساوية إلى $0.01mm$.

أنواع القدم القنوية

توجد أنواع أخرى للقدم القنوية غير القدم القنوية ذات الفرنية أهمها:

a. القدم القنوية ذات القرص، وهي مزودة بقرص يحتوي على مؤشر دوّار يعطي أجزاء الواحدة الأساسية بقراءة تدريجاته مباشرة ويبينها الشكلان 6 و7 بنوعين مختلفين.

الشكل6. القدم القنوية ذات المؤشر



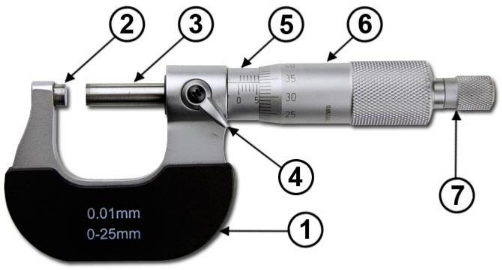
الشكل7. القدم القنوية ذات القرص المؤشر

b. القدم القنوية الرقمية، وهي مزودة بشاشة عرض رقمية تشير إلى قيمة الطول المقيس مباشرة.

الشكل8. القدم القنوية الرقمية

رابعاً: الدوّارة اللّوْلبية أو اللّوْلب المكرومتري.

تستخدم الدوّارة اللّوْلبية أو اللّوْلب المكرومتري في قياس السماكات والأقطار الخارجية الدقيقة، فهي ذات دقة قياس مرتفعة تصل في بعض الأحيان إلى أجزاء الألف من المليمتر، وهي عبارة عن أسطوانة طولية مدرّجة بالمليمترات وعشراتها (أو بالبوصات وأجزائها العشرية) وينزلق عليها أسطوانة لولبية مدرّجة بأجزاء الواحدة الأساسية بشكل مشابه لمسطرة الفرنية في القدم القنوية؛ إذ تعطي تدريجات اللّوْلب المنزلق للأسطوانة أجزاء المليمتر إذا كانت الواحدة الأساسية هي المليمتر.



الشكل9. أجزاء الدوّارة اللّوْلبية

تتألف الدوّارة اللّوْلبية كما هو مبيّن في الشكل9 من:

1. الإطار الأساسي، ويستخدم لربط الأجزاء بعضها ببعض.
2. أسطوانة مصمتة صغيرة ثابتة، وفي بعض الأحيان تكون متحركة بغية ضبط الصفر فقط، وتدعى هذه الأسطوانة بالعمود السّاند.
3. الأسطوانة المصمتة الداخلية للّوْلب المتحرك، وتدعى بالعمود المتحرك.
4. عتلة التثبيت، وهي تستخدم لتثبيت القياس على قيمة محدَّدة كما في حالة القدم القنوية.
5. أسطوانة التدريج الطولي المفرغة، وهي الأسطوانة ذات التدريج الأساسي، وتدرّج عادة بالمليمترات وعشراتها أو بالبوصات، وتسمى عادة بالمسطرة الأساسية أو الأسطوانة الأساسية.
6. الأسطوانة اللّوْلبية الخارجية للّوْلب المتحرك، وهي تدرّج عادة بخمسين أو مئة تدريجة من الواحدة الأساسية، وتستخدم لتعطي أجزاء الواحدة الأساسية، وتدعى عادة بالأسطوانة المتحركة أو الأسطوانة المدرّجة المتحركة.
7. ممسك ذو نابض يستعمل لتدوير الأسطوانة الخارجية وتطبيق قوة النابض فقط عند ملامسة العمودين للجسم المقيس، فتسمع طقطقة تشير إلى وجوب عدم تجاوزها.

مبدأ الدوّارة اللّوْلبية في قياس الأبعاد

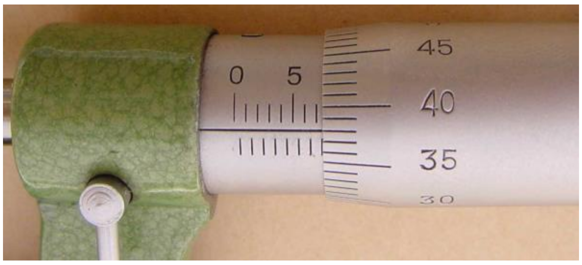
يوضع الجسم الذي نريد قياس سماكته أو قطره الخارجي بين طرفي العمود الساند والعمود المتحرك، ويجعل كل من العمود الساند والعمود المتحرك على تلامس مع طرفي الجسم عندها نقرأ قياس التدريجات على المسطرة الأساسية أو أسطوانة التدريج الطولي، فتشير إلى القيمة الأساسية، ثم نقرأ أفضل انطباق

لتدريجات الأسطوانة المتحركة على الخط الأفقي الثابت الموجود على الأسطوانة الأساسية، فتشير إلى أجزاء الواحدة الأساسية.

ملحوظة مهمّة:

يجب قبل بدء القياس باستخدام الدوّارة اللّوْلبية التأكد من أن الخط الأفقي الثابت للمسطرة الأساسية منطبق على صفر تدريج الأسطوانة المتحركة وحرفها منطبق على خط صفر المسطرة الأساسية، وذلك عند تلامس العمود الساند والعمود المتحرك وإلا فسوف نقع في خطأ قياس، ولكن يمكن تلافيه(كيف يمكن ذلك؟).

وكمثال على القياس باستخدام الدوّارة اللّوْلبية نلحظ في الشكل10 أن النتيجة من المسطرة الأساسية تشير إلى التدريجة أو الرقم 7، وأن أفضل انطباق لتدريجات الأسطوانة اللّولبية المتحركة على الخط الأفقي الثابت للأسطوانة الأساسية عند التدريجة 38



الشكل10.

ومِنْ ثمَّ فإن نتيجة القياس تكون $7.38mm$ حيث تقسم تدريجات الأسطوانة المتحركة في هذه الحالة **إلى 100 جزء، وتقابل دورته بشكل كامل مليمتراً واحداً (تحقق من ذلك).**

دقة قياس الدوّارة اللّوْلبية

نحصل على ارتياب قياس الدوّارة اللّوْلبية بشكل مشابه لحالة القدم القنوية، وعادة يكتب رقمان على الإطار الأساسي للدوّارة اللّوْلبية كما هو موضح في الشكل9، إذ يشير أحدهما إلى مجال قياس الدوّارة اللّوْلبية، بين صفر و 25mm، بينما يشير الآخر إلى ارتياب القياس0.01mm.

أنواع الدوّارة اللّوْلبية

الشكل11.

تتعدد أنواع الدوّارة اللّوْلبية، فهي تستخدم في تطبيقات مختلفة إلّا أن أهم أنواعها الدوّارة اللّوْلبية ذات اللّوْلب المدرَّج، وهي التي تحدثنا عنها آنفاً، والدوّارة اللّوْلبية ذات القرص ذي المؤشر بالإضافة إلى الدوّارة اللّوْلبية الرقمية، وهي عبارة عن دوّارة لولبية مزودة بشاشة عرض رقمية تشير إلى النتيجة النهائية للقياس، وفي بعض الأحيان تشير فقط إلى نتيجة أجزاء الواحدة الأساسية.

يبين الشكل11 مثالاً عن الدوّارة اللّوْلبية الرقمية، ونلحظ من إطارها الأساسي أنَّ ارتيابها 0.001mm .

ملحوظة: مع ذكر أهم أنواع أجهزة قياس الأطوال نذّكر بوجود أجهزة قياس أطوال أخرى غير المذكورة، وهي تختلف باختلاف الغاية من استخدامها، وقد تعتمد على الضوء وتداخله.

خامساً: مقياس الكرة

يستخدم مقياس الكرة كثيراً في القياسات الضوئية لتحديد نصف قطر تقعر المرآة أو نصف قطر تقعر العدسة كما يستخدم لقياس السماكات، وهو يعطي نتيجة القياس بدقة عالية. ويتألف مقياس الكرة كما هو مبين في الشكل12 من:

1. مسطرة شاقولية مدرجة بالمليمترات.
2. قرص أفقي مدرج يشبه الفرنية المستخدمة في القدم القنوية، ويقسم غالباً إلى خمسين جزءاً أو مئة جزء.
3. ثلاث أرجل مدببة تؤلف فيما بينها مثلثاً متساوي الأضلاع، وتستخدم كمبدأ مرجعي عند القياس، أي عندما يكون اللّوْلب الملتحم بالقرص في هذا المستوى.
4. لولب شاقولي ملتحم بالقرص يستعمل لقراءة مدى التقعر أو الانحناء.
5. مفتاح يستخدم لتحريك اللّوْلب الشاقولي.

الشكل12. مقياس الكرة وأجزاؤه

مبدأ مقياس الكرة في القياس

يعتمد مبدأ القياس على الفرق بين قياسين أحدهما يعتبر مستوى مرجعياً يكون اللّوْلب الشاقولي في مستوى متوازي الأضلاع، فيعين القراءة الأولى، والآخر في منطقة الانحناء عند ملامسة اللّوْلب له، فتؤخذ القراءة الثانية، إذ يتم القياس بالاعتماد على المسطرة الشاقولية والقرص المدرّج إذ تعطي المسطرة الشاقولية قيمة القياس بالمليمترات بينما يعطي القرص المدرج الأجزاء العشرية أو المئوية من المليمتر، ويكون الفرق بين

القراءتين هو ارتفاع الوتر. (يجب قبل القياس معرفة ماذا يقابل دورة القرص الواحدة من المليمتر، وذلك بتدوير القرص دورة كاملة ومعرفة ما يقابلها من انزياح على المسطرة).

دقة قياس مقياس الكرة

تحدَّد دقة القياس باستخدام مقياس الكرة بشكل مشابه لدقة القياس في القدم القنوية مع الانتباه دوماً إلى معرفة مقدار أجزاء المليمترات التي تمثلها تدريجات القرص الأفقي.

أنواع مقياس الكرة

توجد عدة أنواع لمقياس الكرة، فبالإضافة إلى مقياس الكرة ذي القرص المدرّج المذكور آنفاً هناك مقياس الكرة ذو القرص المزود بمؤشر الذي يبينه الشكل13، وهنالك مقياس الكرة الرقمي.

الشكل13. مقياس الكرة ذو المؤشر

4. الأدوات والأجهزة

قدم قنوية، دوّارة لولبية، مسطرة عادية، موشور خشبي قائم صغير الأبعاد، كرة رصاصية، أسطوانة مجوفة أو قرص مفرغ، مجموعة من الأسلاك المعدنية.

5. مراحل العمل والخطوات التجريبية

أولاً: قياس حجم موشور خشبي وحجم كرة رصاصية باستخدام المسطرة العادية ثم القدم القنوية.

قم بقياس الأبعاد الثلاثة للموشور الخشبي الموجود في تجربتك باستخدام المسطرة العادية، ثم أعد القياس باستخدام القدم القنوية، وحدِّد الارتياب في كلا القياسين. هل يوجد اختلاف بين القياسات في أماكن مختلفة من الموشور عند استعمال المسطرة وعند استعمال القدم القنوية؟

قم بقياس قطر كرة الرصاص باستخدام القدم القنوية، وحدِّد الارتياب المرتكب في القياس. أعد التساؤل الوارد في الفقرة السابقة.

ملحوظة: يمكن تكرار الخطوات السابقة نفسها في حالة الأسطوانة المعدنية إن وجدت في التجربة.

ثانياً: قياس القطر الداخلي والقطر الخارجي لسطح قرص مفرَّغ باستخدام القدم القنوية.

قم بقياس كل من نصف القطر الداخلي والخارجي (هل تقيس كُلّاً منهما بشكل مباشر) للقرص المفرغ الموجود في تجربتك باستخدام القدم القنوية، وحدِّد الارتياب في كل منهما.

ثالثاً: قياس أقطار عدد من الأسلاك الدقيقة وحساب مساحة سطح مقطع كل منها.

قم بقياس أقطار الأسلاك الموجودة في تجربتك باستخدام الدوّارة اللّوْلبية، وحدِّد الارتياب المرتكب في قياس كل قطر. إذا وجدت اختلافات عند قياس القطر للسلك نفسه فخذ متوسطها.

6. تحليل النتائج المأخوذة في التجربة

1. احسب حجم الموشور الخشبي بدءاً من أبعاده التي قمت بقياسها في تجربتك، وذلك من طريقتي المسطرة العادية والقدم القنوية، وحدِّد الارتياب المطلق المرتكب في حساب الحجم في كل حالة منهما.

2. أي القياسين أدق لحساب حجم الموشور، المسطرة أم القدم القنوية؟ فسِّر إجابتك بالأرقام.

3. احسب حجم كرة الرصاص التي قمت بقياس قطرها في التجربة، ثم احسب الارتياب المطلق المرتكب في حساب الحجم.

4. احسب مساحة سطح القرص المفرَّغ الذي قمت بقياس أبعاده في تجربتك، ثم حدِّد الارتياب المطلق المرتكب في حساب المساحة السابقة.

5. احسب مساحة سطح مقطع كل الأسلاك التي قمت بقياس أقطارها في تجربتك، ثم حدِّد الارتياب المرتكب في كل حالة، واكتب نتائجك في جدول يتضمن نصف قطر كل سلك ومساحة سطح مقطع كل سلك مع الارتياب المرتكب في حساب كل من نصف القطر وفي حساب مساحة سطح المقطع.

التجربة (3)

النواس البسيط

Simple Pendulum

1. الغاية من التجربة

1. دراسة الحركة الاهتزازية لنواس بسيط.
2. دراسة تأثير سعة النوسة ومادة النواس وطول النواس في دور النواس.
3. تعيين قيمة تسارع الجاذبية الأرضية g.

2. تمهيد نظري

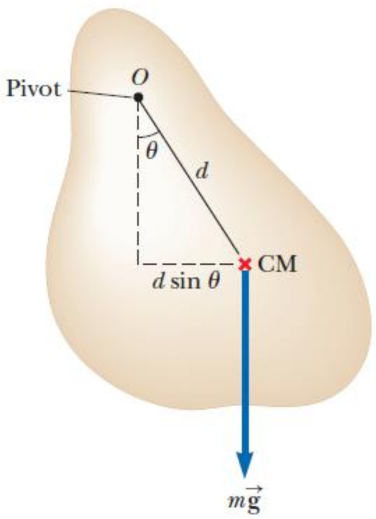
نقول عن حركة ما إنّها حركة اهتزازيّة دوريّة إذا كان الجسم المهتز يهتز إلى جانبي وضع التوازن كما في حركة الأرجوحة. نصنّف الحركاتِ الاهتزازيَّة بحسب القوى المؤثّرة فيها إلى:

حركة توافقية بسيطة

إذا خضع الجسم المهتز إلى محصّلة قوى من الشكل $F = kx$ تُدعى F قوّة الإرجاع (قوة معيدة) تعيده دوماً إلى موضع توازنه كلّما ابتعد عنه. يعطي حل معادلة الحركة هذه حركة ذات سعة ثابتة.

حركة اهتزازية مُتخَامدة

إذا تأثّر الجسم إضافة إلى القوى السابقة بقوى مبدِّدة للطاقة منها: (قوى الاحتكاك، عدم مثالية مرونة النابض...)، فهذه الحركة تنتهي بسكون مركزِ عطالة الجسم في وضع توازنه بعد عدد من الاهتزازات. لتبسيط دراسة هذه الحركات نلجأ إلى دراسة حركة اهتزاز جسم صلب في مستوٍ شاقولي حول محور دوران أفقيّ لا يمرّ من مركز عطالته، وعموديّ على مستويه، (الشكل1). يخضع هذا الجسم الصلب لتأثير قوّة ثقله، وردّ فعل محور الدوران الأفقي وبإهمال القوى الأخرى المبدّدة للطاقة نحصل على ما يُسمّى **النوّاس الثّقلي**.

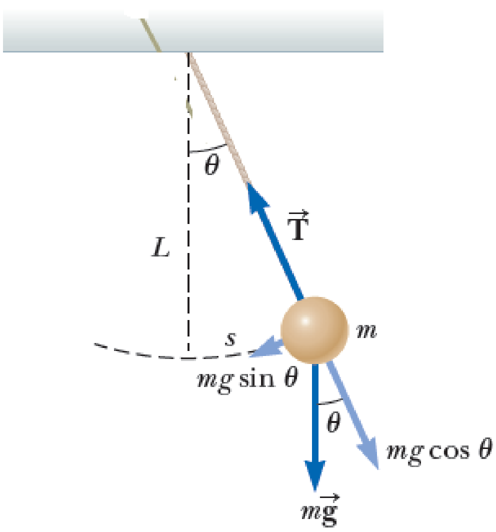


الشكل1. جسم صلب يصنع خط مركز ثقله CM مع الشاقول المار من نقطة التعليق O زاوية θ

ونعرف النوّاس الثقليّ بأنه كلُّ جسم ثقيل يهتزّ بتأثير ثقله فقط حول محور دوران أفقي ثابت عمودي على مستويه ولا يمر من مركز عطالته.

إنّ أبسط شكل للنوّاس الثقلي يُسمّى النواس البسيط الشكل2. وهو عبارة عن كرة صغيرة، كتلتها m ، وكثافتها النسبية كبيرة، مقارنة بكثافة الساعد الذي يمسكها، وقد يكون خيطاً خفيفاً لا يمتطّ، طوله L كبير مقارنة بنصف قطر الكرة. يعالج نظريّاً في الحالة الثانية معالجة نقطة مادية تهتزُّ بتأثير ثقلها على بُعد ثابت من محور أفقي ثابت.

يعد النواس البسيط من أشهر الأمثلة على الحركات الدورية، وهو عبارة عن كرة صغيرة معلقة بخيط مهمل الكتلة نسميه طول النواس L ، المسافة بين نقطة تعليقه،



الشكل2. النواس البسيط والقوى المؤثرة فيه

ومركز ثقله الذي هو مركز كرته، كما في الشكل2. إن محور اهتزاز النواس هو المحور العمودي على مستوي الاهتزاز (مستوي اهتزاز النواس الذي يعتمد على الشروط الابتدائية) والمار من نقطة التعليق.

فعند إزاحة كرة النواس عن وضع توازنها بزاوية صغيرة θ وتركها، فإنها سوف تبدأ بالاهتزاز إلى جانبي موضع التوازن الشاقولي.. إن الحركة التي يقوم بها النواس عندما يشرع بالحركة من نقطة معينة، حتى يعود إلى هذه النقطة متجهاً إلى الجهة نفسها التي بدأ بها الحركة تسمى نوسة كاملة. إن مسار الكرة الصغيرة لن يكون مستقيماً؛ بل هو عبارة عن قوس من دائرة نصف قطرها L مساوٍ لطول الخيط. يلحظ من خلال الشكل2 أن الكرة في أثناء حركتها تخضع إلى تأثير قوتين، قوة الثقالة $m\vec{g}$ (حيث m هي كتلة كرة النواس) وقوة شد الخيط $\vec{T}$ ، بإسقاط قوة الثقالة على محورين الأول مماسي لمسار الحركة نحصل على المركبة الأولى للحركة: $F_1 = mg \sin\theta$ ، والثاني ناظمي عليه نجد المركبة الثانية: $F_2 = mg\cos\theta$. وهي التي يعاكسها شد الخيط، نلحظ من خلال الشكل2 أن $\vec{T} = -\vec{F}_2$ ، أي إن قوة الإرجاع أو الإعادة هي المركبة المماسية لقوة ثقل الكرة. ومن قانون نيوتن في التحريك: $\vec{F} = m\vec{a}$ ، وبالإسقاط على مماس الحركة نجد:

$$m a_t = F_t = -mg \sin\theta = F_1 \qquad (1)$$

ونعلم من الحركة الدائرية أن:

$$v = \omega r = \omega L = L\frac{d\theta}{dt}$$

حيث ω تمثل السرعة الزاوية و L طول النواس، ومِنْ ثمَّ فإننا نجد:

$$a_t = \frac{dv}{dt} = L\frac{d^2\theta}{dt^2}$$

بالتعويض في العلاقة1 ينتج:

$$mL\frac{d^2\theta}{dt^2} = -mg\sin\theta$$

ومِنْ ثمَّ:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{g}{L}\sin\theta = 0 \qquad (2)$$

وفي حالة الاهتزازات صغيرة السعة (الحالة المدروسة) يكون $\theta \cong \sin\theta$ ويمثل هذا تقريب أول، وبفرض أن $\omega^2 = g/L$ نعوض في العلاقة 2 فنجد:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \omega^2\theta = 0$$

هذه معادلة تفاضلية حلها تابع جيبي من الشكل:

$$\theta = \theta_{\max}\cos(\omega t + \varphi)$$

ويمثل الحل حركة جيبية سعتها $\theta_{\max}$ ودورها $T = 2\pi/\omega$، ومِنْ ثمَّ دور النواس البسيط يعطى بالعلاقة:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \qquad (3)$$

حيث L هو طول النواس، و g تسارع الجاذبية الأرضية. ويعرف الدور بأنه المدة اللازمة ليقوم النواس بنوسة كاملة. أما التواتر f فهو عدد الاهتزازات في الثانية، وهو يساوي مقلوب الدور:

$$f = 1/T$$

تبين العلاقة (3) أن دور النواس البسيط من أجل السعات الصغيرة، التي افترضناها، مستقل عن كتلة النواس وعن سعته. أما في حالة السعات غير الصغيرة، فلا يعطى الدور بالعلاقة (3)، ويبرهن في هذه الحالة على أنه يتعلق بالسعة، وأن الدور بتقريب ثانٍ يعطى بالعلاقة:

$$T \approx 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}\left(1 + \frac{\theta_{\max}^2}{16}\right) \qquad (4)$$

إذْ إن $\theta_{\max}$ هي السعة العظمى مقدرة بالراديان.

3. الأدوات والأجهزة

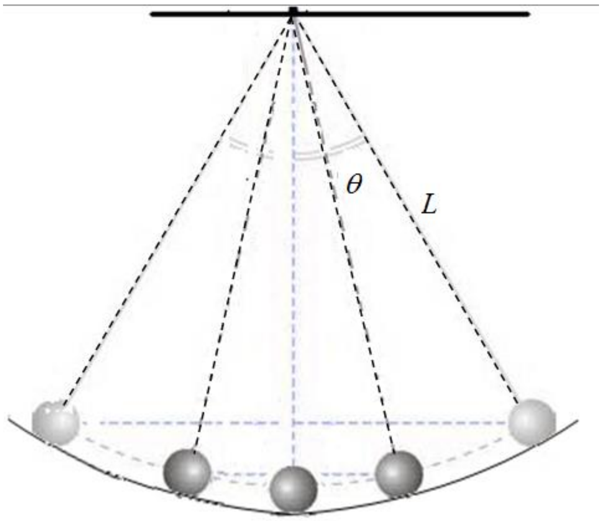
خيط مهمل الكتلة والفتل والتمدد، ثلاث كرات من الحديد والنحاس والخشب، ميقاتية (عدّاد للثواني)، قدم قنوية لقياس قطر الكرات، مسطرة خشبية لتقدير إزاحة الكرة، متر معدني لقياس طول النواس.

4. مراحل العمل والخطوات التجريبية

أولاً: التحقق من استقلال دور النواس عن سعته ما دامت الزاوية صغيرة

1. قس بالقدم القنوية قطر كل كرة من الكرات الثلاث. يكرر القياس ثلاث مرات لكل كرة في مواضع مختلفة، ثم يحسب نصف القطر الوسطي لكلٍ منها.

2. اربط إحدى الكرات بخيط يتدلى من أعلى الحامل الشاقولي. واضبط طول الخيط بحيث تكون المسافة بين مركز الكرة، ونقطة التعليق ثابتة (مثلاً L). ثبت طرف الخيط العلوي بالحامل. كما في الشكل3.



الشكل3.

3. أزح النواس عن موضع توازنه بزاوية 3°، وهو ما يوافق إزاحة كرة النواس عن موضع توازنها نحو $0.05m$ تقريباً إذا كان طول النواس $L=1m$، تأكد بنفسك من حساب مسافة الإزاحة المذكورة.

4. اترك الكرة تنوس، وحين تصل إلى أقصى اليمين، اضغط على زر تشغيل عداد الثواني. راقب النواس حتى يقوم بخمسين نوسة كاملة، واضغط حينئذٍ على زر العداد مرة ثانية، فيقف عن الحركة مشيراً إلى زمن 50 نوسة وليكن t.

5. أعد المرحلتين 3 و4 من أجل الإزاحة نفسها مرة أخرى. إذا كانت قيم $t(s)$ الحاصلة لديك متقاربة (أي إن الفروق بينها لا تتعدى 0.4s) فاحسب $\bar{t}$، ثم احسب الدور الوسطي (s) $T=\frac{\bar{t}}{50}(s)$، وسجّل النتائج كما في الجدول1.

6. أعد المراحل 3 و4 و5 من أجل السعتين 6° و 9° والموافقين لإزاحتين تساويان نحو 0.1m و 0.15m على الترتيب، واحسب في كل مرة القيمة الوسطية $\bar{T}$.

7. لتقدير الارتياب في الدور ΔT نعتمد على قيمة الارتكاس العصبي الغريزي عند قياس مدة 50 نوسة كاملة، إذ يقتضي الضغط على زر عداد الثواني مرتين، وبما أن المجرب يرتكب في كل ضغطة ارتياب حدّه الأعلى 0.1 ثانية نتيجة الارتكاس العصبي الغريزي؛ بالإضافة إلى ارتياب عداد الثواني الذي حده الأعلى 0.1 ثانية (تأكد من ذلك بنفسك)، فيكون الارتياب في قياس Δt :

$$\Delta t = 2(0.1+01) = 0.4s$$

أما الارتياب في T فيساوي:

$$\Delta T = \frac{\Delta t}{50} = \frac{0.4}{50} = 0.008s$$

1. قارن هذا الارتياب بالانحرافات التجريبية لقيم T عن الوسطي العام. فإذا كانت هذه الانحرافات أصغر من ΔT، كانت التجربة مثبتة صحة القانون. أما إذا كانت بعض الانحرافات أكبر من الارتياب ΔT،

فأغلب الظن أن قياساتك العائدة لها لم تكن جيدة، ويستحسن أن تعيد ما هو مشكوك بها كما يمكن أن تقارن وسطي الانحرافات بهذه القيمة للبت في صحة القانون.

2. سجل النتيجة السابقة في مكانها من الجدول1 الآتي:

الجدول1

السعة $\theta_{\max}$	زمن 50 نوسة $t(s)$		$\bar{t}(s)$	$T=\bar{t}/50(s)$	$E=\lvert\bar{T}-T\rvert$
	التجربة1	التجربة 2			
3°					
6°					
9°					
				$\bar{T}=\quad s$	$\bar{E}=$

ثانياً: التحقق من استقلال دور النواس عن مادة كرته وكتلتها

1. استخدم سعة اهتزاز ثابتة (6° مثلاً) وطول ثابت $L=1m$، خذ من الجدول السابق ناتج قياس دور النواس الذي كرته من الحديد، وسعة اهتزازاته 6°، وأدرجها في الجدول2.
2. استبدل كرة النواس السابق بكرة أخرى من الخشب، وقس مدة 50 نوسة كاملة مرتين، واحسب الدور T، وسجّل النتائج في الجدول2.
3. أعد البند السابق من أجل نواس كرته من النحاس. وسجّل النتائج في الجدول، فتكون قد حصلت على الدور من أجل ثلاث كرات من مواد وكتل مختلفة:

الجدول2					
طول النواس: $L=1m$			سعة الاهتزاز: 6°		
مادة كرة النواس	زمن 50 نوسة $t(s)$		$\bar{t}(s)$	$T=\bar{t}/50(s)$	$E=\lvert\bar{T}-T\rvert$
	التجربة1	التجربة 2			
الحديد					
النحاس					
الخشب					
				$\bar{T}=\quad s$	

4. ماذا تستنتج من هذا الجدول؟ هل الدور مستقل عن مادة (كتلة) النواس؟ إذا وجدت أن النتائج العائدة لإحدى الكرات غير مقبولة، فعلِّل ذلك، واستبعدها من حساب الوسطي العام $\bar{T}$.

ثالثاً: علاقة دور النواس بطوله

1. استخدم سعة اهتزاز ثابتة (6° مثلاً) وإحدى الكرات المعدنية، خذ من الجدول السابق ناتج قياس دور النواس الذي كرته من الحديد، وسعة اهتزازاته 6°، وأدرجها في الجدول3.
2. نظِّم جدولاً كالآتي3 لتسجل النتائج:

الجدول3

مادة كرة النواس:			سعة الاهتزاز 6°		
$l(cm)$	زمن 50 نوسة $t(s)$		$\bar{t}(s)$	$T=\bar{t}/50(s)$	$T^2(s^2)$
	التجربة1	التجربة 2			
50					
60					
70					
80					
90					
100					

3. اختر أطوال مختلفة لخيط النواس تتراوح بين $0.5m$ و $1.00m$ ولا يقل عددها عن خمسة أطوال. ثم قس زمن50 نوسة كاملة. واحسب دور النواس الموافق لكل حالة. خذ وسطي المحاولتين (التجربتين) من أجل كل طول من أطوال النواس، واحسب الدور $\bar{T}$.
4. ارسم على ورقة مليمترية الخط البياني لتحولات $T^2(s^2)$ بدلالة $L(cm)$. تأكد من أن هذا الخط مستقيم يمر من مبدأ الإحداثيات (0.0). احسب ميل المستقيم الحاصل لديك على الورقة المليمترية وليكن M.
5. نجد من معادلة النواس أن الميل يساوي $M=\frac{4\pi^2}{g}$، ومنه احسب تسارع الثقالة الأرضية على النحو: $g=\frac{4\pi^2}{M}$.
6. ارسم على ورقة لغارتمية تحولات T بدلالة L، واحسب ميل الخط المستقيم الناتج. ماذا تستنتج من ذلك؟ ثم احسب من نقطة التقاطع مع محور T عندما $L=1m$ قيمة g.
7. احسب الارتياب النسبي والارتياب المطلق في قيمة g، وذلك بطريقة حساب الارتياب في القياس غير المباشر. ولهذا ابدأ بتقدير الارتياب النسبي في حساب الميل $M=\frac{T_2^2-T_1^2}{L_2-L_1}$، حيث $\Delta T=0.008s$ كما أسلفنا. و $\Delta L=0.002m$ على الأقل.

التجربة (4)

الحركة الاهتزازية التوافقية

Simple Harmonic Motion (Hook's Law)

1. الغاية من التجربة

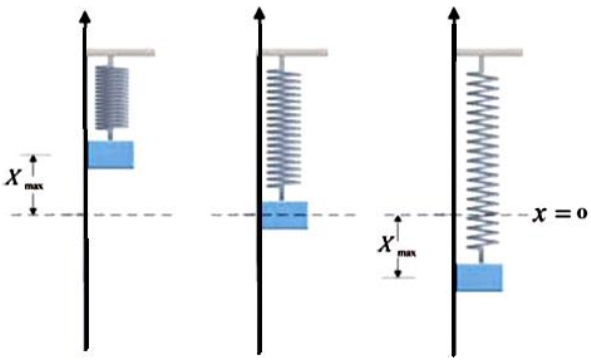
(1) دراسة الحركة الاهتزازية التوافقية.

(2) التحقق من صحة قانون هوك.

(3) حساب ثابت صلابة النابض.

2. تمهيد نظري

الحركة الاهتزازية التوافقية: هي حركة كتلة مادية مقترنة بنابض مثالي مهمل الكتلة ومرونته تامة، ولا يتأثر هذا النابض بقوى الاحتكاك أو الجاذبية الأرضية أو مقاومة الهواء. تخضع الكتلة المهتزة لقوة مرونة النابض فقط، (الشكل1).



الشكل1.

عند إزاحة الجملة عن وضع توازنها فإنها تخضع لقوة المرونة $\vec{F}$ التي تتناسب مع مقدار الإزاحة $\vec{x}$ وتتجه دوماً نحو مركز التوازن. ويعبر عن قوة الإرجاع هذه بقانون هوك:

$$\vec{F} = k\vec{x}$$

حيث k ثابت صلابة النابض، وهو عبارة عن قوة الشدة المقابلة لواحدة الاستطالة.

نختار جملة إحداثيات وحيدة البعد تنطبق على الشاقول بحيث تكون الجهة الموجبة نحو الأعلى. انظر الشكل1.

ومِنْ ثَمَّ تصبح العلاقة السابقة على الشكل $\vec{F} = -k\vec{x}$. يدل ظهور الإشارة السالبة على أن القوة تعاكس الإزاحة بحيث تسعى إلى إعادة الكتلة إلى وضع التوازن؛ لذلك تسمى $\vec{F}$ القوة المعيدة.

حسب العلاقة الأساسية في التحريك: $\vec{F} = m\vec{a}$ ، حيث $\vec{a}$ التسارع؛ ومِنْ ثَمَّ نحصل:

$$\vec{F} = m\vec{a} = -k\vec{x}$$

بالإسقاط على المحور الموجه الذي اخترناه سابقاً نجد:

$$F_x = ma_x = m\frac{d^2x}{dt^2} = -kx$$

ومن ثم: $m\frac{d^2x}{dt^2} = -kx$

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m}x = 0$$

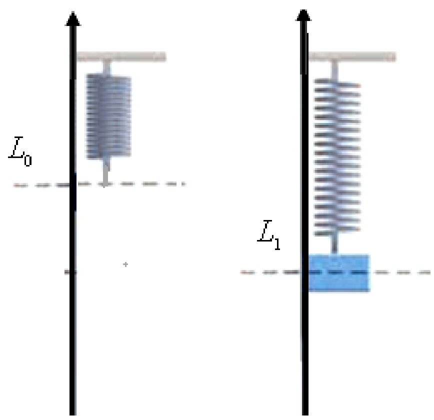
وبفرض $\omega^2 = \frac{k}{m}$ نحصل على $\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2 x = 0$

وهذه معادلة تفاضلية حلها العام من الشكل: $x = x_{\max}\cos(\omega t + \phi)$

ولما كان لدينا: $\omega^2 = \frac{k}{m}$ نجد دور الحركة الاهتزازية التوافقية والمعطى بالعلاقة الآتية:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \qquad (1)$$

أي إنّ دور جملة اهتزاز النابض الحلزوني يتناسب طرداً مع الجذر التربيعي لكتلة الجسم m وعكساً مع الجذر التربيعي لثابت صلابة النابض k. لاحظ التشابه مع معادلة النواس البسيط عندما تتحقق التقريبات في كل حالة.



الشكل2

3. الأدوات والأجهزة

نوابض لولبية مختلفة، حامل كتلة $10g$، كتل متنوعة.

4. مراحل العمل والخطوات التجريبية

أولاً: التحقق من قانون هوك

1. علّق النابض بحامله، ثم قس طول النابض، L_0، (الشكل2).
2. علّق في نهاية النابض كتلة m_1 فيستطيل النابض، نقيس الطول بعد الاستطالة، ولنسمّه L، ثم نحسب الاستطالة أو الإزاحة: $x = L - L_0$
3. علّق بالنابض كتلاً متزايدة $m_2, m_3, ...$، واحسب x في كل مرة، يجب ألّا يقل عدد التجارب عن خمس تجارب.
4. هل تلحظ تقارب قيم k، احسب عندئذ القيمة الوسطية لثابت صلابة النابض $\bar{k}$.
5. رتّب النتائج في الجدول الآتي:

الجدول1

$L_0(m) =$					
رقم التجربة	$m(kg)$	$F(N) = mg$	$L(m)$	$x(m) = L - L_0$	$k(Nm^{-1}) = F/x$
1					
2					
3					
4					
5					
					$\bar{k}(Nm^{-1}) =$

ثانياً: الحركة الاهتزازية لكتلة في نهاية نابض

1. علّق في نهاية النابض أصغر الكتل m المتوفر، ولا تنسى كتلة حامل الكتلة، ثم أزحها عن وضع التوازن مسافة صغيرة نحو الأسفل أو نحو الأعلى، واتركها لتشرع بالاهتزاز.

2. فإذا كانت الاهتزازات سريعة فاستبدل بالكتلة m كتلة أكبر منها، استعمل عداد الثواني لقياس زمن 50 نوسة كاملة وليكن t.

3. احسب زمن النوسة الواحدة، وهو الدور T من العلاقة $T = t/50$.

4. أعد الخطوات السابقة من أجل عدة كتل مختلفة. وأيضاً يجب ألا يقل عدد التجارب في كل مرة عن خمس تجارب، ثم رتب نتائجك في الجدول2.

5. ارسم على ورقة مليمترية المنحني البياني لتحولات T^2 بدلالة m، تأكد من أن هذا الخط مستقيم يمر من مبدأ الإحداثيات $(0,0)$. (ملحظ: لن يمر المستقيم من مبدأ الإحداثيات إذا لم تؤخذ كتلة الحامل بالحسبان).

6. احسب ميل المستقيم الحاصل لديك على الورقة المليمترية وليكن M. وهو يساوي $M = 4\pi^2/k$، واحسب منه ثابت صلابة النابض $k = 4\pi^2/M$.

7. ارسم على ورقة لغارتمية تحولات F بدلالة L، واحسب ميل الخط المستقيم الناتج. ماذا تستنتج من ذلك؟ ثم احسب قيمة k من نقطة التقاطع مع محور F عندما $L = 1m$.

8. احسب الارتياب النسبي والارتياب المطلق في حساب k ، وذلك بطريقة حساب الارتياب في القياس غير المباشر. ولهذا ابدأ بتقدير الارتياب النسبي في حساب الميل $M=\dfrac{T_2^2-T_1^2}{m_2-m_1}$ ، حيث $\Delta T=0.008s$ ، و $\Delta m/m=0.01$ على الأقل.

الجدول2

رقم التجربة	$m(kg)$	$t(s)$	$T(s)=t/50$	$T^2(s^2)$	$T^2(s^2)/m(kg)$
1					
2					
3					
4					
5					

قارن بين القيم المحسوبة لـ k في الحالتين، وعلّل اختيارك المفضل لقيمة منها.

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 cm^3 $\frac{18}{6.02\text{x}10^{23}}$، 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

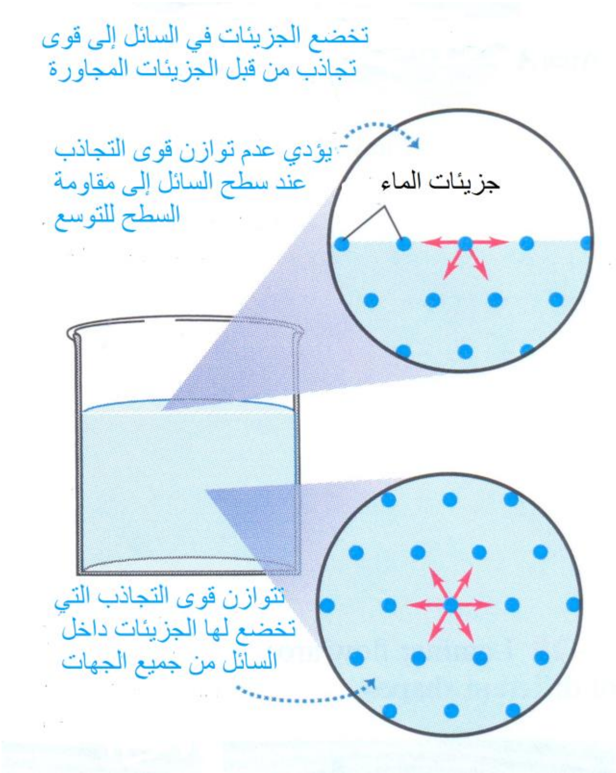
تتكون الجزيئات (مثل جزيء الماء) من بضع ذرات معتدلة كهربائياً عادة، وينطبق في الذرة مركز الشحنات الموجبة على مركز شحناتها السالبة، لكنه قد لا يتحقق ذلك عند تكوّن الجزيئات، فيكون لها عزم ثنائي قطب كهربائي، ولتقارب الجزيئات في السوائل، تنشأ عن العزوم المتبادلة فيما بينها قوى تجاذب تسمى قوى فاندرفالس، وهي 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.

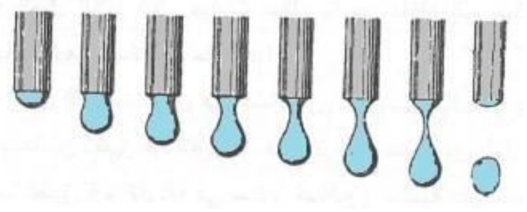
يبدو سطح السائل إذن وكأنه مغشى بطبقة تختلف بخصائصها عن سائر كتلة السائل، تغلِّف سطحه، فتبدو كأنها غشاء مرن مشدود، وتبدي اختلافاً في الكتلة الحجمية وفي قرينة الانكسار وفي الناقلية الكهربائية.

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.

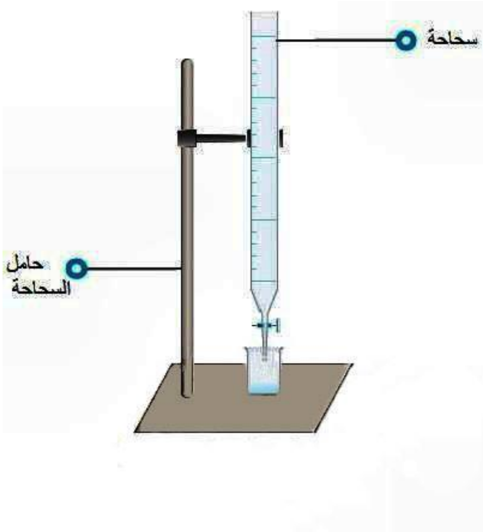
وفي تطبيق آخر، يمكن أيضاً تحديد نصف قطر القطارة التي تنتج قطرات ذات كتلة معينة من سائل توتره السطحي معلوم. وهو تطبيق يفيد في صناعة الأدوية.

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

– 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.



الشكل3. جهاز قياس التوتر السطحي.

– جفنتان لجمع القطرات وحوض لجمع السائل.

– ميزان حساس وعلبة سنجات.

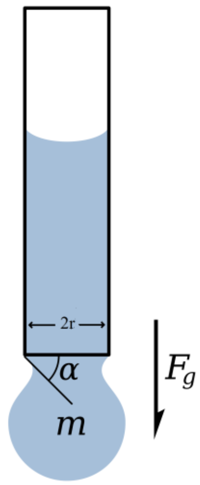
– سائلان مجهولان هما: الماء المقطر ومحلول الصابون.

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 (1) 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).

التجربة (6)

قياس معامل اللزوجة

Viscosity Coefficient Measurement

1. الغاية من التجربة

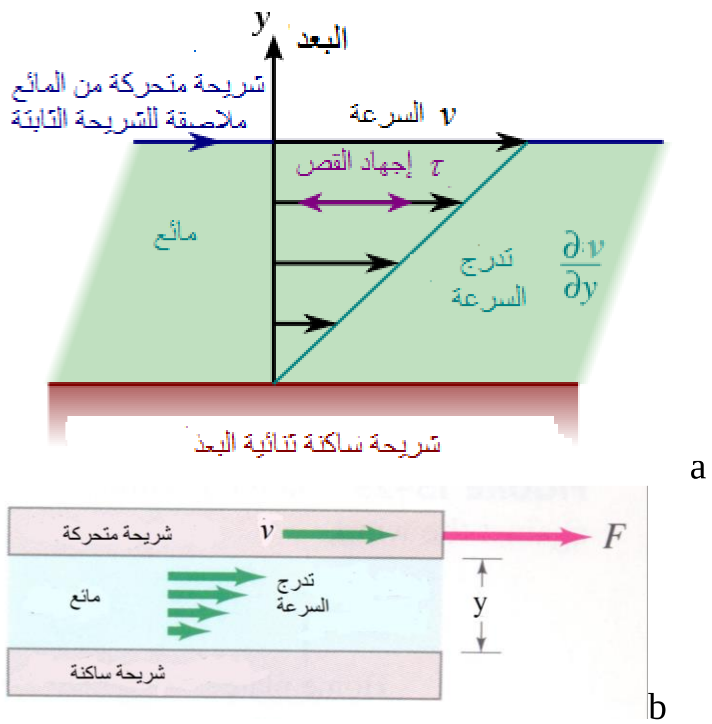
قياس معامل لزوجة سائل باستخدام قانون ستوكس (راجع دور اللزوجة في تدفق الدم في كتاب الفيزياء للسنة التحضيرية في الفقرة 14.3.5).

2. تمهيد نظري

اللزوجة هي إحدى الخصائص المهمة للموائع (سوائل وغازات)، تعبر عن مقاومة المائع لتغيير شكله الذي يعينه الوعاء الحاوي له، وذلك نتيجة تأثير قوى القص المؤثرة عليه عند محاولة تحريكه. ينظر أيضاً للزوجة على أنها مقدار مقاومة المائع لقوة تجبره على التحرك أو السيلان؛ إذ إنه من المعروف أنه كلما زادت لزوجة سائل ما، قلّت قابليته للجريان.

فيعرَّف معامل لزوجة مائع η أولاً في حالة الجريان الطبقي (الرقائقي) بأنه ثابت التناسب بين إجهاد القص τ الذي يمثل القوة المطبقة على واحدة السطح والتدرج في سرعة الطبقات المتتالية $(\partial v/\partial y)$؛ (الشكل1a,b):

$$\eta = \frac{\tau}{(\partial v/\partial y)}$$

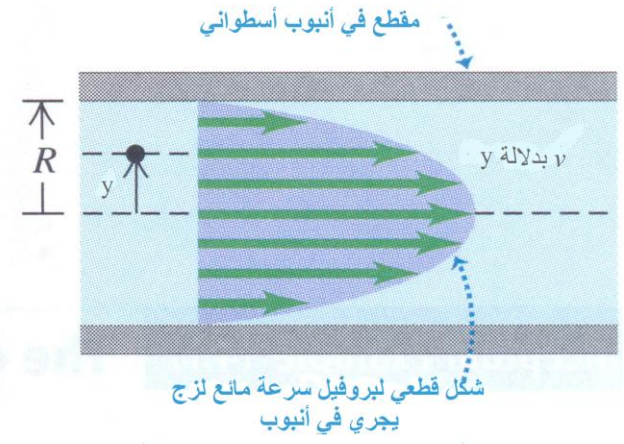


الشكل1

في الجدول14.1 من كتاب الفيزياء للسنة التحضيرية للكليات الطبية يوجد عرض لخصائص المرونة وأنواع الإجهاد والانفعال في تعريف عوامل المرونة. كما توجد في الجدول14.2 من كتاب السنة التحضيرية للكليات الطبية قيم اللزوجة لبعض الموائع ومنها الدم.

يظهر في الشكل2 حالة الجريان في أنبوب وتدرج السرعة مع البعد عن محور الأنبوب.

وفي حالة وجود جسم يتحرك في سائل فإن هذا السائل سيعيق حركة الجسم بصورة متناسبة مع معامل اللزوجة. لذلك سنستفيد من هذه الإعاقة في التحديد الكمي للزوجة سائل الذي يمكن استنتاج قيمته بشكل تجريبي كما يلي:



الشكل 2

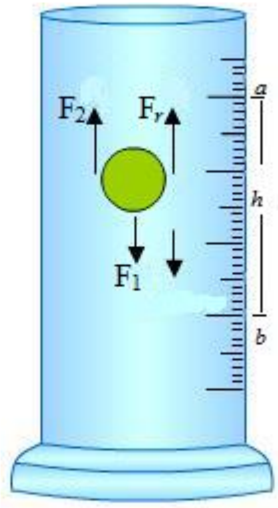
عند سقوط كريّة في سائل (الشكل3) فإنها تخضع إلى ثلاث قوى هي:

1. قوة ثقل الكريّة F_1 وتساوي:

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

حيث $m = \rho_1 V$ ، و ρ_1 كثافة (الكتلة الحجمية) الكريّة و V حجم الكريّة. بالتعويض في العلاقة (1) نجد:

$$F_1 = \rho_1 V g \qquad (2)$$



الشكل3. القوى المؤثرة على الكريّة في أنبوب مقياس اللزوجة.

2. قوة دفع السائل للكريَّة (دافعة أرخميدس) F_2 نحو الأعلى وتعطى بالمعادلة الآتية:

$$F_2 = \rho_2 V g \qquad (3)$$

حيث ρ_2 كثافة السائل.

3. قوة لزوجة السائل F_r التي هي بمثابة قوة احتكاك معيقة، وتعطى وفق قانون ستوكس بالعلاقة:

$$F_r = 6\pi\eta r v \qquad (4)$$

حيث v سرعة سقوط الكريّة، r نصف قطر الكريّة، η معامل لزوجة الوسط السائل التي تختلف واحدتها باختلاف جملة الواحدات المستعملة، ووحدتها في الجملة السغثية البواز Poise حيث:

$$1\text{Poise} = 1\text{g/s.cm} = 0.1\text{kg/s.m} = 0.1\text{N.s/m}^2 = 0.1\text{Pa}\cdot\text{s}$$

تعريف البواز: هو شدة القوة المماسية لمنطقة من السائل مساحتها تساوي واحدة المساحة واللازمة للحفاظ على فرق في السرعة مقداره $1cm/s$ بين مستويين متوازيين من السائل تفصل بينهما مسافة $1cm$.

وبالاعتماد على قانون نيوتن الثاني نكتب:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_r = m\vec{a}$$

بإسقاط العلاقة السابقة على المحور الموّجه نحو الأسفل باتجاه حركة السقوط ينتج:

$$F_1 - F_2 - F_r = ma = m\frac{dv}{dt}$$

نقسم طرفي العلاقة على ($\rho_1 V$) وبعد إجراء الترتيب ينتج لدينا أنّ:

$$\frac{dv}{dt} = g\,\frac{(\rho_1 - \rho_2)}{\rho_1} - \frac{6\pi\eta r v}{\rho_1 V}$$

وبالتعويض عن حجم الكريّة V بدلالة نصف قطرها r أي $V = \frac{4}{3}\pi r^3$ والاختصار نحصل على:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{(\rho_1 - \rho_2)}{\rho_1}g - \frac{9}{2}\frac{\eta v}{\rho_1 r^2} \qquad (5)$$

توضّح العلاقة (5) أنّ التسارع يتناقص كلما ازدادت سرعة سقوط الكريّة حتى الوصول إلى الحالة التي تتساوى فيها قوة الثقالة مع محصلة دافعة أرخميدس وقوة الاحتكاك وينعدم التسارع وتتابع الكريّة حركتها بسرعة منتظمة. تعرف السرعة التي تكتسبها الكريّة عند انعدام التسارع بالسرعة الحديّة ونرمز لها بالرمز v_0 وبذلك تؤول العلاقة (5) إلى الشكل الآتي:

$$v_0 = \frac{2}{9}\frac{(\rho_1 - \rho_2)gr^2}{\eta} \qquad \text{أو} \qquad \eta = \frac{2}{9}\frac{(\rho_1 - \rho_2)gr^2}{v_0} \qquad (6)$$

تمكننا العلاقة (6) من حساب معامل لزوجة السائل بعد قياس السرعة الحديّة للكريّة v_0 ومعرفة نصف قطر الكريّة r وكل من ρ_1 و ρ_2.

3. الأدوات والأجهزة

أنبوب أسطواني مدرج، سائل لزج كالغليسرين النقي، ميقاتية لقياس الزمن t، مسطرة مدرجة، كريّات زجاجية أو معدنية مختلفة الأقطار، دوّارة لولبية لقياس أنصاف أقطار الكريّات، ميزان حرارة.

4. طريقة العمل ومناقشة النتائج

1. اسكب السائل اللزج (الغليسرين) المعلوم الكثافة ρ_2 في الأنبوب الأسطواني .
2. ضع علامتين مميزتين a و b على الأنبوب الأسطواني، الأولى تقع أسفل سطح السائل الحرّ بنحو 5cm والثانية بالقرب من قاعدة الأسطوانة. قس المسافة بين العلامتين ولتكن L.
3. اختر إحدى الكريّات وقم بقياس نصف قطرها r (يؤخذ متوسط قياسين مختلفين على الأقل).
4. ابدأ بإسقاط الكريّة في السائل اللزج مع مراعاة أن يبدأ الإسقاط من مركز سطح السائل حتى تتحرك الكريّة بحرية (لاحظ أن الكريّة تسقط متسارعة في البدء ثم تنتظم سرعتها، أي تبلغ سرعتها الحدِّية v_0). عندما تصل الكريّة إلى العلامة a الموجودة على جدار الأنبوب شغل الميقاتية، وعندما تصل الكريّة إلى العلامة b أوقف الميقاتية، ثم احسب الزمن t الذي تستغرقه الكريّة في قطع المسافة L بين العلامتين.

5. احسب سرعة سقوط الكريّة v_0 وذلك بتقسيم المسافة المقطوعة L على الزمن t الذي استغرقته الكريّة، أي $v_0 = L/t$.

6. احسب معامل لزوجة السائل بالتعويض في العلاقة (6).

7. أعد التجربة من أجل كريّات أخرى مختلفة الأقطار أو مختلفة المادة.

9. دوّن قراءاتك ونتائج القياس في الجدول الآتي:

ملحوظة: قيم الكثافة للسائل اللزج ولمادة الكريّات موجودة في الملحق في آخر كتاب العملي.

الجدول1

$L = \dots \quad cm$			$\theta = \dots \quad C^\circ$			$\rho_1 = \dots \quad , \rho_2 = \dots$		$\frac{2}{9}(\rho_1 - \rho_2)g = \dots$	
رقم التجربة	$2r_1$	$2r_2$	$\overline{2r}$	$\bar{r}$	$t(s)$	$v_0 = L(cm)/t(s)$	r^2/v_0	$\eta(\text{poise})$	$\lvert\Delta\eta\rvert$
						الوسطي			

10. ارسم على ورقة مليمترية تحولات v_0 بدلالة r^2، واستنتج قيمة معامل اللزوجة من الميل الفيزيائي للمستقيم الناتج.

11. احسب الارتياب النسبي والمطلق المرتكبين في قياس معامل اللزوجة بطريقة حساب الارتياب في القياس غير المباشر.

يجدر بالذكر أن روبير ميليكان هو من طبق قانون ستوكس لقياس شحنة الإلكترون، إذ استخدم رذاذاً من قطيرات الزيت. وقد كانت قطيرة الزيت تلتقط شحنة كهربائية أثناء عملية الرذ. وقد أبقى ميليكان على إحدى القطيرات معلقة من دون سقوط بتطبيق قوة كهربائية للأعلى، ثم قام بعد إيقاف القوة الكهربائية بقياس السرعة النهائية للقطيرة لدى سقوطها في الهواء، ثم قام بحساب كتلة القطيرة من السرعة النهائية وكثافة الزيت باستخدام قانون ستوكس. لقد استنتج ميليكان بالاستناد إلى هذه التجربة أن الشحنات الكهربائية الملتقطة هي مضاعفات بسيطة لشحنة عنصرية دلّت على شحنة الإلكترون.

التجربة (7)

المرآة المقعرة

Concave Mirror

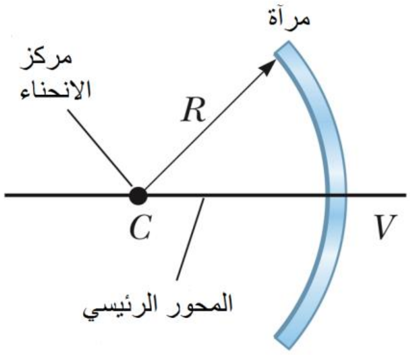
1. الغاية من التجربة

(1) التعرف على نوع من أنواع المرايا الكروية spherical mirror وهو المرآة المقعرة.

(2) تعيين البعد المحرقي للمرآة

(3) التحقق من قانوني ديكارت: قانون الترافق وقانون التكبير الخطي العرضاني.

2. تمهيد نظري

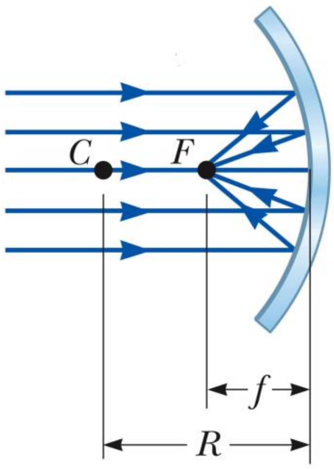


الشكل1. إذا كانت الأشعة تتباعد من *O* بزوايا صغيرة، فإنها تنعكس جميعاً مارة بالنقطة الخيالية *I* نفسها.

نقول إن السطح العاكس هو مرآة كروية إذا كان جزءاً من كرة. ونسميه مرآة مقعرة إذا كان السطح العاكس هو الوجه الداخلي للكرة (السطح المقابل للمركز)، الشكل1، بينما نسميه مرآة محدبة إذا كان السطح العاكس هو الوجه الخارجي للكرة.

المرايا الكروية

للمرآة الكروية شكل مقطع كروي. تجمِّع المرآة المقعرة الأشعة المتوازية الواردة إليها في نقطة. ويكون السطح الداخلي للمرآة الكروية المقعرة concave هو المفضض. بينما يكون السطح الخارجي للمرآة الكروية المحدبة convex هو المفضض.



الشكل2. عندما يكون الجسم بعيداً جداً عن المرآة، يكون بعد الخيال $q \approx R/2 = f$ ، حيث f البعد البؤري

رموز Notation واصطلاحات Conventions

للمرآة نصف قطر انحناء *R*. والنقطة *C* تمثل مركز انحناء المرآة وهي مركز الكرة التي اقتطعت المرآة منها (الشكل1). في حين أن النقطة *V* تمثل رأس القبّة الكروية. يدعى الخط المرسوم من *C* إلى *V* المحور الرئيسي للمرآة. يمثل الشريط الأزرق الدعامة البنيوية للسطح المفضض.

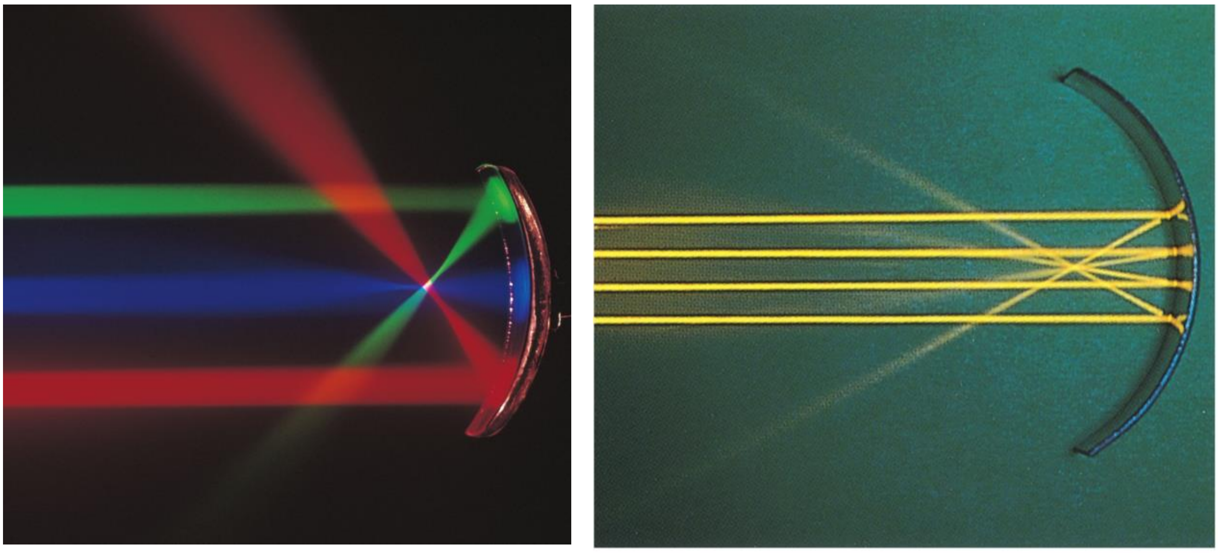
البعد البؤري

وعندما تكون الأشعة الواردة متوازية تتجمع الأشعة المنعكسة في نقطة عندما يكون عرض حزمة الأشعة صغيراً أو فتحة

المرآة صغيرة تدعى النقطة البؤرية focal point. وتدعى المسافة بين رأس المرآة والنقطة البؤرية "البعد البؤري focal length". يساوي البعد البؤري 1/2 نصف قطر الانحناء.

عندما $p \to \infty$ فإن $1/p \approx 0$ و $q = R/2$ (بعد الخيال). مثال على ذلك الهوائي طبق الأقمار الصناعية satellite-dish antenna عاكس مقعر لإشارات التلفزيون الواردة من قمر الصناعي يدور حول الأرض. ونظراً لأن القمر الصناعي بعيد جداً، تحمَّل الإشارات على الأمواج المكروية التي تكون متوازية لدى وصولها الطبق. تنعكس هذه الأمواج عن الطبق وتجمع عند المستقبلthe receiver الواقع في النقطة البؤرية.

غير أنه يمكن أن تتجمع أشعة الحزمة المتوازية الواسعة في أكثر من نقطة لذلك لا نستخدم إلّا الأشعة الصغيرة الفتحة، التي تتباعد من الجسم البعيد وتصنع زاوية صغيرة مع المحور الرئيسي وتسمى **الأشعة شبه المتوازية Paraxial Rays**. لأن قانون الانعكاس القائل بتساوي زاوية الورود مع زاوية الانعكاس يُطَبَّق عند تلاقي كل شعاع مع سطح المرآة يكون الناظم في هذه الحالة النقطة الواصلة بين نقطة التلاقي ومركز الانحناء. وبالتالي تتقارب الأشعة البعيدة جداً التي تصنع زوايا كبيرة مع المحور الرئيسي في عدة نقاط (الشكل3)، وإلّا يظهر خيال الجسم مشوشاً. يدعى هذا المفعول الزيوغ الكروية spherical aberrations. يعدّل عادة من شكل المرآة الكروي ليصبح مكافئياً حتى يتم تفادي هذا التشويش وتجتمع جميع الأشعة مهما كان عرض الحزمة في نقطة واحدة.

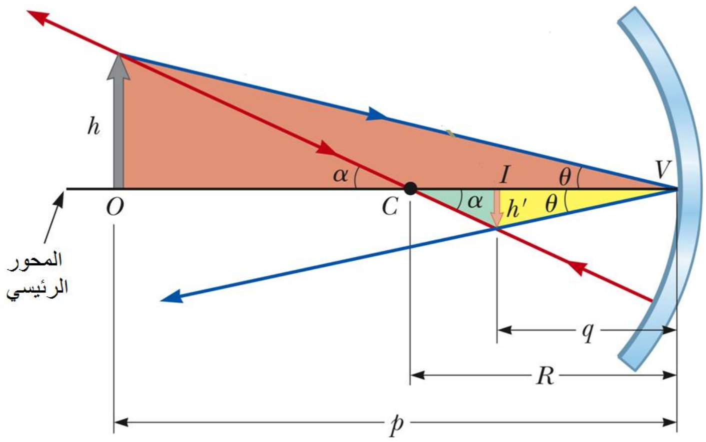


الشكل3. تجمع الأشعة الملونة أو الوحيدة اللون الواردة من جسم إلى سطح مرآة مقعرة، في البؤرة، سواء في حالة كون الجسم بعيداً جداً مهما تكن فتحة الحزمة أو قريباً وفتحة الحزمة صغيرة جداً. لاحظ أن الخيال يظهر أبيض اللون في حالة الحزم الملونة.

الخيال الذي تشكله مرآة مقعرة

يمكن استعمال مركز الانحناء C ورأس المرآة أو المحرق لتعيين موقع خيال جسم يبعد مسافة p عن رأس المرآة فنجد من الهندسة وتشابه المثلثات في الشكل4 العلاقة الآتية:

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{2}{R} \qquad (1)$$



الشكل4. يقع الخيال الحقيقي I في الموضع الذي تتقاطع عنده الأشعة المنعكسة

وهذا ما يدعى معادلة المرآة.

إذا كان p أكبر بكثير من R، فإن النقطة الخيال تقع في منتصف المسافة بين مركز انحناء المرآة ورأس المرآة، وهي النقطة البؤرية. كذلك نجد العلاقة الآتية بين طول الجسم h وطول الخيال h' فيدعى M التكبير العرضاني.

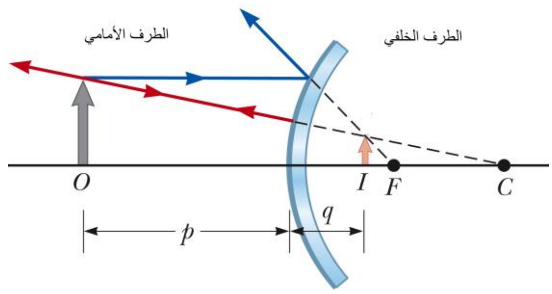
$$M=\frac{h'}{h}=-\frac{q}{p} \qquad (2)$$

لا تعتمد النقطة البؤرية إلّا على انحناء المرآة، وليس على موقع الجسم. وهي لا تعتمد كذلك على المادة التي تصنع منها المرآة. ونظراً لارتباط البعد البؤري للمرآة بنصف قطر انحنائها بالعلاقة $f=R/2$ ، فيمكن التعبير عن معادلة المرآة بالشكل:

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f} \qquad (3)$$

وهي علاقة ديكارت

المرايا المحدبة Convex Mirrors

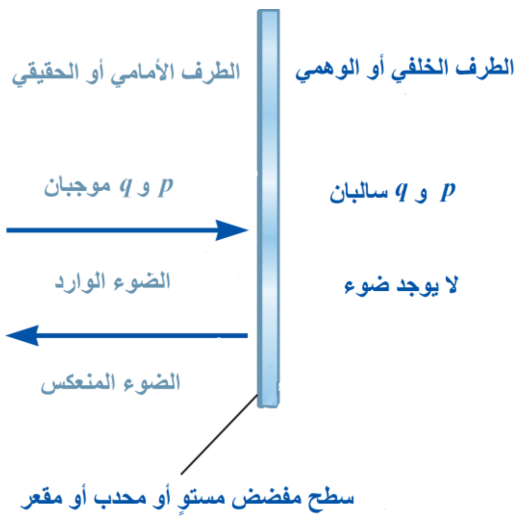


الشكل5. الخيال I الذي يشكله الجسم O وهمي وصحيح وأصغر من الجسم.

تدعى المرآة المحدبة أحياناً "المرآة المبعدة *diverging mirror*". إذ ينعكس الضوء من وجهها المحدب الشكل5. حيث تتباعد الأشعة الصادرة من أي نقطة من الجسم بعد انعكاسها كما لو كانت تصدر من نقطة معينة وراء المرآة. ويكون الخيال وهمياً لأن الأشعة المنعكسة تبدو أنها تنشأ من النقطة الخيال التي لا تصدر أشعة في الواقع.

اصطلاحات الإشارة

تطبق المعادلتان المذكورتان على المرايا المقعرة والمحدبة على السواء بعد الأخذ بمصطلحات الإشارة الواردة في الجدول1 والشكل6. تأكد من استخدام الإشارات المناسبة لدى التعويض في المعادلات.



الشكل6. اصطلاحات الإشارة

الجدول1. اصطلاحات الإشارة للمرايا

الكمية	موجبة عندما ...	سالبة عندما.....
بعد الجسم p	يكون الجسم أمام المرآة (جسم حقيقي)	يكون الجسم خلف المرآة (جسم وهمي)
بعد الخيال q	يكون الخيال أمام المرآة (خيال حقيقي)	يكون الخيال خلف المرآة (خيال وهمي)
ارتفاع الخيال h'	يكون الخيال صحيحاً	يكون الخيال مقلوباً
f_1 و R	تكون المرآة مقعرة	تكون المرآة محدبة
التكبير M	يكون الخيال صحيحاً	يكون الخيال مقلوباً

المخططات الشعاعية للمرايا الكروية

يمكن استخدام المخطط الشعاعي في تعيين موقع الخيال وأبعاده. وهو إنشاء بياني يكشف عن طبيعة الخيال. يمكن استخدامه أيضاً في التحقق من البرامترات المحسوبة من معادلات المرآة والتكبير.

رسم المخطط الشعاعي

لرسم مخطط شعاعي تحتاج إلى معرفة موقع الجسم وموضعي كل من النقطة البؤرية ومركز الانحناء. ترسم ثلاثة أشعة تبدأ كلها من النقطة نفسها على الجسم. يتحدَّد موقع الخيال من نقطة تقاطع أي شعاعين. ويسهم الشعاع الثالث في التحقق من بناء المخطط.

الأشعة في مخطط شعاعي – المرايا المقعرة

يرسم الشعاع 1 من أعلى الجسم موازياً المحور الرئيسي وينعكس ماراً في النقطة البؤرية F.

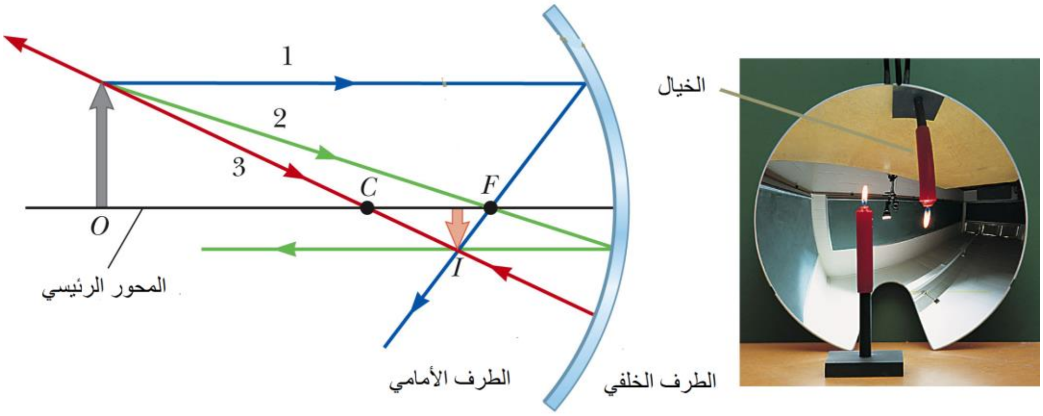
يرسم الشعاع 2 من أعلى الجسم ماراً بالنقطة البؤرية وينعكس موازياً للمحور الرئيسي.

يرسم الشعاع 3 ماراً بمركز انحناء المرآة C وينعكس مرتداً على ذاته.

ملاحظات حول الأشعة. يتجه عملياً عدد كبير من الأشعة التي تصدر من الجسم في جميع الاتجاهات. وقد وقع الخيار على الأشعة الثلاثة لسهولة إنشائها. يجب على النقطة الخيال الحاصلة بالمخطط الشعاعي أن تتفق مع قيمة q المحسوبة من معادلة المرآة مع الانتباه للإشارة الجبرية.

المخطط الشعاعي لمرآة مقعرة $p > R$ (الشكل7)

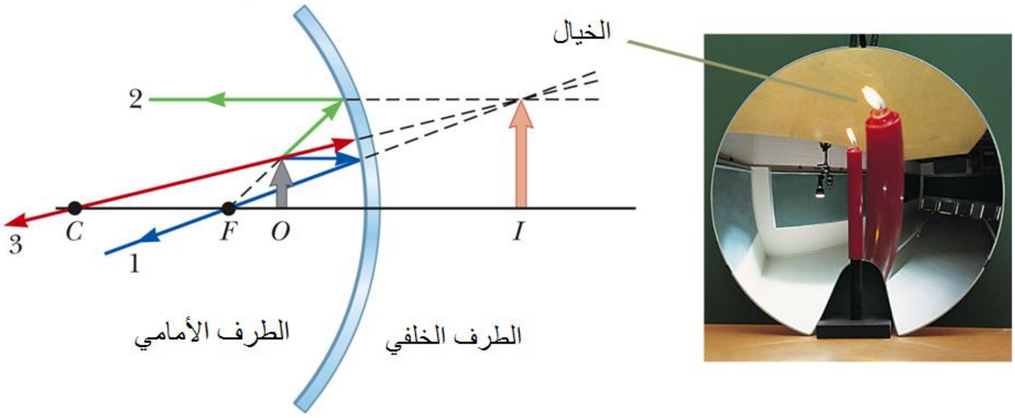
يقع مركز انحناء المرآة بين الجسم وسطح المرآة المقعرة. ويكون الخيال حقيقياً ومقلوباً وأصغر من الجسم.



الشكل7. عندما يكون جسم O أمام مرآة مقعرة بحيث يقع مركز انحناء المرآة بين سطحها والجسم، يكون الخيال I حقيقياً ومقلوباً، وأصغر من الجسم

المخطط الشعاعي لمرآة مقعرة $p < f$ (الشكل8)

يقع الجسم بين سطح المرآة والنقطة البؤرية، ويكون الخيال وهمياً وصحيحاً وأكبر من الجسم.



الشكل8. عندما يقع جسم O بين البعد البؤري لمرآة مقعرة وسطحها، يكون الخيال I وهمياً وصحيحاً وأكبر من الجسم.

الأشعة في مخطط شعاعي – المرايا المحدبة

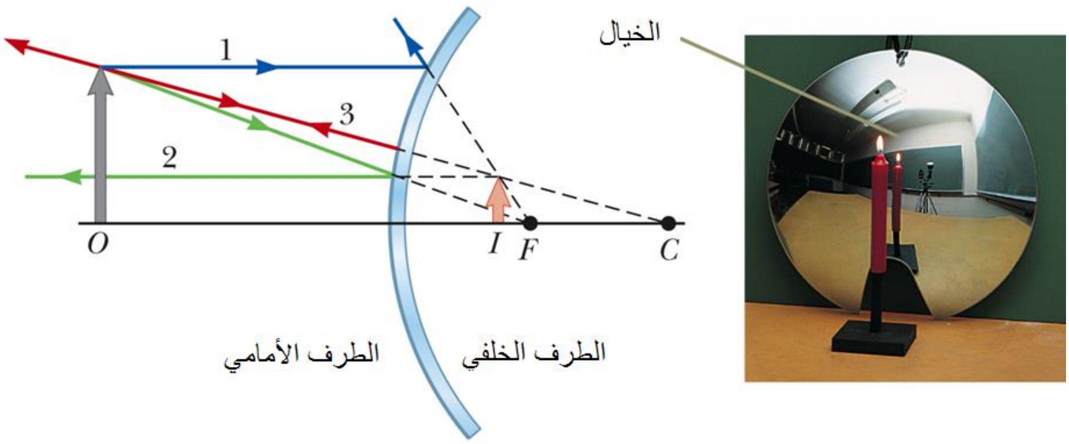
يرسم الشعاع 1 من أعلى الجسم موازياً المحور الرئيسي للمرآة وينعكس مبتعداً عن النقطة البؤرية F.

يرسم الشعاع 2 من أعلى الجسم نحو النقطة البؤرية وينعكس موازياً المحور الرئيسي.

يرسم الشعاع 3 ماراً بمركز انحناء المرآة C، في الطرف الخلفي للمرآة ويرتد على نفسه.

المخطط الشعاعي لمرآة محدبة

يقع الجسم أمام مرآة محدبة، ويكون الخيال وهمياً وصحيحاً وأصغر من الجسم (**الشكل9**).



الشكل9. عندما يقع جسم *O* أمام مرآة محدبة، يكون الخيال *I* وهمياً وصحيحاً وأصغر من الجسم

ملاحظات على الأخيلة

يكون الخيال في حالة المرآة المقعرة إما حقيقياً وإما وهمياً. عندما يكون الجسم أبعد من النقطة البؤرية يكون الخيال حقيقياً. وعندما يكون عند النقطة البؤرية يكون الخيال في اللانهاية. أما عندما يقع الجسم بين المرآة والمحرق، فيكون الخيال وهمياً.

ويكون الخيال، في حالة المرآة المحدبة، دائماً وهمياً وصحيحاً. عندما ينخفض بعد الجسم، تزداد أبعاد الخيال.

لنعتبر الخيال في المرآة في الشكل10. بالاعتماد على مظهر الخيال هل تستنتج أن (a) المرآة مقعرة والخيال حقيقي، (b) المرآة مقعرة والخيال وهمي، (c) المرآة محدبة والخيال حقيقي، أم (d) المرآة محدبة والخيال وهمي؟

ماهو نوع المرآة في هذه الصورة؟ مستوية أو مقعرة أم محدبة.

الشكل10

نظراً لأن المرآة محدبة، نتوقع أنها تشكل خيالاً صحيحاً، مصغراً ووهمياً مهما كان موقع الجسم.

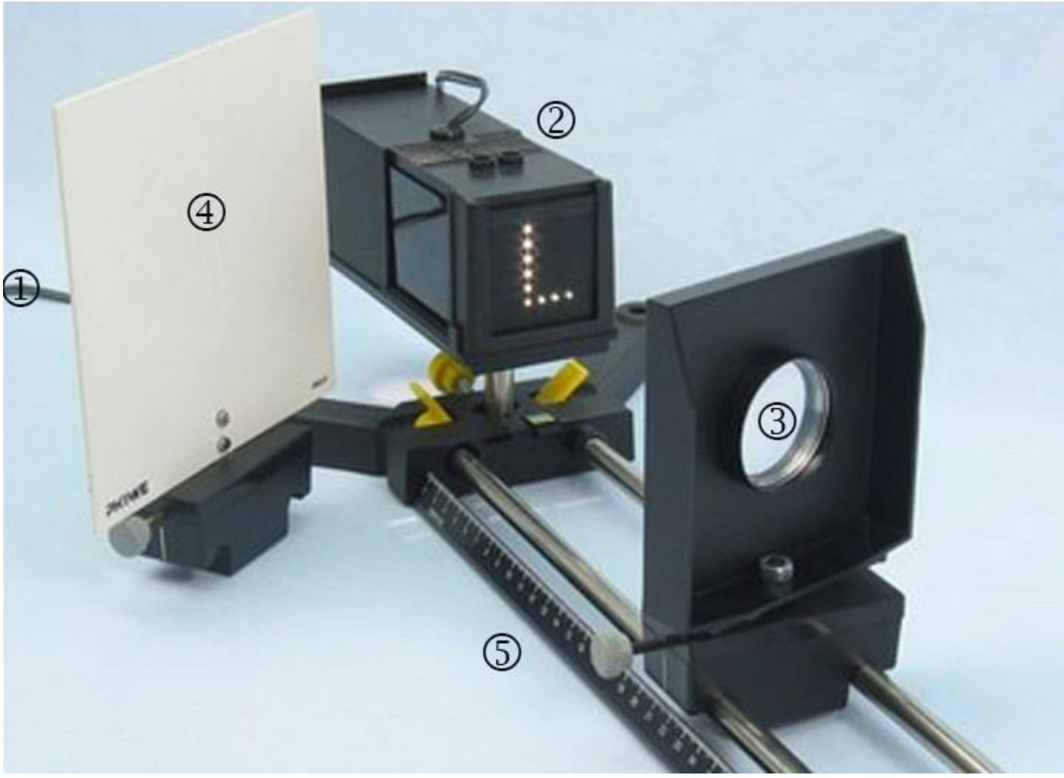
3. الأدوات والأجهزة

مرآة مقعرة، جسر ضوئي، شاشة شافة (الحاجز)، منبع ضوئي مع جسم (على شكل سهم)، وأسلاك توصيل، حوامل للأدوات الضوئية.

4. مراحل العمل والخطوات التجريبية

أولاً: حساب البعد المحرقي للمرآة باستخدام علاقة ديكارت والتحقق من صحة قوانين التكبير

1. رتب الأجهزة على الجسر الضوئي كما في الشكل11.



الشكل11. الترتيب التجريبي:1) منبع تغذية المصباح، 2) المصباح مع الجسم، 3) المرآة المقعرة، 4) الحاجز، 5) الجسر الضوئي

2. ضع الحاجز d بجانب الجسم b، وحرك المرآة c حتى يتكون خيال واضح للجسم على الحاجز، قِسْ المسافة بين الجسم والمرآة. وهي تساوي R أي نصف قطر الكرة التي اقتطعت منها المرآة R، واحسب البعد المحرقي للمرآة f من العلاقة $f = R/2$.

3. حرك المرآة مبتعداً أو مقترباً من الجسم بمقدار $2cm$، وفي كل مرة حرك الحاجز للأمام أو للخلف بحثاً عن أوضح خيال.

4. قس في كل حالة بعد الخيال عن المرآة q وبعد الجسم عن المرآة p وقس أيضاً h' طول الخيال و h طول الجسم.

5. نظم نتائجك في جدول كالآتي:

رقم التجربة	p	q	$f\ cm$	h'	h	$M_1 = h'/h$	$M_2 = \mid -q/p \mid$	$\mid M_1 - M_2 \mid$
1								
2								
3								
4								
5								
$\overline{1/f} =$		cm^{-1}				$\mid \overline{M}_1 \mid =$	$\overline{M}_2 =$	$\mid M_2 - M_1 \mid$

6. أوجد البعد المحرقي باستخدام قانون ديكارت للترافق، واحسب h'/h و كذلك q/p، ثم احسب التكبير الخطي العرضاني.
7. احسب قيمة f وأوجد الارتياب المطلق في f اكتب النتيجة بالشكل: $f = (\bar{f} \pm \Delta f)cm$ ، حيث يتم تعيين Δq و Δp تجريبياً بتحديد المجال الذي لا يتأثر وضوح الخيال فيه عند تحريك المرآة، وقد يختلف هذا من مجرب إلى آخر، ويكون الارتياب فيهما نصف ذلك المجال.
8. كرر التجربة من أجل قيم مختلفة لـ p على أن لا تقل القيم عن ست قيم أخرى (ملحوظة: يعدُّ الجسم في اللانهاية عندما يكون بعده عن رأس المرآة أربعة أمثال R أو يزيد).
9. ارسم على ورقة مليمترية تحولات $1/q$ بدلالة $1/p$، حدِّد نقطة التقاطع استنتج منه البعد المحرقي للمرآة f .

ثانياً: الدراسة الكيفية لمواضع الأخيلة المشكلة وجهتها

غيِّر مكان المرآة حسب ما يذكر في الجدول وابحث عن مكان الخيال ونوعه وجهته واملأ الجدول:

مكان الجسم بالنسبة للمرآة	مكان الخيال	نوع الخيال وجهته
في مركز المرآة		
الجسم في اللانهاية		
أبعد من مركز المرآة		
في محرق المرآة		
بين المحرق ومركز المرآة		
بين المحرق وذروة المرآة		
في ذروة المرآة		

التجربة (8)

قوانين العدسات

Lens Laws

1. الغاية من التجربة

(1) تعيين البعد المحرقي لعدسة رقيقة مقربة بطريقتي ديكارت والإزاحة.

(2) التحقق من قانون جمع العدسات الرقيقة، وحساب البعد المحرقي لعدسة مبعدة.

(3) التحقق من صحة قانون التكبير الخطي العرضاني M.

2. تمهيد نظري

العدسة الكروية جسم شفاف محدود بسطحين كرويين يمكن لأحدهما أن يكون مستوياً. وقد درسنا في الفصل3 من كتاب الفيزياء النظري العدسات التي تأخذ في الحسبان ثخانة العدسة ونصفي قطري انحناء سطحيها الكرويين، كما استنتجنا معادلة صناع العدسات التي تهمل ثخانة العدسة.

العدسات الرقيقة

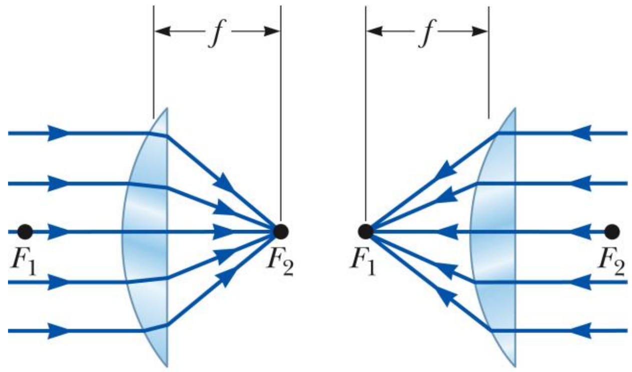
تربط بين البعد البؤري وبعد الجسم وبعد الخيال في العدسة الرقيقة، العلاقة نفسها في حالة المرآة.

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f} \qquad (1)$$

حيث p بعد الجسم عن العدسة و q بعد الخيال و f البعد البؤري.

ملاحظات حول البعد البؤري والنقطة البؤرية للعدسة الرقيقة:

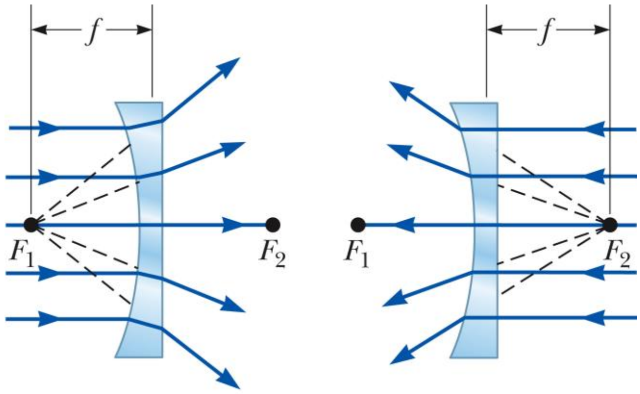
نظراً لأنه يمكن للضوء أن يمر في العدسة في أي من الاتجاهين، فإنه لكل عدسة نقطتان بؤريتان. نقطة بؤرية من أجل الضوء الذي يعبر العدسة موازياً وفق اتجاه معين، وأخرى في حالة الضوء الذي يعبر العدسة موازياً وفق الاتجاه الآخر. في حين لا يوجد للمرآة إلّا بعد بؤري واحد. تقع كل بؤرة على البعد نفسه من العدسة. لكل عدسة بؤرتان لأن الضوء يمكن أن ينتشر في العدسة في أي من الاتجاهين. بؤرة في حالة الضوء الذي يعبر العدسة وفق أحد الاتجاهين F_2، وأخرى في حالة الضوء الذي يعبرها وفق الاتجاه الآخر F_1 (الشكل1)، وحسب مبدأ رجوع الضوء يقال أن الأشعة المنطلقة من F_1 ستترك العدسة موازية للمحور الضوئي.



الشكل1. الأشعة المتوازية التي تعبر العدسة تتقارب في النقطة البؤرية. ويمكن للأشعة أن تأتي من يمين العدسة أو يسارها.

البعد البؤري لعدسة مبعدة

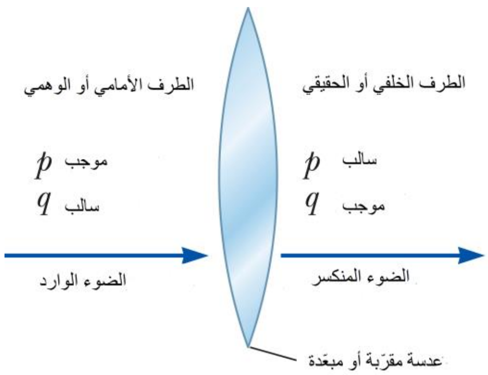
الأشعة المتوازية تتباعد بعد عبورها عدسة مبعدة وكأنها صادرة من F_1 النقطة البؤرية الأولى. والنقطة البؤرية الثانية F_2، وحسب مبدأ رجوع الضوء هي النقطة التي إذا وردت حزمة متجمعة عندها فستترك الحزمة العدسة موازية للمحور الضوئي (الشكل2).



الشكل2. البؤرتان في العدسة المحدبة

اصطلاح الإشارات في العدسات الرقيقة

الوجه الأمامي للعدسة الرقيقة هو وجه الضوء الوارد. ينكسر الضوء في الوجه الخلفي للعدسة. يسري هذا الأمر أيضاً في حالة السطح الكاسر (الشكل3) والجدول1.



الشكل3. اصطلاح الإشارات في العدسات الرقيقة

الجدول1. اصطلاحات الإشارة للعدسات الرقيقة

الكمية	موجبة عندما ...	سالبة عندما.....
بعد الجسم p	يكون الجسم أمام العدسة (جسم حقيقي)	يكون الجسم خلف العدسة (جسم وهمي)
بعد الخيال q	يكون الخيال خلف العدسة (خيال حقيقي)	يكون الخيال أمام العدسة (خيال وهمي)
ارتفاع الخيال h'	يكون الخيال صحيحاً	يكون الخيال مقلوباً
R_1 و R_2	يكون مركز انحناء العدسة خلفها	يكون مركز انحناء العدسة أمامها
البعد البؤري f	تكون العدسة مقربة	تكون العدسة مبعدة

تكبير الأخيلة بالعدسات الرقيقة

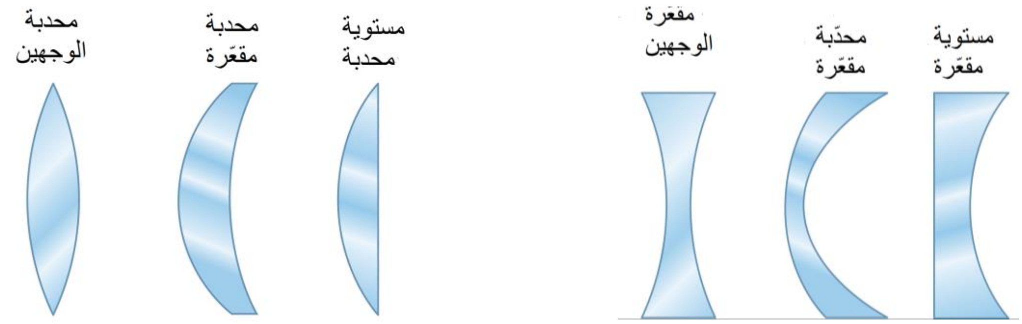
يعرّف التكبير العرضاني بأنه نسبة طول الخيال إلى طول الجسم ويمكن البرهان كما في حالة المرآة أنه يساوي

$$M = \frac{h'}{h} = -\frac{q}{p} \tag{2}$$

عندما يكون M موجباً، يكون الخيال صحيحاً، وفي الجانب نفسه من العدسة الذي يكون فيه الجسم. وعندما يكون M سالباً، يكون الخيال مقلوباً، وفي طرف العدسة المقابل للجسم.

أشكال العدسات

يمكن أن يختلف السطحان الكروويان المعينان للعدسة ونوعها مقربة أم مبعدة، لكن لكل نوع منهما صفة مشتركة ففي النوع المقرب يكون الثخن عند الوسط أكبر من الثخن عند الأطراف؛ وفي النوع الثاني يكون الثخن في الوسط أقل من الثخن عند الأطراف (الشكل4)، ويعدّ السطح المستوي كروياً نصف قطر انحنائه لانهاية. ويمكن أن تستعمل هذه الخاصة للتعرف على نوع العدسة في العتمة.



أمثلة عن العدسات المبعدة. أبعادها البؤرية سالبة وهي أكثر ثخانة عند الحواف

أمثلة عن العدسات المقربة. أبعادها البؤرية موجبة. وهي أكثر ثخانة في وسطها.

الشكل4. نوعا العدسات وثخنها في الوسط

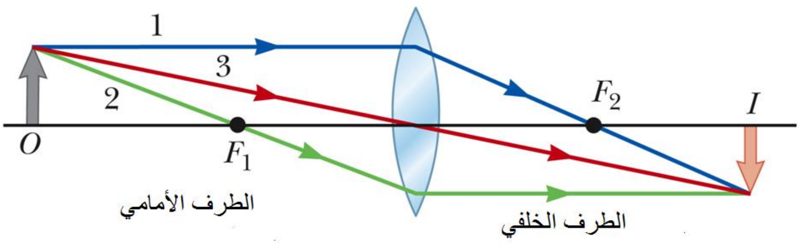
المخططات الشعاعية للعدسات الرقيقة – المقرّبة

المخططات الشعاعية ملائمة لإيجاد مواقع الأخيلة التي تشكلها العدسات الرقيقة أو نظم العدسات. في حالة العدسة المقرّبة ترسم ثلاثة أشعة، (الشكل5)

- يرسم الشعاع1 موازياً للمحور الرئيسي ومن ثم يمر في النقطة البؤرية في الجهة الخلفية للعدسة.
- يرسم الشعاع 3 ماراً بمركز العدسة ويستمر في المنحى ذاته.
- يرسم الشعاع 2 ماراً في النقطة البؤرية للوجه الأمامي للعدسة (أو كما لو كان آتياً من النقطة البؤرية إذا كان $p < f$) ويبرز من العدسة موازياً المحور الرئيسي.

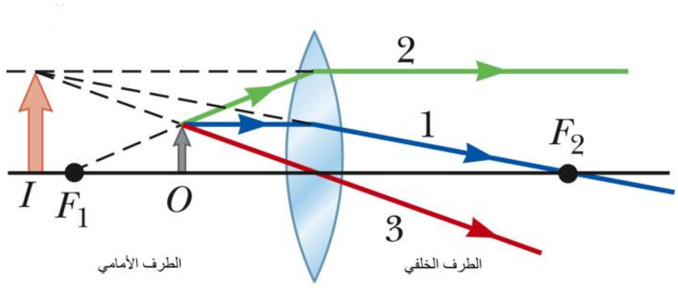
المخطط الشعاعي في الحالة $p > f$

عندما يقع جسم في الطرف الأمامي لعدسة مقربة، وخارج البعد البؤري، يكون الخيال حقيقياً ومقلوباً ويقع في الجهة الخلفية للعدسة (الشكل5).



الشكل5. المخطط الشعاعي لعدسة مقربة في الحالة $p > f$

وعندما يقع الجسم بين النقطة البؤرية والعدسة المقربة (الشكل6)، يكون الخيال وهمياً وصحيحاً، وأكبر من الجسم وفي الطرف الأمامي للعدسة.



الشكل6. المخطط الشعاعي لعدسة مقربة في الحالة $p < f$

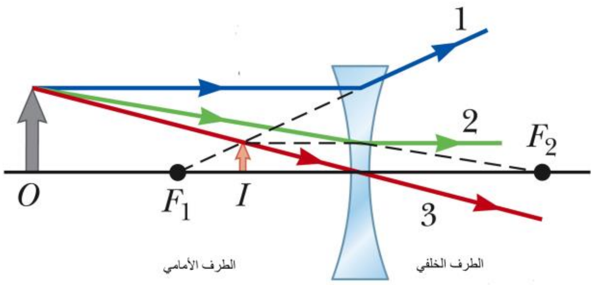
المخطط الشعاعي للعدسات الرقيقة المبعدة

ترسم الأشعة الآتية في حالة عدسة مبعِّدة

يرسم الشعاع1 موازياً للمحور الرئيسي ويبرز مبتعداً عن النقطة البؤرية في طرف العدسة الأمامي.

يرسم الشعاع 3 ماراً بمنتصف العدسة ويستمر في خط مستقيم.

يرسم الشعاع 2 نحو النقطة البؤرية في الطرف الخلفي للعدسة ويبرز من العدسة موازياً المحور الرئيسي، (الشكل7).



الشكل7. عندما يقع الجسم أمام العدسة المبعدة يكون الخيال وهمياً وصحيحاً وأصغر من الجسم في الجهة الأمامية للعدسة.

موجز عن الأخيلة

عندما يكون بعد الجسم في حالة العدسة المقربة أكبر من البعد البؤري $(p > f)$، يكون الخيال حقيقياً ومقلوباً. وعندما يقع الجسم بين النقطة البؤرية والعدسة $(p < f)$ يكون الخيال وهمياً وصحيحاً. وفي حالة عدسة مبعدة يكون الخيال دائماً وهمياً وصحيحاً، مهما كان بعد الجسم عن العدسة.

عدستان متلاصقتان Two Lenses in Contact

لندرس حالة عدستين متلاصقتين إحداهما بالأخرى، بعداهما البؤريان f_1 و f_2 ، فيكون من أجل العدسة الأولى:

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{q_1}=\frac{1}{f_1}$$

ولأن هاتين العدستين متلاصقتين يكون $p_2=-q_1$ من أجل العدسة الثانية

$$\frac{1}{p_2}+\frac{1}{q_2}=\frac{1}{f_2}\rightarrow-\frac{1}{q_1}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f_2}$$

و بالجمع بين العدستين يكون:

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}$$

ومن ثم فإن مجموع العدستين المتلاصقتين الرقيقتين يكافئ عدسة واحدة بعدها المحرقي (البؤري) f معطى بالعلاقة:

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2} \qquad (3)$$

مثال عن جمع العدسات الرقيقة.

أوجد موقع الخيال الذي تشكله العدسة 1؟

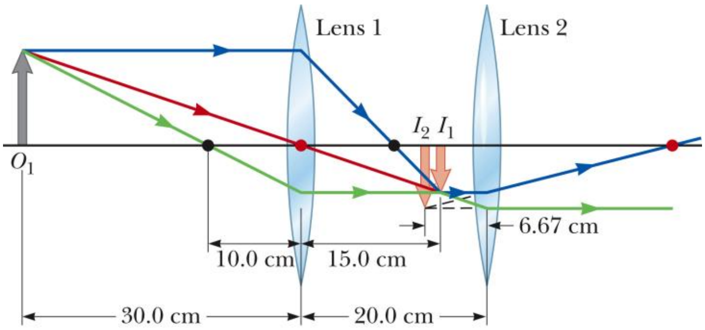
أوجد تكبير الخيال العائد للعدسة 1؟

أوجد بعد الجسم بالنسبة للعدسة الثانية؟ ثم اجعل البعد بين العدستين معدوماً

أوجد موقع الخيال الذي تشكله العدسة 2؟

أوجد تكبير الخيال العائد للعدسة 2؟

أوجد التكبير الكلي للجملة؟

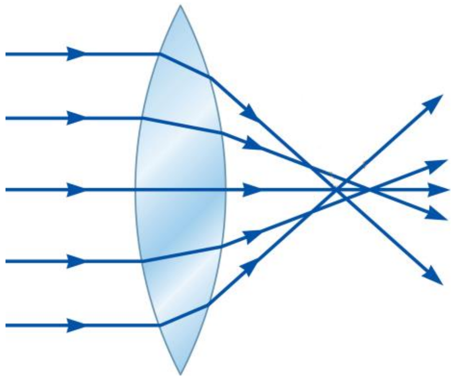


الشكل8. مثال عن الجمع بين عدستين

زيوغ العدسة

في تحليلنا للمرايا والعدسات افترضنا أن الأشعة تصنع زوايا صغيرة مع المحور الرئيسي وأن العدسات رقيقة. فافترضنا تجمع كل الأشعة التي تنطلق من منبع نقطي وفقاً لهذا النموذج في نقطة واحدة مشكلة خيالاً حاداً. من الواضح أن هذا الأمر ليس دائماً صحيحاً؛ إذ يحدث أن لا تتجمع الأشعة الصادرة من جسم نقطي في نقطة واحدة، فتكون النتيجة خيالاً مشوشاً، وهي حالة لا تسري عليها التقريبات المستخدمة في التحليل وهذا ما يسمى زيوغاً في الحالة العامة، ومسألة البعد البؤري حالة خاصة.

إن انحرافات الأخيلة الحقيقية التي تشكلها العدسات عن الأخيلة التي يتنبأ بها النموذج التقريبي تدعى زيوغ العدسات Lens Aberrations.



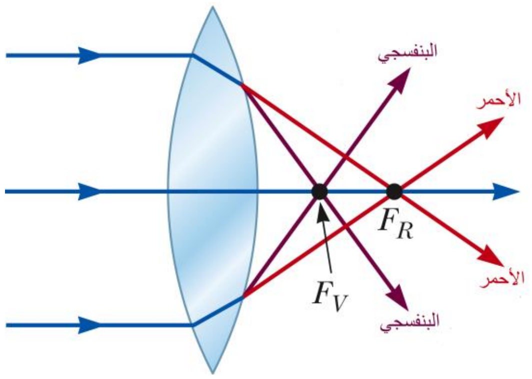
الشكل9. تتقاطع الأشعة المنكسرة في نقاط مختلفة على المحور الرئيسي

الزيغ الكروي Spherical Aberration

ينجم هذا الزيغ من تعدد النقاط البؤرية للأشعة الضوئية البعيدة عن المحور الرئيسي التي تختلف عن النقاط البؤرية للأشعة التي تمر بالقرب من المحور الضوئي، (الشكل9). تسمح الفتحة الصغيرة لمصوِّرة (كاميرا) بنسبة

أكبر من الأشعة الضوئية التي تكون قريبة من المحور الضوئي.

الزيغ اللوني Chromatic Aberration (الشكل10)



الشكل10. تتجمع الأشعة التي تختلف بأطوالها الموجية في نقاط مختلفة

تختلف قرائن الانكسار باختلاف الأطوال الموجية للضوء وبالتالي زوايا الانكسار من خلال عدسة فتتجمع في نقاط مختلفة. فالأشعة البنفسجية تنكسر أكثر من الأشعة الحمراء. والبعد البؤري للضوء الأحمر أكبر من البعد البؤري للضوء البنفسجي. يمكن تخفيض الزيغ اللوني بالجمع بين عدسات مقربة ومبعدة مصنوعة من مواد مختلفة.

عندما ينتقل الجسم على المحور الأصلي انتقالاً صغيراً dp بالنسبة لبعده عن العدسة ينتج عن ذلك انتقال صغير للخيال dq. نطلق على النسبة $g = dp/dq$، اسم التكبير الطولاني أو المحوري، ويمكن حسابه من تفاضل قانون ديكارت:

$$g = dq/dp = +M^2 \tag{3}$$

بما أن هذا التكبير موجب دائماً فهذا يدل على أن الجسم والخيال ينتقلان دوماً باتجاه واحد على المحور مهما كان نوع العدسة.

ثانياً: حساب البعد المحرقي للعدسة بطريقة الإزاحة

تشكل العدسات المقربة للأجسام نوعين من الأخيلة تتعلق ببعد الجسم عن العدسة والمسافة بين الحاجز والجسم. إذ تشكل خيالاً صغيراً في وضع معين L_1، أي أصغر ما يكون، وخيالاً كبيراً في وضع آخر L_2 (للجسم نفسه h). فإذا كانت المسافة بين الحاجز والجسم D، والفرق في الطول d بين الوضعين L_1 و L_2، الشكل11، تحققت علاقة تربط بين هذه المقادير:

نلاحظ من الشكل11 أن $p_1 = q_2$ و $p_2 = q_1$ وأن $p_1 + q_1 = p_2 + q_2 = D$ أي:

$$p_1 - p_2 = q_2 - q_1 = d \tag{4}$$

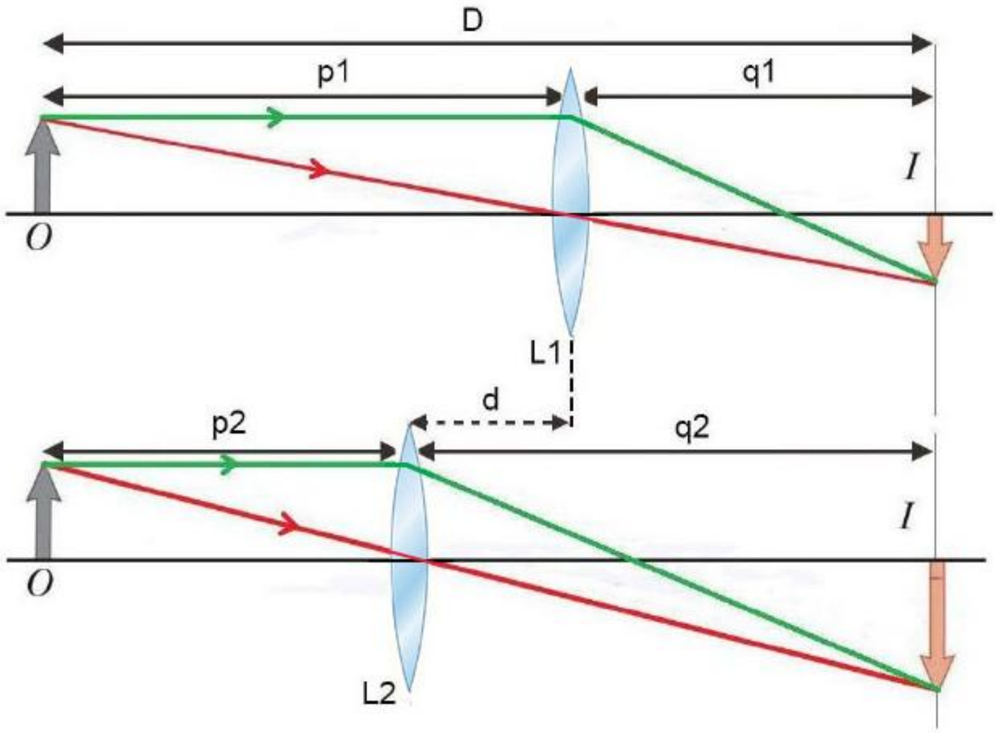
$$p_1 + p_2 = q_1 + q_2 = D \tag{5}$$

نجمع العلاقتين (4) و (5) طرفاً لطرف:

$$2p_1 = 2q_2 = D + d \quad \Rightarrow \quad p_1 = q_2 = \frac{D+d}{2} \tag{6}$$

أما بطرح العلاقتين (4) من (5) طرفاً لطرف فنجد:

$$2q_1 = 2p_2 = D - d \quad \Rightarrow \quad q_1 = p_2 = \frac{D-d}{2} \tag{7}$$



الشكل11. تشكل خيالين لنفس الجسم *O*. مصغَّر في الوضع الأول للعدسة، ومكبّر في الوضع الثاني للعدسة.

نعوض في علاقة ديكارت في الوضعية الأولى:

$$\frac{1}{p_1}+\frac{1}{q_1}=\frac{1}{f} \quad \Rightarrow \quad f=\frac{p_1\cdot q_1}{p_1+q_1} \tag{8}$$

نعوض العلاقتين (6) و(7) في العلاقة (8) فنجد:

$$f=\frac{D^2-d^2}{4D} \tag{9}$$

وهذا ما يعرف بقانون وطريقة الإزاحة.

قياس البعد المحرقي لعدسة مبعدة

بما أن المحرق الخيالي في عدسة مبعدة وهمي لا يمكن تلقيه على حاجز، ويصعب تعيينه، فإننا نلجأ إلى الاستعانة بقانون جمع العدسات لقياس البعد المحرقي لعدسة مبعدة بمساعدة عدسة مقربة بعدها المحرقي f_1 معروف؛ وبعد قياس البعد المحرقي لجملة العدستين معاً f_T بطريقة ديكارت، نطبق العلاقة:

$$\frac{1}{f_T}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_x} \tag{10}$$

فيكون البعد المحرقي للعدسة المبعدة المجهولة f_x :

$$f_x=\frac{f_1\cdot f_T}{f_1-f_T} \tag{11}$$

3. الأدوات والأجهزة

عدستان مقربتان مع حامل، عدسة مبعدة مع حامل، حاجز مع حامل، جسر ضوئي، متر لقياس الطول، منبع ضوئي مع جسم.

4. مراحل العمل والخطوات التجريبية

أولاً: قياس البعد المحرقي لعدسة باستخدام طريقة ديكارت

1. رتب الأجهزة على الجسر الضوئي كما في الشكل12.
2. ابحث عن أوضح خيال للجسم من خلال تحريك العدسة أو الحاجز.
3. قس المسافة بين العدسة والجسم وليكنp.
4. قس المسافة بين العدسة والحاجز (الخيال) وليكن q. واحسب البعد المحرقي من العلاقة (1).
5. كرر العمل من أجل العدسات المقربة الموجودة. رتِّب نتائجك في جدول.
6. احسب الارتياب المطلق Δf والنسبي $\Delta f / f$ واكتب النتيجة بالشكل $f = (\bar{f} \pm \Delta f) cm$.

الشكل12. ترتيب أجهزة التجربة. 1) منبع تغذية للمصباح، 2) مصباح إنارة مع الجسم، 3)عدسة، 4) حاجز، 5) جسر ضوئي.

7. قس في كل مرة طول الجسم وطول الخيال واحسب النسبة h'/h وقارنها بـ q/p. هل تحقق قانون التكبير الخطي. واحسب التكبير الطولاني.

8. نظِّم نتائجك في جدول كالآتي:

$\lvert M_1 - M_2 \rvert$	$M_2 = -q/p$	$M_1 = h'/h$	$h'cm$	$h\,cm$	$f\,cm$	$q\,cm$	$p\,cm$	رقم التجربة
								1
								2
$\lvert M_1 - M_2 \rvert =$	$\bar{M}_2 =$	$\bar{M}_1 =$			$\bar{f} =\quad cm$			

9. كرر القياس لكل العدسات المقربة الموجودة .

ثانياً: قياس البعد المحرقي لعدسة بطريقة الإزاحة

1. رتب الأدوات كما في الشكل12.
2. اجعل بعد الحاجز عن الجسم ثابتاً لكل قياس على حدة، وليكن D.
3. حرِّك العدسة حتى يظهر أوضح خيال كبير، ثم قِسْ بعد العدسة عن الحاجز وليكن q_1
4. أوجد أوضح خيال صغير بتحريك العدسة مع إبقاء الحاجز في مكانه السابق وقس بعد العدسة عن الحاجز وليكن q_2 . قد تحتاج إلى مسافة أكبر بين الحاجز والجسم إذا لم يظهر الوضعان بالتحريك.
5. احسب $d = \lvert q_1 - q_2 \rvert cm$ ، ثم رتِّب نتائجك في جدول.
6. قارن النتائج التي حصلت عليها بهذه الطريقة مع الطريقة السابقة أيهما أكثر دقة؟
7. احسب الارتياب المطلق Δf والنسبي $\Delta f / f$ واكتب النتيجة بالشكل $f = (\bar{f} \pm \Delta f)cm$.

$f = \dfrac{D^2 - d^2}{4D}$	$d = \lvert q_1 - q_2 \rvert cm$	$q_2 cm$	$q_1 cm$	$D\,cm$	**رقم التجربة**
					1
					2
$\bar{f} =\quad cm$					

ثالثاً: قياس البعد المحرقي لجملة عدستين:

1. اجعل العدستين المقربتين السابقتين متلاصقتين الشكل8، وابحث عن أوضح خيال واحسب باستخدام قانون ديكارت البعد المحرقي لجملة العدستين وذلك باستخدام العلاقة (1).
2. استعمل علاقة جمع العدسات (11) للتأكد من نتائجك باستخدام قيم f_1 و f_2 التي سبق قياسها.
3. احسب الارتياب المطلق Δf والنسبي $\Delta f / f$ واكتب النتيجة بالشكل $f = (\bar{f} \pm \Delta f)cm$.

رابعاً: قياس البعد المحرقي لعدسة مبعدة

1. اجعل عدسة مقربة متلاصقة مع العدسة المبعدة لديك. وابحث عن أوضح خيال.
2. احسب باستخدام قانون ديكارت البعد المحرقي لجملة العدستين باستخدام العلاقة (1).
3. احسب البعد المحرقي للعدسة المبعدة باستخدام العلاقة (11).
4. احسب الارتياب المطلق Δf والنسبي $\Delta f / f$ واكتب النتيجة بالشكل $f = (\bar{f} \pm \Delta f) cm$.

التجربة (9)

المجهر الضوئي

Optical Microscope

1. الغاية من التجربة

(1) التعرف على المجهر وكيفية استعماله وإحكامه.

(2) استعماله لقياس أبعاد صغيرة.

2. تمهيد نظري

من المعروف أن العدسة المقربة (المحدبة الوجهين) تشكل نوعين من الأخيلة.

الأول: إذا كان الجسم أبعد من محرقها شكلت له خيالاً حقيقياً مقلوباً. ويكون هذا الخيال أكبر من الجسم إذا وقع الجسم بين المحرق والمركز.

الثاني: إذا كان الجسم بين المحرق والمركز البصري شكلت له العدسة خيالاً وهمياً صحيحاً وأكبر من الجسم.

سنعتمد على هاتين الخاصتين في الأخيلة المتشكلة في المجهر.

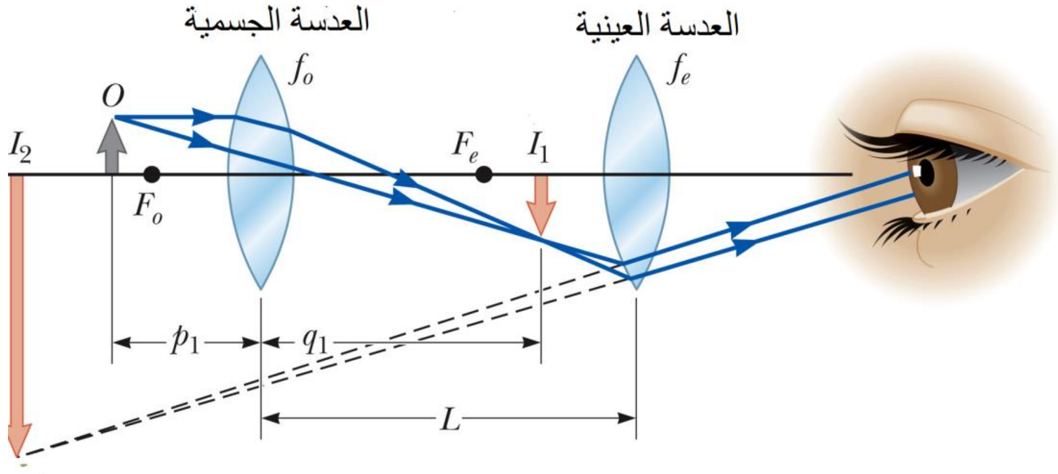
يتألف المجهر في أبسط أشكاله من عدستين محدبتي الوجهين: عدسة جسمية objective تقابل الجسم، وعدسة عينية eyepiece تقابل عين الناظر.

وتكون العدسة الجسمية صغيرة البعد المحرقي، يمكن تحريكها قرباً أو بعداً عن الجسم المدروس. فإذا جعل الجسم O على بعد أكبر من البعد المحرقي للعدسة بقليل، تشكل له خيالاً حقيقياً ومقلوباً ومكبراً I_1 (الشكل1).

أما العدسة العينية فذات بعد محرقي أكبر منه في حالة العدسة السابقة. فإذا تشكل الخيال السابق I_1 بين محرقها الجسمي ومركزها البصري شكلت له خيالاً وهمياً I_2 مكبراً أيضاً. ويكون هذا الخيال أبعد عن عين الناظر من الجسم الأصلي.

المجهر المركب

يتألف المجهر المركب من عدستين أو مجموعتين من العدسات وقد توجد العدسة الجسمية أو مجموعتها بعدة أبعاد بؤرية قابلة للتبديل بما يتناسب مع أبعاد الجسم المدروس والتكبير المطلوب، وهو يعطي تكبيراً أكبر منه في حالة عدسة وحيدة. كما أن البعد البؤري لعدسته الجسمية قصير، $f_o < 1cm$. ويقدر البعد البؤري للعينية f_e ببضعة سنتمترات.



الشكل1a. شكل تخطيطي لمجهر مركب يتألف من جسمية تشكل الخيال I_1 ومن عينية تشكل الخيال I_2.

تفصل بين العدستين المسافة L، حيث L أكبر من البعدين البؤريين. يوضع الجسم أبعد من البعد البؤري للجسمية مباشرة. فيتشكل للجسم خيال حقيقي مقلوب، يقع في النقطة البؤرية للعينية أو بالقرب منها. يؤدي هذا الخيال دور الجسم بالنسبة للعينية. يكون الخيال الذي تراه العين I_2 وهمياً ومقلوباً ومكبراً جداً.

تكبيرات المجهر المركب

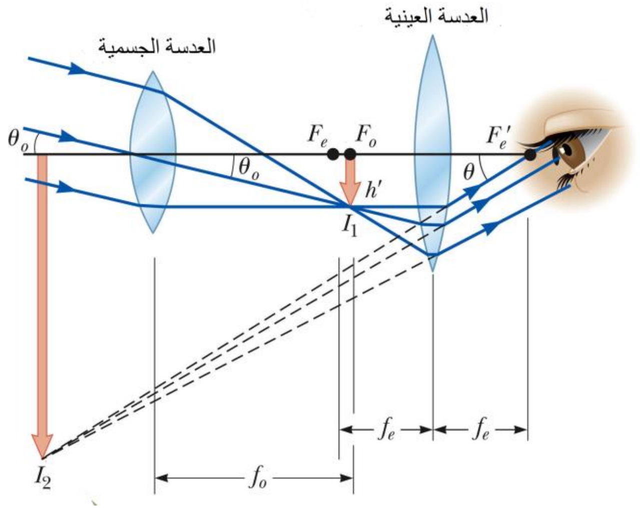
التكبير الطولاني للجسمية $M_o = -L / f_o$،

والتكبير الزاوي للعينية $m_e = 25cm / f_e$؛

فيكون التكبير الكلي للمجهر هو جداء التكبيرين:

$$M = M_o m_e = -\frac{L}{f_o}\left(\frac{25cm}{f_e}\right)$$

يكتب عادة التكبير على العينية، وعلى الجسمية، ونكتفي في هذه التجربة باستخدام عينية واحدة عادية وأخرى مكرومترية.



الشكل1b. I_1 الخيال الذي تشكله الجسمية، I_2 الخيال الذي تشكله العينية.

3. الأدوات والأجهزة

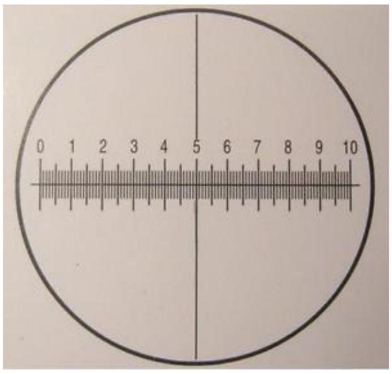
– المجهر.

– العينية المكرومترية وتسمى أيضاً المكرومتر العيني، ويرى فيها خيال لتدريج مؤلف من 10 تقسيمات رئيسية مرقمة من 0 إلى 10 قسمت كل منها إلى 10 تقسيمات صغيرة. والمقصود بالمكرومتر هنا: مسطرة دقيقة، ولا يعني واحدة بعينها من واحدات الطول.

– جسمية أو عدة جسميات بتكبيرات مختلفة.

– محضَّر نباتي مثبت على شريحة زجاجية ومغطى بساترة.

– مسطرة معشارية وتسمى أيضاً المِكرومتر الجسمي، وهي عبارة عن قطعة زجاجية تحمل مسطرة دقيقة بالكاد ترى بالعين المجردة كخط صغير واقع في مركز الدائرة السوداء، وتحوي مئة تقسيمة صغيرة أو مئتين، كل تقسيمة منها تعادل 0.01mm. وقد رقمت تدريجات هذه المسطرة عند كل عشر تقسيمات صغيرة أي عند كل 0.1mm تسهيلاً لعدها. بيد أننا سنعتبر واحدة الأطوال على هذه المسطرة المعشارية التقسيمة الصغيرة الواحدة وقيمتها 0.01mm.



الشكل2. المكرومتر العيني

– شريحة زجاجية مثبت عليها سلك معدني أو شعرة.

– دوّارة لولبية لقياس قطر السلك المعدني أو قطر الشعرة، وللتأكد من صحة القياس بالمجهر.

وصف المجهر

يبين الشكل3 رسماً تفصيلياً لأجزاء المجهر ويرى فيه ما يلي:

– **المرآة:** أحد وجهيها مستوٍ والآخر مقعر، تستعمل لعكس الضوء الوارد عليها إلى الجسم المراد فحصه فتنيره (يستعمل الوجه المستوي من المرآة إذا كان المجهر مجهزاً بمكثف ضوئي).

– المكثف الضوئي: وهو عدسة وظيفتها تجميع الضوء، بالشدة الكافية على الجسم المدروس، ويجهز المكثف عادة بلولب لتحريكه، وبحظار لتغيير شدة الضوء الوارد على الجسم.

مِنَصة المجهر. ويوضع عليها الجسم المدروس على زجاجة فحص يَنْفذ إليها النور عن طريق فتحة دائرية في مركز المنصة، ويثبت الجسم على

الشكل3. مجهر مركب بثلاث جسميات يسمح للمستخدم باختيار إحدى استطاعات التكبير

على المنصة بماسكين يمكن زلقهما معاً يميناً ويساراً، بينما يمكن زلق المنصة بما عليها إلى الأمام والخلف، ويتم تقدير هذا الانسحاب بواسطة مسطرتين ذواتا فرنية، تستطيع كل واحدة أن تقدر 0.1mm. وبعض نماذج المجهر لا تحوي هذه التسهيلات، فتحرك الجسم المدروس على المنصة يدوياً.

الجسمية. وحامل الجسميات، وهو قرص دوار يمكن أن يحمل ثلاث جسميات مختلفة التكبير.

عينية المجهر. وهي إما أن تكون عينية عادية أو عينية مكرومترية، وتستخدم هذه الأخيرة من أجل قياس الأبعاد.

أنبوب المجهر الحامل للجسميات والعينية. ويمكن رفعه وخفضه بلولبين أحدهما للإحكام السريع والثاني للإحكام البطيء.

4. مراحل العمل والخطوات التجريبية

التجربة الكيفية

1. التعرف على وظائف مختلف اللوالب المثبتة على المجهر وهي لولب المكثف الضوئي، لولبا تحريك زجاجة الفحص، لولبا الإحكام السريع والبطيء.

2. ضع المحضر النباتي إن وجد على منصة المجهر واضبط وضعه بلولبي التحريك حتى يصبح الجسم في مركز فتحة المنصة. واجعل العدسة الجسمية ذات التكبير $10\times$ تجاهه، وتأكد من وجود العينية المكرومترية $6\times$.

3. عدِّل وضع المرآة المستوية التي تتلقى الضوء الخارجي، بحيث تضيء الأشعة المنعكسة المحضَّر. استعن بلولب المكثِّف الضوئي وبحظاره حتى ترى بقعة ضوئية مركّزة على المحضر النباتي.

4. قرّب العدسة الجسمية من المحضَّر وأنت تنظر إليه بالعين مباشرة حتى تكاد الجسمية تمسَّه، وذلك بلولب الإحكام السريع. ثم انظر من خلال العينية وأَبْعِد الجسمية عن المحضَّر بنفس اللّوْلب السابق حتى يبدأ الخيال بالظهور.

5. بعدها استخدم لولب الإحكام البطيء لجعل هذا الخيال أوضح ما يمكن.

6. ارسم في دفترك المنظر الذي تراه بالألوان.

التجربة الكمية – قياس قطر سلك

لكي نقيس طولاً صغيراً بالمجهر سنتخذ لهذا القياس واحدة طول U معلومة سلفاً. ثم نقارن الجسم المقيس بها، فنحصل على ناتج قياسه بالواحدة المعلومة وليكن n. فيكون ناتج قياس الطول المجهري:

$$x = nU \qquad (1)$$

وإذا قدرت الواحدة U بالمليمتر، حصل القياس x بالمليمتر أيضاً.

لن تكون الواحدة U هي المليمتر بالذات، بل طولاً نتخذه بمثابة واحدة ونقدره بتجربة منفردة.

إن الواحدة التي سنعتمدها للأطوال في مجهرنا هي التقسيمة الرئيسية من العينية المكرومترية، أي إحدى التقسيمات العشر التي نشاهدها في المكرومتر العيني. حاول أن تقدر ΔU.

ومِن ثَمَّ نقسم عملنا إلى مرحلتين:

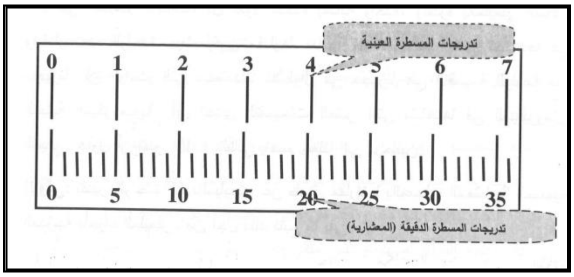
(1) تقدير الواحدة U بالمليمتر عن طريق مقارنتها بالمسطرة المعشارية الجسمية المدرَّجة بأجزاء المليمتر.

(2) تقدير طول الجسم المجهول بالواحدة U. ثم نطبق العلاقة (1) للحصول على طول الجسم المجهول.

أولاً: تقدير الواحدة U بالمليمتر

7. ضع المسطرة المعشارية (المكرومتر الجسمي) مكان المحضر النباتي بتؤدة على منصة المجهر، وارفع أنبوب المجهر بقدر كاف، ثم ضع العدسة الجسمية 10× تجاه مسطرة المعشارية.

8. انظر إلى المسطرة المعشارية بالعين المجردة وقرِّب الجسمية من المسطرة حتى تكاد تمسها، ثم انظر من خلال العينية المدرجة، وحاول بواسطة لولبي الإحكام أن تحصل على الخيال الواضح للمسطرة المعشارية (الشكل4). كم تدريجة ترى في هذا الخيال؟ تدرَّب على مطالعة التقسيمات الرئيسية والصغيرة على هذه المسطرة.



الشكل4. التطابق بين المسطرتين العينية والمعشارية.

أَدِر العينية في مكانها فيدور تدريج العينية. أما تدريجات المسطرة المعشارية فتظل ثابتة. طبِّق العينية على تدريج المسطرة المعشارية بحيث يصبح التدريجان متوازيين.

استعن بلولبي تحريك الجسم على المنصة حتى ينطبق صفر تقسيمات المسطرة المعشارية على صفر تدريج العينية.

9. أوجد عدد التقسيمات الصغيرة من المسطرة المعشارية التي تغطي كامل تدريجات العينية العشر وليكن k. وبما أن كل تقسيمة من المسطرة المعشارية تعادل 0.01mm فرضاً، فيكون طول التقسيمة الرئيسية الواحدة من العينية U، مقدراً بالمليمتر، هو:

$$U = \frac{k}{10} \times 0.01 = 0.002 = 2 \times 10^{-3} mm \qquad (2)$$

10. إذا دققت في انطباق صفر المسطرة العينية على المسطرة المعشارية الجسمية، وفي مطالعة العدد k، يمكن أن لا يتجاوز الارتياب المطلق في هذا القياس ربع التقسيمة الصغيرة من المسطرة المعشارية عند كل طرف منها، ومن ثم، يكون Δk من مرتبة 0.5 من التقسيمة الصغيرة الواحدة:

فيكون $$\Delta U(mm) = \Delta k \times 10^{-3} = (0.5 \times 10^{-3})$$

ثانياً: تقدير طول الجسم بالواحدة U

11. رتب نتائجك في جدول كالآتي:

رقم التجربة	n_i	Δn_i
1		
2		
3		
الوسطي	$\bar{n} =$	$\Delta\bar{n} =$

12. ارفع زجاجة المسطرة المعشارية.

وضع مكانها الزجاجة الحاملة للسلك، ثم أحكم المجهر حتى ترى خيال قطر السلك واضحاً. أدِر العينية في مكانها حتى تصبح مسطرتها عمودية على السلك. قدِّر عدد التقسيمات التي يغطيها خيال السلك، وذلك في عدة مواضع منه. ثم خذ وسطي هذه التقسيمات وليكن $\bar{n}$.

13. قارن بين وسطي الفروق السابقة $\Delta\bar{n}$ وبين الارتياب في المسطرة العينية وهو نصف التقسيمة الصغيرة منها. أي 0.05 من الواحدة U. نعتبر أن الارتياب Δn هو أكبر المقدارين.

تقدير طول الجسم المجهول

14. احسب طول الجسم المجهول x (وهو قطر السلك) من العلاقة 1 بالتعويض عن القيمة العددية لـ U وعن $\bar{n}$ في هذه العلاقة.

15. قدر الارتياب النسبي والمطلق في x بطريقة تقدير الارتياب في القياس غير المباشر.

ضع جوابك النهائي بالصيغة:

$$x = (\bar{x} \pm \Delta x)mm$$

16. قس قطر السلك ذاته بالدوّارة اللّوْلبية مع تقدير الارتياب في القياس.

هل للقياس بالمجهر من فائدة من حيث تحسين دقة القياس؟

التجربة (10)

الموشور

Prism

1. الغاية من التجربة

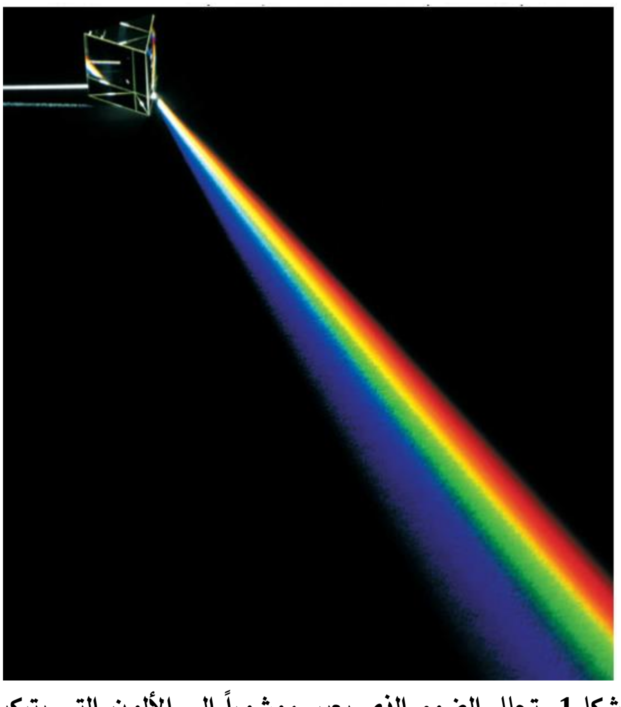
(1) التحقق من صحة قوانين الموشور.

(2) دراسة تغير زاوية الانحراف بتغير زاوية الورود.

(3) حساب قرينة انكسار الموشور.

2. تمهيد نظري

الموشور هو وسط شفاف متجانس يحدِّده مستويان كاسران متقاطعان يدعى كل منهما وجه الموشور. كما نسمي الوجه المقابل لرأس الموشور قاعدة الموشور. إذا سقطت حزمة متوازية من ضوء أبيض على حاجز تشكل بقعة بيضاء على الحاجز. وعند وضع موشور زجاجي في مسار الحزمة يحدث ما يأتي:

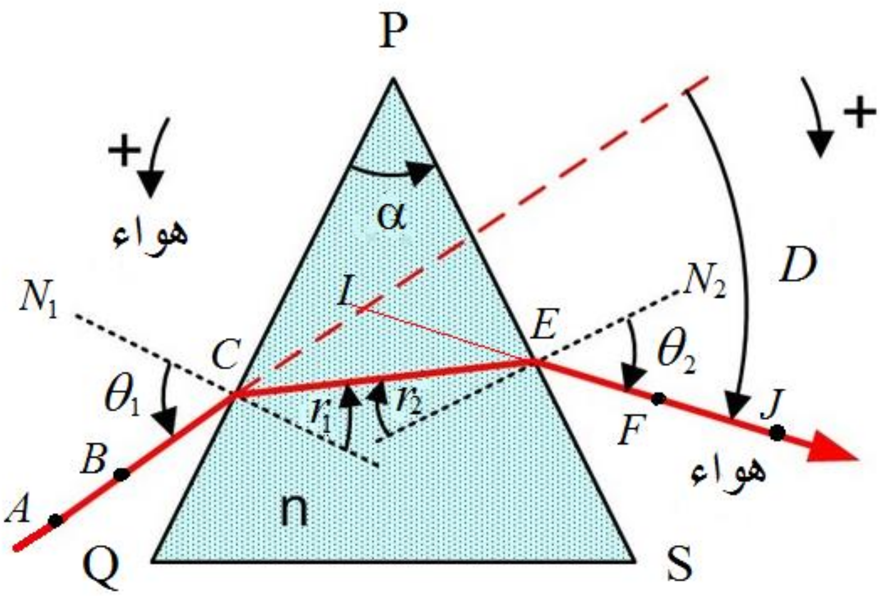


الشكل1. تحلل الضوء الذي يعبر موشوراً إلى الألون التي يتركب منها لاعتماد قرينة الانكسار على الطول الموجي

1. انحراف الحزمة نحو قاعدة الموشور.
2. تكون مساحة البقعة المنحرفة أكثر اتساعاً من البقعة الأصلية.
3. تحلّل الضوء لألوانه الأساسية إذا كان مركباً الشكل1.
4. تعتمد الزاوية التي ترى ضمنها الألوان على مادة الموشور وزاويته فقد لا تظهر المركبات واضحة دوماً.

لندرس مسار الأشعة في الموشور. نفترض وجود الموشور الذي مقطعه PQS كما في الشكل2، زاوية رأسه α حادة، يرد عليه الشعاع الضوئي وفق الخط AB على الوجه PQ (السطح الفاصل بين الهواء وزجاج الوجه الأول للموشور) في النقطة C صانعاً زاوية ورود θ_1 مع الناظم CN_1. ينكسر هذا الشعاع داخل الموشور وفق المنحى CE، صانعاً الزاوية r_1 مع الناظم في C، فيَرِدُ على الوجه PS من الموشور (السطح الفاصل

بين الوجه الثاني للموشور والهواء) في النقطة E صانعاً زاوية r_2 مع الناظم EN_2 على هذا الوجه، فينكسر ثانية ثم يبرز من الوجه وفق المنحى EFJ صانعاً زاوية البروز θ_2 مع الناظم EN_2 .



الشكل2. مسار الأشعة في الموشور

إذا كانت قرينة انكسار مادة الموشور n وقرينة انكسار الهواء المطلقة تساوي الواحد، أي إن $n>1$ ، وبحسب خصائص الانكسار يكون: $\theta_1 > r_1$ وكذلك $\theta_2 > r_2$ وبتطبيق قانون الانكسار الأساسي على مسار الأشعة في النقطتين:

$$\sin\theta_1 = n\sin r_1 \qquad (1)$$

$$\sin\theta_2 = n\sin r_2 \qquad (2)$$

يبرهن بسهولة أن:

$$\alpha = r_1 + r_2 \qquad (3)$$

تعرف الزاوية المحصورة بين منحى الشعاع الوارد، ومنحى الشعاع البارز بزاوية انحراف الضوء في الموشور ويرمز لها بالرمز D . ويبرهن بسهولة من الخصائص الهندسية للشكل أن:

$$D = \theta_1 + \theta_2 - \alpha \qquad (4)$$

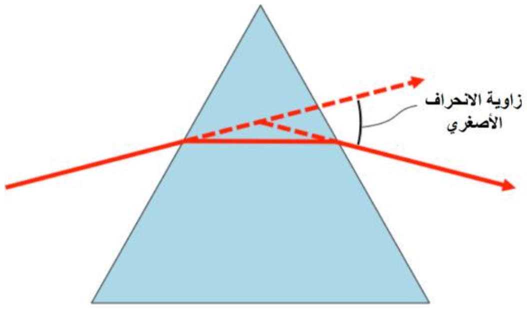
إن التحقق من العلاقة (4) يكافئ التحقق من العلاقات (1) و(2) و(3)، ومن ثمّ التحقق من قانون الانكسار في الموشور نفسه.

تبين التجربة أن تغير زاوية الانحراف ليس خطياً مع كلٍّ من زاوية الورود وقرينة انكسار مادة الموشور. وإنما تمر بزاوية صغرى نرمز لها بـ $D_{\min}$، تسمى زاوية الانحراف الأصغري. وتحصل عندما يكون $\theta_1 = \theta_2$ ؛ وفي هذه الحالة ينتج من العلاقة (4) أن:

$$\theta_1 = \tfrac{1}{2}(D_{min} + \alpha) \qquad (5)$$

بتعويض (5) في العلاقة (1) ينتج:

$$n = \frac{\sin \frac{1}{2}(D_{min} + \alpha)}{\sin \alpha / 2} \qquad (6)$$



ولما كانت زاوية الانحراف تابعة لقرينة انكسار الموشور، وهذه الأخيرة تابعة للطول الموجي للضوء الوارد أي للونه، افترضنا في هذه التجربة أن الضوء المستعمل هو وحيد، تاركين دراسة اختلاف الانكسارات تبعاً للطول الموجي لتجربة المطياف ذي الموشور.

شروط بروز الضوء من الموشور

لا تبرز كل الأشعة التي ترد على الوجه الأول للموشور، وإنما فقط الأشعة التي تحقق الشرطين الآتيين:

الشرط الأول

يتعلق بزاوية الموشور وهو : $\alpha \le 2\beta$ ، حيث α هي زاوية رأس الموشور، و β هي الزاوية الحدية لزجاج الموشور، وتعطى بالعلاقة: $\sin \beta = 1/n$، فإذا كانت $n = 1.5$ كانت $\beta = 42^\circ$، فيصبح الشرط السابق بالنسبة للموشور الزجاجي $\alpha \le 2 \times 42^\circ$، فإذا كانت زاوية الرأس أكبر من 84° انعكس الشعاع انعكاساً كلياً على الوجه الثاني، وبرز من قاعدة الموشور، لذا نستخدم زاوية رأس الموشور حادة وليست قائمة.

الشرط الثاني

يتعلق بزاوية ورود الشعاع على الوجه الأول للموشور، وهو أن تكون هذه الزاوية θ_1 أكبر من حد معين، وإلّا انكسر الشعاع على الوجه الأول، ثم انعكس انعكاساً كلياً على الوجه الثاني. لأن زاوية وروده على هذا الوجه تكون أكبر من الزاوية الحدية. وهذا هو الشرط:

$$\sin \theta_1 \ge \sin(\alpha - \beta)$$

وفي مثالنا السابق يصبح هذا الشرط:

$$\begin{aligned} \sin \theta_1 &\ge \sin(45 - 42) \\ &\ge 1.5 \times 0.052 = 0.078 \end{aligned}$$

ومنه نجد أن زاوية الورود يجب أن تحقق $\theta_1 \ge 4.5^\circ$. وفي مثالنا العددي، يتحقق شرط البروز إذا كانت زاوية الورود على الوجه الأول أكبر من $\theta_1 = 5^\circ$.

ملحوظة: كما تعلم أن الشعاع الوارد ناظمياً على السطح لا ينكسر. وعندما تزيد زاوية الورود على 75° تقل شدة الضوء المنكسر إلى حد بعيد، وعندما تقارب زاوية الورود 90° تكاد شدة الضوء المنكسر أن تنعدم، ومن ثَمَّ يكاد الخيال الحادث بالانكسار أن يغيب علماً أنه موجود حتى الزاوية 90°.

3. الأدوات والأجهزة

موشور زجاجي مقطعه مثلث، لوحة فلين، مسامير كبس، لوحة بيضاء من الورق المقوى.

ملحوظة: يجب أن يحضر الطالب معه لإنجاز التجربة: مسطرة شفافة، ومنقلة شفافة، ومثلثاً قائم الزاوية شفافاً، وفرجاراً، وورقتين كبيرتين للرسم.

4. مراحل العمل والخطوات التجريبية

أولاً: التحقق من صحة العلاقة $(D = \theta_1 + \theta_2 - \alpha)$

1. ثبت ورقة بيضاء على لوحة الفلين بمسامير كبس، ثم ضع الموشور على هذه الورقة بحيث تكون حروفه الثلاثة قائمة عليها، فتجد أن أثره في الورقة مثلث PQS. خذ إحدى زوايا الموشور الحادة على أنها زاوية رأس الموشور α ، فيتعين الوجهان المجاوران لهذا الرأس على أنهما وجها ورود الضوء على الموشور وبروزه منه كما هو موضح في الشكل2، ارسم أثر هذين الوجهين على الورقة.

2. اغرس في لوحة الفلين دبوسين قائمين في نقطتين متباعدتين مثل B وA تعينان منحى شعاع وارد على وجه الموشور PQ ، فيتعين الوجه الآخر PS وجهاً للبروز.

3. تعيين JE منحى الشعاع البارز: ضع إحدى عينيك في مستوي ورقة الرسم، وانظر بها إلى وجه البروز حتى ترى خيال الدبوسين على استقامة واحدة يخفي أحدهما الآخر خلفه، اغرس عندئذ وفق الاستقامة نفسها دبوسين آخرين الواحد بعد الآخر في نقطتين متباعدتين، مثل J وF وأقربُ إليك من وجه البروز، بحيث ترى دبوساً واحداً منهما هو الأقرب إليك ويخفي وراءه الدبوس الآخر والخيالين السابقين. فيتعين FJ منحى الشعاع البارز، مدّد هذا المنحى حتى يتقاطع مع وجه البروز عند النقطة E.

4. انزع الدبابيس والموشور عن الورقة، وارسم منحى الشعاع الوارد ABC وكذلك منحى الشعاع البارز EFJ وصل CE. ارسم الناظمين عند نقطة الورود وعند نقطة البروز، ثم مدِّد الشعاعين ABC وEFJ فيتلاقيان في نقطة I. إن الشعاع ABC ينكسر داخل الموشور وفق CE داخل الموشور، ويبرز منه وفق EFJ، وتتعين الزوايا: α، و θ_1، و r_1، و r_2، و θ_2 مع الناظمين. وتمثل I رأس زاوية الانحراف D' التي سيتم قياسها.

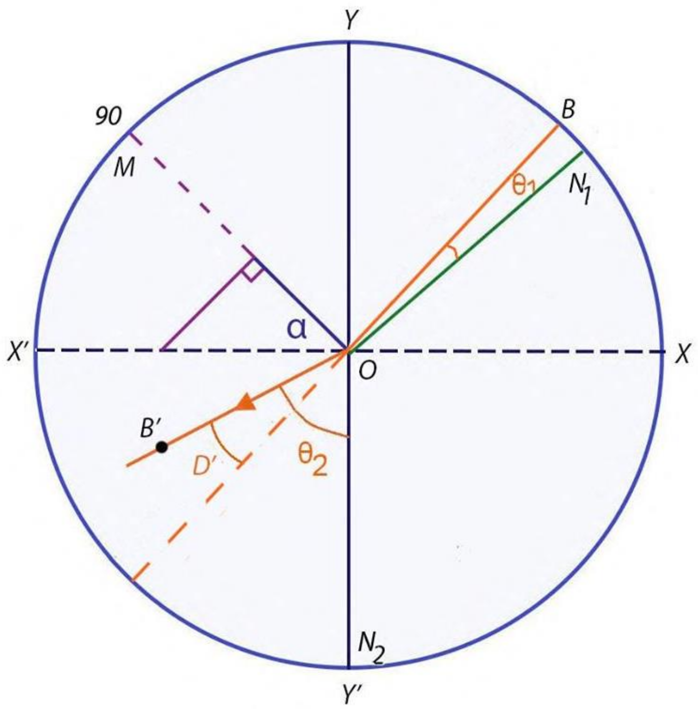
5. كرر الخطوات2 و3 و4 مرتين أخريين على الأقل، قس الزوايا واملأ الجدول، واحسب في كل مرة D من العلاقة (4) وقارنها مع القيمة المقيسة D' (رمزنا للقيم المحسوبة D والمقيسة D').

5. احسب الارتياب في D' وقارنه مع الفرق بين القيمتين.

$\alpha =$ زاوية رأس الموشور						
رقم التجربة	θ_1	θ_2	D'	$D=\theta_1+\theta_2-\alpha$	$E_i=\mid D_i'-D_i\mid$	الاستنتاج
1						
2						
3						

ثانياً: دراسة تغير زاوية الانحراف مع زاوية الورود

1. ثبت ورقة بيضاء جديدة على لوحة الفلين بوساطة مسامير كبس، وارسم في وسطها دائرة مركزها O، ونصف قطرها $10cm$ ويفضل للسهولة رسم دائرة تطابق قوس المنقلة الشفافة المستخدمة. ثم ارسم قطرين متعامدين $X'OX$ و $Y'OY$.



الشكل3. دراسة تغير زاوية الانحراف مع زاوية الورود.

2. ضع الموشور على هذه الورقة بحيث تكون حروفه الثلاثة قائمة عليها، ورأس زاويته الحادة في مركز الدائرة O، فيكون وجه البروز وفق OX'، ارسم أثر الموشور.

3. ارسم الناظمين ON_1 و ON_2 على وجهي الورود والبروز. وقسم قوس الدائرة المحدَّد بالناظم ON_1 ووجه الورود OM للموشور أقساماً متساوية كل منها 5° ثم أعد الموشور إلى موضعه، الشكل3.

4. اغرس دبوس في التدريجة 5° (وليكن موضعها B) ضع إحدى عينيك في مستوى ورقة الرسم ضمن الربع $X'OY'$ وحرك رأسك حتى ترى خيال الدبوس. هل ذلك ممكن ولماذا؟

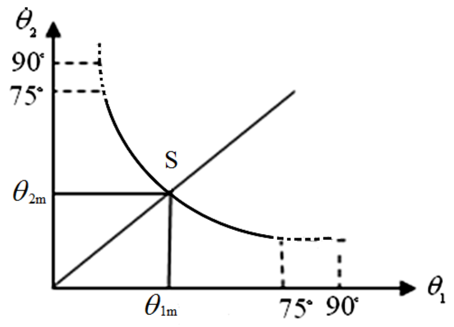
5. اغرس دبوس في التدريجة 10° وكرِّر العمل السابق، اغرس دبوس في التدريجة 15° فيظهر الخيال واضحاً ضمن الربع $X'OY'$. اغرس دبوساً آخر B' بحيث يخفي الدبوس B وحرف الموشور O. (اجعل المسافة OB' أبعد ما يمكن لتحسين الدقة). ارفع الموشور من مكانه، وصل O مع B'.

6. قس زاوية البروز θ_2 المحدَّدة بالناظم ON_2 والشعاع البارز المحدَّد OB'، مدِّد الشعاع الوارد OB ثم قس زاوية الانحراف D' بين ممد الوارد وبين الشعاع البارز. احسب D من العلاقة (4) وقارن بينهما.

7. كرر العمل لبقية الزوايا وضع نتائجك في الجدول2

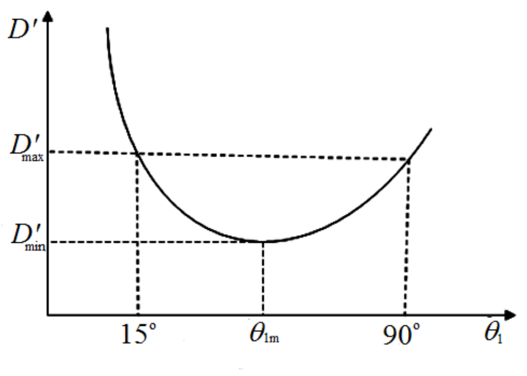
8. قدر الارتياب في D' المقيسة وفي D المحسوبة من العلاقة (4)، ثم قارن بين الفروق $E_i = |D_i' - D_i|$ والارتياب ΔD المحسوب، وحدِّد هل التجربة مقبولة أم مرفوضة.

9. ارسم على ورقة مليمترية θ_2 بدلالة θ_1 مستخدماً تقسيمات متساوية على المحورين الإحداثيين. تحصل على شكل يشبه الشكل4، أوجد بالاستقراء من المنحني البياني قيمة θ_1 عند $\theta_2 = 90^\circ$، وأوجد θ_2 عند $\theta_1 = 90^\circ$، أنشئ منصف الربع الأول، الذي يقطع الخط البياني في نقطة S توافق $\theta_1 = \theta_2$، وهي وضعية الانحراف الأصغري؛ حدِّد من نقطة التقاطع S، بالاستقراء قيمة كل من θ_{1m} و θ_{2m}، اللتين توافقان وضعية الانحراف الأصغري.



الشكل4. تغير زاوية البروز بدلالة زاوية الورود

10. ارسم على ورقة مليمترية D' المقيسة قياساً مباشراً بدلالة θ_1. تحصل على شكل يشبه الشكل5، أوجد بالاستقراء من المنحني البياني قيمة D'_{max} وقيمة D'_{min} عند θ_{1min} الموافقة لها من المنحني، قارن قيمتي θ_{1m} من المنحنيين. هل الفرق من رتبة الارتياب وهل يفسره؟



الشكل5

ثالثاً: حساب قرينة انكسار مادة الموشور

1. احسب n قرينة انكسار الموشور من العلاقة (6)، مستخدماً قيمة D'_{min} التي أوجدتها.

الجدول2						
زاوية رأس الموشور $\alpha =$						
رقم التجربة	θ_1	θ_2	D'	D	$E_i = \lvert D_i' - D_i \rvert$	الاستنتاج
1	5°					
2	10°					
3	15°					
4	20°					
5	25°					
6	30°					
7	35°					
8	40°					
9	45°					
10	50°					
11	55°					
12	60°					
13	65°					
14	70°					
15	75°					
16	80°					
17	85°					
18	90°					

2. احسب الارتياب المطلق والنسبي في قيمة قرينة انكسار الموشور n بطريقتي التفاضل اللغارتمي للعلاقة (5)، ومن العلاقة (6):

$$n' = \frac{\sin\frac{1}{2}(\alpha + \Delta\alpha + D_{\min} + \Delta D_{\min})}{\sin\frac{1}{2}(\alpha + \Delta\alpha)} \qquad (6)$$

حيث $\Delta\alpha$ الارتياب في قياس α، و $\Delta D_{\min}$ الارتياب في قياس $D_{\min}$. نقبل أن الارتياب في n من مرتبة الفرق $\Delta n = n' - n$.

التجربة (11)

المطياف ذو الموشور

The Prism Spectrometer

1. الغاية من التجربة

(1) دراسة جهاز تحليل طيفي بسيط، هو المطياف ذو الموشور والتعرف على أجزائه وكيفية عمله. وقد يستعمل مكان الموشور شبكة انعراج.

(2) التعرف على أنواع الطيوف.

(3) رسم منحني معايرة للمطياف باستخدام أطوال موجية لطيف معلوم.

(4) استخدام منحني المعايرة لقياس أطوال موجية لطيف مجهول.

2. تمهيد نظري

يسمى العلم الذي يدرس عدد الخطوط الطيفية الصادرة من المادة وتوزعها، ويحدِّد بناءً على ذلك نوع المادة المصدرة للطيف علم التحليل الطيفي.

تصدر ذرات المادة ضوءاً عندما تثار بالتسخين أو بالضوء أو بالانفراغ الكهربائي(بتطبيق فرق كمون كهربائي، فتتسارع في هذه الحالة الأخيرة الأيونات والإلكترونات وتتصادم فتثار). والسبب في ذلك أن الإلكترون الموجود في مستواه الأساسي الذي طاقته E_1 يمتص طاقة، عندما تتم إثارة الذرة، فإذا كانت هذه الطاقة كافية لانتقال الإلكترون لمستوى أعلى طاقته E_2 ، عندئذ ينتقل الإلكترون ويمكث في المستوى الأعلى فترة من الزمن، وعندما يعود لمستواه الأساسي يطلق الطاقة التي امتصها على شكل فوتون يرتبط تواتره بالطاقة الممتصة التي تصدر نتيجة لانتقال الإلكترون بالعلاقة:

$$\Delta E = E_2 - E_1 = hf \qquad (1)$$

حيث h ثابت بلانك، و f تواتر الفوتون الصادر.

يرتبط تواتر الضوء الصادر بالطول الموجي في الخلاء بالعلاقة:

$$f = c / \lambda \qquad (2)$$

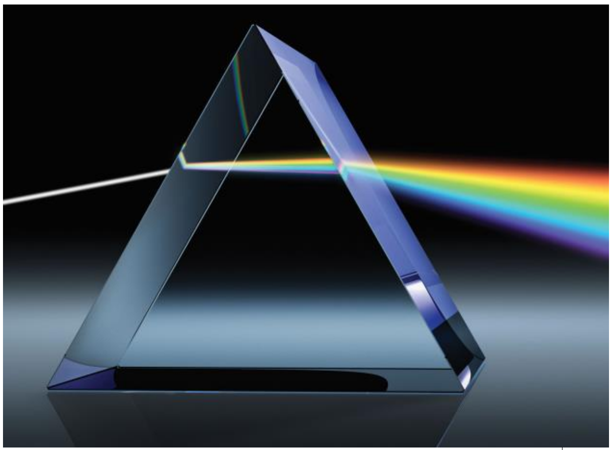
حيث c سرعة الضوء في الخلاء، و f تواتر الضوء المدروس، λ الطول الموجي.

يتعلق كون الضوء الصادر من المادة وحيداً أو مركباً بعدد الانتقالات الممكنة للإلكترونات، فإذا انتقل إلكترون واحد فسوف يعطي عند عودته ضوءاً ذا تواتر وحيد. أما إذا انتقلت عدة إلكترونات لمستويات مختلفة في طاقاتها، فعند عودتها لمستوياتها الأساسية سيصدر كل إلكترون منها ضوءاً ذا تواتر مختلف. فيكون الطيف الناتج مركباً من عدة ألوان. وعندما تكون المادة مكونة من عدة عناصر فإن الطيف يكون مزيجاً من كل طيوف الذرات لكل مادة مما يعطي طيفاً مستمراً من الأحمر إلى البنفسجي. وعند إسقاط الضوء المركب الناتج من ذرات المادة على أحد وجوه الموشور يقوم الموشور بتحليل ذلك الطيف إلى ألوانه الأساسية، الشكل1، والسبب في حدوث ظاهرة التحلل الضوئي هو اختلاف قرينة انكسار الوسط باختلاف الطول الموجي للضوء المار فيه، وتنكسر من ثَمَّ الأشعة الضوئية بزوايا انكسار تختلف باختلاف أطوال موجاتها. وتسمى إحدى العلاقات التي تربط الطول الموجي بقرينة الانكسار بعلاقة كوشي وهي:

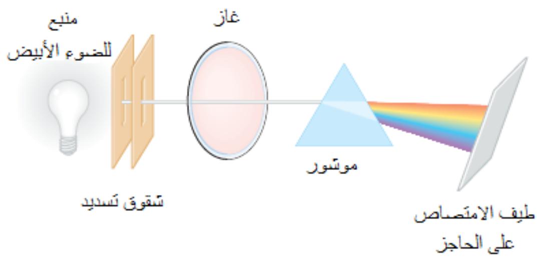
$$n = A + \frac{B}{\lambda^2} \qquad (3)$$

حيث A و B هما ثابتا كوشي.

تأتي أهمية هذه التجربة من خلال تعريف الطالب عملياً على إحدى طرائق التحليل الطيفي بمطياف يستخدم إما شبكة انعراج وإما موشوراً تبعاً لما يتوفر في المختبر الذي يتم فيه إجراء التجربة، كما في الشكل2. إذ تفيد هذه المطيافية الضوئية في تحديد وجود أنواع معينة من الجزيئات في عينات مختبرية حيث يكون التحليل الكيميائي صعباً. فالدنا DNA ومختلف البروتينات مثلاً تمتص الضوء في مجالات معينة من الطيف (كما في الـ UV أو الـ IR). وإن مقدار الامتصاص لا يكشف عن وجود نوع معين من الجزيئات فحسب، بل عن تركيزه أيضاً.



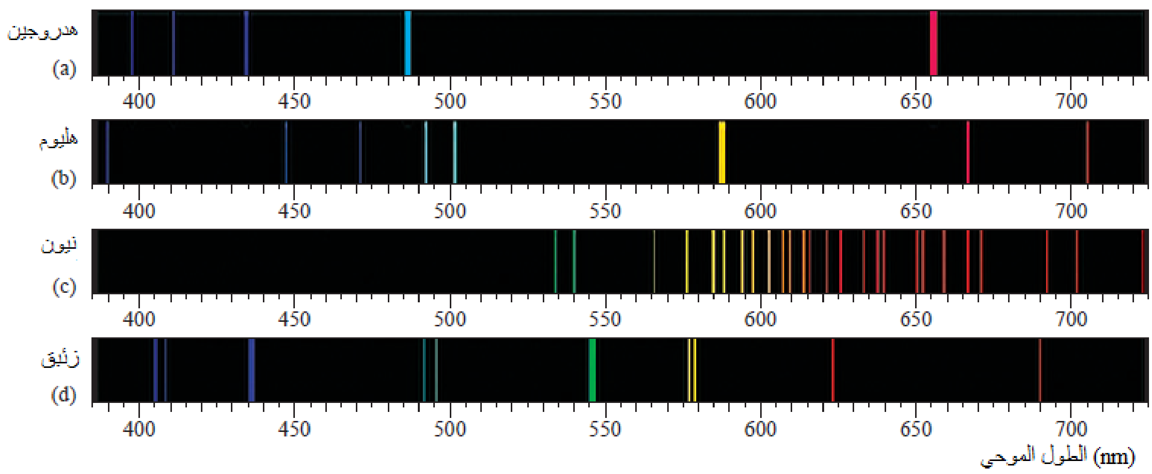
الشكل1. يمثل تحلل الضوء المركب إلى ألوانه الأساسية بالموشور



الشكل2. إعداد تجربة للحصول على طيف امتصاص. عندما يمر الضوء في غاز، يمتص بعض الأطوال الموجية. تظهر خطوط الامتصاص على شكل شرائط سوداء في الطيف.

أنواع الطيف: (1) الطيف الخطي

يتألف من عدة خطوط ملونة منفصلة (الشكل3) بعضها عن بعض، ويصدر عن ذرات المادة المثارة وهي بحالة أبخرة أو غاز متخلخل كطيف مصباح الزئبق الذي سنستخدمه في تجربتنا.



الشكل3. طيوف الإصدار (a-d) للهدروجين الذري والهليوم والنيون والزئبق. وقد تم تخفيف شدة الخطوط الطيفية الأعلى شدة لزيادة وضوحية الخطوط الطيفية الضعيفة

(2) الطيف المستمر

ويتألف من شرائط ملونة مستمرة تتوالى فيها الألوان دون انقطاع، ويصدر عن ذرات الكتل المادية المتوهجة الحرارية، ففيها ذرات مثارة من جميع المستويات كالشمس.

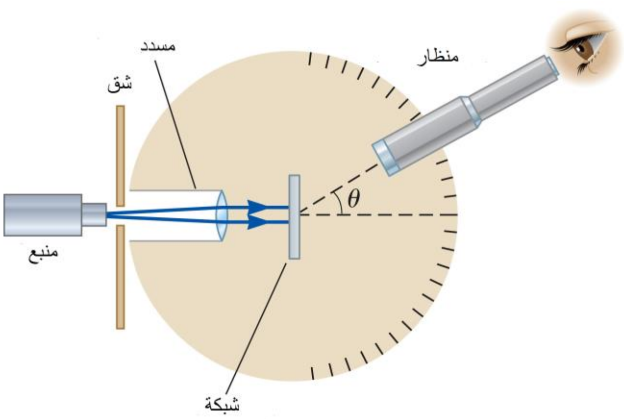
(3) الطيف الشريطي

يتألف من شرائط لونية منفصلة، كل شريط يتألف من مجموعة طيفية متراصة، ويصدر عن الغازات المضغوطة.

وللحصول على طيف واضح الألوان والخطوط يستخدم شق ضيق أمام منبع ضوئي وكلما كان الشق أضيق كانت الخطوط أرفع وأوضح.

3. الأدوات والأجهزة

مطياف بشبكة انعراج أو موشور، مصباح غاز معلوم الأطوال الموجية كمصباح الزئبق، مصباح غاز مجهول الأطوال الموجية، مصباح إنارة (يستخدم في بعض أنواع مقاييس الطيف لإنارة عينية الخطين المتصالبين).



الشكل4. شكل تخطيطي لمطياف شبكة الانعراج. إذْ تتحلل الحزمة المسدَّدة الواردة إلى شبكة انعراج إلى مختلف الأطوال الموجية التي تتألف منها، بالتداخل البنّاء في حالة أطوال موجية معينة تحدث عند زوايا محدَّدة (راجع الفقرة 3.3.3 في كتاب الفيزياء النظري).

أجزاء المطياف

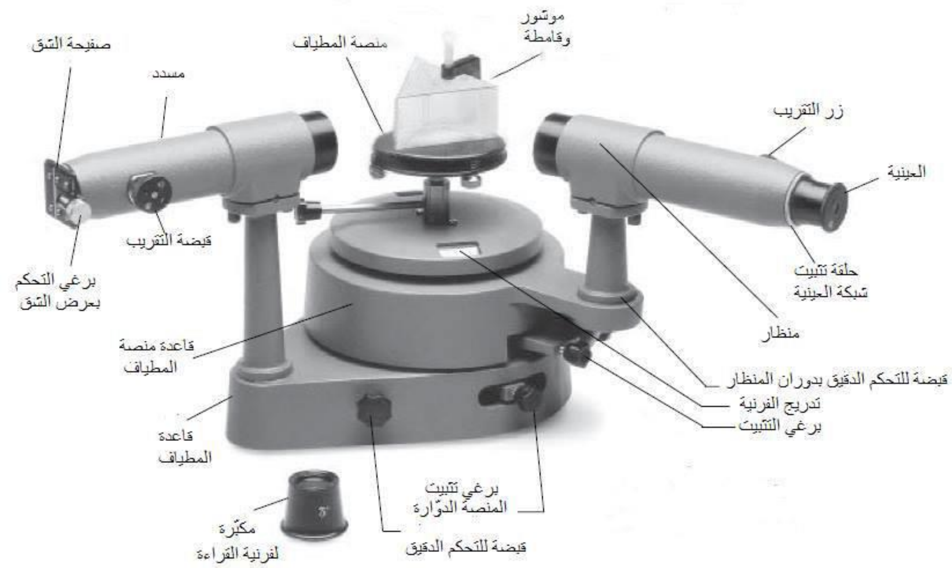
يتألف المطياف (الشكلان4 و5) من:

(1) شبكة انعراج (راجع الفقرة 3.3.3 من كتاب النظري) أو موشور يضبط في وضعية الانحراف الأصغري، ولذلك لا يجوز تغيير وضعيته أبداً. ويغطى بغطاء فيه فتحتان أو ثلاث فتحات (تبعاً لنوع المطياف) تمر منها أجزاؤه الأخرى، لحفظ وضعيته.

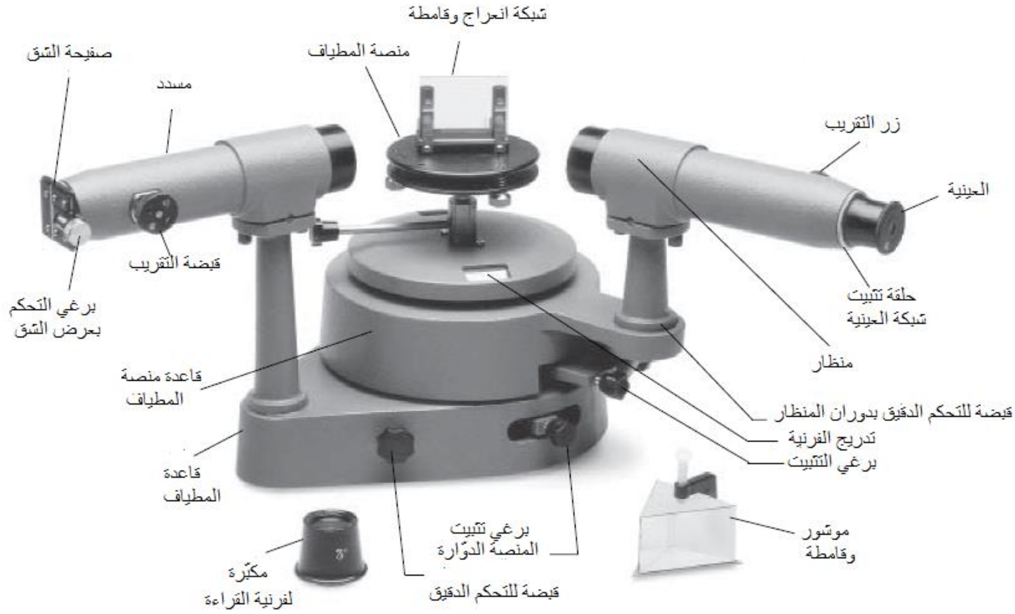
(2) المسدِّد، ويتألف من أنبوب في أحد طرفيه شق يمكن التحكم بعرضه، ويقع هذا الشق في محرق عدسة توضع في الطرف الآخر للأنبوب. فعندما يكون المنبع الضوئي المراد تحليل طيفه أمام الشق (عند البعد المحرقي للعدسة)، يصدر ضوء المنبع من العدسة على شكل حزمة متوازية عند إضاءته للشق.

(3) توجد في معظم مقاييس الطيف الحديثة شبيكة العينية في المنظار، كما في الشكلين4 و5 يستعان بها لتعيين الزوايا المقابلة للخطوط الطيفية على سلم الدرجات. يحوي بعض مقاييس الطيف مسدداً إضافياً في نهايته مسطرة للقياس.

(4) المنظار وفيه عدستان، عينية وجسمية. يمكننا رؤية خيال الشق وخيال المسطرة المتشكل بالانعكاس في المستوي المحرقي للمنظار في حال وجود المسدد الإضافي. ويتم إيضاح الخيالين المنطبقين بزلق عينية المنظار في أنبوبها. وفي حال الشكلين4 و5 يمكن رؤية خيال الشق على شبيكة العينية في المستوي المحرقي للمنظار.



الشكل5a. مطياف يمكن استعماله بموشور أو بشبكة انعراج (حسب ما يتوفر في مختبرك).

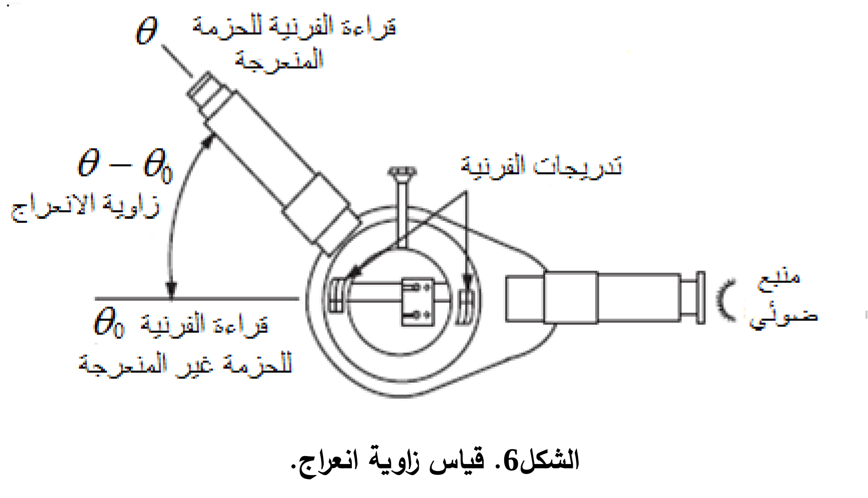


الشكل5b. مطياف بشبكة انعراج.

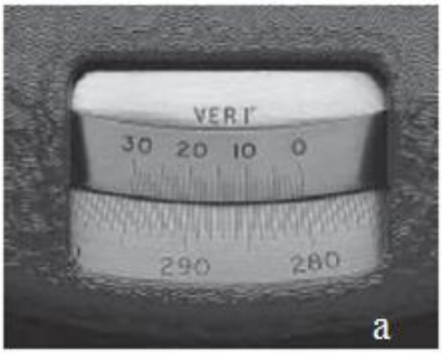
قياس زوايا الانعراج أو زوايا البروز

تقاس زوايا الانعراج أو زوايا البروز لدى تحليل منبع ضوئي باستخدام تدريجات فرنييه دائرية لصغر الفروق بين زوايا الانحراف أو الانعراج. غير أنَّ تدريجات الفرنييه الدائرية لا تقيس إلّا مواقع الدوران النسبية للمنظار وقاعدة منصة المطياف. ولهذا من المهم قبل إجراء القياس تثبيت قراءة الفرنييه للحزمة غير المنحرفة. تقرأ جميع الزوايا في هذه الحالة بالنسبة إلى القراءة الابتدائية.

للحصول على قراءة الفرنييه للحزمة غير المنحرفة، اجعل خط الشبكة الشاقولي عند الحافة الثابتة لخيال الشق في حالة الحزمة غير المنحرفة، واقرأ تدريج الفرنييه θ_0، الشكل6. أما بالنسبة للموشور فيرفع وتقرأ الوضعية التي يظهر فيها خيال الشق واضحاً.

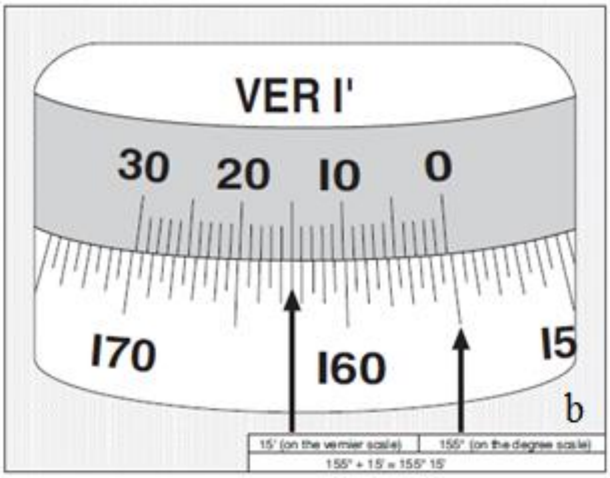


الشكل6. قياس زاوية انعراج.



ثم قم بتدوير المنظار لمطابقة خط الشبيكة الشاقولي مع الحافة الثابتة للخيال المنحرف. اقرأ تدريج الفرنييه ثانية. هذه القراءة الثانية θ، فتكون زاوية الانعراج الفعلية $\theta-\theta_0$. إذا تم تدوير قاعدة المنصة لسبب ما، تتغير نقطة الصفر، ويجب إعادة قياسها من جديد.

قراءة تدريجات الفرنييه



الشكل7b. قراءة تدريجات الفرنييه.

لقراءة الزاوية أوجد أولاً موضع نقطة صفر تدريج الفرنييه على سلم الدرجات وسجّل قيمتها. إذا كان صفر الفرنييه يقع بين خطين، فسجِّل القيمة الأصغر. في الشكل7b يقع صفر تدريج الفرنييه بين 155° و 156° وهي تقابل (أي الفرنييه) $30'$ على سلم الدرجات، ومن ثم فإن الزاوية التي تسجَّل 155°.

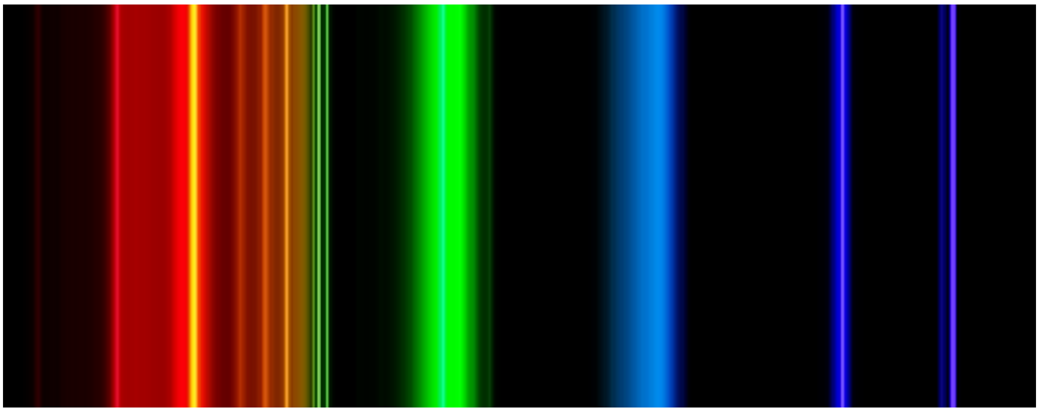
استخدم الآن المكبرة لإيجاد الخط على سلم الفرنييه الذي يكون تطابقه أفضل ما يمكن مع أي خط على سلم الدرجات. هذا ما يقابل الخط الموافق لقياس قدره $15'$ على القوس. أضف هذه القيمة إلى القراءة المسجلة أعلاه للحصول على القياس الصحيح $155^\circ+15'=155^\circ15'$ بدقة دقيقة واحدة على القوس.

4. مراحل العمل والخطوات التجريبية

أولاً: رسم منحني معايرة المطياف

1. اجعل خيال الشق خطاً واضحاً، بقبضة التقريب في طرف المسدِّد، واجعل الشق أضيق ما يمكن. وقم بإضاءة المسطرة الموجودة في نهاية المسدِّد الإضافي (في حال وجوده) أو الشبيكة في المنظار واجعل خيالها أوضح ما يمكن بزلقها ضمن أنبوبها، فترى خيال المسطرة (أو شبكة العينية في المنظار) وخيال الشق معاً.

2. ضع مصباح الزئبق معلوم الطيف (الجدول2) أمام الشق في المسدِّد. انظر من المنظار إلى الطيف الناتج. ما نوعه؟ هل خطي؟ قارنه بالشكل8. (يجب أن تكون الخطوط واضحة إذا كان الإحكام جيداً وإلّا يجب إحكام المسدِّد والمنظار مجدداً)



الشكل8. الطيف الفعلي لبخار الزئبق تم الحصول عليه بالموشور.

3. اقرأ الزاوية المقابلة لكل لون من ألوان الطيف الناتج، ولتكن θ على سلم الدرجات (أو التدريجة على المسطرة)، وفي حال تكرر اللون أكثر من مرة ميّز كل لون بدليل: أزرق1، أزرق2 ... أما إذا اختلفت بشدتها فاكتب ش للضوء الشديد وهكذا، كذلك إذا كانت الألوان متراصة ضع دليل م (انظر الجدول2).

4. نظِّم نتائجك كما في الجدول1.

الجدول1. الزوايا المقيسة المقابلة للأطوال الموجية

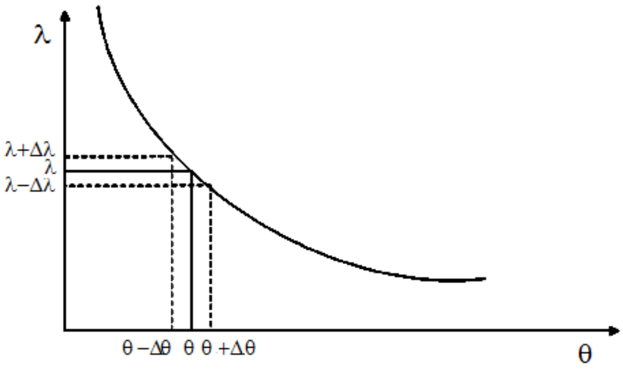
لون الخط وشدته							
طول الموجة $\lambda\ A^{\circ}$							
الزاوية $\theta(\lambda)$							

5. ارسم على ورقة مليمترية منحنياً بيانياً لتحولات λ بدلالة θ، سيكون هذا المنحني منحني معايرة المطياف، الشكل3.

ثانياً: إيجاد الأطوال الموجية لخطوط طيفية مجهولة من منحني معايرة المطياف

1. استبدل بالمصباح الزئبقي مصباحاً آخر. إذا كان الطَّيف خطِّياً فحدِّدْ مكان كل خط لوني. أما إذا كان الطيف متصلاً، فحدِّد على سلم الدرجات (أو المسطرة) الزاوية المقابلة لبداية مجال كل لون ونهايته.

2. حدِّد الطول الموجي المقابل لكل لون، وذلك برفع عمود من محور الزوايا من كل قيمة لـ θ بحيث يقطع الخط البياني، ثم أسقط عموداً من



الشكل9. طريقة الاستقراء البياني من منحني المعايرة لتقدير الطول الموجي λ والارتياب فيه $\Delta\lambda$.

الجدول2. طيف بخار الزئبق	
اللون	طول الموجة
أحمر	6908
أحمر برتقالي	6254
أصفر 1 ش	5790
أصفر 2 ش	5769
أخضر مصفر ش	5461
أزرق أخضر 1	4960
أزرق أخضر 2	4916
أزرق 1 م	4358
أزرق 2 م	4347
أزرق 3 م	4339
بنفسجي 1	4078
بنفسجي2	4047

نقطة تقاطع العمود السابق مع المنحني على محور الأطوال الموجية λ. يحدِّد موقع هذا العمود قيمة الطول الموجي λ الموافق للخط اللوني أو لبداية المجال اللوني، وتسمى هذه الطريقة الاستقراء، الشكل9.

3. قدر الارتياب $\Delta\theta$ في تحديد مكان الخط الطيفي، وهو نصف قيمة التقسيمة الصغيرة التي يمكن تمييزها، خذ إلى يمين إحدى القيم المقيسة θ وعلى يسارها انزياحاً $\Delta\theta$، فيتعين المجال $(\theta-\Delta\theta$، و $\theta+\Delta\theta)$ وأنشئ من حدي هذا المجال عمودين على محور الأطوال الموجية فتحصل على المجال $(\lambda-\Delta\lambda$ و $\lambda+\Delta\lambda)$، حدِّد قيمة $\Delta\lambda$ بأنها نصف المجال السابق.

4. نظِّم نتائجك كما في الجدول 2.

الجدول2. الأطوال الموجية الموافقة لمصباح بخار الزئبق		
لون المجال اللوني	زوايا المجال اللوني $\theta_1 \rightarrow \theta_2$	حدّا قيم الأطوال الموجية لكل لون $\lambda_1 \rightarrow \lambda_2$
أحمر		
برتقالي		
أصفر		
أصفر مخضر		
أخضر		
أزرق		
بنفسجي		

التجربة (12)

راسم الاهتزاز المهبطي

Cathode-Ray Oscilloscope (CRO)

1. الغاية من التجربة

(1) التعرّف على راسم الاهتزاز المهبطي وأجزائه واستخداماته.

(2) قياس كمون تيار متناوب وكمون تيار مستمر باستخدام راسم اهتزاز مهبطي

(3) قياس تواتر إشارة جيبية باستخدام راسم اهتزاز مهبطي

(4) قياس مقاومة مجهولة

2. تمهيد نظري

نظراً لسهولة استخدام راسم الاهتزاز المهبطي وتعدد خصائصه، أصبح أداة أساسية لعمليات المراقبة والتحليل والقياس المباشر وغير المباشر للمقادير الفيزيائية التي يمكن تحويلها وفق أنظمة كهربائية أو إلكترونية معينة إلى كمونات كهربائية (ملحوظة: عندما يكون الكمون متناوباً فيدعى توتر).

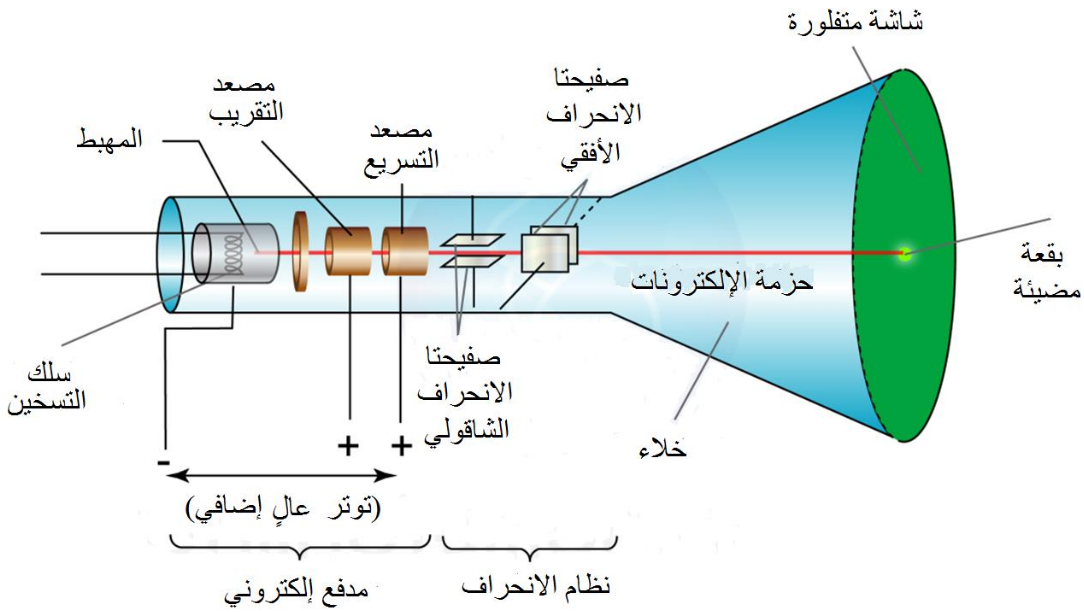
ويستعمل راسم الاهتزاز المهبطي أساساً في دراسة شكل ودور الإشارة الكهربائية ومن ثم معرفة التغيرات اللحظية للمقدار الفيزيائي. إذاً راسم الاهتزاز المهبطي هو جهاز إلكتروني يعطينا تغير التوتر الكهربائي خلال أزمنة قصيرة جداً تصل إلى رتبة المكروثانية. ويساعد على معاينة تغيرات هذه التوترات بدلالة الزمن ويحدِّد مميزاتها. كما يمكن معاينة بعض التغيرات بدلالة الزمن لمقادير فيزيائية دورية.

يرتكز مبدأ عمل راسم الاهتزاز المهبطي على انحراف حزمة إلكترونية بتأثير حقل كهربائي ساكن ويتكون أساساً من:

أولاً: أنبوب الأشعة المهبطية cathode ray tube (CRT) المكون من حجرة زجاجية مفرغة من الهواء جزئياً تحتوي على مدفع إلكتروني ومكثفات تتحكم بانحراف الحزمة الإلكترونية وتكون نهاية الأنبوب مطلية بمادة متألقة، تشكل الشاشة. و يوجد داخل الحجرة :

1. مهبط Cathode يسخن بفتيل سلك التسخين filament وظيفته إصدار الإلكترونات أو الأشعة المهبطية، بالمفعول الكهرحراري.

2. جملة مصاعد أسطوانية الشكل، وظيفتها تقريب الإلكترونات على هيئة حزمة دقيقة وتسريعها، كما يظهر في الشكل1. والجملة المؤلفة من المصعدين تكون مضبوطة ضبطاً محكماً، وتولد حقلاً كهربائياً ساكناً بحيث تتجمع الحزمة الإلكترونية الخارجة منهما على شكل حزمة ضيقة مسقطها على الشاشة بقعة ضوئية واضحة.



الشكل1. الأجزاء الرئيسية لأنبوب الأشعة المهبطية

4. صفيحتي الانحراف الشاقولي، وظيفتهما إزاحة الإلكترونات بالاتجاه الشاقولي للأعلى وللأسفل، إذ تنحرف حزمة الإلكترونات المتسارعة بين اللبوسين الأفقيين، نحو الأعلى بفعل الحقل الكهربائي الساكن الموجود بينهما، والناتج عن فرق الكمون المطبق عليهما.

5. صفيحتي الانحراف الأفقي، وظيفتهما إزاحة الإلكترونات بالاتجاه الأفقي إلى اليمين وإلى اليسار، بعد خروج الحزمة الإلكترونية من صفيحتي الانحراف الشاقولي تدخل بين صفيحتي الانحراف الأفقي الشاقوليتين لتنحرف أفقياً، بفعل الحقل الكهربائي الأفقي الناجم عن فرق الكمون المطبق بينهما.

6. شاشة مطلية بمادة متفسفرة تتألق بضوء ساطع عند اصطدام الإلكترونات بها.

ويحتوي الراسم بالإضافة إلى أنبوب الأشعة المهبطية على دارات رئيسة نذكر منها:

a) دارة قاعدة الزمن

وتشمل هزازة تتصل بصفيحتي الانحراف الأفقي، وتعطي اهتزازات على شكل أسنان المنشار، يؤدي تطبيق هذه الاهتزازات على صفيحتي الانحراف الأفقي إلى انحراف الإلكترونات من اليسار إلى اليمين ببطء والعودة بسرعة فائقة من اليمين إلى اليسار. تقوم دارات خاصة بإخفاء أثر حزمة الإلكترونات على الشاشة لدى عودتها.

ويتم عادة التحكم بتواتر اهتزاز قاعدة الزمن ليتلاءم مع تواتر الإشارة المدروسة حتى تظهر هذه الإشارات ثابتة على الشاشة. ونستطيع في معظم الرواسم حذف قاعدة الزمن وعندها يصبح الراسم مهيأ لتطبيق إشارة خارجية على صفيحتي الانحراف الأفقي.

تحتوي دارة قاعدة الزمن في الراسم على مفتاح متعدد الوضعيات: s/div أو ms/div أو $\mu s/div$، أي ثانية لكل تدريجة أو ميلي ثانية لكل تدريجة أو مكروثانية لكل تدريجة. وتمكننا قراءات هذا المفتاح من قياس دور إشارة متغيرة مطبقة على الراسم وبالتالي حساب تواترها.

b) مضخمات إلكترونية

1. مضخم الانحراف الأفقي

وبواسطته يمكن تضخيم الإشارات الضعيفة حتى تغطي عرض الشاشة، كما يمكن إضعاف وتوهين الإشارة القوية المطبقة عليه بفضل مجزئ كمون مركب ضمنه.

2. مضخم الانحراف الشاقولي

ووظيفته تضخيم الإشارات الضعيفة حتى تغطي ارتفاع الشاشة. ويتصل المضخم عادة بمفتاح متعدد الوضعيات مؤشر عليه بالـV/div يمكّننا من قياس عدد التدريجات التي تنزاحها حزمة الإلكترونات وبالتالي كمون أو سعة اهتزازتها الشاقولية. يسمى هذا المفتاح فيما يلي بمفتاح الحساسية الشاقولية.

تتصل كل من دارة قاعدة الزمن والمضخم الشاقولي بمفتاح انزياح أفقي $X\ shift$، ومفتاح انزياح شاقولي $Y\ shift$، يمكننا بواسطتهما ضبط موضع الرسم على الشاشة. فإذا حذفنا قاعدة الزمن تمكنا من ضبط موقع حزمة الإلكترونات في مركز الشاشة.

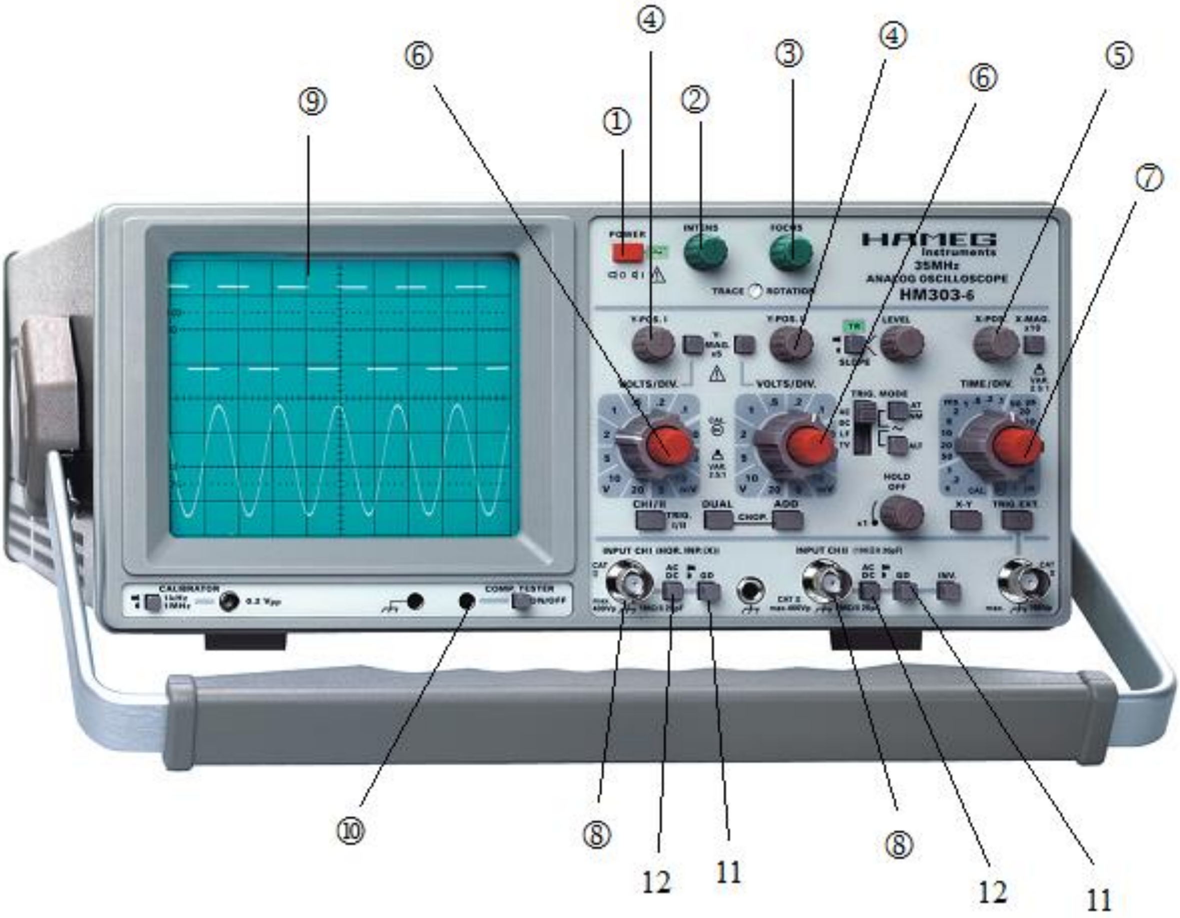
كما يمكننا ضبط شدة هذه البقعة بمفتاح الشدة intensity، وضبط تركيز الحزمة ومحرقتها بمفتاح التركيز أو التحكيم focus. وأخيراً فلا بد من وجود مفتاح التشغيل الرئيسON/OF.

إن الحزمة الإلكترونية الصادرة، وبالتالي البقعة على الشاشة، تنحرف أفقياً بمعدل ثابت بواسطة توتر متولد في دارة قاعدة الزمن، كما تنحرف شاقولياً بواسطة الإشارة الواردة. إن ممانعة الدخل التي يبديها الجهاز ثابتة بشكل مقبول وتساوي $1M\Omega$.

ملحوظة: ينحصر دور المفاتيح العديدة الموجودة على واجهات رواسم الاهتزاز في الوصول إلى المتطلبات التي ذكرت أعلاه. ويمكن تقسيم الحواكم إلى ثلاث مجموعات أساسية: مفتاح التحكم بتركيز الحزمة، ومفتاح الانحراف على المحورX، ومفتاح الانحراف على المحورY، ونظراً لوجود العديد من

الشركات الصانعة لرواسم الاهتزاز فإن لكل منها طريقتها الخاصة في ترتيب هذه المفاتيح، لكنه غالباً ما تستعمل الرموز نفسها.

على سبيل المثال، يظهر الشكل2 واجهة راسم اهتزاز تصنيع هاميغ HAMEG ويمكن التعرف على المفاتيح المختلفة وفقاً لوظائفها مع اختلاف بعض رموزها من شركة إلى أخرى:



الشكل2. راسم اهتزاز من تصنيع هاميغ **Oscilloscope HM303-6، حيث يقع مدخلا القناتين input cmI وinput cmII أسفل الشاشة**

① مفتاح لتشغيل الراسم وإيقافه

② مفتاح لزيادة شدة البقعة على الشاشة أو تخفيضها.

③ مفتاح لتبئير (أو تركيز) الحزمة يتحكم بعرض خط الشكل الظاهر على الشاشة أو البقعة.

④ مفتاح للانحراف الشاقولي في راسم بقناة واحدة أو مفتاحا انحراف شاقولي في راسم بقناتين للتحكم بموقع الشكل أو البقعة على المحور Y.

⑤ مفتاح للانحراف الأفقي يتحكم بموقع الشكل أو البقعة على المحورX، ومفتاحاً للتكبير الأفقي يقع في جواره مباشرة (5×).

⑥ مفتاح للتضخيم الشاقولي أو مفتاحانAmp/div (في حالة الراسم ذي القناتين) يحدد قيمة ضلع المربع على الشاشة، ويحوي نحو 12 خطوة.

⑦ مفتاح التحكم بقاعدة الزمن time/div، يحدِّد قيمة ضلع المربع على المحور الأفقي، ويقع في 18 خطوة مدرجة بالإضافة، إلى الوضع الموافقX.EXT الذي يحذف الزمن.

⑧ مقبس دخل من النوع BNC لتشغيل أو إدخال إشارة خارجية إلى المحور Y الشاقولي.

⑨ شاشة راسم الاهتزاز، وهي مقسمة إلى مربعات طول ضلع كل منها على الأغلب 1cm، يستعان بها لقياس الكمونات والتوترات، كما يستعان بها على المحور الأفقي لقياس الأزمنة وأدوار الإشارات

⑩ مدخل الفاحص الذي يتضمنه هذا الراسم تحديداً. يستخدم هذا الفاحص لفحص مختلف المكونات الإلكترونية.

أزرار ومداخل إضافية أخرى، منها أزرار قابلة للضغط لاختيار وضعيات مختلفة:

11. زرGD قابل للضغط يصل دارة الدخل إلى الأرض، يلغي الإشارة الموصولة بالمحورY. يستعمل لتوسيط البقعة.

12 في وضعه AC (الزر غير مضغوط) يمر الدخل Y عبر مكثف ربط، تكون الإشارة المدروسة تابعة للزمن أومتناوبة، وفي وضعه DC (الزر مضغوط) الدخل Y ربط مباشر. تكون الإشارة المدروسة غير تابعة للزمن أي مستمرة.

هذا ويتضمن راسم الاهتزاز أزراراً أخرى بإمكانك الاستفسار من أستاذك المشرف عن عملها في حال الضرورة.

طريقة تشغيل الراسم عموماً

1. ضع مفتاح التشغيل① على الوضعية ON، ولاحظ أن مصباح الإشارة يعطي ضوءاً أحمراً. انتظر بضع دقائق كي يستقر الجهاز حرارياً.

2. ضع مفتاح الشدة ② في منتصف مجاله، وكذلك مفتاح التحكيم ③

3. ضع مفتاح قاعدة الزمن⑦ على وضعه X.EXT .

4. ضع مفتاحي الانحراف الشاقولي ④ والانحراف الأفقي⑤ في منتصف مجال القياس لهما.

5. إذا لم تر البقعة على الشاشة عدّل مفتاحي الانحراف الشاقولي والأفقي لتجلب البقعة إلى مركز الشاشة.

6. عدّل زري شدة التألق والتحكيم (التركيز) لتحصل على بقعة محدَّدة المعالم وواضحة الرؤية في مركز الشاشة .

7. اختر منبع وطراز وميل الإشارة. إذا لم تختر زر الإشارة فإن الراسم يعمل في طراز آلي وداخلي.

8. صل أسلاك القياس بالمقبس ⑧.

9. اختر الآن الوضعية GD (الأرضي أو الصفر) من الزر 11 واضبط الانحراف الشاقولي بحيث تقع البقعة الضوئية عند مركز الشاشة، اضغط نفس الزر للعودة للإشارة المدخلة.

10. انتخب الوضعية DC بجعل الزر 12 في حالة راسم هاميغ (مضغوط) إذا كانت الإشارة المدروسة DC.

3. الأدوات والأجهزة

راسم اهتزاز مهبطي، مولِّد إشارات يعطي إشارات متعددة الأشكال: جيبيه، مثلثيه، مستطيلة، بسعات مختلفة وتوترات مختلفة، مقياس فولط أو مقياس متعددة الأغراض لقياس التوترات المستمرة والمتغيرة، بطارية جافة أو منبع تغذية يعطي كموناً مستمراً، محولة خافضة للتوتر تعطي توتراً يتراوح بين 6 و 12 فولط، مقابس وأسلاك توصيل.

4. مراحل العمل والخطوات التجريبية

أولاً: قياس الكمونات المستمرة DC باستخدام شاشة الراسم(الشكل3)، وليس الشكل الذي يظهر عليها.

1. صل مربطي البطارية إلى مربط الدخول الشاقولي لراسم الاهتزاز بالمأخذ⑧، بعد وضعه في حالة التشغيل مستعينا بمفتاح التشغيل①. احذف قاعدة الزمن (ضع الزر⑦ على الوضعية X.EXT أو X-Y حسب الراسم) واجعل موقع البقعة في مركز الشاشة. استخدم مفتاح التبئير(التركيز) لتوضيحها ومفتاح الشدة لضبط شدتها.

2. ضع مفتاح الحساسية الشاقولية على وضع مناسب $0.5mV/div$ مثلاً، أو اختر حساسية أخرى إذا اقتضى الأمر ذلك.

3. لاحظ جهة انحراف البقعة على الشاشة ومقدار هذا الانحراف. اعكس وصل البطارية أو المنبع إلى الراسم ولاحظ جهة ومقدار انحراف البقعة من جديد.

4. احسب وسطي الانحرافين ثم استنتج قيمة القوة المحركة للبطارية أو منبع التغذية الشاقولية التي اخترتها. ثم قدر الارتياب المرتكب.

5. استخدم مقياس فولط مستمر لقياس القوة المحركة للبطارية أو المنبع، وعين الارتياب المرتكب في هذا القياس.

6. أعد العمل من أجل بطارية أخرى أو منبع آخر، وسجل النتائج في جدول كالآتي وقارنها ببعضها.

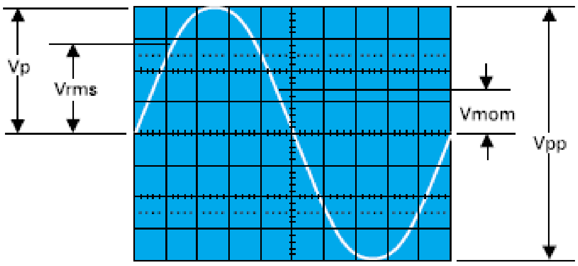
رقم البطارية	**s(V/div)**	$\lvert n_1 \rvert$	$\lvert n_2 \rvert$	$\bar{n}$	$E = \bar{n} \cdot s$	E'	$\Delta E = \lvert E' - E \rvert$

حيث $\lvert n_1 \rvert$ الانحراف للأعلى، $\lvert n_2 \rvert$ الانحراف للأسفل، $\bar{n}$ وسطي الانحرافين، s(v/div) مفتاح الحساسية، $E = \bar{n} \cdot s$ القوة المحركة، E' القيمة المقيسة للبطارية.

ثانياً : قياس التوترات المتناوبة (AC) بالراسم:

1. صل مولّد الإشارات الجيبية (المحولة) بمأخذ تيار المدينة وضعه في حالة التشغيل ثم انتظر قليلاً.

2. ضع مفتاح الحساسية الشاقولي على الوضع 2V/div مثلاً، أو أي وضع آخر يناسب القياس الذي تقوم به.



الشكل3. إشارة جيبية مع مميزاتها

3. صل مخرج مولِّد الإشارات (المحولة) بمدخل راسم الاهتزاز الشاقولي مستخدما مقابس خاصة لذلك. ستشاهد على الشاشة أثر الموجة الجيبية. احذف قاعدة الزمن على الراسم فيتحول الأثر إلى خط شاقولي.

4. قس طول الخط على الشاشة واحسب عدد الفولطات المقابلة. إن ما حصلت عليه يعطيك مطال التوتر الخارج من مولّد الإشارات من القمة إلى القمة V_{P-P}، أي $2V_{\max}$، حيث تمثل $V_{\max}$ مطال التوتر الجيبي الأعظمي المطبق، (الشكل3). الرمز V_{RMS} على الشكل يعني القيمة المنتجة و V_{MOM} يعني المركبة الثابتة في التيار المتناوب لدى تحليله.

5. احسب القيمة المنتجة للتوتر الجيبي المطبق من العلاقة:

$$V_{eff} = \frac{V_{\max}}{\sqrt{2}}$$

6. استخدم مقياس فولط متناوب وقس القيمة المنتجة V_{eff} للإشارة الجيبية السابقة. وقارن النتيجة بما حصلت عليه أعلاه. سجل نتائجك في جدول كالآتي:

حيث $s(V/div)$ قراءة مفتاح الحساسية، $y(div)$ طول الخط على الشاشة، $V_{P-P} = 2V_{\max}$ التوتر من القمة إلى القمة ويساوي ضعف السعة العظمى للتوتر، V_{eff} التوتر المنتج بالحساب، V'_{eff} التوتر المنتج بالقياس.

رقم التجربة	$s(V/div)$	$y(div)$	$V_{P-P}=y\times s=2V_{\max}$	V_{eff}	V'_{eff}
1					
2					
3					

ثالثاً: قياس دور وتواتر موجة جيبية

1. ضع مفتاح قاعدة الزمن في الراسم على الوضع 0.5ms/div ولاحظ ظهور خط أفقي على شاشة الراسم.
2. صل مربطي المحولة بمربط الانحراف الشاقولي لراسم الاهتزاز ولاحظ ظهور الموجة الجيبية على شاشة الراسم. قس عدد المربعات التي يغطيها دور كامل واستنتج قيمة التواتر بأخذ مقلوب هذا المقدار، قارن التواتر الذي قسته بهذه الطريقة مع التواتر المأخوذ من مولّد الإشارة.
3. غير قيمة تواتر مولِّد الإشارة. ثم أعد المراحل السابقة. يمكنك تغيير وضعية مفتاح قاعدة الزمن إذا لزم الأمر.
4. احسب وسطي التواتر لتيار المدينة، عند استعمال المحولة، واحسب الارتياب فيه واكتب التواتر كما يلي:

$$f=(\bar{f}\pm\Delta f)\,\text{Hz}$$

5. سجل نتائج القياس في جدول كالآتي:

رقم التجربة	n	$X(div)$	$t(ms/div)$	$T=\dfrac{X\cdot t}{1000\cdot n}$	$f=\dfrac{1}{T}\,\text{Hz}$
1					
2					
3					
					$\bar{f}=\quad\text{Hz}$

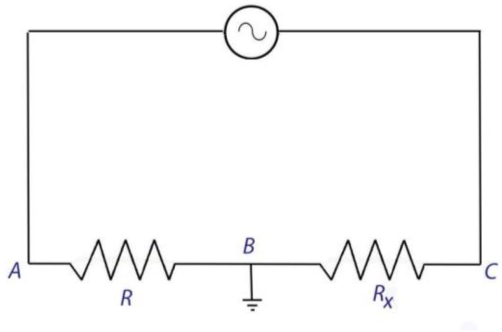
حيث X عدد المربعات التي يغطيها دور الاهتزاز...، n عدد الأدوار، $t(ms/div)$ قراءة مفتاح قاعدة الزمن، $T=\dfrac{X\cdot t}{1000\cdot n}$ قيمة الدور، $f=\dfrac{1}{T}\,\text{Hz}$ التواتر.

رابعاً: قياس مقاومة مجهولة

1. يمكن استخدام الراسم لقياس مقاومة مجهولة، ويتم القياس بالتيار المتناوب أو التيار المستمر.

2. اختر من المفتاح 12 وضعية التيار المناسبة.

3. صل دارة كما في الشكل4.



الشكل4. دارة قياس المقاومة المجهولة

4. صل النقطتين A و B إلى الراسم القناة الأولى⑧ فيظهر خط طوله L_1 عند وضعية مفتاح التضخيم ⑥ ولتكن S_1.

5. انقل فرع الكبل من A إلى C فيظهر خط طوله L_2 عند وضعية مفتاح التضخيم⑥ ولتكن S_2.

6. يتناسب فرق الكمون المطبق والذي يقيسه الراسم مع المقاومة إذا كانت الدارة موصولة على التسلسل لأن شدة التيار ثابتة، وتحسب المقاومة المجهولة من العلاقة:

$$R_X = R\frac{L_2 \cdot S_2}{L_1 \cdot S_1}$$

7. رتّب نتائجك في جدول كالآتي

رقم التجربة	R	$L_1(div)$	$S_1(V/div)$	$L_2(div)$	$S_2(V/div)$	$R_X\,(\Omega)$
1						
2						
3						
						$\bar{R}_X =$

8. احسب ΔR واكتب الناتج بالشكل: $R_X = (\bar{R}_X \pm \Delta R)\,\Omega$

التجربة (13)

التيار المتناوب

Alternating Current

1. الغاية من التجربة

(1) التعرّف على أنواع التيارات الكهربائية وتابعياتها المختلفة للزمن.

(2) إيضاح مفهوم الممانعة، والتحقق من علاقتها بشدة التيار والتوتر من خلال دراسة دارة تيار متناوب تحوي مقاومة، وملف (وشيعة).

(3) التحقق من قانون الجمع الشعاعي للتوترات بإنشاء فرينل.

(4) التحقق من علاقة الممانعة بالتيار والتوتر وقياس عامل التحريض الذاتي لملف.

2. تمهيد نظري

تختلف القيم الكهربائية كالقوة المحركة والتوتر والتيار من حيث تابعيتها للزمن، فالتيار الكهربائي الدوري هو التيار المتغير الذي تكون شدته تابعاً دورياً للزمن، أي تعود شدته لنفس القيمة بنفس الإشارة والاتجاه بعد فاصل زمني يسمى الدور، ويعرف دوره بأنه أصغر فاصل زمني تعود معه الشدة إلى قيمتها السابقة.

$$I = f(t+nT)$$

حيث n عدد صحيح و T الدور ويقاس بالثانية s، ويسمى عدد الأدوار في الثانية التواتر f ووحدته الهرتز $Hz(Hertz)$. ويعرف الهرتز بأنه تواتر مقدار مهتز يؤدي نوسة كاملة خلال ثانية واحدة. وتواتر تيار المدينة في أغلب بلدان العالم يساوي $f = 50Hz$ ، ويعطى بالعلاقة:

$$f = 1/T$$

التيار المتناوب هو التيار الدوري الذي تأخذ شدته مثل قيمتها بالإشارة المعاكسة بعد نصف الدور، ويسمى نصف الدور بالنوبة:

$$I = f\left(t + \frac{T}{2}\right)$$

أما التيار الدوري الذي تكون شدته تابعاً جيبياً للزمن فيسمى التيار الجيبي ويعرف وفق العلاقة:

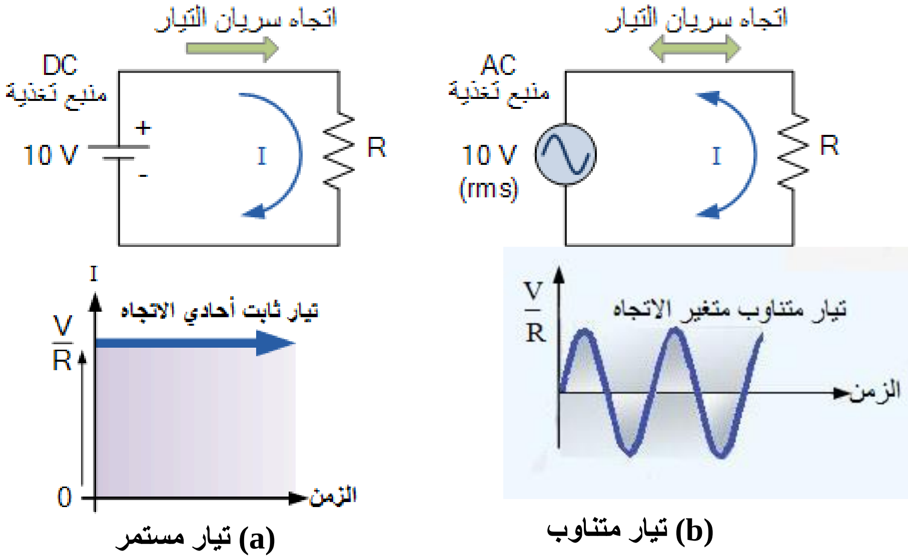
$$I = I_0 \sin(\omega t + \varphi)$$

حيث I الشدة الآنية في اللحظة t، و I_0 الشدة العظمى، و φ الطور (راديان)، و ω النبض، أو السرعة الزاوية (راديان/ ثانية) ويعطى بالعلاقة: $\omega = 2\pi f = 2\pi / T$.

ويساوي النبض في حالة تيار المدينة $\omega = 2(3.14)(50) = 314 rad/s$.

وقد جرت العادة أن يقال للتيار "متناوب" فقط، عندما يكون المقصود هو التيار الجيبي. وهو أهم حالة مفيدة عملياً من التيار المتناوب.

يمتاز التيار المستمر DC والتيار المتناوب AC بأن الأول ثابت الشدة (الشكل1a)، في حين أن شدة الثاني تابعة للزمن $I = f(t)$ (الشكل1b). وقد يقصد أحياناً بالتيار المستمر التيار الذي يسري في جهة واحدة في الدارة الكهربائية، خلافاً لما يسري التيار الجيبي الذي يغير اتجاهه كل نصف دور.



الشكل1. دارتا التيار المستمر والمتناوب وشكلا التيار المستمر والمتناوب، يدل الرمز rms عند منبع دارة التيار المتناوب على القيمة المنتجة للكمون المتناوب الذي يغذي الدارة أي جذر متوسط مربعات الكمون خلال دور كامل

فرق الطور

في جزء من دارة لا يحوي إلّا مقاومة صرفة، يكون التوتر والتيار متفقين في الطور دوماً. وإذا مثلت شدة التيار I بمتجهة، ومثل التوتر V_R بمتجهة، ينطبق منحى التوتر على التيار في كل لحظة وتكون زاوية الطور بينهما معدومة، وتصح العلاقة الأومية الآتية (الأشكال2a-f)،

$$I = \frac{V}{R}$$

على أن تؤخذ فيها القيمة المنتجة لكل من التيار I_{eff} والتوتر V_{eff}، وهي القيم التي تعطيها المقاييس المعدة لقياس التيار المتناوب وتعطى على النحو: $I_{eff} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$ ، و $V_{eff} = \frac{V_0}{\sqrt{2}}$.

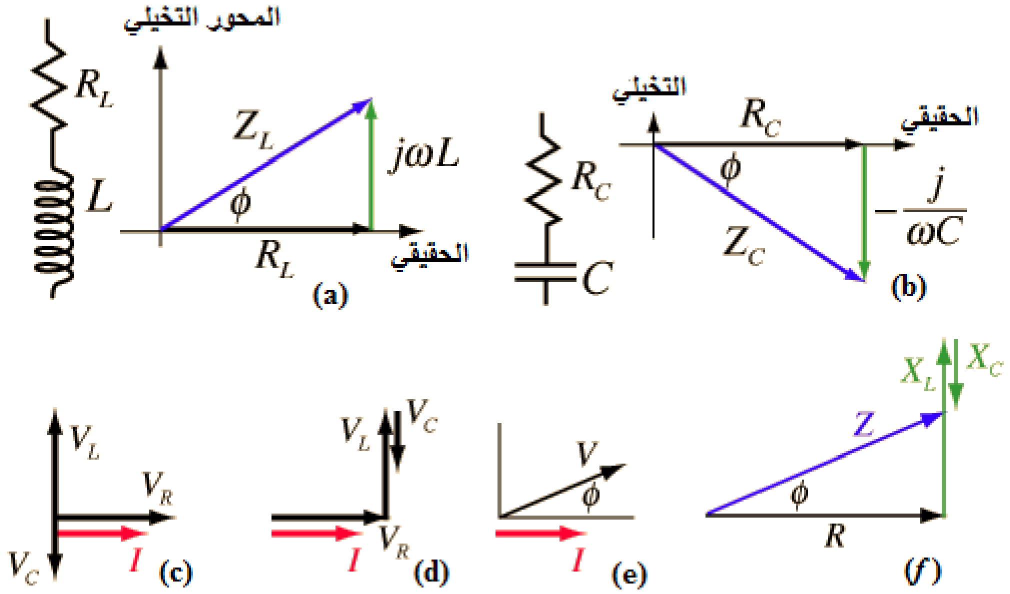
أما في دارة ذات تحريضية صرفة؛ أي ليست فيها مقاومة أومية، فتتقدم متجهة التوتر V_L عن متجهة التيار I بالزاوية 90°.

$$I = I_0 \sin(\omega t - \pi / 2)$$

وعندما تنضم مقاومة أومية إلى التحريضية فيمكن تمثيلها بالشكل2a.

وفي دارة تحوي مكثفة تتأخر متجهة الكمون V_C عن متجهة التيار بالطور 90°. وعندما تنضم للمكثفة مقاومة أومية فيمكن تمثيلها بالشكل 2b.

أما في الحالة العامة وفي حالة الدارة التي تحوي مقاومة أومية وتحريضية ومكثفة، فيمكن تمثيلها بأحد الشكلين2c أو 2d (حيث يدل السهم الصاعد على متجهة توتر التحريضية V_L والسهم النازل على توتر المكثفة V_C). أما الشكل 2e فيدل على زاوية تقدم طور محصلة التوتر أو تأخرها بالنسبة للتيار.



الشكل2. فرق الطور بين التوتر والتيار

الردية والممانعة

حيثما توجد تحريضية تتحرض قوة محركة مع تغير االتيار، وتسمى نسبة التوتر V_L (اللازم للإبقاء على التيار I في التحريضية) إلى التيار بالردية التحريضية X_L (وحدتها الأوم).

$$X_L = \frac{V_L}{I}$$

ويعبر عن الردية التحريضية بدلالة عامل التحريض الذاتي للوشيعة L، الذي يقاس بالهنري H(Henry)، ونبض التيار بالعلاقة:

$$X_L = \omega L = 2\pi Lf$$

وقد سميت بالردّية لأن الطاقة المختزنة في الوشيعة تسترد كاملة إذا كانت الوشيعة مثالية (مقاومتها الأومية قابلة للإهمال) خلافاً للمقاومة الأومية التي تتبدد الطاقة فيها على شكل طاقة حرارية.

وفي حالة المكثفة يمكن التعبير عن الردية بالشكل:

$$X_C = \frac{V_C}{I}$$

ويمكن التعبير عن ردية المكثفة على النحو $X_C = 1/\omega C = 1/2\pi f C$ وتقاس بالأوم. ويسمى أثر المقاومة الأومية والردية التحريضية والردية السعوية معاً في الدارة بالممانعة Z (وتقاس بالأوم). وتكون الممانعة هي نسبة التوتر المنتج إلى شدة التيار المنتجة:

$$Z = \frac{V_{eff}}{I_{eff}} \quad (1)$$

يمكن تمثيل ممانعة دارة تتضمن مقاومة أومية وتحريضية ومكثفة بالشكل2f.

وفي الحالة التي لا تتضمن الدارة إلّا مقاومة أومية وتحريضية (الشكل2a) تحسب قيمة الممانعة حسب فيثاغورث وهي تساوي:

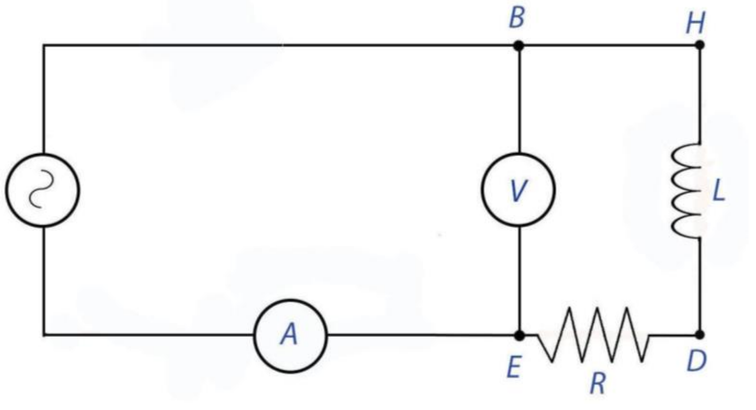
$$Z = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2} \quad (2)$$

تطبق العلاقة1 في حالة القيم المنتجة للتيار والتوتر التي تعطيها أجهزة القياس. ويمكن التحقق تجريبياً من صحتها بإثبات أن العلاقة بين $\frac{1}{Z}$ و I_{eff} هي خطية:

$$I_{eff} = V_{eff}\frac{1}{Z} \quad (3)$$

التحقق من العلاقات السابقة في دارة التيار المتناوب التي تحوي مقاومة صرفة وتحريضية

يغذي المنبع المتناوب (محولة خافضة للتوتر) الدارة المدروسة التي تضم على التسلسل: المقاومة الأومية الصرفة R، والتحريضية L ومقياس الأمبير A، كما تضم مقياس الفولط V على التفرع بين طرفي L و R. فائدة المحولة هي خفض توتر تيار المدينة إلى بضعة فولطات.



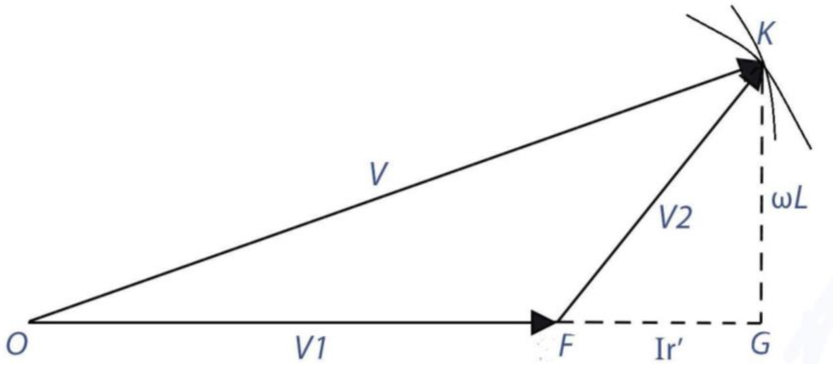
الشكل3. دارة تيار متناوب تحوي مقاومة صرفة R وتحريضية L، V مقياس الفولط، A مقياس الأمبير.

نفترض في دراستنا أن R مقاومة أومية صرفة لا أثر تحريضي لها، مقدارها r. ووشيعة (تحريضية) لها مقاومة أومية داخلية مقدارها r'. فيكون مجموع المقاومات الأومية بين النقطتين B وE هو: $R = r + r'$. فإذا مر التيار في هذه الدارة، وقيست التوترات بمقياس الفولط الخاص بالتيار المتناوب:

- بين نقطتي E وD نسميه V_1 وهو فرق الكمون بين طرفي المقاومة الأومية الصرفة r.

- بين نقطتي H و D ونسميه V_2 بين طرفي التحريضية L
- بين نقطتيB و E ونسميه V بين طرفي المقاومة R والتحريضية L

لوجدنا أن العلاقة المعروفة في التيار المستمر من جمع فروق الكمون لمختلف أجزاء الدارة جمعاً جبرياً ليست محققة. فنجمع التوترات التي وجدناها وفق ما يسمى إنشاء فرينل (الشكل4).



الشكل4: إنشاء فرينل لجمع متجهات التوترات في حالة مقاومة وتحريضية

يؤخذ مقياس لتمثيل متجهات التوتر، مثلاً 1cm لكل $1V$. ينشأ OF ممثلاً المتجهة V_1 العائدة للمقاومة الصرفة r، ثم تنشأ قوس دائرية من النقطة F نصف قطرها V_2، وقوس دائرة من نقطة O نصف قطرها V، فتتقاطعان في النقطة K، مسقطها النقطة G على OF. نستنتج من هذا الإنشاء طول الضلع KG التي تمثل الهبوط التحريضي، و $IX_L = I\omega L$ ومن معرفتنا بكلٍ من ω و I نحسب عامل التحريض الذاتي L للوشيعة. كما نستنتج الطول FG الذي يمثل الهبوط الأومي الناشئ عن المقاومة الداخلية r' للوشيعة L ويساوي Ir'، ومن معرفتنا I نحسب r'.

3. الأدوات والأجهزة

محولة ذات بضعة مآخذ، وشائع متعددة عوامل تحريضها الذاتي ومقاوماتها الأومية معلومة ومسجلة عليها، وشيعة عامل تحريضها الذاتي مجهول، مقاومة أومية صرفة ثابتة قيمتها $r = 16\Omega$ مثلاً، مقياس أمبير متناوب متعدد المجالات يقيس حتى $1A$، مقياس فولط متعدد المجالات متناوب يقيس حتى $10V$، وشيعة مع نواة حديدية على شكل حرف U، ولها حافظة وأسلاك توصيل.

4. مراحل العمل والخطوات التجريبية

أولاً: إنشاء مثلث فرينل للدارة

1. صل الدارة المبيّنة في الشكل3، مستخدماً مجال القياس$1A$ في مقياس الأمبير، وجاعلاً مؤشر المحولة المتغير على الصفر. والقاطعة مفتوحة.

2. صل المحوّلة المتغيرة بمأخذ تيار المدينة، ثم أغلق القاطعة. حرّك مفتاح المحولة حتى يشير مقياس الفولط الموصول بين طرفي الوشيعة والمقاومة إلى القيمة $7V$، مع الانتباه ألّا يتجاوز مؤشر مقياس الأمبير حدود سلم القياس.

3. قس بمقياس الفولط السابق التوتر بين طرفي المقاومة وحدها، وليكن V_1، ثم قس التوتر بين طرفي الوشيعة وحدها، وليكن V_2. قس شدة التيار المارة في الدارة I_{eff}.

4. أنشئ مثلث فرينل كما في الشكل4، وذلك بالطريقة الآتية:
ارسم خطاً أفقياً بطول V_1 مبدؤه النقطة O، ثم استخدم الفرجار لرسم قوس دائرة مركزها O ونصف قطرها V، ثم ارسم من نهاية المتجهة V_1 (النقطة F) قوس دائرة نصف قطرها V_2. وبفرض K نقطة تقاطع الدائرتين، صل K على ممدد OF.

5. يمثل الطول FG الجداء Ir' نحسب r' المقاومة الداخلية للتحريضية اعتماداً على قيمة I المقيسة سابقاً. قارن هذه القيمة بما هو مسجل على الوشيعة. علل الاختلاف إن وجد بعد حساب الارتيابات.

6. احسب عامل التحريض الذاتي للوشيعة L من طول الضلع KG الذي يمثل الجداء $IX_L = I\omega L$، ومن معرفتنا بكلٍ من $\omega = 314\,rad/s$ و I نحسب عامل التحريضي الذاتي L للوشيعة، قارن قيمة L التي حسبتها بالقيمة المسجلة على الوشيعة ذاتها. علِّل الاختلاف إن وجد بعد حساب الارتيابات.

7. احسب ممانعة الدارة Z في هذه الحالة، وذلك من النسبة V_{eff} / I_{eff}. قارن نتيجتك بما تحصل عليه من العلاقة:

$$Z = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}$$

حيث $R = r + r'(\Omega)$ مجموع المقاومتين الأوميتين.

ثانياً: دراسة العلاقة بين $I_{eff}(A)$ و $\frac{1}{Z}$

8. صل الدارة السابقة المبينة في الشكل3 باستخدام وشيعة تحريضيتها $9\,\mathrm{mH}$ ومقاومتها الأومية $r = 16\,\Omega$. سجّل شدة التيار التي يشير إليها مقياس الأمبير عندما يكون مقياس الفولط على $V_{eff} = 7V$، ثم افصل التيار عن الدارة.

9. أعد التجربة مستخدماً وشائع أخرى على التسلسل بغية زيادة L، مع الإبقاء على r ثابتة وعلى التوتر المنتج ثابتاً على قيمته السابقة $V_{eff} = 7V$. وفي كل مرة اقرأ شدة التيار الناتجة. يستحسن أن تعاد التجربة من أجل ما لا يقل عن ست قيم لعامل التحريض الذاتي L. سجّل نتائجك في جدول كالآتي:

$\omega = 314\, rad/s$			$r = 16\Omega$		$V_{eff} = 7V$	
$L(H)$	$r'(\Omega)$	$R = r + r'(\Omega)$	$I_{eff}(A)$	$\omega L(\Omega)$	$Z = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}$	$1/Z$
9×10^{-3}						
11×10^{-3}						
13×10^{-3}						
18×10^{-3}						
20×10^{-3}						
22×10^{-3}						

1. ارسم الخط البياني لتغيرات شدة التيار $I_{eff}(A)$ بدلالة $\frac{1}{Z}$. احسب ميل المستقيم الناتج، ماذا يمثل.

2. خذ الوشيعة ذات عامل التحريض الذاتي المجهول L_1، وقم بوصلها في الدارة عوضاً عن الوشيعة (أو سلسلة الوشائع) المعلومة، وهي في الشروط السابقة ذاتها. اقرأ شدة التيار $I_{eff}(A)$. هل يمكنك حساب $\frac{1}{Z}$ لهذه الوشيعة بالاستقراء من الخط البياني؟ استنتج قيمة L_1 لهذه الوشيعة من قيمة ممانعتها.

3. ضع النواة الحديدية داخل الوشيعة السابقة فتجد أن شدة التيار الموافقة لـ $V_{eff} = 7V$ تصبح صغيرة. علل ذلك. استخدم مجالاً مناسباً من مقياس أمبير لقياس شدة التيار. احسب عامل التحريض الذاتي لهذه الوشيعة مع نواتها، بالاستقراء من المنحني البياني.

4. أغلق النواة الحديدية بالحافظة، تجد أن التيار يتضاءل كثيراً. علّل ذلك. قس شدة التيار في هذه الحالة باستخدام المجال المناسب من مقياس الأمبير ثم استنتج عامل التحريض الذاتي للوشيعة مع النواة والحافظة.

5. احسب الارتياب المطلق، والنسبي في عامل التحريض الذاتي L_1 للوشيعة، وذلك باتباع طريقة التفاضل اللغارتمي. افترض لهذه الغاية أن $\Delta\omega$ مهمل. استنتج $\Delta\left(\frac{1}{Z}\right)$ بيانياً، ثم استنتج ΔZ حسابياً.

التجربة (14)

قياس المقاومات الكهربائية
(جسر وطسطن)

Wheatstone Bridge

1. الغاية من التجربة

(1) قياس المقاومات المجهولة باستخدام جسر وطسطن.

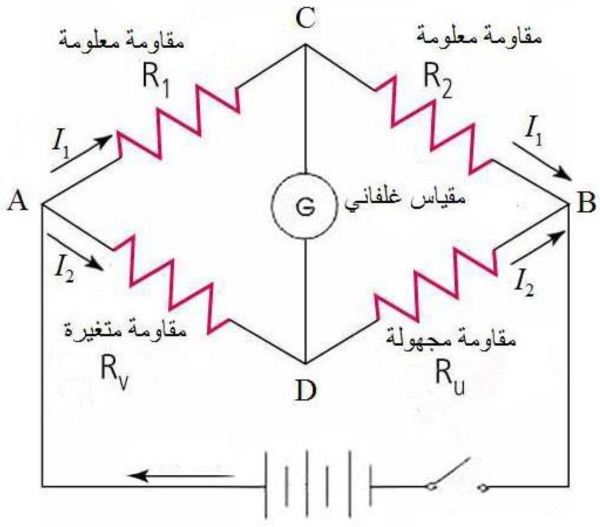
(2) التحقق من قانوني جمع المقاومات على التسلسل وعلى التفرع.

(3) التعرف على طرائق الترميز العالمية اللونية لقيم المقاومات المستخدمة في الدارات الإلكترونية.

2. تمهيد نظري

يتألف جسر وطسطن من شبكة كهربائية تحتوي على أربع مقاومات، ثلاث منها معلومة R_1 و R_2 و R_v (حيث R_v متغيرة)، أما الرابعة فهي المقاومة المجهولة ولتكن R_u التي نرغب في قياسها.

ويبين الشكل1 الدارة النظرية لجسر وطسطن.



الشكل1. الدارة النظرية لجسر وطسطن.

تضبط قيم المقاومات المعلومة في هذه الدارة حتى يصبح التيار في مقياس غلفاني G معدوماً. يقال عندها بأن الجسر متوازن. وعند ذلك تكون النقطتان C و D في كمون واحد فيكون:

$$V_{CB} = V_{DB} \quad \text{وكذلك} \quad V_{AC} = V_{AD}$$

وإذا عبرنا عن هاتين المساواتين وفق قانون أوم، وفي حال انعدام التيار في المقياس الغلفاني، كان لدينا:

$$I_1R_2 = I_2R_u \quad \text{و} \quad I_1R_1 = I_2R_V$$

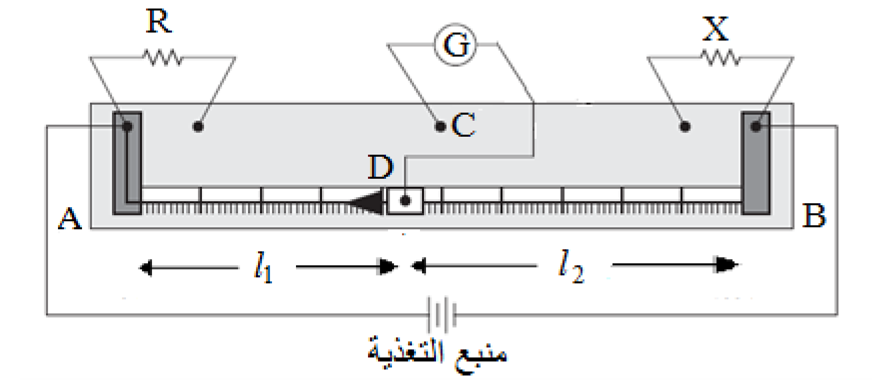
فإذا قسمنا المعادلة الثانية على الأولى وجدنا:

$$\frac{R_2}{R_1}=\frac{R_u}{R_v}$$

$$R_u = R_v \frac{R_2}{R_1} \tag{1}$$

وغالباً ما يستعاض عن المقاومتين R_1 و R_2 الموجودتين في الفرع ADB من الجسر بسلك من المنغانين، وهي خليطة مقاومتها النوعية كبيرة (الشكل2). وتصبح عندها النسبة $\frac{R_2}{R_1}$ مساوية نسبة الطولين $\frac{DB}{AD}$، لأن نسبة مقاومتي سلكين متجانسين في المادة والمقطع تساوي نسبة طوليهما، كما أثبت في تجربة قانون أوم الثاني لدى التحقق من العلاقة $R=\rho\frac{L}{S}$.

ويجعل في الفرع ACB فجوتان إحداهما معدة لربط المقاومة المعلومة $R_v = R$ والأخرى معدة لربط المقاومة المجهولة $R_u = X$.



الشكل2. الدارة العملية لجسر وطسطن.

ونستخدم عادة علبة مقاومات عيارية مكان R_v ونرمز لقيمة المقاومة المستخدمة منها بـ R، وتوضع المقاومة المجهولة مكان R_u ونرمز لها فيما يلي بـ X.

يربط مقياس غلفاني بين الفرعين ACB و ADB، بحيث يشكل جسراً بين النقطتين C و D، حيث C نقطة متغيرة على طول السلك تنتقل بتحريك المنزلقة، و D نقطة ثابتة تقع بين المقاومتين المعلومة والمجهولة.

وإذا رمزنا للطول AC بـ l_1 (وهو من جهة المقاومة المعلومة) وللطول CB بـ l_2 (وهو من جهة المقاومة المجهولة)، يصبح شرط توازن الجسر:

$$X = R\frac{l_2}{l_1} \tag{2}$$

فإذا كان الطول الكلي للسلك كان $l_1 = l - l_2$.

تعيين وضعية التوازن المثالية:

تتصف الوضعية المثلى في هذه الحالة بإمكان قياس المقاومة المجهولة بأصغر ارتياب، فبمفاضلة العلاقة (2) تفاضلاً لغارتمياً مع إهمال الارتياب في R لصغر ارتيابها كونها مقاومة عيارية نجد:

$$X = R\frac{l_2}{1.00 - l_2}$$

$$\frac{dX}{X} = \frac{dl_2}{l_2} + \frac{dl_2}{1.00 - l_2} - \frac{d(1.00)}{1.00 - l_2}$$

يمكن إهمال الحد الأخير لأن ضبط طول السلك الكلي ($m\,l$) هو من إتقان صنع الجسر ويفترض أن الارتياب فيه صغير. فيكون:

$$\frac{dX}{X} = dl_2\left(\frac{1}{l_2} + \frac{1}{1.00 - l_2}\right) \tag{3}$$

$$dX = dl_2 X\,\frac{1.00}{l_2(1.00 - l_2)}$$

يظهر في الطرف الأيمن كسر يتألف مخرجه من جداء مقدارين مجموعهما ثابت. وبما أن العددين اللذين مجموعهما ثابت يكون جداؤهما أعظمياً عندما يتساويان، فإن الكسر السابق يتخذ قيمته الصغرى عندما يكون مخرجه أعظمياً، أي عندما $l_2 = (1.00 - l_2)$ أي $l_2 = 0.50m$. لذا يكون الارتياب المئوي في R أصغرياً عندما يتحقق التوازن قرب منتصف الجسر.

يستفاد مما سبق أن وضعية التوازن المثلى تكون في جوار منتصف السلك، وهذا ما سنحققه لدى تنفيذ التجربة.

التخلص من المقاومات الدخيلة

إن التأمل في الشكل1 يشير إلى أن مقاومة كل فرع من الفروع الأربعة تشمل المقاومة المربوطة ومعها كل المقاومات الدخيلة الأخرى، مثل مقاومات نقاط التماس ومقاومات أسلاك الوصل. وبقدر ما تكون هذه المقاومات الدخيلة صغيرة بالمقارنة مع المقاومة المقيسة تكون العلاقة 2 صالحة للتطبيق عملياً، والارتياب فيها مقبولاً.

يصنع السلك AB متجانساً في المادة والمقطع ويلحم من طرفيه. بيد أن هذا التجانس قد لا يتحقق تماماً من الوجهة العملية، كما أن نقطتي الالتحام تُدخلان مقاومتين لا يمكن جعلهما متكافئتين تماماً. تؤدي كل هذه العوامل إلى بعض الخطأ في ناتج القياس ويمكن التخلص منه كما يلي:

لدى تحقيق توازن الجسر بمقاومة معلومة R مثلاً، والمنزلقة في جوار منتصف السلك تكون قيمة الطولين $m\,l_1$ و $m\,l_2$.

تستبدل المقاومتان السابقتان المعلومة والمجهولة إحداهما بالأخرى في الفجوتين، ويبحث عن التوازن الجديد للجسر، فيتحقق من أجل الطولين ml_1' و ml_2'. يلاحظ أن الفرق بين الطولين l_1 و l_1' يكون ضئيلاً، ومثله الفرق بين l_2 و l_2' فتؤخذ القيمتان الوسطيتان:

$$\overline{l_2} = \frac{l_2 + l_2'}{2} \quad و \quad \overline{l_1} = \frac{l_1 + l_1'}{2}$$

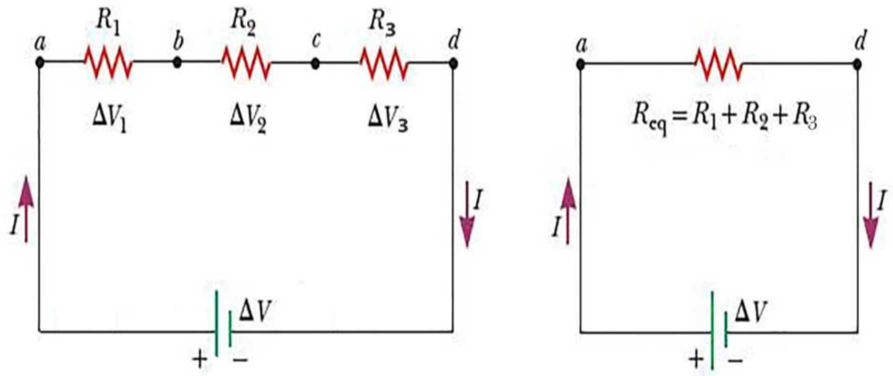
وتحسب X عندها من العلاقة 2:

$$X = R\frac{\overline{l_2}}{\overline{l_1}}$$

جمع المقاومات على التسلسل

إذا كانت لدينا *ثلاث* مقاومات مربوطة على التسلسل (الشكل3 يقابل $n=3$)، فإن المقاومة المكافئة لها R_{eq} تساوي مجموعها وهذا ما يسمى بقانون جمع المقاومات على التسلسل، ويكتب:

$$X = X_1 + X_2 + ... + X_n = \sum_{i=1}^{n} X_i \tag{4}$$



الشكل3. وصل المقاومات على التسلسل.

وللتحقق من صحة هذا القانون تجريبياً. نقيس كل مقاومة على حدة، ثم نقيسها مربوطة على التسلسل وكأنها مقاومة واحدة، ونعوض القيم العددية التي وجدناها في طرفي العلاقة السابقة ونتأكد من المساواة التقريبية بين الطرفين ، بعد أخذ ارتيابات القياسات في الحسبان.

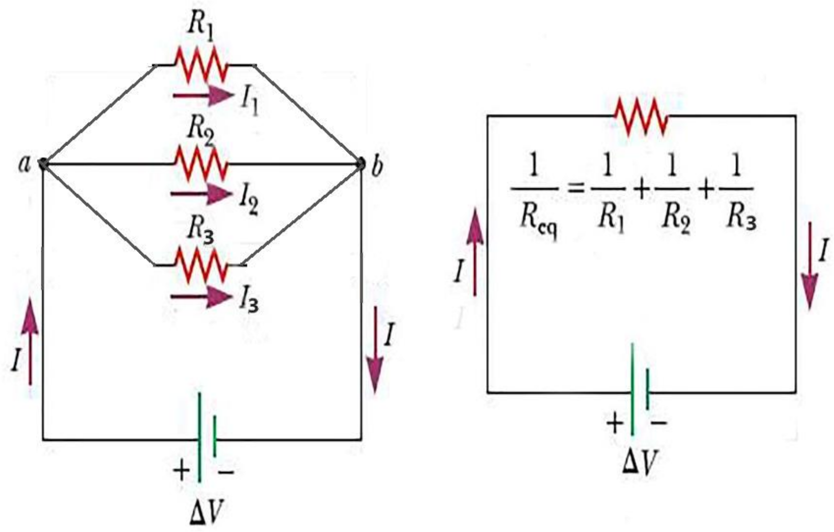
جمع المقاومات على التفرع

إذا كانت لدينا n مقاومة مربوطة على التفرع (الشكل4 يقابل $n=3$) فإن المقاومة المكافئة لها X تعطى بالعلاقة:

$$\frac{1}{X} = \frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2} + ... + \frac{1}{X_n} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{X_i} \tag{5}$$

وهذا ما يسمى بقانون جمع المقاومات على التفرع.

ونلاحظ في هذا النوع من الوصل بأن التيار الأصلي I يتوزع عند النقطة a إلى n تياراً فرعياً يمر كل منها في إحدى المقاومات ثم تعود التيارات الفرعية فتجتمع في النقطة b ، مشكلة التيار الأصلي I ثانية.



الشكل4. وصل المقاومات على التفرع.

وهذا ما يخالف الوصل على التسلسل حيث يمر التيار الأصلي هو ذاته في جميع المقاومات.

وللتحقق تجريبياً من صحة قانون جمع المقاومات على التفرع نقيس كل مقاومة على حدة، ثم نربط هذه المقاومات على التفرع في الفجوة المعدة للمقاومة المجهولة، فتكون المقاومة المكافئة للتفرع X هي بمثابة المقاومة المجهولة في الجسر ونحصل على قيمتها تجريبياً.

نعوض من ثم بالقيم العددية التي وجدناها في طرفي العلاقة السابقة ونتأكد من المساواة التقريبية بين طرفيها، ضمن حدود الارتيابات.

3. الأدوات والأجهزة

جسر وطسطن، منبع للتيار (مدخرة مثلاً)، ومقياس غلفاني صفري، علبة مقاومات عيارية، مقاومتان مجهولتان، قاطعة، وأسلاك توصيل، مجموعة من المقاومات المستخدمة في الدارات الإلكترونية.

4. مراحل العمل والخطوات التجريبية

أولاً: قياس مقاومة مجهولة

1. صل الدارة المبينة في الشكل2 مستخدماً المقاومة المجهولة مكان X، والمقاومة العيارية مكان R.

2. سنبحث عن وضعية اتزان الجسر المثلى. وهي عندما تكون وضعية التوازن أقرب ما تكون من منتصف السلك. ولتحقيق ذلك نبحث عن التوازن التقريبي أولاً، ثم عن التوازن الدقيق. وتجدر الإشارة إلى أن المقياس الغلفاني المستخدم حساس جداً، وسريع العطب، فللمحافظة عليه يجب أن لا يصل مؤشره إلى آخر المجال.

ويتحقق ذلك بأن يكون الضغط على المنزلقة لفترات قصيرة جداً، ولهذا الأمر فائدة أخرى هي عدم تسخين سلك الجسر، حتى لا تتغير مقاومته.

التوازن التقريبي

اجعل المنزلقة عند منتصف الجسر، واختر من علبة المقاومات مقاومة ما R.

أغلق القاطعة واضغط على المنزلقة وراقب انحراف مؤشر مقياس غلفاني. غيّر هذه المقاومة R حتى تحصل على أقل انحراف ممكن. فتكون قيمة المقاومة المعلومة مساوية تقريباً للمقاومة المجهولة. وهذا ما يسمى بالتوازن التقريبي.

التوازن الدقيق

حافظ على قيمة R السابقة. حرك المنزلقة رويداً رويداً إلى الجهة المناسبة حتى ينعدم مرور التيار في الغلفاني، ويتحقق من ذلك بضغط المنزلقة ثم تركها فلا يتحرك المؤشر عن الصفر. فنحصل على وضعية التوازن الدقيق المثلى التي تقع في جوار منتصف السلك. اقرأ الطول l_1 (من جهة المقاومة المعلومة) واستنتج l_2 وسجلهما في الجدول الآتي:

رقم التجربة	R	l_1	l'_1	$\bar{l}_1$	l_2	l'_2	$\bar{l}_2$	$X = R\dfrac{\bar{l}_2}{\bar{l}_1}$
1								
2								
القيمة الوسطية للمقاومة المجهولة:								

قبل الانتقال إلى الخطوة التالية، قدر الارتياب في الجملة التجريبية Δl.

3. بادل المقاومتين المعلومة والمجهولة إحداهما بالأخرى وأوجد وضعية التوازن الجديدة التي يتعين بها الطولان l'_1 (من جهة المقاومة المجهولة) و l'_2. لاحظ أن l_1 و l'_1 متقاربان في القيمة، وكذلك l_2 و l'_2.

احسب $\bar{l}_1 = \dfrac{l_1 + l'_1}{2}$ و $\bar{l}_2 = \dfrac{l_2 + l'_2}{2}$.

ثم احسب X وسجل هذه النتائج في مواضعها في السطر الأول من الجدول.

4. إذا كان لديك متسع من الوقت، أعد المرحلتين 2 و3 للمقاومة المجهولة ذاتها X متخذاً مقاومة معلومة R' تزيد أو تنقص عن R بمقدار أوم واحد مثلاً. وسجل نتائج هذا القياس الجديد في السطر الثاني من الجدول.

لاحظ أن قيمة X يجب أن تكون متقاربة في القياسين وإذا حصل ذلك فاحسب متوسطهما.

5. قس المقاومة الثانية المعطاة لك، بالطريقة المشروحة سابقاً، وسجل نتائج القياس في جدول مماثل.

6. بعدها تتدرب على معرفة قيمة المقاومات من رموزها اللونية كما هو موضح في الملحق، عين قيمة كل من المقاومتين المجهولتين اللتين قستهما والارتياب النسبي فيهما، وقارن ذلك مع ما وجدته في تجربتك.

7. تقدير الارتياب Δl تجريبياً.

نفرض أن ΔX هو الارتياب المطلق الواقع على ناتج قياس المقاومة X، ونحسبه بطريقة التفاضل اللغارتمي كما ورد في العلاقة 3 التي نكتبها بالشكل الآتي:

$$\delta X = \frac{\Delta X}{X} = \Delta l_2 \left(\frac{1.00}{l_1 \cdot l_2} \right) \tag{6}$$

في هذا الحساب، يفترض أن الارتياب المطلق في المقاومة العيارية R مهمل، وأن الارتياب المطلق في طول السلك الكلي مهمل أيضاً. أما الارتياب المطلق في الطول l_1، فليس ناشئاً بوجه أساسي عن الارتياب المطلق في قراءة الطول على المسطرة، بل على مدى حساسية الدارة، ويعين تجريبياً كما ورد في فقرة "تقدير الارتياب في الجملة التجريبية" في المقدمة العامة، وذلك كما يلي:

بعد الحصول على وضعية التوازن الدقيق للجسر وقراءة الطولين l_1 و l_2 تزاح المنزلقة رويداً بأقل طول ممكن إلى إحدى الجهتين، وتغلق القاطعة ويضغط على المنزلقة، لاختبار ما إذا كان توازن الجسر قد انتقض أم لا. نتابع هذا العمل بإزاحة المنزلقة إلى الجهة المختارة حتى يلاحظ بدء انتقاض توازن الجسر. فتقرأ وضعية المنزلقة الجديدة عند بدء تحرك المؤشر، ولتكن a_1.

ثم يعاد هذا العمل من الجهة الأخرى، لتحديد وضعية بدء تحرك المؤشر لدى إزاحة المنزلقة إلى هذه الجهة، ولتكن a_2 هذه الوضعية. فيكون الارتياب من رتبة نصف المسافة بين الوضعيتين، أي:

$$\Delta l = \frac{1}{2} | a_2 - a_1 | \tag{5}$$

8. احسب الارتياب النسبي δX باستخدام العلاقة (6)، ثم الارتياب المطلقΔX في المقاومة المجهولة الأولى وذلك من أجل إحدى التجربتين.

أعد ذلك من أجل المقاومة المجهولة الثانية.

ثانياً: التحقق من قانون جمع المقاومات على التسلسل

1. صل على التسلسل المقاومتين اللتين قستهما كلاً منهما على حدة، واربطهما في الفجوة المعدة للمقاومة المجهولة.

2. أعد العمل السابق لإيجاد توازن الجسر، واحسب المقاومة X المكافئة للمجموعة.

نظم نتائجك في جدول كالسابق.

3. أعد العمل مرة أخرى مع تغيير المقاومة المعلومة R كما سبق وأدرج الناتج في الجدول.
4. عوض عن القيم العددية التي وجدتها في العلاقة (4) وتأكد من المساواة التقريبية بين طرفيها وذلك لكل من التجربتين فتتأكد بهذا من صحة قانون الجمع على التسلسل بشكل تقريبي.
5. بأي دقة (ارتياب نسبي مئوي) تتحقق من صحة هذا القانون في تجربتك؟

ثالثاً: التحقق من قانون جمع المقاومات على التفرع

1. صل المقاومتين السابقتين على التفرع، واربطهما في الفجوة المعدة للمقاومة المجهولة.
2. أعد العمل السابق لإيجاد توازن الجسر، واحسب المقاومة X المكافئة لهما.

نظم نتائجك في جدول كالسابق.

3. أعد العمل مرة أخرى مع تغيير المقاومة المعلومة R كما سبق وأدرج الناتج في الجدول.
4. عوض عن القيم العددية التي وجدتها في العلاقة (5) وتأكد من المساواة التقريبية بين طرفيها، وذلك لكل من التجربتين. فتتأكد بهذا من صحة قانون الجمع على التفرع بصورة تقريبية.
5. احسب الارتياب النسبي المئوي لدى التحقق من صحته في تجربتك.

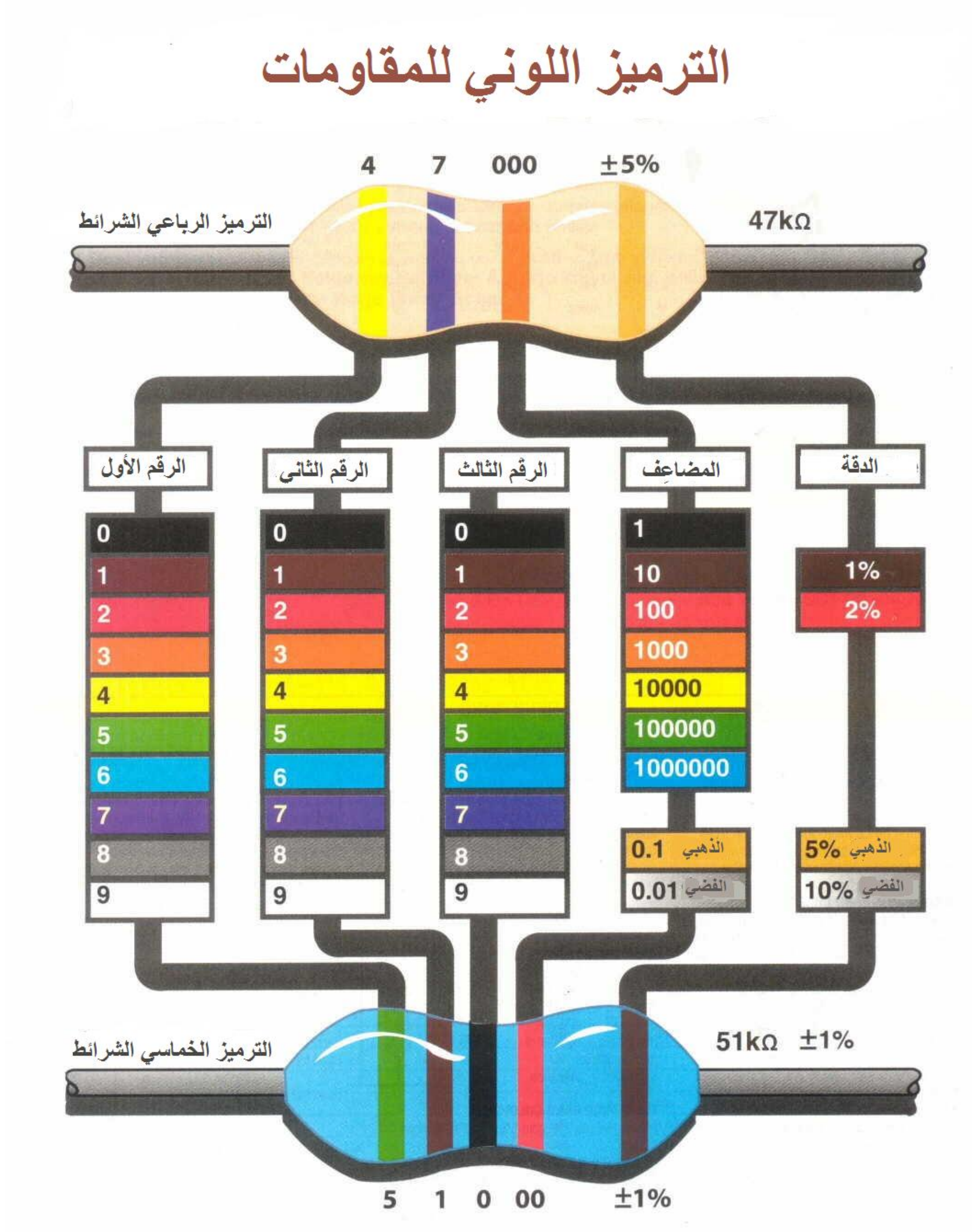
ملحق: ترميز المقاومات في الدارات الإلكترونية

من المفيد التدرب على قراءة قيم المقاومات المستخدمة في الدارات الإلكترونية، وفي هذا الخصوص، اشتهرت طريقتان أساسيتان لترميز المقاومات التي تستخدم في الصناعة الإلكترونية، وهما الطريقة اللونية والطريقة الكتابية. ولكننا نورد طريقة الترميز اللوني.

طريقة الترميز اللوني

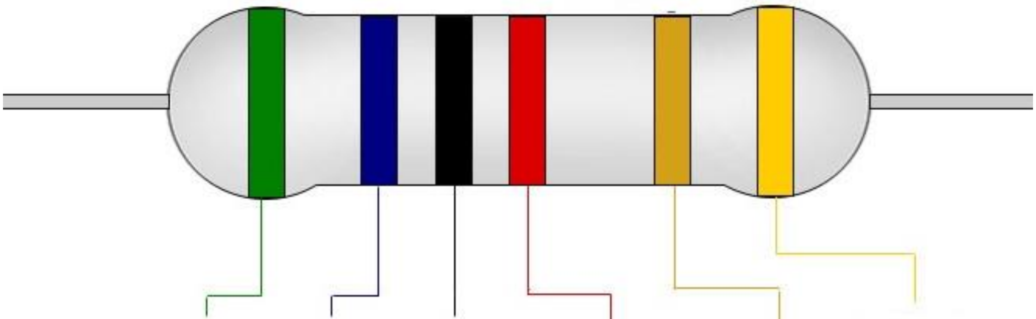
في هذه الطريقة، ترسم على جسم المقاومة الأسطواني الشكل شرائط ملونة حلقية، يدل لون الشريط الأول على الرقم الأول في قيمة المقاومة ويدل اللون الثاني على الرقم الثاني واللون الثالث على الرقم الثالث، في حين يدل اللون الرابع على العامل المضاعِف. ويدل لون الشريط الأخير على دقة تصنيع المقاومة (الشكل5). أما إذا كان لون الشريط الرابع ذهبياً أو فضياً، فإن لون الشريط الثالث يدل على العامل المضاعِف. ويدل لون الشريط الخامس في هذه الحالة على المعامل الحراري.

الشكل5. الترميز اللوني للمقاومة



الشكل6. الترميز اللوني للمقاومات الرباعية والخماسية الشرائط.

المقاومة السداسية الشرائط



	الرقم الأول	الرقم الثاني	الرقم الثالث	المضاعِف	الدقة	المعامل الحراري
الأسود	لاشيء	0	0	1	لاشيء	لاشيء
البنّي	1	1	1	10	±1%	100
الأحمر	2	2	2	100	±2%	50
البرتقالي	3	3	3	1000	±3%	15
الأصفر	4	4	4	10000	±4%	25
الأخضر	5	5	5	100000	±0.5%	لاشيء
الأزرق	6	6	6	1M	±0.25%	10
البنفسجي	7	7	7	10M	±0.10%	5
الرمادي	8	8	8	100M	±0.05%	لاشيء
الأبيض	9	9	9	1G	لاشيء	لاشيء
الذهبي	لاشيء	لاشيء	لاشيء	÷10	±5%	لاشيء
الفضي	لاشيء	لاشيء	لاشيء	÷100	±10%	لاشيء

الشكل7. الترميز اللوني السباعي الشرائط

التجربة (15)

قانونا أوم وبعض تطبيقاتهما

Ohm's Laws

1. الغاية من التجربة

(1) التحقق من صحة قانون أوم الأول في حالة التيار المستمر وتطبيقه على دارة مغلقة.

(2) التحقق من صحة قانون أوم الثاني المعطى بالعلاقة:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

2. تمهيد نظري

أولاً: قانون أوم الأول

يتناول هذا القانون جزءاً من دارة كهربائية لا يحوي إلّا مقاومة صرفة، وينص على أن نسبة فرق الكمون بين طرفي الناقل إلى شدة التيار الذي يسري فيه هي نسبة ثابتة، نسميها المقاومة الكهربائية لهذا الناقل، أي:

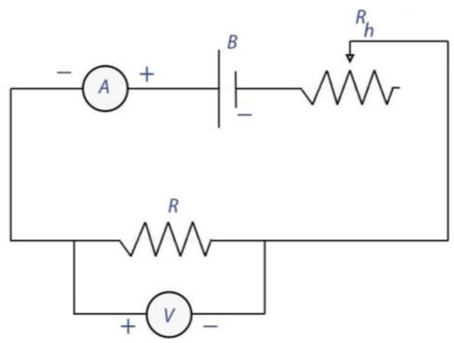
$$R = \frac{V}{I}$$

ويشترط لصحة هذا القانون بقاء درجة حرارة الناقل والشروط الفيزيائية الأخرى ثابتة، وسوف ندرس هذا القانون في حالة التيار المستمر.

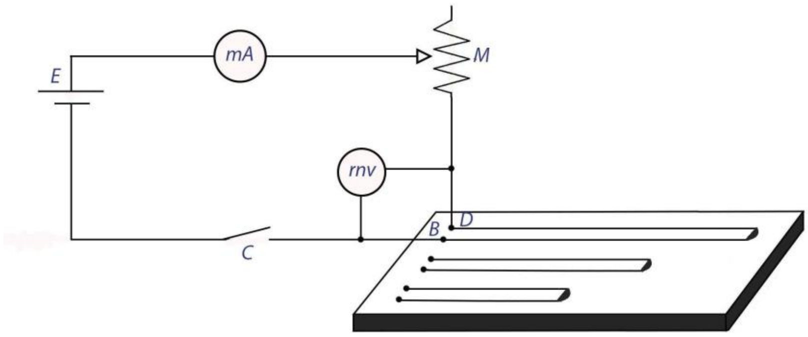
وتكتب هذه العلاقة بصيغة تابعية فرق الكمون لشدة التيار على الشكل:

$$V = RI \qquad (1)$$

من أجل التحقق من صحة هذا القانون نبين الدارة المبينة في الشكل 1a والتي تحتوي على سلك مقاوم يمثل المقاومة الصرفة R ومنبع للتيار المستمر ومقياس أمبير (أو ميلي أمبير) موصولة كلها على التسلسل إضافة إلى مقياس فولط (أو ميلي فولط) يوصل على التفرع مع المقاومة R.



الشكل1a. دارة قانون أوم الأول



الشكل1b. دارة قانون أوم الثاني

نقوم بتطبيق فروق كمون متزايدة V بين طرفي المقاومة R ونقيس التيار المار في الدارة 1a ثم نحسب النسبة V/I في كل مرة.

إن ثبات النسبة V/I دليل على صحة قانون أوم الأول، ويمكن إثبات صحته أيضاً من خلال رسم تحولات V بدلالة I، إذ إن الحصول على خط مستقيم هو دليل على العلاقة الخطية بين V و I وميل هذا المستقيم يمثل المقاومة R.

ثانياً: العوامل المؤثرة على مقاومة ناقل أسطواني، قانون أوم الثاني:

ليكن ناقل أسطواني الشكل طوله $1\ (m)$ ومساحة مقطعه $S(m^2)$، ومقاومته الكهربائية $R(\Omega)$.

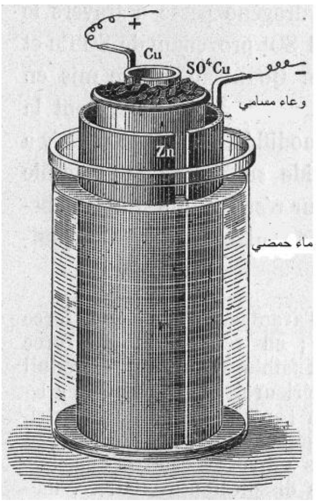
إن المقاومة R تتناسب طرداً مع طول الناقل وعكساً مع مساحة مقطعه فيكون:

$$R = \rho \frac{l(m)}{S(m^2)} \qquad (3)$$

و يسمى ثابت التناسب ρ المقاومة النوعية للناقل، ويستنتج من العلاقة السابقة أنها تقاس بواحدة هي: " Ωm " في الجملة الدولية (أو " Ωcm ").

3. الأدوات والأجهزة

دفة خشبية مشدود عليها المقاومات المراد دراستها وأسلاك توصيل، ومنبع تيار مستمر، نابعة دانييل، الشكل2، تعطى قوتها المحركة أو يمكن استنتاجها من الميل، آفوميتر (مقياس متعدد الأغراض) (عدد2) يقيس الكمون والتيار والمقاومة وأجزاءها أو مضاعفاتها حسب وضعية مفاتيحه، وعلبة مقاومات.



الشكل2. نابعة دانييل

4. مراحل العمل والخطوات التجريبية

أولاً: التحقق من قانون أوم الأول

1. قم بتوصيل الدارة المبينة في الشكل1a مستخدماً إحدى المقاومات (الأسلاك).

2. تأكد قبل إغلاق الدارة من صحة وصل المقاييس من حيث القطبية تفادياً لأي عطب وتأكد أيضاً من أن مقاييس الفولط والأمبير تعمل ضمن المجالات المناسبة(ابدأ بمجالات كبيرة ثم بمجالات صغيرة ملاحظاً القراءات أو الانحرافات المقروءة).

3. باستخدام لولب التحكم الموجود في علبة التغذية قم بتمرير تيارات متزايدة في الدارة (0.1A,0.2A,..) وقس فرق الكمون المقابل بين طرفي المقاومة R.

ملحوظة

استخدم تيارات صغيرة من أجل تجنب الأخطاء الناتجة عن التسخين الكهربائي ولا تستخدم تيارات عالية مباشرة وإنما زد شدة التيار بالتدريج.

أدرج النتائج التي تحصل عليها في الجدول الآتي:

رقم التجربة	I mA	V(mV)	$R = V / I(\Omega)$	$E_i = \mid \overline{R} - R_i \mid$	الاستنتاج
1					
2					
3					
4					
5					
وسطي التجارب المقبولة			$\overline{R} =$		

5. قدر الارتيابين ΔI و ΔV، كلاً على مقياسه ثم احسب الارتياب في R لإحدى تجاربك بطريقة التفاضل اللغارتمي؛ قارن الانحراف $E_i = \mid \overline{R} - R_i \mid$ لكل من التجارب بالارتياب ΔR الذي حسبته.

ملحوظة

في حال $E_i \leq \Delta R$ تكون التجربة مقبولة. وفي حال عكس ذلك تكون التجربة مرفوضة.

6. احسب وسطي R للتجارب المقبولة وسجله في الجدول.

7. مثل على ورقة مليمترية تغيرات V بدلالة I وارسم مستطيل الارتياب في كل نقطة منه. ما نوع المنحني الذي حصلت عليه؟

8. استنتج قيمة R من هذا المنحني وقارنها مع القيمة $\overline{R}$.

9. ضع النتيجة بالشكل: $R = \left(\overline{R} \pm \Delta R\right)\Omega$

ثانياً: التحقق من صحة قانون أوم الثاني $R = \rho \frac{l}{S}$

يوجد لديك ثلاث لوحات تحتوي كل منها أسلاك، تحوي الأولى أسلاك ثلاثة مصنوعة من المادة نفسها الكونستانتان constantan (وهي خليطة من النحاس والنيكل تتصف بثبات معاملها الحراري) ومتماثلة الطول لكنها مختلفة بأقطارها. وتحوي اللوحة الثانية ثلاثة أسلاك مصنوعة من المادة نفسها ولها الأقطار نفسها لكنها مختلفة في الطول. أما اللوحة الثالثة فتحوي ثلاثة أسلاك لها الطول نفسه والقطر نفسه وتختلف بالمادة. تستعمل هذه اللوحات على التوالي للتحقق من قانون أوم الثاني.

(1) التحقق من قانون المقاطع

قم بقياس مقاومة سلك من أسلاك الكونستانتان في اللوحة الأولى ثلاث مرات من أجل تيارات مختلفة. ثم كرّر ذلك للسلكين الآخرين.

1. احسب القيمة الوسطى لمقاومة كل سلك منها والخطأ المرتكب.
2. سجل النتائج في جدول كالآتي:

- المادة كونستانتان الطول 1m

3. احسب مساحة مقطع كل سلك ثم تحقق من صحة قانون المقاطع، ماذا تستنتج؟

قطر السلك	I(mA)	V(mV)	$R = V/I(\Omega)$	$\overline{R}(\Omega)$
0.35mm				
0.60mm				
0.10mm				

(2) التحقق من قانون الأطوال

- قس مقاومة سلكي الكونستانتان اللذان يملكان الطولين 100cm و 200 cm ثلاث مرات من أجل تيارات مختلفة، ثم احسب الوسطي.

– سجل النتائج في جدول كالآتي:

- المادة: كونستانتان، القطر = 0.7 mm

$\overline{R}(\Omega)$	$R = V / I(\Omega)$	**V(mV)**	**I(mA)**	**طول السلك**
				100cm
				200cm

ملحوظة. للحصول على سلك بطول 200 cm استخدم سلك التوصيل الصغير الموجود لديك على الطاولة في وصل سلكين على التسلسل مع مراعاة نصف القطر.

– تحقق من صحة قانون الأطوال، ماذا تستنتج؟

(3) التحقق من قانون نوع المادة

- قم بقياس المقاومة ثلاث مرات من أجل تيارات مختلفة لسلكي النحاس والكونستانتان واحسب الوسطي ثم سجل النتائج في جدول كالآتي:

الطول = 100 cm القطر = 0.5 mm

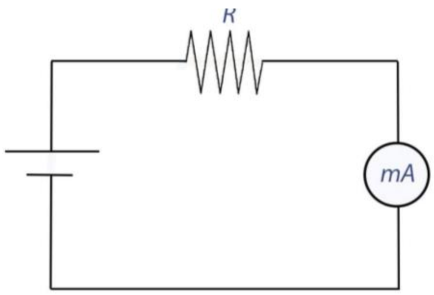
$\overline{R}(\Omega)$	$R = V / I(\Omega)$	**V(mV)**	**I(mA)**	**مادة السلك**
				كونستانتان
				نحاس أصفر

- استنتج قيمة المقاومة النوعية ρ لكل من خليطة الكونستانتان والنحاس الأصفر اعتماداً على النتائج في الجدول السابق.

– تحقق من صحة قانون النوع وذلك بمقارنة نتائجك بنتائج مكتوبة على اللوحة أو النتائج المعطاة في جداول فيزيائية، ماذا تستنتج؟

ثالثاً: قياس المقاومة الداخلية لنابعة دانييل

- يتم وصل التجربة كما هو مبين في الشكل3.
- أدخل من علبة المقاومات، مقاومة R مقدراها 5Ω.
- اقرأ شدة التيار المار بالدارة على مقياس الأمبير.
- زد المقاومة R بانتظام خمسة خمسة حتى 25Ω وسجل شدة التيار في كل حالة.



الشكل3. دارة قياس المقاومة الداخلية للنابعة

- سجل النتائج في الجدول الآتي:

$R(\Omega)$	I(A)	E/I
5		
10		
15		
20		
25		

- ارسم المنحني البياني لتحولات $\frac{E}{I}$ بدلالة R.
- استنتج من الخط البياني قيمة المقاومة الداخلية r للنابعة (للمدخرة) ولمقياس الأمبير معاً.
- احسب الخطأ المطلق المرتكب في المقاومة الداخلية.

التجربة (16)

المعادل الميكانيكي للحريرة

Mechanicl Equivelent of Heat

1. الغاية من التجربة

(1) تعيين المكافئ الميكانيكي للحريرة بطريقة كهربائية، وذلك من خلال دراسة الأثر الحراري للتيار الكهربائي (فعل جول).

(2) تعيين الحرارة النوعية لسائل ما.

2. تمهيد نظري

للطاقة أشكال متعددة، منها: الطاقة الحرارية، والطاقة الميكانيكية، والطاقة الكهربائية، وحسب مفهوم مصونية الطاقة فإنها تتحول من شكل لآخر، ويمكن تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية عن طريق المقاومة الكهربائية.

حيث يعرَّف مفعول جول بأنه: تحول الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية في الناقل الكهربائي وخلال فترة من الزمن، تتناسب الطاقة المتحولة طرداً مع المقاومة ومع مربع شدة التيار المار فيه، ومع مدة مرور التيار الكهربائي.

أي عند مرور تيار كهربائي في ناقل مقاومته R، فإن جزءاً من الطاقة الكهربائية يتحول إلى طاقة حرارية تعمل على رفع درجة حرارة المقاومة. وإذا طبقنا بين طرفي المقاومة الكهربائية R فرقاً في الكمون V فإن تياراً كهربائياً شدته I يمر فيها، حيث $V = RI$ وفقاً لقانون أوم. عندئذٍ، تُعطى الطاقة الكهربائية المصروفة والمتحولة في المقاومة إلى طاقة حرارية مقدّرة بالجول خلال الزمن t ثانية، بالعلاقة الآتية:

$$W = VIt = RI^2t \qquad (1)$$

اعتماداً على تجارب جول، وبفرض أن كامل الطاقة الكهربائية يتحول إلى طاقة حرارية، يمكننا تعيين نسبة الطاقة الكهربائية $W(Joule)$ إلى الطاقة الحرارية $Q(cal)$ التي تمثل المكافئ الميكانيكي للحريرة، ويرمز لها بـ J أي:

$$J = \frac{W(Joule)}{Q(cal)} \qquad (2)$$

ملحوظة: إن واحدة الطاقة في الجملة الدولية هي الجول، سواء أكانت الطاقة كهربائية أم حرارية؛ ومِنْ ثمَّ فلو استخدم الجول كواحدة للطاقة في كلا الشكلين الكهربائية والحرارية للطاقة في تجربتنا ما بقي من

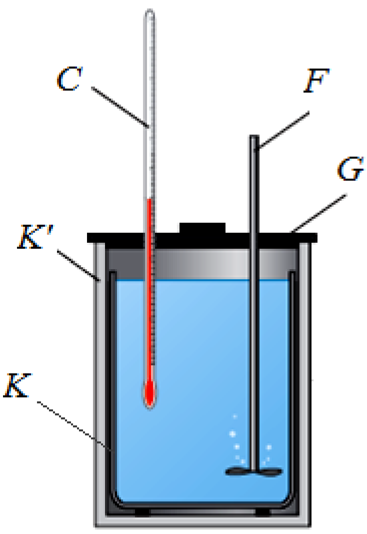
معنى للمكافئ J ، لكن اختلاف واحدة قياس الطاقة الحرارية التي كانت تستعمل لتقديرها، وهي الحريرة، عن واحدة الطاقة عموماً، وهي الجول، هو ما يسوّغ إجراء الحساب في هذه التجربة. فهو الدليل على أن الطاقة الحرارية هي شكل من أشكال الطاقة الأخرى.

3. الأدوات والأجهزة

محولة خافضة للتوتر، مقاومة متغيرة (معدّلة ذات منزلقة) مقاومتها الكلية نحو 20Ω ، قاطعة، مقياس أمبير، مقياس فولط، مسعر كهربائي، ميزان حرارة مئوي يقيس بدقة $0.1^{o}C$ ، أسلاك توصيل، ميزان حساس، ميقاتية (ويمكن الاستغناء عنها باستعمال ساعة يد رقمية).

وصف المسعر البسيط والمسعر الكهربائي

المسعر عموماً هو أداة وظيفتها عزل جملة حرارية مقيسة عن خارجها حرارياً، وذلك بتقليل كميات الحرارة المنتقلة وفق طرائق انتقال الحرارة الثلاث: الإيصال والحمل والإشعاع.



الشكل1. المسعر البسيط

يتألف المسعر البسيط من وعاء معدني خارجي K' ووعاء معدني آخر داخلي K أصغر منه، الشكل1، يحمل الوعاء الخارجي على حافته العلوية حلقة من مادة عازلة حرارياً تستند إليها حافة الوعاء الداخلي، فينشأ بين الوعاءين حيز من الهواء، تكون ناقليته الحرارية صغيرة نسبياً. ولزيادة العزل الحراري يمكن أن يصنع الوعاءان من معدن مصقول، بحيث يعكس كل منهما قسماً كبيراً من الحرارة التي يتلقاها بالإشعاع من الوعاء الآخر. ويفصل بينهما خلاء، كما في الأوعية الحافظة للحرارة (الترمس الحافظ لحرارة السائل)؛ هذا بالإضافة إلى تغليفه بالمواد العازلة. يعلو الوعاءين الداخلي والخارجي غطاء مشترك G مصنوع من مادة عازلة حرارياً، كالخشب وفيه ثقبان، أحدهما لإدخال ميزان الحرارة C، والآخر لإدخال ساق المخلط F ، وهذا المخلط عبارة عن قرص يحمل ثقوباً، يحرك به السائل في الوعاء الداخلي وله ساق طويلة تبرز من خلال ثقب الغطاء إلى الخارج.

الشكل2. مسعر كهربائي

أما المسعر الكهربائي، فيحمل غطاؤه إضافة لذلك قضيبين ناقلين للتيار الكهربائي ومثبتين على الغطاء العازل للكهرباء بمربطين من الخارج، ويتدليان إلى الداخل. ويكونان ضمن السائل؛ إذْ يتصل

طرفاهما بمقاومة كهربائية (وشيعة) مناسبة، الشكل2.

حساب كمية الحرارة المنتشرة في المسعر

يعرف المعادل المائي لمسعر ومحتوياته بأنه كمية الحرارة اللازمة لتغيير درجة حرارته بمقدار درجة مئوية واحدة، وهو مجموع المعادل المائي للسائل الموجود في الوعاء الداخلي، والمعادل المائي للوعاء الداخلي، والمعادل المائي لملحقاته (المخلط والغطاء والمقاومة مع حاملها وميزان الحرارة). والمعادل المائي لأي جسم، هو حاصل جداء كتلة هذا الجسم في حرارته النوعية.

بفرض أن الوعاء الداخلي يحوي سائلاً كتلته M غرام وحرارته النوعية C (إذا كان السائل هو الماء، فحرارته النوعية تساوي $1 cal/g^{o}C$ ، فيكون المعادل المائي للسائل مساوياً $MC\,cal/g^{o}C$. وأن الوعاء الداخلي للمسعر، كتلته M' والحرارة النوعية لمادته C'، ويكون المعادل المائي له مساوياً $M'C'cal/g^{o}C$.

ملحوظة1. إذا كان هذا الوعاء من النحاس فحرارته النوعية $0.09 cal/g^{o}C$، وإذا كان من الألمنيوم فحرارته النوعية $0.22 cal/g^{o}C$.

بالنسبة للملحقات يصعب تقدير معادلها المائي لكثرتها واختلاف المواد المصنوعة منها ولعدم بقاء كل أجزائها في السائل. بيد أن صانع المسعر يقدر معادلها المائي بتجربة خاصة، ويقدم قيمته للمجرب. تقدر الملحقات من الوجهة الحرارية بكتلة تكافئها من الماء، ولتكن M'' غراماً وفي المسعر الموجود في مخبرنا، يمكن عدّ الملحقات مكافئة لـ 24 g من الماء، أي أن معادلها المائي $24 cal/^{o}C$.

ويكون المعادل المائي الكلي للمسعر هو: $(MC + M'C' + M'')cal/^{o}C$.

وتقدر كمية الحرارة التي اكتسبها المسعر وملحقاته عند ارتفاع درجة حرارة المسعر خلال التجربة من الدرجة الابتدائية θ_1 إلى الدرجة النهائية θ_2، بضرب هذا المعادل المائي في مجال التسخين:

$$\Delta\theta = (\theta_2 - \theta_1)$$

أي تكون كمية الحرارة المنتشرة في المسعر، التي أدت إلى هذا التسخين مساويةً إلى:

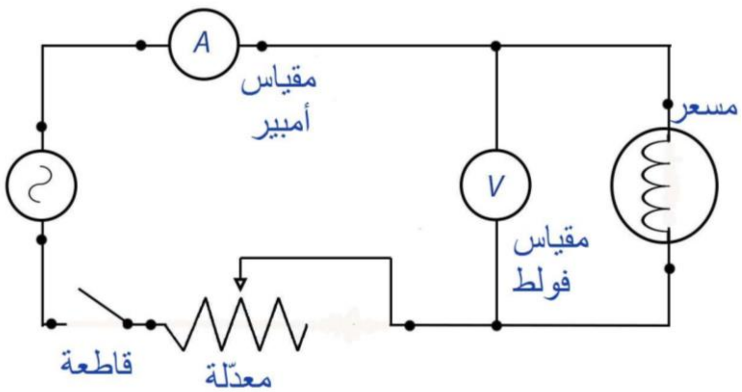
$$Q = (MC + M'C' + M'')(\theta_2 - \theta_1) \qquad (3)$$

بتعويض العلاقتين(1) و(3) في(2) نحصل على المعادلة الآتية:

$$J = \frac{VIt}{(MC + M'C' + M'')(\theta_2 - \theta_1)} \qquad (4)$$

ملحوظة2. تتوقف دقة القياس بالمسعر على مدى عزله حرارياً عن الوسط الخارجي، إلّا أن العزل التام مستحيل في مساعر كالتي سبق وصفها. ولهذا السبب يتم اللجوء إلى التقليل نسبياً من التبادل الحراري مع المحيط باتباع التعليمات الآتية:

1. إجراء التجربة خلال زمن قصير نسبياً؛ مما يتطلب الاستمرار بالخلط في أثناء عملية التسخين التي يجب أن تحصل بسرعة.
2. أن يكون الفرق بين درجة حرارة المسعر ودرجة حرارة الوسط الخارجي المحيط بالمسعر صغيراً. وهذا يتطلب إجراء التجربة في مجال صغير من درجات الحرارة، وقريب من درجة حرارة الجو المحيط.
3. كي يكون تأثير التبادل الحراري مع الوسط الخارجي طفيفاً، حاول إجراء التجربة على نحوٍ يكون هذا التبادل سلبياً في جزء منها وإيجابياً في الجزء الآخر، فيتفانيان. أي إن كمية الحرارة التي يكسبها المسعر من المحيط خلال الجزء الأول من زمن التجربة تساوي كمية الحرارة التي يفقدها المسعر خلال الجزء الثاني من زمن التجربة. فإذا كانت درجة حرارة الجو المحيط هي T، وجب جعل الفارقين $(T-\theta_1)$ و $(\theta_2 - T)$ متساويين قدر الإمكان. ينبغي أن تكون درجة حرارة الماء θ_1 أدنى من درجة حرارة الجو T بنحو 3 درجات، فإن لم تكن كذلك يبرّد السائل بإضافة قطع صغيرة من الجليد إليه، حتى يتحقق الشرط السابق.



الشكل3. الدارة الكهربائية المستخدمة في التجربة

4. مراحل العمل والخطوات التجريبية

1. زن الوعاء الداخلي للمسعر وهو فارغ، مع الحرص على أن يكون جافاً ونظيفاً، ولتكن كتلته M_1.
2. املأ الوعاء الداخلي للمسعر ماءً حتى نصفه تقريباً بحيث يكفي لغمر سلك التسخين (الوشيعة)، ثم زن من جديد، ولتكن كتلته مع الماء M_2، ومِنْ ثمَّ تكون كتلة الماء هي: $M = M_2 - M_1$.
3. ضع كلاً من الوعاء الداخلي للمسعر في الوعاء الخارجي، والغطاء في مكانه، ثم أدخل كلاً من ميزان الحرارة الحساس والمخلط الخاصين بهما في الغطاء.

4. صل الدارة الكهربائية المبينة في الشكل3.

5. أغلق القاطعة وضع زالقة المعدلة على وضعية تحصل من خلالها على شدة تيار كهربائي تتراوح قيمته ما بين 1.5A و3A، ثم افتح قاطعة الدارة من جديد من دون أن تستغرق وقتاً طويلاً في إنجاز ذلك، كي لا يسخن الماء في المسعر.

6. اخلط الماء الذي في المسعر، وسجّل درجة حرارته الابتدائية، ولتكن θ_1.

7. أغلق قاطعة الدارة بسرعة فور انتهائك من تقدير درجة الحرارة الابتدائية θ_1، وفي هذه اللحظة، اضغط على زر الميقاتية، لتعيين الزمن t (أو اقرأ بالدقائق والثواني الصحيحة على ساعة يدك).

8. حرّك المخلط شاقولياً برفق، لتكون عملية التسخين منتظمة (كي يتم التجانس في درجة الحرارة بين عناصر هذه الجملة).

9. سجّل قيمة شدة التيار الكهربائي الابتدائية، ولتكن $I(A)$. كما يشير إليها مقياس الأمبير، وكذلك فرق الكمون الابتدائية، ولتكن $V(V)$، كما يشير إليه مقياس الفولط الموصول على التفرع مع المقاومة (الوشيعة). تأكد دوماً من أن شدة التيار الكهربائي ثابتة في أثناء إجراء التجربة، ويتم ذلك بتحريك زالقة المعدّلة بالوضع المناسب إذا تغير.

10. راقب درجة حرارة الماء عن طريق ميزان الحرارة، واستمر في التسخين حتى ترتفع درجة حرارة ماء المسعر، من ثلاث إلى عشر درجات مئوية عن درجة الحرارة الابتدائية، سجل درجة الحرارة النهائية و لتكن θ_2. اقطع التيار الكهربائي بفتح القاطعة، واضغط في الوقت نفسه على زر إيقاف الميقاتية. واحسب الزمن t بالثواني الذي انقضى حتى قطع التيار الكهربائي.

11. احسب المعادل الميكانيكي للحريرة J بتطبيق العلاقة4.

12. كرر التجربة مرة ثانية، على أن تغيّر كتلة الماء في المسعر، وتغيّر شدة التيار الكهربائي بقدر مناسب.

13. سجّل نتائج هاتين التجربتين في الجدول1.

الجدول1

رقم التجربة	M_1 **g**	M_2 **g**	M **g**	$\theta_1\ C^\circ$	$\theta_2\ C^\circ$	$I\ A$	Q cal	V **Volt**	t **s**	W **J**	J **J/cal**
1											
2											

14. احسب الارتياب المطلق المرتكب في حساب J لإحدى المحاولتين والارتياب النسبي من العلاقة الآتية:

$$\frac{\Delta J}{J} = \frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta t}{t} + C\frac{\Delta M}{(MC + M'C' + M'')} + C'\frac{\Delta M'}{(MC + M'C' + M'')} + \frac{\Delta \theta_2}{(\theta_2 - \theta_1)} + \frac{\Delta \theta_1}{(\theta_2 - \theta_1)}$$

هل يغطي هذا الارتياب المطلق المحسوب الفرق بين التجربتين ؟ علّل جوابك سواء كان بالإيجاب أم النفي.

التجربة (17)

الحرارة النوعية لجسم صلب

Specific Heat of Solids

1. الغاية من التجربة

قياس الحرارة النوعية لجسم صلب (كريّات من الحديد، وكريّات من الرصاص، وحبيبات من الزجاج) باستخدام مبدأ التوازن الحراري بالمزج.

2. تمهيد نظري

تختلف المواد بعضها عن بعض بمقدار كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارتها العدد نفسه من الدرجات، أو بمقدار كمية الحرارة التي تكتسبها المادة من الوسط الخارجي عندما تخضع لنفس الشروط التجريبية تماماً. أي أن لطبيعة المادة علاقة بمقدار كمية الحرارة المكتسبة وارتفاع درجة حرارتها المقابلة. وهكذا يكون لكل مادة حرارة نوعية خاصة تميزها عن غيرها من المواد.

تعرف الحرارة النوعية لجسم ما، في الجملة الحرارية، بأنها كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة جسم كتلته $1g$ درجة مئوية واحدة. وتعطى الحرارة النوعية الوسطى C_m لمادة ما بين درجتي حرارة t_1 و t_2 بالعلاقة:

$$C_m = \frac{1}{m}.\frac{\Delta Q}{\Delta t} \tag{1}$$

حيث ΔQ كمية الحرارة اللازمة لتسخين الجسم الذي كتلته m من الدرجة t_1 إلى الدرجة t_2، حيث $\Delta t = t_2 - t_1$.

وعندما تتناهى $t_2 \leftarrow t_1$ فإن $C \leftarrow C_m$، حيث C هي الحرارة النوعية للجسم المدروس في الدرجة t، ومن ثم:

$$C = \frac{1}{m}\frac{dQ}{dt} \tag{2}$$

يسمى المقدار mC السعة الحرارية للجسم وتعرف بأنها كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة الجسم درجة مئوية واحدة.

يتم تعيين الحرارة النوعية لجسم ما بطريقة المزج، التي تعتمد على مبدأ التوازن الحراري. فعندما يوضع جسم ساخن m_1 في مسعر يحوي ماء بارداً، فإن كمية الحرارة Q_1 التي يفقدها الجسم الساخن تساوي

كميتي الحرارة اللتين يكتسبهما المسعر Q_2 والماء بداخله Q_3 ، وهكذا نستطيع أن نكتب، جبرياً، في حالة التوازن الحراري:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0 \tag{3}$$

أي:

$$-Q_1 = Q_2 + Q_3 \tag{4}$$

وبما أن كمية الحرارة لأي جسم بين درجتين t و t' تعطى بالعلاقة الآتية:

$$Q = mC(t - t') \tag{5}$$

حيث t هي درجة الحرارة النهائية و t' هي درجة الحرارة الابتدائية عندها نستطيع كتابة العلاقة (4) بالشكل الآتي:

$$-m_1C_1(t - t_1) = m_2C_2(t - t_2) + m_3C_3(t - t_3) \tag{6}$$

حيث t_1 و t_2 و t_3 هي درجات الحرارة الابتدائية لكل من الجسم الساخن والمسعر والماء البارد و t درجة الحرارة النهائية للجملة كلها، m_1 و m_2 و m_3 كتل الجسم الساخن والمسعر والماء البارد بالترتيب. من هذه العلاقة نجد:

$$C_1 = \frac{m_2C_2(t - t_2) + m_3C_3(t - t_3)}{m_1(t_1 - t)} \tag{7}$$

3. الأدوات والأجهزة

مسعر حراري وتوابعه، مسخن مسعري، ميزان حرارة مئوي، قطع حديدية (رصاصية)، سخانة كهربائية، ميزان متعدد السلالم.

وصف الجهاز

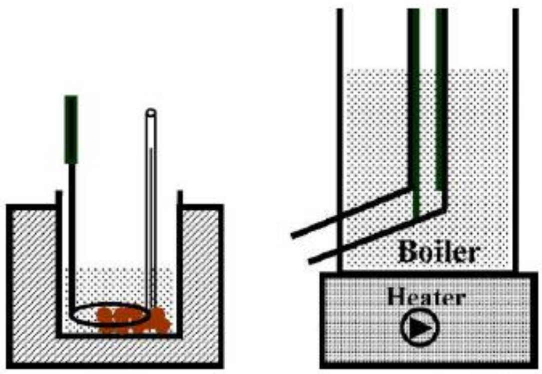
يتكون هذا الجهاز من جزءين أساسيين هما المسعر وتوابعه والمسخِّن وتوابعه. فالمسعر الحراري هو علبة نحاسية أسطوانية الشكل، مجهزة بغطاء خشبي فيه ثقبان، يمر من أحد الثقبين مخلِّط معدني ومن الثقب الآخر ميزان حرارة مئوي مدرَّج إلى مئة درجة. تقدَّر الحرارة النوعية للمسعر النحاسي وتوابعه بنحو $0.09\, cal / g\, C^{\circ}$.

والجزء الآخر هو المسخن الحراري المسعري، يتكون من علبة معدنية أسطوانية الشكل، مجهزة بأنبوب شاقولي معقوف من أسفله، ويوضع في داخلها جهاز أسطواني متحرك. والغرض من ذلك هو وضع قطع الحديد بداخله وتسخينها بمعزل عن ماء المسخن الحراري، ثم إخراجها من فتحته السفلية بسحب الحاجز نحو الأعلى.

يبين الشكل1 مخططاً لهذا المسخن الحراري وأجزائه. وكذلك للمسعر الحراري.

4. مراحل العمل والخطوات التجريبية

1. نعين كتلة المسعر ومخلطه عدا الغطاء الخشبي. وذلك باستخدام الميزان العادي الحساس. ولتكن كتلة هذا المسعر m_2.
2. نملأ المسعر حتى منتصفة بالماء العادي، ونعين كتلة هذا الماء ولتكن m_3.
3. نزن كمية من قطع الحديد حوالي $m_1 = 100g$.
4. نملأ المسخن الحراري حتى منتصفه بالماء، كما هو مبين في الشكل1 ونضع القطع الحديدية في المكان المخصص لها داخل الأنبوب المتحرك، ثم نضع ميزان الحرارة بين القطع المعدنية.
5. نضع المسخن بما فيه فوق السخانة الكهربائية، وننتظر خروج بخار الماء وثبات درجة حرارة الميزان، أي ننتظر حتى الوصول إلى التوازن الحراري، وعندها نقرأ درجة حرارة القطع الحديدية t_1.
6. نقرب المسعر والماء بداخله ونضعه أسفل فتحة الأنبوب المعقوف.
7. نقرأ درجة حرارة الماء بداخل المسعر ولتكن هذه الدرجة هي t_2 وهي ذاتها للماء وللمسعر معاً. لأنهما في حالة توازن حراري.



الشكل1. مخطط المسخن الحراري وأجزاؤه والمسعر الحراري.

8. نرفع الأنبوب المتحرك (الحاجز) للأعلى بحيث تسقط القطع المعدنية مباشرة في المسعر الحراري.
9. نحرك الماء في المسعر بلطف بواسطة المخلط. ونلاحظ أن درجة حرارة المزيج تتغير حتى تثبت عند قيمة معينة t، وهذه الدرجة هي درجة الحرارة التوازنية للمزيج.
10. نطبق العلاقة (7) لحساب الحرارة النوعية لكريّات الحديد، مع العلم أن الحرارة النوعية للماء هي $1cal/g\,C^\circ$.
11. تكرر هذه التجربة أربع مرات من أجل قيم متغيرة لكتل كريّات الحديد ولتكن 40,60,80,100g ونرتب النتائج في جدول كالآتي:

رقم القياس	$m_1\ g$	$m_2\ g$	$m_3 g$	t_1	t_2	T	C	$\bar{C}$
1	40							
2	60							
3	80							

4	100							

12. نناقش (الأخطاء) الارتيابات النسبية ودقة القياس في تعيين C، ونستخدم في ذلك قواعد التفاضل اللغارتمي، ونكتب النتيجة النهائية بالشكل الآتي:

$$C = (\overline{C} \pm \Delta C)$$

13. أعد التجربة من أجل مواد أخرى مثل الرصاص والزجاج.

الملحق الأول

الجدول1. بعض الثوابت الفيزيائية

الثابت	الرمز الشائع	القيمة والواحدة
سرعة الضوء في الخلاء	c	$3\times10^{8}\,m/s$
سرعة الصوت في الهواء	c	$345\,m/s$
شحنة الإلكترون	e	$1.62\times10^{-19}\,C$
كتلة الالكترون	m_e	$9.11\times10^{-31}\,kg$
كتلة البروتون	m_p	$1.67\times10^{-27}\,kg$
كتلة النترون	m_n	$1.68\times10^{-27}\,kg$
عدد أفوغادرو	N_A	$6.029\times10^{23}\,mol^{-1}$
ثابت بلانك	h	$6.629\times10^{-34}\,J.s$
ثابت الغازات العام	R	$8.31\,J/mol.K$
تسارع الجاذبية الأرضية	g	$9.81\,m/s^{2}$
الضغط الجوي	P_0	$1.013\times10^{5}\,Pa$

الملحق الثاني

الجدول2. قيم الكثافة الحجمية لبعض المواد

المادة	$\rho(g/cm^3)$	المادة	$\rho(g/cm^3)$
الهواء	0.0013	الألمنيوم	2.70
الخشب	0.85	الفضة	10.5
الماء(جليد)	0.92	الرصاص	11.34
الماء(سائل)	1.00	الزئبق	13.50
الغليسرين	1.26	الذهب	19.34

الملحق الثالث

الجدول 3. بعض الواحدات المشتقة في الجملة الدولية

المقدار	الواحدة	المقدار	الواحدة
السرعة	m/s	الكمون الكهربائي	*Volt*
التسارع	m/s^2	الضغط	*Pa*
القوة	*N*	الحقل الكهربائي	$Volt/m$
الطاقة	*Joul*	المقاومة الكهربائية	*ohm*
الاستطاعة	*Watt*	الحقل المغناطيسي	*Tesla*

الملحق الرابع

قائمة ببعض المصطلحات الفيزيائية باللغة العربية والإنجليزية

Aberration	زيغ
Absolute	مطلق
Absolute Zero	صفر مطلق
Absolute error	ارتياب مطلق
Absolute Incertitude	ارتياب مطلق
Accidental error	ارتياب طارىء
Accuracy	دقة
Alternating current (AC)	تيار متناوب
Amplitude	مطال، سعة
Analytic	تحليلي
Angle	زاوية
Angle of deviation	زاوية الانحراف
Angle of incidence	زاوية الورود
Angle of reflection	زاوية الانعكاس

Angular Acceleration	تسارع زاوي
Angular Velocity	سرعة زاوية
Angular Frequency	تواتر زاوي
Atom	ذرة
Attraction	تجاذب
Attraction Force	قوة جاذبة
Axis	محور
Balance	ميزان
Band spectrum	طيف شريطي
Base	قاعدة
Beam	حزمة
Biconcave lens	عدسة مقعرة الوجهين
Biconvex lens	عدسة محدبة الوجهين
Bifocal	ثنائي المحرق
Caliper Gauge	القدم القنوية
Calorie	حريرة
Chromatic aberration	زيغ لوني
Circle	دائرة
Coefficient	معامل
Collimator	مجمع، مسدد
Concave lens	عدسة مقعرة
Continuous spectrum	طيف متصل، مستمر
Converging lens	عدسة مقربة
Convex lens	عدسة محدبة
Coordinates	إحداثيات
Cristalline (lens)	بلورية (عدسة العين)
Critical angle	زاوية حرجة
Cross – wire	محكِّمة
Data	معطيات
Density	كثافة

Diagram	رسم بياني ـ مخطط
Diameter	قطر
diffraction	انعراج
Dimensions	أبعاد
Dioptre	كسيرة
Direct current (DC)	تيار مستمر
Direction	اتِّجاه
Displacement	إزاحة
Diverging lens	عدسة مبعدة
Elastic Force	قوة مرنة
Emergence	بروز
Emission	إصدار
Energy	طاقة
Equation	معادلة
Equilibruim	توازن
Equivalent	مكافئ
Erect image	خيال صحيح
erg	الأرغة
Error	خطأ ـ ارتياب
Exponential	أسيّ
Eyepiece	عينية
Factor	عامل
Flow	جريان
Fluid Pressure	ضغط السائل
Focal length	بعد بؤري (محرقي)
Focal point	البؤرة أو المحرق
Focussing	إحكام أو تبئير
Force	قوة
Formation	تشكيل
Formula	صيغة

Frequency	تواتر
Function	تابع، دالة
Graph	خط بياني، مخطط
Gravity acceleration	تسارع الجاذبية الأرضية
Gravity Center	مركز الثقل
Harmonic Oscillations	اهتزازات توافقية
Heat	حرارة
Height	ارتفاع
Hook's Law	قانون هوك
Horizontal	أفقي
Image	خيال
Incidence	سقوط، ورود
Index of refraction	قرينة الأنكسار
Intensity	شدة
Interface	سطح بيني
Interference	تداخل
Interpolation	استقراء داخلي
Inversaly proportional	تناسب عكسي
Inverted image	خيال مقلوب
Lens	عدسة
Level	مستوى
Light source	منبع ضوئي
Linear spectrum	طيف خطي
Log – Log paper	ورق لغارتمي
Logarithmic	لغارتمي
Magnification	تجسيم، تكبير
Magnified image	خيال مكبر
Mass	كتلة
Maximum	أعظمي، نهاية عظمى
Mean	متوسط، وسطي

Measure	**قياس**
Mechanical	**ميكانيكي**
Method of least squares	**طريقة أصغر المربعات**
Micrometer Screw	**الدوارة اللولبية**
Microscope	**مجهر**
Minimum	**أصغري، نهاية صغرى**
Minimum deviation	**انحراف أصغري**
Minute	**دقيقة**
Mirror	**مرآة**
Monochromatic	**وحيد اللون**
Natural logarithm	**لغارتم طبيعي**
Negative lens	**عدسة سالبة**
Normal	**عادي، عمودي، ناظمي**
Normal Acceleration	**تسارع ناظمي**
Object	**جسم**
Object point	**نقطة جسمية**
Objective	**العدسة الجسيمية**
Oblique	**مائل**
Ocular (eyepiece)	**عينية**
Oscillation (or Vibration)	**اهتزاز**
Oscilloscope	**راسم الاهتزاز المهبطي**
Paraxial rays	**أشعة محورية**
Particle	**جسيم**
Peak	**ذروة**
Pendulum	**نواس**
Period	**دور**
Periodic	**دوري**
Phase difference	**اختلاف الطور، فرق الطور**
Photon	**فوتون**
Plane	**مستو (مستوي)**

Plot	**رسم بياني**
Positive lens	**عدسة موجبة**
Potential	**كمون، كامن**
power	**استطاعة، قدرة**
Pressure	**ضغط**
Prism	**موشور**
Projection	**مسقط**
Property	**خاصية**
Proportional	**تناسب طردي**
Radius	**نصف قطر**
Range	**مجال**
Ratio	**نسبة**
Rays	**أشعة**
Real image	**خيال حقيقي**
Real object	**جسم حقيقي**
Rectangle	**مستطيل**
Reflecting	**عاكس**
Reflection	**انعكاس**
Refraction	**انكسار**
Refractive index	**قرينة انكسار**
Regular reflection	**انعكاس منتظم**
Resistance	**مقاومة**
S. I. units	**النظام الدولي للواحدات**
Sample	**عينة**
Scale	**سلم تدريج**
Scattering	**انتثار**
Screen	**شاشة، حاجز**
Second	**ثانية**
Shape	**شكل**
Simple harmonic motion	**حركة توافقية بسيطة**

Simple pendulum	نواس بسيط
Slit	شق
Slope	الميل
Source	منبع
Specific Heat	حرارة نوعية
Spectra	طيوف
Spectral lines	خطوط طيفية
Spectroscope	مطياف
Spectrum	طيف
Speed	سرعة
Sphere	كرة
Spherical	كروي
Spring constant	ثابت صلابة النابض (ثابت المرونة)
Stand	حامل، منصب
Surface tension	توتر سطحي
Table	جدول، قائمة
Temperature	درجة الحرارة
Tension	توتر
Time	زمن
Torsion	فتل
Total reflection	انعكاس كلي
Triangle	مثلث
Tube	أنبوب
Uniform	منتظم
Unit	واحدة
Vector quantity	مقدار شعاعي
Vernier	فرنية
Vertex	رأس
Vertical	شاقولي
Virtual image	خيال وهمي

Virtual object	**جسم وهمي (خيالي)**
Viscosity	**لزوجة**