



الفيزياء العملية

رقم الكتاب ١٢٢٦



السنة: الأولى

القسم: العلوم الأساسية

الاختصاص: فيزياء



منشورات جامعة دمشق
كلية الهندسة الزراعية

الفيزياء التحليلية

لطلاب السنة الأولى في كلية الزراعة

الدكتور أحمد حصري الدكتور إحسان الموصلي عمر طه
أستاذ في كلية الهندسة المدنية مدرس في كلية الهندسة الزراعية عضو الهيئة التدريسية في كلية العلوم

١٤٣٩ - ١٤٤٠ هـ
٢٠١٧ - ٢٠١٨ م

جامعة دمشق

فهرس الكتاب

المقدمة

منهاج الفيزياء العملية للسنة الأولى

مقدمة عامة في الفيزياء العملية

- ١- نصائح وتوصيات ١٥
- ٢- قياس المقادير الفيزيائية ١٧
- ٣- الارتياح في القياس ٢٦
- ٤- التقريب في الحساب و قواعد ٣١
- ٥- قواعد حساب الارتياح ٣٨
- ٦- التمثيل البياني واستخلاص النتائج منه ٦٤
- ٧- تمارين و مسائل ٨٤

التجارب الأساسية

- ١- قياس الأطوال ٩٤
- ٢- تحليل النتائج التجريبية ١١٢
- ٣- الميزان الحساس ١١٨

تجارب في الميكانيك الفيزيائي و خواص المادة

- ١- النواس البسيط ١٣٥
- ٢- الحركة الاهتزازية التوافقية ١٤٧
- ٣- قياس الكثافة بطريقة الدورق ١٥٧

- ٤- قياس التوتر السطحي ١٦٥
٥- اللزوجة ١٧٣

تجارب في الحرارة والإشعاع

- ١- قانون ستيفان وبولتزمان في الإشعاع ١٨١
٢- المعادل الميكانيكي للحرارة ١٩٠
٣- الترمستور وتطبيقاته ١٩٧
٤- امتصاص الأشعة تحت الحمراء في الزجاج ٢٠٧
٥- الحرارة النوعية لجسم صلب ٢١٤
٦- الإشعاع الحراري ومكعب ليزلي ٢٢٠

تجارب في الكهرباء والمغناطيسية

- ١- قانون أوم ٢٢٧
٢- جسر واطسن ٢٤٢
٣- التيار المتناوب ٢٥٧
٤- تخطيط الحقول الكهربائية ٢٦٨
٥- قياس الحقل المغناطيسي ٢٧٥

تجارب في الضوء

- ١- الموشور ٢٨٩
٢- قياس قرائن الانكسار ٢٩٩
٣- قياس البعد المحرقي للعدسات ٣٠٩
٤- المجهر ٣٢٠
٥- المطياف وشبكة الانعراج ٣٣٣
٦- الليزر وانعراج الضوء حول شق وحيد ٣٤٢

تجارب في الفيزياء الحديثة

- ١- الخلايا الشمسية ٣٥٠
- ٢- راسم الاهتزاز المهبطي ٣٥٨
- ٣- منحنيات ليساجو ٣٧٥
- ٤- الثنائي نصف الناقل ٣٨٤
- ٥- الترانزستور ٣٩٨
- ٦- النشاط الإشعاعي ٤١٢

الملحق

- جداول الثوابت الفيزيائية ٤٢٣
- المصطلحات العلمية ٤٣٣
- المراجع العلمية العربية ٤٤٩
- المراجع العلمية الأجنبية ٤٥١

* * *

بسم الله الرحمن الرحيم

المقدمة

عمدت الجامعة مؤخراً إلى تجهيز مخبر الفيزياء في كلية الزراعة بتجهيزات حديثة كما وافقت على إعداد كتاب جديد في الفيزياء العملية لوضعه بين أيدي الطلاب في مطلع العام الدراسي القادم.

يأتي هذا الكتاب تلبيةً لرغبة الجامعة بهدف استثمار التجهيزات التي زوّدها المخبر.

يستهدف تدريس الفيزياء العملية لطلاب السنة الأولى في كلية الزراعة عدّة أهداف منها:

– التدريب على بعض السبل الشائعة في استنباط القوانين الطبيعية، وتقدير مدى صحتها، وترسيخ بعض القوانين عن طريق استنباطها أو تطبيقها.

– اكتساب بعض الخبرة العملية والمهارة اليدوية من جرّاء استخدام طائفة من الأجهزة الحديثة والعناية بها والحرص عليها. ومن ثمرات ذلك كله، ربط التصوّر العقلي بالواقع الحسي، وهذا ما يرمي إليه علم الفيزياء.

وتحقيقاً للأهداف السابقة، فقد جعلنا الكتاب يبدأ بمقدمة تضم ما يحتاجه الطالب من المعلومات العامة، النظرية والتطبيقية في الفيزياء العملية. ثم صنفنا التجارب العملية حتى تشمل معظم فروع الفيزياء، وتأتي مواكبةً لمنهاج الفيزياء العملية.

كما أَلَحَقْنَا بالكتاب جداول تتضمن قيم بعض الثوابت الفيزيائية التي يحتاج إليها المجرب، إضافةً إلى المصطلحات العلمية باللغة الإنكليزية ومقابلاتها باللغة العربية.

وأخيراً نأمل أن يُحسِن الطلاب الاستفادة من هذا الكتاب الذي بذلنا فيه كلَّ جهدٍ
كي يكون بالمستوى اللائق بالكتاب الجامعي ، ونرحب بأيِّ رأيٍ مفيدٍ ، أو نقدٍ بَناءٍ
من الأساتذة المدرّسين لتحسين الكتاب مستقبلاً . والله وليُّ التوفيق.

دمشق ٢٨ ربيع الأول ١٤٢٨ هـ

١٥ نيسان ٢٠٠٧ م

أ. د. أحمد حصري

د. إحسان الموصلي

أ. عمر طه

* * *

Damascus University

منهاج الفيزياء العملية

لطلاب السنة الأولى في كلية الزراعة

١- مقدمة عامة في الفيزياء العملية

٢- تجارب أساسية

٣- تجارب في الميكانيك و خواص المادة

٤- تجارب في الحرارة و الإشعاع

٥- تجارب في الكهرباء

٦- تجارب في الضوء

٧- تجارب في الفيزياء الحديثة

* * *

مقدمة عامة في الفيزياء العملية

١- نصائح وتوصيات

٢- قياس المقادير الفيزيائية:

١- المقدار الفيزيائي ومبدأ القياس

٢- أنواع المقادير الفيزيائية

٣- وحدات القياس وجملها

٤- أضعاف الواحدات الأصلية وأجزاؤها

٥- تصنيف القياسات

أ- القياس المباشر

ب- القياس غير المباشر

٣- الارتياح في القياس:

١- الارتياح النظامي

٢- الارتياح الطارئ

٤- التقريب في الحساب وقواعده:

١- مفهوم الرقم الموثوق و الرقم المعنوي

٢- قواعد تقريب الأعداد

٣- تقريب الأعداد عند إجراء العمليات الحسابية

٥- قواعد حساب الارتياح:

١- تقدير الارتياح الطارئ في القياس المباشر:

أ- القيمة الوسطية

ب- الارتياح المطلق

ج- تقدير الارتياح في أجهزة القياس

د- تقدير الارتياح في الجملة الدولية

هـ- تقدير الارتياب في الثوابت الفيزيائية

و- الارتياب النسبي

ز- ترتيب نتائج القياس

٢- تقدير الارتياب في في القياس غير المباشر:

أ- الحالة الأولى: حالة استقلال قياسات المتحولات:

١- حالة المجموع الجبري

٢- حالة لغزيم مقدار

٣- حالة الجداء

٤- حالة القسمة

٥- حالة التوابع المثلثية

٦- حالة التابع الأسّي

٧- حالة خليط من العمليات

ب- الحالة الثانية: حالة الترابط في قياسات بعض المتحولات

٣- تقدير الارتياب لدى التحقق من صحة القوانين:

١- الصيغة الأولى

٢- الصيغة الثانية

٦- التمثيل البياني واستخلاص النتائج منه:

١- التمثيل البياني

٢- فوائد التمثيل البياني

٣- أنواع الخطوط البيانية

٤- رسم الخطوط البيانية

٥- قواعد رسم الخطوط البيانية

٦- تمثيل الارتياب بيانياً

٧- استخلاص النتائج البيانية:

أ- الميل الفيزيائي

ب- الميل الهندسي

٨- رد المنحنيات المختلف إلى مستقيم:

أ- تغيير المتحول

ب- الورق اللغريتمي

ج- الورق نصف اللغريتمي

٩- رسم أفضل المستقيمات (بطريقة أصغر المربعات)

٧- تمارين ومسائل:

أ- عن الحساب التقريبي

ب- على حساب الارتياب المباشر وغير المباشر

ج- على الرسم البياني:

١- على الورق الملمتري

٢- على الورق اللغريتمي

٣- على الورق نصف اللغريتمي

* * *

١- نصائح وتوصيات

لا بد لنا في البدء وقبل شروع الطالب في العمل المخبري، من إسداء بعض النصائح والإرشادات التي توجّه الطالب في هذا العمل، حتى يحصل على أحسن الثمرات:

١- أن يلتزم الطالب باللياقة الأدبية في معاملته مع المشرفين على المخبر وكذلك مع زملائه، ويستفيد من خبراتهم ومعلوماتهم التي هو بحاجة إليها، ولا يتكلم معهم إلا بما يفيد العمل وبصوتٍ منخفض.

٢- على الطالب أن يدرس بإمعان التجربة المطلوبة منه، قبل حضوره إلى المخبر، وذلك لكي يفهم فكرتها النظرية وطريقة إجرائها، وأن يستفسر عن أي غموض في هذه الأمور، ويحسن به لهذه الغاية أن يستعين بالمراجع المناسبة.

٣- على الطالب أن يصطحب معه إلى المخبر دفتريْن، أحدهما دفتر المسودة والآخر دفتر خاص بعمله الفيزيائي ندعوه دفتر المبيضة. بعد أن يدرس الطالب تجربته مسبقاً ويستوعب مضمونها وأغراضها، يُدوّن في دفتر المبيضة موجزاً عن التجربة والقوانين الواردة فيها، وطريقة العمل، مع رسم الدارات الكهربائية والرسوم الموضحة إن وجدت. ولا يسمح للطالب بدخول المخبر إلا إذا كان قد لخص تجربته في دفتره على النحو المذكور. بالإضافة إلى ما سبق، يخطط الطالب في دفتر المسودة الجداول الضرورية لتسجيل نتائج القياس، ليملأها إبان عمله في المخبر.

٤- قبل المباشرة بالعمل التجريبي، على الطالب أن يستلم الأجهزة الموجودة على المنضدة، ويتأكد من سلامتها، وإذا ما وجد فيها نقصاً، يطلب من المساعد المخبري ما يكون ناقصاً منها. وعليه أن يتعرّف على الأجهزة المستخدمة في التجربة ويتفهم جيداً استعمالها وخصائصها.

على الطالب أن يرتّب الأجهزة والأدوات على المنضدة على النحو الأنسب للعمل والقراءة. وفي حال وجود دائرة كهربائية، يتم ترتيب عناصر الدارة ثم وصلها بالأسلاك

فيما بينها، وذلك وفقاً للدائرة الرمزية التي رسمها الطالب في دفتره. وبعد تجهيز الدائرة المنشودة، لا يجوز وصلها بمنبع التيار إلا بعد عرضها على الأستاذ المشرف أو على المساعد المخبري وموافقة أحدهما عليها، وذلك حرصاً على سلامة الأجهزة .

٥- بعد هذه الأعمال التمهيدية، يشرع الطالب بتجربته، ويدون النتائج في جداولها على دفتر المسودة، ثم يستكمل حساباتها وحساب الارتياحات فيها، ويرسم جميع الخطوط البيانية، ويعرضها على الأستاذ المشرف، وبعد التأكد من صحة عمله ووفائه بالغرض، ينقل نتائجها إلى دفتر المبيضة، إما أثناء الجلسة إذا بقي لديه وقت، أو بعد خروجه .

٦- على الطالب أن يتحرى الدقة والأمانة فيما يحصل عليه من نتائج القياس، فالقياسات الدقيقة الموثوقة هي الأساس في الوصول إلى النتائج الصحيحة. ولدى تسجيل النتائج في الجداول المعدة لها من المسودة، يحاول الطالب تعليل أي شذوذ تجريبي فيها. وعليه أن يعيد قياس المقدار الواحد عدة مرات إذا أمكن، للتأكد من صحة القياس، ثم تؤخذ القيمة المتوسطة للمقدار المقيس الواحد.

٧- عند انتهاء الطالب من التجربة وقبل مغادرته المخبر، يسلم كل الأجهزة والأدوات التي استلمها إلى المساعد المخبري في حالة سليمة. وإذا صدف أن أُلِف أي جهاز أو أعطب على يد أحد الطلاب، فإنه يكون هو ورفاقه العاملون معه في التجربة مسؤولين عن أداء قيمته أو تكاليف إصلاحه، بالتساوي فيما بينهم.

٨- لا تقبل أية نتائج عديدة غير مقرونة بتقدير الارتياح الذي يشوبها. فإن كانت مقداراً يقاس مباشرة، تُطبّق عليها طريقة تقدير الارتياح في القياس المباشر، وإن كانت مقداراً يقاس قياساً غير مباشر، تُطبّق عليها الطريقة الملائمة لحساب الارتياح، كما لا يقبل تمثيل أية نقطة تجريبية على الورق البياني ما لم يقترن بتحديد مستطيل الارتياح الذي يتعين به مجال وقوع النقطة التجريبية. كما هو مبين في موضعه من المقدمة العامة.

* * *

٢- قياس المقادير الفيزيائية

١- المقدار الفيزيائي ومبدأ القياس:

تنسب إلى الجسم المادي جملة من صفات تعرفه وتحدد خصائصه، وتُعرف كل صفة كمية تقبل الزيادة والنقص بأنها مقدار فيزيائي. كالطول والزاوية والقوة ودرجة الحرارة والقساوة ... إلخ. والفيزياء علم تجريبي أرست دعائمه المشاهدات والتجارب، ولكي تكتسب التجربة أهميتها يجب أن نعتد على القياس، وهذا ما دعا بعض العلماء إلى وصف الفيزياء بأنها "علم القياس". ويقول اللورد كلفن Kelvin في هذا الصدد:

لا تعرف الظاهرة الفيزيائية جيداً ما لم يعبر عنها بقيم عددية. والفيزياء علمٌ كمي إذ يعبر عن نواتج التجارب الفيزيائية بمجموعة قيم عددية، ومن ثم نستخلص القوانين الفيزيائية التي يتوصل إليها المجرّب، وتكتب بشكل قوانين وعلاقات رياضية تربط بين القيم العددية للمقادير الفيزيائية. ومما يستهدفه علم الفيزياء جعل كل مقدار فيزيائي قابلاً للقياس التجريبي، لدراسة الظواهر الفيزيائية، وهذا ما يجعل القياس ومعالجة نواتجه ركناً أساسياً في الفيزياء العملية.

٢- أنواع المقادير الفيزيائية:

أولاً- المقدار الفيزيائي القابل للقياس:

١- تعريفه: هو المقدار الذي من أجله أن يحقق الشرطين التاليين:

أ- تعريف تساوي مقدارين من نوعه.

ب- تعريف حاصل جمعهما.

إن تعريف التساوي والمجموع يسمح بدوره تعريف نسبة مقدارين من نوعه، ويكون المقداران الفيزيائيان متساويين إذا كانت نسبتتهما تساوي الواحد.

ولكي يكون المقدار الفيزيائي قابلاً للقياس، يكفي أن نتمكن من تعريف نسبة مقدارين من نوعه، وعليه يكفي أن نتخذ كمية معينة على أنها واحدة عيارية للقياس، تنسب إليها سائر الكميات الأخرى.

فإذا رمزنا إلى المقدار المجهول المراد قياسه بـ X وإلى واحدة القياس المتفق عليها بـ U نشأت العلاقة :

$$\frac{X}{U} = n \quad (1)$$

حيث n هي نسبة المقدار المجهول إلى الواحدة، وتسمى n القيمة العددية للمقدار المقيس أو ناتج القياس. وهذه العلاقة هي العلاقة الأساسية في علم القياس.

ولما كان المقدار الفيزيائي يفقد معناه إذا جرد من واحدة قياسه، فيجب أن يقرن كل ناتج قياس بواحدة قياسه، فنكتب ناتج القياس دوماً بالشكل :

$$X = n \cdot u \quad (2)$$

ينتج مما سبق أن نسبة مقدارين X_1 و X_2 من نوع واحد تساوي نسبة قياسهما بالواحدة ذاتها أي :

$$\frac{X_1}{X_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (3)$$

كما ينتج أيضاً أن نسبة قياس مقدار واحد X بواحدتي قياس مختلفتين، u_1 و u_2 تساوي مقلوب نسبة الواحدتين.

$$X = n_1 \cdot u_1 \quad \text{و} \quad X = n_2 \cdot u_2$$

فيكون :

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{u_2}{u_1}$$

وبعبارة أخرى، إذا كبرنا واحدة القياس P مرة، صغر ناتج القياس P مرة، وإذا صغّرنا واحدة القياس P مرة كبر ناتج القياس P مرة أيضاً .

٢- تصنيف المقادير القابلة للقياس:

إن أنواع المقادير الفيزيائية القابلة للقياس عديدة، وقد أدت دراستها إلى وجوب التمييز بين أصناف ثلاثة:

أ- المقادير القابلة للجمع:

وهي المقادير التي تحقق الشرطين أي التساوي بين مقدارين من نوعه وحاصل جمعهما.

ومن الأمثلة على هذه المقادير: الطول والكتلة والزمن والحجم والقوة والسرعة والعمل والقدرة وكمية الكهرباء... إلخ. ويبرهن عندئذ أن مجموع عدة مقادير من نوع واحد يتمتع بخواص التبديل والتجميع والتوزيع.

ب- المقادير غير قابلة للجمع:

وهي المقادير القابلة للتعيين فهي تحقق فقط الشرط الأول أي التساوي بين مقدارين من نوعه، ولا تحقق الشرط الثاني أي حاصل جمعهما.

ومن الأمثلة على هذه المقادير: درجة الحرارة والكتلة الحجمية وعامل التمدد الحراري وقرينة الانكسار... إلخ.

ج- المقادير وحيدة العين:

وهذه المقادير ترد مرة واحدة في الفيزياء المعروفة وهي الثوابت الكونية أو الثوابت البعدية. وتكون هذه المقادير ثابتة غير قابلة للتزايد والتناقص عن قيمتها الفريدة الثابتة.

ومن الأمثلة على هذه المقادير: ثابت التجاذب الكوني، وثابت بلانك، وثابت الغازات المثالية، وعدد أفوكادرو، وسرعة الضوء في الخلاء... إلخ.

ثانياً- المقدار الفيزيائي غير القابل للقياس:

هناك أنواع من المقادير لا يمكن تعريفها على وجه كافٍ من حيث تحديد صفتها تحديداً كمياً. فإذا نسبت إليها قيم عددية تكون هذه القيم من قبيل مقارنة المقدار

بمقدار آخر من نوعه من حيث أيهما أشدَّ حَمَلًا لصفة المقدار. ولا تكون ثَمَّة وسيلة لتعريف نسبة مقدارين من نوع واحد.

ومن الأمثلة على هذه المقادير غير القابلة للقياس: هي قساوة المواد الصلبة، فتقدر وفق سلم موس Mohs الذي يستخدمه العاملون في علم المعادن. وقد بني هذا السلم بالاستناد إلى عشرة معادن معينة، تتدرج في قساوتها بحيث أن كل معدن يَحْزُ الأَدْنَى منه قساوة، ويَحْزُهُ الأشد منه قساوة. وتنسب لها أرقام من 10 إلى 1. فتقارن سائر المعادن الأخرى بهذا السلم.

كما تقدر القساوة لدى العاملين في علم المعادن بأثر الضغط لجسم قاسٍ معيّن (كرة) في المادة المدروسة.

٣- وحدات القياس وجملها:

تربط القوانين الفيزيائية بين المقادير المختلفة القابلة للقياس، ولذا يجب اختيار واحدة للقياس لكل مقدار، لذلك نميز في الفيزياء بين الوحدات الأساسية والوحدات المتممة والوحدات المشتقة.

فبعد تحديد الوحدات الأساسية والمتممة، تعرّف كل واحدة مشتقة بعلاقة تربطها بالوحدات الأساسية والمتممة، وبما سبق تعريفه من الوحدات المشتقة.

تؤلف مجموعة الوحدات المعرفة المرتبط بعضها ببعض بعلاقات التعريف وجملة الوحدات. وأهم جملة من الوحدات في أيامنا وأعظمها فائدة هي الجملة الدولية للوحدات (S.I.) التي أقرت عام ١٩٦٠م وصار استخدامها إلزامياً منذ ذلك التاريخ.

ومن خصائص هذه الجملة أنها جملة متجانسة، أي أن جداء أو نسبة أية واحدتين منها تكون واحدة أخرى من الجملة. وأنها جملة مؤتلفة، أي أن معادلات الكهرباء والمغناطيسية تأتلف بها دون تعقيد حسابي.

١- الجملة الدولية (S.I.):

فيما يلي جدول بوحدات الجملة الدولية:

١- الواحدات الأساسية

المقدار	واحدة القياس	الرمز المختصر
١- الطول	المتر	m م
٢- الكتلة	الكيلو غرام	kg كغ
٣- الزمن	الثانية	s ثا
٤- شدة التيار	الأمبير	A أ
٥- درجة الحرارة الترموديناميكية	درجة كلفن	K ك
٦- شدة الضوء	الشمعة	cd ش
٧- كمية المادة	المول	mol مل

ب- الواحدتان المتمماتان

المقدار	واحدة القياس	الرمز المختصر
١- الزاوية المسطحة	الراديان	rad رد
٢- الزاوية المجسمة	الستيراديان	sr سرد

ج- أهم الواحدات المشتقة

المقدار	واحدة القياس	الرمز المختصر
١- المساحة	المتر المربع	m ² م ^٢
٢- الحجم	المتر المكعب	m ³ م ^٣
٣- التواتر	الهرتز	Hz هز
٤- الكتلة النوعية	الكيلو غرام للمتر المكعب	kg/m ³ كغ/م ^٣
٥- السرعة	المتر في الثانية	m/s م/ثا
٦- السرعة الزاوية	الراديان في الثانية	rad/s رد/ثا
٧- التسارع	المتر في مربع الثانية	m/s ² م/ثا ^٢
٨- التسارع الزاوي	الراديان في مربع الثانية	rad/s ² رد/ثا ^٢

N	ن	النيوتن	٩- القوة
N/m ²	ن/م ^٢	النيوتن على المتر المربع (باسكال)	١٠- الضغط
N.s/m ²	ن.ثا/م ^٢	النيوتن × ثانية على متر مربع	١١- اللزوجة الديناميكية
m ² /s	م ^٢ /ثا	المتر المربع في الثانية	١٢- اللزوجة الحركية
J	ج	الجول	١٣- العمل، القدرة
w	واط	الواط	١٤- الاستطاعة
c	ك	الكولون	١٥- كمية الكهرباء
V	ف	الفولط	١٦- فرق الكمون، القوة المحركة
V/m	ف/م	الفولط على المتر	١٧- شدة الحقل الكهربائي
Ω	أوم	الأوم	١٨- المقاومة الكهربائية
F	فا	الفاراد	١٩- السعة الكهربائية
wb	و	الويبر	٢٠- تدفق التحريض المغنطيسي
H	هـ	الهنري	٢١- عامل التحريض المغنطيسي
T	ت (و/م ^٢)	التسلا (ويبر/م ^٢)	٢٢- التحريض المغنطيسي
A.turn/m	أ×لفة/م	الأمبير × لفة على متر	٢٣- شدة الحقل المغنطيسي
A.turn	أ×لفة	الأمبير × لفة	٢٤- القوة المحركة المغنطيسية
Lm		اللومن	٢٥- التدفق الضوئي
cd/ m ² (nt)	ش/م ^٢	الشمعة على المتر المربع (نيت)	٢٦- اللمعان
Lx	لك	اللوكس	٢٧- الإضاءة

يبد أن بعض الواحدات من الجمل الأخرى ما تزال شائعة الاستخدام بين الناس وفي الكتب أحياناً. نذكر منها الجملة السغثية.

٢- الجملة السغثية (C.G.S):

بعض وحدات الجملة السغثية:

التعادل بين الجملتين

المقدار	واحدة القياس	الرمز المختصر	الدولية والسغثية
١- الطول	السنتمتر	cm	م = 10^2 سم
٢- الكتلة	الغرام	g	كغ = 10^3 غ
٣- الزمن	الثانية	s	ثانية = ثا
٤- المساحة	السنتمتر المربع	Cm ²	م ² = 10^4 سم ²
٥- الحجم	السنتمتر المكعب	Cm ³	م ³ = 10^6 سم ³
٦- السرعة	السنتمتر في الثانية	Cm/s	م/ثا = 10^2 سم/ثا
٧- التسارع	السنتمتر في مربع الثانية	Cm/s ²	م/ثا ² = 10^2 سم/ثا ²
٨- القوة	الدينة	dyne	ن = 10^5 دينة
٩- العمل	الارغة	erg	ج = 10^7 ارغة
١٠- الاستطاعة	الارغة في الثانية	erg/s	ج/ثا = 10^7 ارغة/ثا
١١- الضغط	باري	barye	ن/م ² = 10 باري
١٢- تدفق التحريض	مكسويل	Maxwell	و = 10^8 مكسويل
١٣- التحريض المغنطيسي	غاوص	Gauss	و/م ² = 10^4 غاوص

٤- أضعاف الوحدات الأصلية وأجزاؤها:

إن رموز وحدات القياس التي أثبتناها هي الرموز المختصرة الوحيدة الجائز استعمالها. فإذا أريد استعمال الرمز المختصر بدلاً من كتابة اسم الوحدة بالكامل، لا بد من استخدام هذا الرمز دون سواه، وذلك منعاً للالتباس.

وإذا لزم التعبير عن أضعاف الوحدة الأصلية أو عن أجزائها، فيسبق اسم الوحدة بسابقة تفيد إحدى قوى العشرة الموجبة أو السالبة، حسب الحاجة.

وفيما يلي ثبت بقوى العشرة الشهيرة المجاز استعمالها مع رموزها الإلزامية:

القيمة	الرمز	الاسم
10^{18}	E إك	exa اكزا
10^{15}	Pe بي	Peta بيتا
10^{12}	T ت	tera تيرا
10^9	G جـ	giga جيغا
10^6	M مغـ	mega ميغا
10^3	k كـ	kilo كيلو
10^2	h هـ	hecto هكتو
10	da دا	deca ديكـا
10^{-1}	d دـ	deci ديسي
10^{-2}	c سـ	centi سنتي
10^{-3}	m مـ	milli ملي
10^{-6}	μ مي	micro مكرو
10^{-9}	n نا	nano نانو
10^{-12}	p بـ	pico بيكو
10^{-15}	a فـ	femto فيمتو
10^{-18}	a آـ	atto آتو

فنقول مثلاً:

جيغا متر 10^9 متراً أي
وميكرومتر 10^{-6} متراً أي

ونانو أمبير	أي	10^{-9} أمبيراً
وبيكو فاراد	أي	10^{-12} فاراداً... إلخ.
ومن خارج الجملة الدولية يقال أيضاً:		
كيلو طن	أي	10^3 طناً

ويكون الرمز المختصر للمليمتر هو ((مم)) وللكيلو متر هو ((كم)) وهكذا.

٥- تصنيف القياسات:

تدعونا الحاجة إلى التمييز بين نوعي القياس التاليين:

أ- القياس المباشر:

وهو الذي يجري بأدوات القياس ويقرأ ناتجه مباشرة، كقياس الطول، وقياس الكتلة، وقياس الزمن، وقياس شدة التيار.

ب- القياس غير المباشر:

وهو الذي يحصل بالحساب من علاقة بين عدة مقادير، بعد إجراء القياس المباشر عليها، كقياس المساحة أو الحجم بمعرفة الأبعاد، وقياس كمية الكهرباء بمعرفة شدة التيار والزمن، وقياس السرعة بمعرفة المسافة والزمن، وقياس القدرة الحركية بمعرفة السرعة والكتلة،... إلخ.

* * *

٣- الارتياح في القياس

نطلق كملية ارتياح على الجزء المشكوك بصحته من ناتج القياس. وقد كنا نطلق عليه في السابق كلمة ((خطأ)) بيد أننا لا نستحسن هذه الكلمة الأخيرة في هذا المعنى لأن المقصود هو الجزء من المقدار المقيس الذي يشوبه ريب في صحته، وليس هو خطأ معين وقع فعلاً، ولو كنا نعرف أنه خطأ وقع لأمكن تصويبه ونفيه، كما سنرى في صدد بعض الفئات من الأخطاء التي يصح فيها هذا الاسم، كأخطاء السهو والأخطاء النظامية.

يسمى الارتياح موجباً (أو بالزيادة) إذا كانت القيمة التقريبية أكبر من القيمة الحقيقية للمقدار المقيس. ويسمى الارتياح سالباً (أو بالنقص) إذا كانت القيمة التقريبية للمقدار المقيس أصغر من قيمته الحقيقية.

وإذا استبعدنا أخطاء السهو أو الأغلاط مثل: استخدام وحدات غير متجانسة في القانون الواحد، وأخطاء القراءة والتسجيل، وأخطاء الحساب، التي ينبغي على المجرّب أن يحرص على اجتنابها، فيمكن تصنيف الارتياحات الأخرى التي تصادفنا في الفيزياء العملية في صنفين رئيسيين هما:

١- الارتياح النظامي والخطأ النظامي:

ويتميز بكونه ذا اتجاه معين دوماً، كأن تعطي أداة القياس قيمة أكبر من القيمة الحقيقية دوماً، أو قيمة أصغر منها دوماً، لأنه لا يوجد قياس صحيح مئة بالمئة ويحول دون الحصول على مثل هذا القياس أمور يرجع بعضها إلى عنصر الجهاز أو أداة القياس، وبعضها الآخر إلى العنصر الشخصي أي المجرّب الذي يجري القياس، وقد يعود بعضها الآخر إلى الوسط الخارجي الذي يتم فيه القياس.

ويمكننا تصنيف هذه الارتياحات أو الأخطاء التي يجب على المجرّب الناجح أن يتجنب الوقوع فيها إلى ثلاثة عناصر رئيسية هي:

١- عنصر الجهاز:

فقد يكون مصدر الارتياب تدريجاً خاطئاً للجهاز أو خطأ في صفه. ومن الأمثلة على ذلك أن يستعمل المجرب بعض الأجهزة كمقياس فولط أو مقياس أمبير دون ضبط مؤشره على الصفر قبل استعماله، أو يستعمل مقياساً للأطوال مجهزاً بورنية دون أن يصحح قراءاته في حالة عدم انطباق صفر المسطرة على صفر الورنية، أو يستعمل أجهزة دقيقة يتطلب العمل عليها إعادة ضبطها أو معايرتها من وقت إلى آخر.

وقد يتعذر إعادة ضبط بعض الأجهزة لكثرة استعمالها. ومع ذلك فالمجرب الناجح يمكن أن يستمر باستخدام جهاز كهذا ويعالج الفرق على أنه خطأ نظامي يضيفه أو يطرحه من قراءاته على الجهاز، كما في المثال التالي:

إذا فرضنا أن صفر الورنية في أداة لقياس الأطوال ينزاح عن صفر المسطرة بمقدار 0.3 mm بالزيادة، فإذا قرأنا على هذه الأداة القراءة 1.5 mm ، وجب تصحيح القراءة بسبب خطأ الصفر، فتصبح النتيجة:

$$1.5 - 0.3 = 1.2 \text{ mm}$$

كما على المجرب أن يختار الجهاز أو الأداة المناسبة ذات الحساسية العالية للقياس الدقيق المطلوب فلا يصح مثلاً اختيار المسطرة لقياس قطر سلك دقيق لا يتجاوز قطره أدنى من أصغر تقسيمة على المسطرة.

وكذلك استعمال مقياس حرارة مدرج بالدرجات لقياس أجزاء الدرجات، فإنه لا يستجيب لتغيرات أجزاء درجة الحرارة من قيمة 0.01 من الدرجة. كما نشير إلى أن استخدام الميزان العادي قد لا يؤدي إضافة وزنة صغيرة إلى اختلال وضعه توازنه بسبب الاحتكاك وقلة حساسيته.

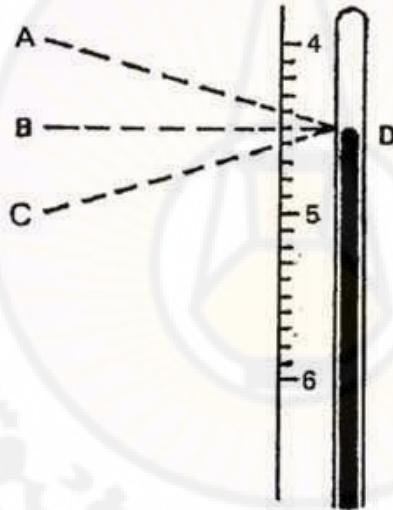
٢- العنصر الشخصي:

ويعود إلى عوامل ذاتية تنتاب المجرب كأن يميل مثلاً إلى اعتبار نتائج قياساته الأولى التي أجراها على أنها هي الصحيحة، وينظر بارتياح إلى قياساته اللاحقة

المختلفة عن الأولى، وبخاصة إذا كان المطلوب إعادة القياس، فهو يسعى إلى تعديل نتائجه اللاحقة لتتلاءم مع النتائج التي سبقتها.

وقد يعود هذا العنصر إلى تعب المجرّب نفسه، أو إلى اختلاف القراءة بسبب موضع عينه غير الصحيح بالنسبة إلى سلم القراءة، كأن ينظر بصورة مائلة إلى تدريج مسطرة شاقولية أو مؤشر الجهاز أو من أعلى أو من أسفل.

وكمثال على ذلك إذا أردنا أن نقرأ موضع سوية الزئبق في أنبوب قرب مسطرة مدرجة كما في الشكل (1)، وجب أن يكون خط النظر عمودياً على المسطرة المدرجة.



الشكل (١) : خطأ القراءة بالمائل

فإذا نظرنا باتجاه الخط AD من الأعلى نقرأ 4.4، وإذا نظرنا باتجاه الخط CD من الأسفل فإننا نقرأ 4.6، والقراءة الصحيحة هي وفقاً للخط BD المستقيم والعمودي على المسطرة المدرجة وتساوي 4.5.

كما تنشأ أخطاء بسبب عدم ضبط أداة القياس قبل استخدامها ولسوء تقدير أجزاء التقسيمات الرئيسية على أداة القياس واختلاف القراءة بسبب الموضع Parallax.

فالبعد الظاهري بين جسمين يعتمد على موضع العين بالنسبة لهما. فقد يبدو جسمان وكأنهما على خط واحد إذا نظر إليهما بعين واحدة وهما ليس كذلك عندما ينظر إليهما بالعين الأخرى أو عندما نحرك الرأس إلى أحد الجانبين. نسمي هذا التغيير في الموضع الناشئ عن الحركة الجانبية للعين باسم Perallax أي اختلاف القراءة بسبب الموضع.

يمكننا التقليل من الارتياح في القراءة بسبب الموضع بتقريب المسافة بين المسطرة المدرجة والمقدار المقيس كأن توضع بجواره مباشرة. كالمسطرة في مقياس الحرارة العشري المدرج بأجزاء الدرجة (0.1 من الدرجة) الملاصقة لعمود الزئبق.

٣- العنصر الخارجي:

وهو يعود إلى ظروف خارجية كالرياح، ودرجة الحرارة، والرطوبة والاهتزاز. وكمثال على ذلك نذكر تمدد سلم القياس بفعل درجة الحرارة مما يؤدي إلى قراءات أقل من الحقيقة. فإذا حاولنا قراءة جهاز يتأثر بالرياح في العراء فإنه يتعذر أخذ قراءة دقيقة.

ويمكننا الإقلال من الارتياح بالتحكم بدرجة الحرارة والرطوبة والاهتزاز والرياح قدر الإمكان. وقد يتعذر أحياناً ضبط هذه العوامل ضبطاً كاملاً.

ملاحظة:

ويمكن تجنب صنف الارتياح النظامي والخطأ النظامي بالتأكد من سلامة الجهاز قبل استعماله وتجنب العوامل الذاتية والخارجية أثناء القياس.

هذا ومتى اكتشف مصدر الارتياح النظامي وقدره، أمكن اعتباره خطأ قد وقع، وقد يتكرر وقوعه، وخرج عن صفته ارتياباً.

وإذا تعذر تجنب وقوع الخطأ النظامي، من جراء بنية أداة القياس أو لأسباب أخرى، وجب تقدير هذا الخطأ عددياً وتصحيح ناتج القياس وفقه.

٢- الارتياح الطارئ:

وهو ارتياح لا يمكن حصره بسبب معين إذ ينشأ شيء منه نتيجة متغيرات عديدة تدخل بنحو ما في توليد الارتياح الكلي. ونذكر من عناصره الارتياح في الجهاز، وارتياح المجرب والارتياح من جراء تغير الظروف الخارجية. والارتياح الناتج عن طبيعة المقدار المقيس.

ونظراً لتعدد هذه العوامل وتغيرها، فإننا نعتبر أن احتمال حدوث ارتياح موجب في القياس كاحتمال حدوث ارتياح سالب فيه.

ويمكننا عادة الإقلال من مقدار الارتياح الطارئ بتكرار القياس عدداً من المرات، وعندها لا نجد نتيجة واحدة ثابتة للقياس، بل نتائج تتأرجح حول قيمة وسطية معينة يقل فيها الارتياح الطارئ الكلي.

* * *

٤- التقريب في الحساب وقواعده

١- مفهوم الرقم الموثوق والرقم المعنوي:

ليس ثمة قياس فيزيائي يخلو من الارتياح، مهما كان دقيقاً. وإن مدى إتقان الجهاز المستخدم في القياس وكفاءة المجرب يحددان مدى جودة القياس وقرب النتيجة من الحقيقة. فحتى لو استخدمنا أدق الأجهزة وطلبنا من أاهر المجربين إجراء القياس فإن تقدير أجزاء التقسيمات يُدخل الرّيب إلى قراءتنا أو إلى دلالة الجهاز.

تتطلب قياسات المقادير الفيزيائية بوجه عام كالطول والكتلة والزمن، قراءة سلم أو تدريج معين. وهناك طبعاً حد من الصغر لا يمكن تجاوزه نظراً لسماك خطوط التدريج، إذ أن هذه الخطوط لا يمكن أن تكون ذات سمك معدوم. فنحن إذن لا بد أن نواجه في كل سلم قياس مرتبة عددية معينة لا نستطيع تحديد الرقم الدال على ناتج القياس فيها تحديداً موثقاً، فنقدره تقديراً، وهذه المرتبة هي المرتبة المشكوك فيها، والرقم الواقع فيها يكون مشبوهاً بشيء من الارتياح فيه.

وبديهياً أن جميع الأرقام في العدد الدال على ناتج القياس هي أرقام موثوقة، ما عدا الرقم الأخير وهو المشبوه. ونسعى جهدنا لأن يكون الارتياح في الرقم المشبوه لا يتعدى الواحد من مرتبته، وفي هذه الحالة يمكن عدم ذكر الارتياح في ناتج القياس. أما إذا تجاوز الارتياح الواحد فيجب ذكر الارتياح بعد ذكر الناتج.

ونسمي جميع الأرقام في العدد الدال على ناتج القياس (أي الأرقام الموثوقة والرقم المشبوه) أرقاماً معنوية، باستثناء الأصفار الواقعة إلى يسار هذا العدد.

ففي العدد 3100 أربعة أرقام معنوية، وفي العدد 31.0 ثلاثة أرقام معنوية، وفي العدد 3.1×10^3 رقمان معنويان وفي العدد 0.031 رقمان معنويان أيضاً. ونشير إلى أن تغيير موضع الفاصلة بسبب تحويل الواحدات مثلاً لا يغير من عدد الأرقام المعنوية في ناتج القياس، فنكتب مثلاً:

$$3.06 \text{ متراً} = 306 \text{ سنتمتراً} = 0.00306 \text{ كيلو متراً}$$

وفي جميع هذه الأشكال الثلاثة أرقام معنوية هي 6 و 0 و 3.

ملاحظة ١:

قد نصادف في بعض الحالات علاقات تحوي أعداداً ثابتةً مثل 2 أو عامل تحويل مثل 60 ثانية لكل دقيقة.

ولما كانت هذه الأعداد ليست نواتج قياس فإنها تعتبر أعداداً موثوقة تماماً، ويمكن لحاجات الحساب التقريبي افتراض وجود أصفار بعد الفاصلة العشرية فيها بقدر ما نحتاج من المراتب العشرية. مثال ذلك 2 في محيط الدائرة $2\pi r$.

ملاحظة ٢:

ترد في القوانين الفيزيائية ثوابت عددية مثل π و e (أساس اللغاريتمات الطبيعية)، أو ثوابت فيزيائية مثل g (تسارع الثقالة الأرضية في مكان معين). وهي تعطى في مراجع الثوابت بعدد كبير من الأرقام المعنوية. فيمكن أن يؤخذ كقيمة تقريبية لأحد هذه الثوابت عدد كافٍ من الأرقام المعنوية بحيث يكون الارتياب فيه مهملاً إزاء الارتياحات في باقي المقادير الواردة في القانون.

٢- قواعد تقريب الأعداد:

قد نحتاج إلى الاستغناء عن بعض الأرقام الدالة على المراتب الصغيرة في ناتج القياس عند إجراء الحسابات. نسمي هذه العملية بعملية تقريب العدد الممثل للقياس، وهي كناية عن الإبقاء على بعض المراتب العشرية وإهمال ما يليها إلى اليمين سواء أكان قبل الفاصلة أو بعدها. لهذه الغاية نبدأ بتحديد المرتبة التي نريد التقريب إليها، ثم نطبق القواعد التالية:

القاعدة الأولى:

إذا كان أول رقم إلى يمين المرتبة التي يراد التقريب إليها أصغر من خمسة، يهمل مع كل ما يليه إلى اليمين:

$$87.249 \approx 87.2$$

التقريب لجزء عشري

$$14213 \approx 14200$$

التقريب لمرتبة المئات

القاعدة الثانية:

إذا كان أول رقم إلى يمين المرتبة التي يراد التقريب إليها أكبر من خمسة، أو خمسة متبوعة برقم أو عدة أرقام ليست جميعها أصفاراً، يضاف واحد إلى الرقم الذي يقع في المرتبة المذكورة، وتهمل كل الأرقام الواقعة إلى يمينه.
أمثلة:

$$6.8367 \approx 6.84 \quad \text{لجزء مئوي}$$

$$36.2503 \approx 36.3 \quad \text{لجزء عشري}$$

$$67263 \approx 67300 \quad \text{لمرتبة المئات}$$

$$12520 \approx 13000 \quad \text{لمرتبة الألوف}$$

القاعدة الثالثة:

إذا كان أول رقم إلى يمين المرتبة التي يراد التقريب إليها هو خمسة غير متبوعة بأرقام أخرى، يقرب العدد إلى أقرب عدد زوجي، ويعني هذا الاحتفاظ بآخر رقم يسبق الخمسة إن كان زوجياً، أو إضافة واحد إليه إن كان فردياً.
أمثلة:

$$43.25 \approx 43.2 \quad \text{لجزء عشري}$$

$$64.35 \approx 64.4 \quad \text{لجزء عشري}$$

$$1245.5 \approx 1246 \quad \text{لمرتبة الآحاد}$$

$$1415 \approx 1420 \quad \text{لمرتبة العشرات}$$

أما إذا كانت الأعداد التي نرغب في تقريبها أعداداً صحيحة، فنطبق القواعد السابقة مع ضرب العدد المقرب بعشرة مرفوعة إلى أس يساوي عدد الأرقام المثلثة للمراتب المهملة، أي يحتوي العدد على رقم صحيح واحد.
أمثلة:

العدد	التقريب	العدد مضروب لقوى العشرة
14213	14200	1.42×10^4
67263	67300	6.73×10^4
12250	13000	1.3×10^4
1245.5	1246	1.246×10^3
1415	1420	1.42×10^3

٣- تقريب الأعداد عند إجراء العمليات الحسابية:

إن إجراء أية عملية حسابية على الأعداد التقريبية، كنتائج القياس مثلاً، يعطي جواباً مقرباً. لننظر مثلاً في مساحة مستطيل قسنا ضلعيه فوجدناهما 10.77 سم و 3.55 سم. إن الرقمين 7 و 5 في أقصى اليمين من العددين هما رقمان مشبوهان. ولتمييزهما عن غيرهما من الأرقام في مثالنا هذا، نكتبهما ضمن قوسين بقصد التوضيح، ونكتب ناتج القياس بالشكل: (7)10.7 سم و (5)3.5 سم.

لنجر الآن عملية ضرب اللازمة لحساب المساحة متذكرين أن أية عملية نجرها على رقم مشبوه تعطي أرقاماً مشبوهة فنجد:

$$\begin{array}{r}
 \begin{array}{cccc}
 & & & (5) \\
 & & (8) & (3) \\
 & (5) & 8 & 3 \\
 3 & 2 & 3 & (1)
 \end{array} \\
 \hline
 \begin{array}{cccc}
 & & & (5) \\
 & & (3) & (2) \\
 3 & 8 & &
 \end{array}
 \end{array}$$

ولما كان التعبير السليم عند ناتج القياس هو أن يُحتفظ بالأرقام الموثوقة مع رقم مشبوه واحد فقط، فإننا نكتب النتيجة السابقة بالشكل 38.2 سم^٢، وهي تتألف من ثلاثة أرقام معنوية. ويتضح من ذلك أن إهمال بعض الأرقام في ناتج الحساب لا يؤدي إلى ضياع في الدقة.

قواعد تقريب الأعداد عند إجراء العمليات الحسابية عليها :

يلاحظ الطالب في كل قواعد العمليات الواردة فيما يلي :
وجوب التقريب في مرحلتين : الأولى تقريب الأعداد المعطاة قبل إجراء العمليات ،
والثانية تقريب ناتج العملية .
ويتم هذا التقريب في كل الحالات وفق القواعد الثلاث السابقة .

١- حالة الجمع والطرح :

تقرب الأعداد المعطاة قبل إجراء العملية إلى المرتبة التي تلي في الصغر مرتبة أقل الأعداد أرقاماً عشرية . ثم يُجرى العمل ويقرب الجواب إلى مرتبة أقل الأعداد أرقاماً عشرية . أي أننا نحتفظ بعدد من الأرقام العشرية يساوي عددها في أقل الأعداد التقريبية أرقاماً عشرية .

$$77.3 + 5.758 + 0.56 = \text{مثال ١:}$$

إن أقل الأعداد أرقاماً عشرية هو 77.3 حيث أن الارتياح فيه هو من مرتبة الأعداد ، فنقرب الأعداد الأخرى لاحتوي على رقمين بعد الفاصلة كما يلي ثم نجمع :

$$77.3 + 5.76 + 0.56 = 83.62$$

وبتقريب الجواب وهو ناتج الجمع يكون : 83.6

مثال ٢ :

$$6.54 \times 10^4 + 3647 + 4.6 \times 10^2$$

نكتب المثال بعد إخراج 10^4 خارج قوس فنجد :

$$(6.54 + 0.3647 + 0.046) \times 10^4$$

إن أقل الأعداد أرقاماً عشرية هو 6.54 حيث الارتياح فيه من مرتبة المئات فنقرب الأعداد الأخرى إلى جزء من ألف ونكتب :

$$(6.54 + 0.365 + 0.046) \times 10^4 = 7.951 \times 10^4$$

نقرب الجواب إلى مرتبة أقل الأعداد أرقاماً عشرية أي إلى مرتبة المئات فنجد :

$$= 7.95 \times 10^4$$

٢- حالة الضرب والقسمة:

نعين أي العددين هو الأقل أرقاماً معنوية، ثم نقرب العدد الآخر إلى عدد من الأرقام المعنوية يزيد واحداً عن عددها في الأول. ونحتفظ في الجواب بعدد من الأرقام المعنوية يساوي عددها في أقل العددين التقريبيين المعطيين أرقاماً معنوية.

مثال ١:

$$3.5 \times 34.76 \approx$$

$$3.5 \times 34.8 = 121.8 \approx 1.2 \times 10^2$$

مثال ٢:

$$15.32 \div 0.36 \approx$$

$$15.3 \div 0.36 = 42.5 \approx 42$$

ملاحظة:

يكتفى عند إجراء عملية القسمة بعدد من الأرقام المعنوية يزيد واحداً عن عددها في أقل العددين المعطيين أرقاماً معنوية، ثم يقرب آخر رقم منها في حاصل قسمة الناتج.

٣- حالة الرفع إلى قوة:

يقرب الجواب إلى عدد من الأرقام المعنوية يساوي عددها في العدد المعطى.

مثال:

$$(4.5)^3 = 91.125 \approx 91$$

$$(3.15)^2 = 9.9225 \approx 9.92$$

٤- حالة الجذر التربيعي:

يكتفى في الجواب بعدد من الأرقام المعنوية يساوي عددها في العدد المجذور. ويتقضي هذا الاكتفاء استخراج الجذر بعدد من الأرقام المعنوية يزيد واحداً عن عددها في المجذور، ثم يقرب آخرها.

مثال ١:

$$\sqrt{27.8} = 5.27257 \approx 5.27$$

مثال ٢:

$$\sqrt{2.75} = 1.658312 \approx 1.66$$

هـ- حالة اللغريتم:

يؤخذ الجزء العشري من لغريتم العدد من الجداول الخاصة أو من الآلة الحاسبة، ثم يقرب الجواب إلى عدد من الأرقام المعنوية يساوي عددها في العدد المعطى.

مثال:

$$\log 4789 = 3.68025 \approx 3.680$$

* * *

جامعة دمشق
Damascus University

٥- قواعد حساب الارتياح

تختلف طريقة تقدير الارتياح الطارئ الكلي بحسب نوعي القياس مباشراً أو غير مباشر.

١- تقدير الارتياح الطارئ في القياس المباشر:

أ- القيمة الوسطية:

نفرض أن القياس المباشر لمقدار فيزيائي a أعطى النتائج التالية لدى تكراره n مرة:

$$a_1, a_2, \dots, a_n$$

نعرف القيمة الوسطية للمقدار المقيس a بأنها المقدار $\bar{a}$ المعطى بالعلاقة:

$$\bar{a} = \frac{1}{n}(a_1 + a_2 + \dots + a_n)$$

ونكتب باختصار:

$$\bar{a} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i$$

ب- الارتياح المطلق:

نعرف الارتياح المطلق التجريبي $|\Delta a_i|$ الواقع في إحدى نواتج القياس a_i بالعلاقة:

$$\Delta a = |\bar{a} - a_i|$$

كما نعرف الارتياح المطلق الوسطي في قياس a لمجموعة من التجارب التي عددها n بأنه المقدار:

$$\overline{\Delta a} = \frac{1}{n} [|\bar{a} - a_1| + |\bar{a} - a_2| + \dots + |\bar{a} - a_n|]$$

ونكتب باختصار:

$$\overline{\Delta a} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\bar{a} - a_i|$$

ويمثل Δa بالطبع وسطي الارتياحات المطلقة باعتبار أن القيمة الوسطية $\bar{a}$ هي أقرب القياسات إلى القيمة الحقيقية a .

وهذا حسب نظرية غاوس Gauss في تحديد الارتياحات الطارئة، وهي نظرية احتمالية واسعة ومتناسقة أيدت الوقائع التجريبية صحتها، ومما تقره هذه النظرية المبدأين التاليين:

١- كلما ازدادت قيمة الارتياح المطلق، قل احتمال وقوعه.

٢- الارتياحات المتساوية في القيمة المطلقة والمتعكسة في الإشارة لها نفس الاحتمال.

ونشير اعتماداً على المبدأ الأول: تكون الارتياحات الكبيرة في قيمتها قليلة الاحتمال في وقوعها، وتبقى الارتياحات الصغيرة. أما المبدأ الثاني: يفيد إذا كان عدد القياسات كبيراً جداً فإن احتمال ارتكاب الارتياح المطلق في جهة الزيادة يساوي احتمال ارتكابه في جهة النقصان وبالتالي:

فإن القيمة الوسطية $\bar{a}$ تسعى إلى القيمة الحقيقية a ، ويكون لدينا:

$$a \approx \bar{a}$$

ملاحظة هامة:

إذا أدت الطريقة المبينة في حساب الارتياح المطلق الوسطي إلى قيمة Δa أصغر من قيمة الارتياح المطلق في الجهاز المستخدم للقياس، وجب الاستعاضة عن Δa بالعدد المساوي إلى الارتياح المطلق في الجهاز المستخدم، والذي نبين كيفية استنتاجه في الفقرة التالية.

ونكتب اصطلاحاً نتيجة القياس بالشكل:

$$a = (\bar{a} \pm \Delta a) \text{ واحدة القياس}$$

حيث Δa هو الارتياح المطلق الوسطي Δa أو الارتياح المطلق في الجهاز، أيهما أكبر.

وحسب تعريف القيمة المطلقة يمكن أن نكتب العلاقة السابقة بالشكل:

$$\bar{a} - \Delta a \leq a \leq \bar{a} + \Delta a$$

وهذا يعني أن القيمة الحقيقية للمقدار الفيزيائي المقيس محصورة في المجال:

$$\bar{a} + \Delta a \quad \text{و} \quad \bar{a} - \Delta a$$

ج- تقدير الارتياح المطلق في أجهزة القياس:

١- ارتياح القراءة وارتياح الحساسية:

إن سلم التدرج في أي جهاز للقياس محدود الدقة عند مرتبة معينة بسبب تجزئة التقسيمات وبحكم استطاعة التمييز في عين القارئ.

بيد أن دقة سلم التدرج محدودة أيضاً بحكم صنع الجهاز ذاته، تبعاً لمدى حساسيته للظاهرة الفيزيائية التي تؤثر فيه. وهذا هو العامل الحاسم في تحديد دقة الجهاز، أو أن قراءة التدرجات أو أجزائها الدقيقة هو أمر يمكن التصرف به إلى حدٍ بعيدٍ بوسائل تضخيم حركة المؤشر بالطرائق الضوئية، بيد أنه يتعذر تغيير حساسية الجهاز للظاهرة المؤثرة فيه إلا بتصميم جهاز آخر.

٢- تعريف حساسية الجهاز:

تعرف حساسية جهاز القياس δ بأنها نسبة تغير قراءته ΔL إلى تغير مقداره

$$\delta = \frac{\Delta L}{\Delta X} \quad \text{في المقدار المقيس أي:}$$

وتعرف الحساسية عملياً، أنها مقدار تغير القراءة الذي يحدثه تغير يساوي واحدة قياس صحيحة في المقدار المقيس.

مثال ١:

إذا تحرك مؤشر مقياس الأمبير 5 درجات زاوية (أو انحراف 5 مليمترات على طول السلم) من أجل تغير يساوي أمبيراً واحداً في شدة التيار، تكون حساسيته 5 درجات لكل أمبير (و 5 مليمترات لكل أمبير).

مثال ٢:

إذا كان تمدد الكحول داخل مقياس الحرارة 2 ملليمتر لكل درجة مئوية واحدة، كانت حساسيته هي 2 ملليمتر لكل درجة.

مثال ٣:

إذا تحركت إبرة (أو مؤشر) الميزان الحساس 4 ملليمتر على طول سلمه (أو درجات زاوية) لكل غرام واحد من المادة الموزونة كانت حساسيته هي 4 ملليمتر لكل غرام أو 4° لكل غرام.

تصنع أجهزة القياس عادةً بحيث يكون الارتياح المطلق الناشئ عن قراءتها أصغر من الارتياح المطلق الناشئ عن حساسية الجهاز للظاهرة المؤثر فيه، ويعتبر عدم تحقيق هذا الشرط عيباً في تصميم الجهاز.

٣- صنف الدقة – وتقدير الارتياح:

يوصف الارتياح المطلق في قراءات الجهاز، الناشئ عن حساسيته للظاهرة المؤثرة فيه بعدد يسمى صنف الدقة (رتبة الريب) يشاهد مكتوباً على ميناء الجهاز. فإذا كان صنف الدقة في أحد الأجهزة هي n ، وكانت قيمة كامل سلم القراءة L واحدة فإن الارتياح المطلق في القياس a يكون:

$$\Delta a = \frac{n}{100} \times L$$

وذلك في أي موضع من سلم القراءة.

مثال:

إذا كان صنف الدقة (رتبة الريب) لمقياس أمبير هي 1.5، وكان مجال سلم القراءة المنتخب هو 10 أمبير، فإن الارتياح المطلق Δa في كل قياس على هذا السلم يكون:

$$\Delta a = \frac{1.5}{100} \times 10 = 0.15 \text{ أمبيراً}$$

وإذا كان للجهاز أكثر من سلم قراءة واحد فإن الارتياح المطلق يختلف من سلم

لآخر. أما إذا لم نعثر على صنف الدقة (رتبة الارتياب) مكتوباً على ميناء الجهاز أو في نشرته الصادرة عن مصنعه، فنضطر إلى تقدير أصغر جزء من التقسيمة الواحدة قابل للتمييز بثقة كافية ونعتبره اتفاقاً على أنه الارتياب المطلق في القياس المباشر، وذلك تخميناً لا يقيناً. وقد يكون هذا الجزء عشر أصغر تقسيمة من سلم القراءة أو خُمسها، أو نصفها أو كلها أحياناً.

د- تقدير الارتياب في الجملة التجريبية:

ينبغي في كثير من التجارب اعتبار جهاز القياس جزءاً من الحملة التجريبية الشاملة التي تتأثر بالظاهرة الفيزيائية المدروسة. فلا يكفي تقدير الارتياب في جهاز القراءة على حده، بغية تقدير الارتياب الواقع في القياس المباشر، بل لا بد من تقدير مجال الارتياب في الجملة التجريبية كلها على أنها وحدة واحدة. حتى أنه ينبغي أحياناً ولا سيما في التجارب الضوئية، اعتبار عين المجرب جزءاً من هذه الجملة التجريبية.

من هذه التجارب تلك التي ينبغي فيها تعيين موضع التوازن الكهربائي (انعدام التيار أو فرق الكمون في مقياس صِفري)، أو موضع التوازن الميكانيكي (انعدام الاهتزاز المرئي أو المسموع أو المشاهد على راسم الاهتزاز) أو تعيين حالة التماس بين جسمين، أو موضع تشكل الخيال الضوئي الأوضح في الأجهزة الضوئية... إلخ.

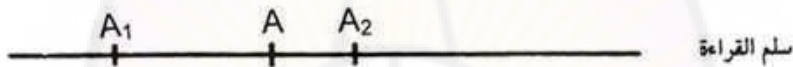
يكون القياس المباشر المطلوب في هذه التجارب هو تعيين موضع التوازن أو موضع تشكل الخيال الواضح منسوباً إلى سلم لقياس الأطوال. من البديهي في هذه الحالات أن الارتياب في القياس لا يكون ناشئاً عن السلم المستخدم لقياس الأطوال وحده، بل إنه ينشأ بوجه رئيسي عن عطالة الجملة التجريبية كلها إزاء الظاهرة الفيزيائية المؤثرة، ويضاف إليها أحياناً حساسية عين المجرب أو قدرة تمييزها.

ويمكن استخدام سلم مناسب لقياس الأطوال يكون الارتياب فيه مهماً إزاء الارتياب الناشئ عن عطالة الجملة التجريبية أو عين المجرب.

لتقدير الارتياب المطلق في القياس المباشر في هذه الحالات، نعلم إلى الطريقة التالية:

يُعين موضع التوازن أو الوضع المنشود، ويسجل القياس المباشر عنده مقروءاً على سلمه، وليكن هو العدد a الممثل بالنقطة A على محور القراءة في الشكل (2) المرفق.

ثم يُعمد إلى إنقاص المقدار الفيزيائي الذي يدرس تأثيره، رويداً رويداً وبأقل قدر ممكن كل مرة، حتى يحكم المجرّب بحواسه بأن التوازن قد انتقض (إبرة المقياس لم تُعدّ على موضع التوازن السابق، أو أن الصوت أو الحركة لم تعد معدومة)، أو بأن الخيال الضوئي الحاصل بدأ وضوحه ينقص ولم يعد أوضح خيال مشاهد... إلخ. فيسجل القياس المباشر عند ذلك مرة أخرى، وليكن a_1 الممثل بالنقطة A_1 .



الشكل (٢): تقدير الارتياب في الجملة التجريبية

إن تغيير المقدار الفيزيائي المؤثر ينبغي أن يكون قليلاً وهو على وجه الضبط أصغر تغيير يؤدي إلى ملاحظة بدء نقض التوازن أو إفساد وضوح الخيال، وهذا هو موضع القراءة الجديد المطلوب تسجيله.

ثم يُعمد إلى زيادة المقدار الفيزيائي المؤثر حتى يبدأ نقض التوازن أو إفساد وضوح الخيال الضوئي في الاتجاه الآخر، وتسجل القراءة مرة أخرى، ولتكن a_2 الممثلة بالنقطة A_2 .

ليس من الضروري قط أن يكون الموضع A منتصف القطعة A_1A_2 وذلك من جراء ما يشوب القياسات الثلاثة a و a_1 و a_2 من ارتيابات طارئة.

نعتبر كل نقطة من القطعة A_1A_2 هي قياس مقبول للمقدار الفيزيائي a ، وبالتالي إن الارتياب المطلق للعدد a هو نصف المجال A_1A_2 .

$$\Delta a = \frac{1}{2} |a_2 - a_1|$$

هـ- تقدير الارتياح المطلق في الثوابت الفيزيائية:

سبق التنويه بأن للثوابت الرياضية والفيزيائية ارتباطاً، وذلك لأن قيمها العددية هي نواتج قياس. ويجب أن يعطى كل ثابت مقروناً بالارتياح الواقع فيه. وقد اصطلح على أنه إذا كان الارتياح المطلق في الثابت لا يتعدى 1 في مرتبة آخر رقم من اليمين زيادة أو نقصاناً، فتعطى القيمة العددية للثابت بدون ذكر الارتياح المطلق صراحةً إلى جانبها.

مثال ١:

$$g = 980 \text{ cm/s}^2 \quad \text{إن إعطاء:}$$

$$g = (980 \pm 1) \text{ cm/s}^2 \quad \text{يعني:}$$

فإذا أعطي الطالب قيمة أي ثابت من هذا القبيل أمكنه تقدير الارتياح بنفسه.

مثال ٢:

$$e = 2.71828 \quad \text{إن إعطاء:}$$

$$e = (2.71828 \pm 0.00001) \quad \text{يعني:}$$

مثال ٣:

$$J = 4.182 \text{ جول/حريرة} \quad \text{إن إعطاء:}$$

$$J = (4.182 \pm 0.001) \text{ جول/حريرة} \quad \text{يعني:}$$

مثال ٤:

$$g = (980 \pm 2) \text{ cm/s}^2$$

$$g = (980 \pm 0.5) \text{ cm/s}^2$$

و- الارتياح النسبي:

مثال:

لنفرض أننا قسنا الطول L لجسم ما عدة مرات بأداة قياس هي المليمتر فوجدنا النتيجة

$$L = (2000 \pm 1) \text{ mm} \quad \text{النهائية التالية:}$$

إن الارتياح المطلق في قياس الطول هو $\Delta L = 1 \text{ mm}$ مقبول تماماً والقياس دقيق جداً.

أما إذا قسنا القطر d لقلم رصاص عدة مرات وبنفس أداة القياس، فوجدنا النتيجة النهائية التالية:

$$d = (3 \pm 1) \text{ mm}$$

إن الارتياح المطلق في قياس القطر هو $\Delta d = 1 \text{ mm}$ لكانت نتيجة القياس غير مرضية.

مع العلم أن الارتياح المطلق في القياسين واحد، إذن الارتياح المطلق لا يعطي فكرة عن صحة التجربة، لا بد من ارتياح جديد هو الارتياح النسبي.

- تعريف الارتياح النسبي:

$$r = \frac{\Delta a}{a}$$

نعرف الارتياح النسبي في المقدار a بأنه:

وهو كناية عن الارتياح المطلق الواقع في الواحدة من المقدار a ، وهو مقدار لا أبعاد له، وكثيراً ما يقدر الارتياح كنسبة مئوية حسب الصيغة التالية:

$$r\% = \frac{\Delta a}{a} \times 100 \%$$

وكثيراً ما يسمى الارتياح النسبي المئوي بدقة القياس أو الدقة المئوية للقياس.

- لنحسب الارتياح النسبي المئوي في قياس طول الجسم L :

$$r_L\% = \frac{1}{2000} \times 100\% = 0.05\%$$

فالقياس دقيق والتجربة مقبولة والمجرب جيد، وتعتبر كل تجربة مقبولة إذا كانت قيمة الارتياح النسبي المئوي فيها أقل من 5 % .

- أما الارتياح النسبي المئوي في قياس القطر d :

$$r_d\% = \frac{1}{3} \times 100\% = 33\%$$

فالقياس غير دقيق والتجربة غير مقبولة وتعتبر خطأ، رغم أن الارتياح المطلق في القياسين متساو. ومنها نحصل على النتيجة التالية:

- إن الارتياح المطلق لا يعطي فكرة عن صحة التجربة.

ز- ترتيب نتائج القياس المباشر :

ترتب عادة نتائج القياس المباشر للمقادير a و b ... ومقادير الارتياح المطلق في كل منها Δa و Δb ، في جدول كالتالي :

رقم التجربة	a_i	$ \Delta a_i $	b_i	$ \Delta b_i $
1	a_1	$ \Delta a_1 $	b_1	$ \Delta b_1 $
2	a_2	$ \Delta a_2 $	b_2	$ \Delta b_2 $
3	a_3	$ \Delta a_3 $	b_3	$ \Delta b_3 $
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
n	a_n	$ \Delta a_n $	b_n	$ \Delta b_n $
القيمة الوسطية	$\bar{a}$	$\overline{\Delta a}$	$\bar{b}$	$\overline{\Delta b}$
النتيجة النهائية	وحدة القياس $a = (\bar{a} \pm \Delta a)$		وحدة القياس $b = (\bar{b} \pm \Delta b)$	
الارتياح النسبي المئوي	$r\% = \frac{\Delta a}{\bar{a}} \times 100\% = \dots\%$		$r\% = \frac{\Delta b}{\bar{b}} \times 100\% = \dots\%$	

ملاحظة هامة:

بعد حساب القيمة العددية للارتياح المطلق Δa ، لا بد من تقريب هذا العدد بحيث لا يحتوي إلا على رقم معنوي واحد، وذلك لأن سائر المراتب الرقمية الأدنى من هذه المرتبة تكون غير موثوقة. وبالتالي تقرب القيمة الوسطية $\bar{a}$ إلى مثل مرتبة Δa .

مثال:

قسنا طول أسطوانة عدة مرات بالقدم القنوية العشرية، فوجدنا النتائج التالية التي نرتبها في الجدول مباشرة.

ملاحظة:

وجدنا بالحساب أن الارتياح المطلق الوسطي $\overline{\Delta L} = 0.02 \text{ cm}$ ولدى مقارنته مع ارتياح الجهاز (القدم القنوية العشرية) وهو 0.01 cm ، رأينا أن الأكبر منهما هو النتيجة 0.02 cm ، ولذلك وضعنا هذه القيمة في النتيجة النهائية على أنها تمثل

الارتياح المطلق ΔL . أما إذا وجدنا العكس، فنضع قيمة ارتياح الجهاز في النتيجة النهائية، فيكون الارتياح المطلق هو: $\Delta L = 0.01 \text{ cm}$.

الارتياح المطلق $\Delta L(\text{cm})$	الطول $L(\text{cm})$	رقم التجربة
0.03	14.22	1
0.00	14.25	2
0.01	14.24	3
0.03	14.28	4
0.01	14.26	5
0.01	14.24	6
0.03	14.22	7
0.03	14.28	8
0.02	14.25	القيمة الوسطية
$L = (14.25 \pm 0.02) \text{ cm}$		النتيجة النهائية
$r\% = \frac{0.02 \times 100}{14.25} \% = \frac{2}{14.25} \% = 0.1\%$		الارتياح النسبي المئوي

٢- تقدير الارتياح الطارئ في القياس غير المباشر:

يحسب الارتياح المطلق والارتياح النسبي في القياس غير المباشر بتطبيق قواعد التفاضل المعروفة في الرياضيات ومن ثم يستبدل برمز التفاضل d رمز الارتياح Δ ونميز حالتين:

أ- الحالة الأولى: حالة استقلال قياس المتحولات:

يكون فيها قياس المتحولات مستقلاً عن قياس المتحولات الأخرى، أي أن الارتياح المطلق في أحد المتحولات ليس له أي أثر على الارتياح المطلق في أي متحول آخر، أو أي ارتباط به.

١- حالة المجموع الجبري:

لنعرّف المقدار $X = a - b + c$ ولنفرض أننا حصلنا بالقياس المباشر على القيم الوسطية لحدوده $\bar{a}$, $\bar{b}$, $\bar{c}$ وعلى الارتياح المطلق لكل منها Δa , Δb , Δc فتكون القيمة الوسطية المقبولة للمقدار X هي:

$$\bar{X} = \bar{a} - \bar{b} + \bar{c}$$

ويكون الحد الأعلى للارتياح المطلق ΔX يعطى بالعلاقة:

$$\Delta X = \Delta a + \Delta b + \Delta c$$

أي أن الحد الأعلى للارتياح المطلق في المجموع الجبري يساوي المجموع الحسابي للارتياحات المطلقة لحدوده.

أما الارتياح النسبي فيكون:

$$r = \frac{\Delta X}{\bar{X}}$$

والارتياح النسبي المثوي فيعطى:

$$r\% = \frac{\Delta X}{\bar{X}} \times 100\%$$

٢- حالة لغريتم المقدار:

نفرض أن العلاقة: $y = \log x$ وأن $\bar{X}$ القيمة الوسطية للمقدار X وارتياحها المطلق

ΔX فيكون الارتياح المطلق للتابع y :

$$dy = d(\log X)$$

فنجد: $dy = \frac{dX}{X}$ فيكون:

$$\Delta y = \frac{\Delta X}{\bar{X}}$$

ويكون الارتياح النسبي:

$$r = \frac{\Delta y}{y} = \frac{\Delta X}{\bar{X} \cdot \log X}$$

٣- حالة الجداء:

ليكن المقدار $X = a \cdot b$ وقد حصلنا بالقياس المباشر على القيمة الوسطية لكل من المضروبين $\bar{a}$ ، $\bar{b}$ وعلى الارتياح المطلق لكل منهما Δa ، Δb فتكون القيمة الوسطية للمقدار X هي:

$$\bar{X} = \bar{a} \cdot \bar{b}$$

يمكننا حساب الارتياحين المطلق والنسبي بإحدى طريقتين:

١- طريقة التفاضل العادي: وبالتفاضل للمقدار X نجد: $dX = a \cdot db + b \cdot da$ ويعطى الحد الأعلى للارتياح المطلق ΔX بالعلاقة:

$$\Delta X = \bar{a} \cdot \Delta b + \bar{b} \cdot \Delta a$$

$$r = \frac{\Delta X}{\bar{X}}$$

ويكون الارتياح النسبي:

والارتياح النسبي المئوي:

$$r\% = \frac{\Delta X}{\bar{X}} \times 100 \%$$

٢- حالة التفاضل اللغريتمي: يؤخذ لغريتم طرفي العلاقة: $X = a \cdot b$

فنجد:

$$\log X = \log a + \log b$$

$$\frac{dX}{X} = \frac{da}{a} + \frac{db}{b}$$

وبالتفاضل ينتج:

ومنه نجد:

$$r = \frac{\Delta X}{\bar{X}} = \frac{\Delta a}{\bar{a}} + \frac{\Delta b}{\bar{b}}$$

- أي أن الارتياح النسبي في جداء عاملين يساوي مجموع الارتياحين النسبيين

فيهما.

- أما الارتياح المطلق فيحسب بالعلاقة :

$$\Delta X = r \cdot \bar{X}$$

إن تفضيل إحدى الطريقتين على الأخرى يتوقف على مدى سهولة الحسابات العددية المترتبة عليها. وترجح الطريقة الثانية قطعاً متى زاد عدد العوامل على اثنين.

ملاحظة:

يمكن تعميم هاتين الطريقتين :

أ - على جداء n عاملاً متماثلاً.

$$X = a^n$$

لدينا :

$$\frac{\Delta X}{X} = n \cdot \frac{\Delta a}{a}$$

فيكون :

ب - أو على جداء مقادير غير متماثلة :

$$X = a \cdot b \cdot \dots \cdot k$$

لدينا :

$$\frac{\Delta X}{X} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} + \dots + \frac{\Delta k}{k}$$

فيكون :

٤- حالة القسمة :

ليكن المقدار $X = \frac{a}{b}$ وقد حصلنا بالقياس المباشر على القيمة الوسطية للمقدارين

$\bar{a}$ ، $\bar{b}$ والارتياح المطلق لكل منهما Δa ، Δb وتكون القيمة الوسطية للمقدار X :

$$\bar{X} = \frac{\bar{a}}{\bar{b}}$$

أ- نطبق طريقة التفاضل العادي :

$$dX = \frac{da \cdot b - db \cdot a}{b^2}$$

وبالتفاضل للمقدار X نجد :

ويكون الارتياح المطلق:

$$\overline{\Delta X} = \frac{\overline{\Delta a} \cdot \overline{b} + \overline{\Delta b} \cdot \overline{a}}{b^2}$$

ويكون الارتياح النسبي:

$$r = \frac{\overline{\Delta X}}{\overline{X}} = \frac{\overline{\Delta a}}{\overline{a}} + \frac{\overline{\Delta b}}{\overline{b}}$$

ب- نطبق طريقة التفاضل اللغريتمي:

نأخذ لغريتم المقدار X فيكون: $\log X = \log a - \log b$

$$\frac{dX}{X} = \frac{da}{a} - \frac{db}{b}$$

ويعطى الحد الأعلى للارتياح النسبي في حاصل القسمة:

ويكون الارتياح المطلق:

$$r = \frac{\overline{\Delta X}}{\overline{X}} = \frac{\overline{\Delta a}}{\overline{a}} + \frac{\overline{\Delta b}}{\overline{b}}$$

$$\overline{\Delta X} = r \cdot \overline{X}$$

هـ- حالة التوابع المثلثية:

أ- حالة التابع الجيبي: ليكن التابع $y = \sin \theta$ بالتفاضل نجد:

$$dy = \cos \theta \cdot d\theta$$

ويكون الارتياح المطلق:

$$\overline{\Delta y} = |\cos \theta| \cdot \overline{\Delta \theta}$$

ومنه نجد الارتياح النسبي:

$$r = \frac{\overline{\Delta y}}{\overline{y}} = \frac{|\cos \theta|}{\sin \theta} \cdot \overline{\Delta \theta} = |\cotg \theta| \cdot \overline{\Delta \theta}$$

ب- حالة التابع جيب التمام: ليكن التابع: $y = \cos \theta$ بالتفاضل نجد:

$$dy = -\sin \theta \cdot d\theta$$

ويكون الارتفاع المطلق:

$$\overline{\Delta y} = |\sin \theta| \cdot \overline{\Delta \theta}$$

ويكون الارتفاع النسبي:

$$r = \frac{\overline{\Delta y}}{y} = \left| \frac{\sin \theta}{\cos \theta} \right| \cdot \overline{\Delta \theta} = |\operatorname{tng} \theta| \cdot \overline{\Delta \theta}$$

ج- حالة التابع الظل: ليكن التابع $y = \operatorname{tng} \theta$ بالتفاضل نجد:

$$dy = (1 + \operatorname{tng}^2 \theta) \cdot d\theta$$

ويكون الارتفاع المطلق:

$$\overline{\Delta y} = (1 + \operatorname{tng}^2 \theta) \cdot \overline{\Delta \theta}$$

ومنه نجد الارتفاع النسبي:

$$r = \frac{\overline{\Delta y}}{y} = \frac{1 + \operatorname{tng}^2 \theta}{\operatorname{tng} \theta} \cdot \overline{\Delta \theta}$$

٦- حالة التابع الأسّي: ليكن التابع: $y = e^{nx}$

فيكون بأخذ اللوغاريتم الطبيعي: $\ln y = n \cdot X$ وبالتفاضل نجد:

$$\frac{dy}{y} = n \cdot dX \quad \text{ويكون الارتفاع النسبي:}$$

$$r = \frac{\overline{\Delta y}}{y} = |n| \cdot \overline{\Delta X}$$

ويكون الارتفاع المطلق:

$$\overline{\Delta y} = |n| \cdot e^{nx} \cdot \overline{\Delta X}$$

بالتبديل نجد:

$$\overline{\Delta y} = |n| \cdot e^{nx} \cdot \overline{\Delta x}$$

٧ - حالة خليط من العمليات:

كثيراً ما ترد مقادير تحوي عمليات مختلطة وفي هذه الحالة ترجح قطعاً طريقة التفاضل اللغريتمي، فيحسب الارتياح النسبي أولاً، ومن ثم يحسب الارتياح المطلق ثانياً.

مثال (١):

$$X = \frac{(a+b).c^4}{3f} \quad \text{ليكن المقدار:}$$

حيث a, b, c, f مقادير يمكن قياسها مباشرة، وقيمتها الوسطية هي $\bar{a}, \bar{b}, \bar{c}, \bar{f}$

وارتياحاتها المطلقة هي: $\Delta a, \Delta b, \Delta c, \Delta f$ على الترتيب.

نأخذ لغريتم الطرفين:

$$\log X = \log (a + b) + 4. \log c - \log 3 - \log f$$

بالتفاضل نجد:

$$\frac{dX}{X} = \frac{da+db}{a+b} + 4. \frac{dc}{c} - \frac{df}{f}$$

فيكون الارتياح النسبي:

$$r = \frac{\Delta X}{\bar{X}} = \frac{\Delta a + \Delta b}{\bar{a} + \bar{b}} + 4. \frac{\Delta c}{\bar{c}} + \frac{\Delta f}{\bar{f}}$$

ومنه الارتياح المطلق:

$$\Delta X = r . \bar{X}$$

مثال (٢):

$$X = \frac{(a + b).c^3 . \sin^2 \theta}{4. \sqrt{e}} \quad \text{ليكن المقدار:}$$

حيث a, b, c, e, θ مقادير يمكن قياسها مباشرة وقيمتها الوسطية هي:

$\bar{a}, \bar{b}, \bar{c}, \bar{e}, \bar{\theta}$ وارتيحاتها المطلقة هي: $\Delta a, \Delta b, \Delta c, \Delta e, \Delta \theta$ على

الترتيب.

نأخذ للغريتم الطرفين فنجد:

$$\log X = \log (a + b) + 3 \log c + 2 \log \sin \theta - \log 4 - 1/2 \log e$$

يؤخذ تفاضل هذه العلاقة مع ملاحظة تفاضل العدد 4 هو الصفر فيكون:

$$\frac{dX}{X} = \frac{d(a+b)}{a+b} + 3 \frac{dc}{c} + 2 \frac{\cos \theta \cdot d\theta}{\sin \theta} - \frac{1}{2} \frac{de}{e}$$

$$\frac{dX}{X} = \frac{da+db}{a+b} + 3 \frac{dc}{c} + 2 \cot \theta \cdot d\theta - \frac{1}{2} \frac{de}{e}$$

ويكون الارتياح النسبي بأخذ الحد الأعلى للارتياح نجد:

$$r = \frac{\overline{\Delta X}}{\overline{X}} = \frac{\overline{\Delta a} + \overline{\Delta b}}{\overline{a+b}} + 3 \frac{\overline{\Delta c}}{\overline{c}} + 2 |\cot \theta| \cdot \overline{\Delta \theta} + \frac{1}{2} \frac{\overline{\Delta e}}{\overline{e}}$$

ومنه نحسب الارتياح المطلق:

$$\overline{\Delta X} = r \cdot \overline{X}$$

ب- الحالة الثانية: حالة الترابط في قياسات بعض المتحولات:

يكون قياس بعض المتحولات في هذه الحالة مرتبطاً بقياس بعضها الآخر سواءً من حيث قيمته العددية أو من حيث إشارته.

وسوف نقتصر في هذه الحالة على أمثلة من ترابط الإشارات.

وقد يرد في بعض القوانين الفيزيائية التي تأخذ شكل كسر، حد أو أكثر يتكرر وجوده في الصورة والمخرج معاً (في البسط والمقام). وفي هذه الحالة يأخذ هذا الحد لدى إجراء التفاضل للغريتم إشارتين مختلفتين، مع أن الارتياح الذي يقع في القياس المباشر لهذا الحد هو ارتياح ذو اتجاه واحد، إما بالزيادة أو بالنقص. ولكن لا نبالغ في تقدير الحد الأعلى للارتياح الواقع على المقدار، نتبع طريقة فصل الأمثال لكل حد من حدود التفاضل، قبل أخذ القيمة المطلقة لها، التي نوضحها في المثال التالي:

مثال:

$$X = \frac{a - b}{a}$$

ليكن المقدار:

حيث a , b مقداران أعطى قياسهما المباشر النتيجة $a = \bar{a} \pm \Delta a$ و $b = \bar{b} \pm \Delta b$.

فبأخذ التفاضل اللغريتمي يكون:

$$\frac{dX}{X} = \frac{d(a-b)}{a-b} - \frac{da}{a}$$

$$\frac{dX}{X} = \frac{da}{a-b} - \frac{db}{a-b} - \frac{da}{a}$$

نفصل أمثال da على حده وأمثال db على حده نجد:

$$\frac{dX}{X} = \left[\frac{1}{a-b} - \frac{1}{a} \right] da - \frac{db}{a-b}$$

ونأخذ الحد الأعلى للارتياح النسبي يكون:

$$r = \frac{\overline{\Delta X}}{\overline{X}} = \left| \frac{1}{\overline{a-b}} - \frac{1}{\overline{a}} \right| \cdot \overline{\Delta a} + \frac{\overline{\Delta b}}{\overline{a-b}}$$

ملاحظة:

أما لو لم نعد إلى طريقة فصل الأمثال لكانت أمثال $\overline{\Delta X}$ بتطبيق الطريقة العامة

هي:

$$\left| \frac{1}{\overline{a-b}} + \frac{1}{\overline{b}} \right|$$

ومن الواضح بالمقارنة أن هذه الأمثال تكون في الحالة العامة أكبر من أمثال $\overline{\Delta a}$ المحسوبة بالطريقة الصحيحة، مما يضخم الارتياح النسبي بدون مسوغ، وهذا ما يؤكد اتباع طريقة فصل أمثال حدود التفاضل.

ومن الأمثلة التي تَرِدُ في الفيزياء العملية التي نطبّق عليها طريقة فصل الأمثال في حساب الارتياح هي: قانون قياس البعد المحرقي للعدسات، وكذلك قانون قرينة الانكسار... إلخ.

٣- تقدير الارتياح لدى التحقق من صحة القوانين:

كثيراً ما يطلب منا التحقق عددياً من صحة إحدى العلاقات المعروفة، ويغلب أن

تُرَدّ العلاقة إلى إحدى صيغتين:

١- الصيغة الأولى: $u = f(x, y, \dots)$

٢- الصيغة الثانية: $f(x_i, y_i, \dots) = C$ (ثابت)

١- الصيغة الأولى:

$$u = f(x, y, \dots)$$

حيث المتحولات $u, x, y, \dots$ قابلة للقياس التجريبي.

يتم التحقق العددي من صحة العلاقة إذا كانت على هذه الصيغة، بقياس قيم مجموعة المتحولات في تجربة مناسبة، وبتعويض قيمها من ثم في صيغة العلاقة.

بدهي أن التعويض لا يؤدي إلى مساواة عددية تامة بين طرفي العلاقة، نظراً لأن جميع القيم الناتجة بالقياس تكون مشوبة بالارتياحات الطارئة.

إن التساوي التقريبي بين طرفي العلاقة لدى التعويض العددي فيهما يؤدي إلى إقرار أولي باحتمال صحتها، بيد أن هذا التساوي يمكن أن يُحمل محمل المصادفة إذا هو وقع لنتائج تجربة وحيدة. ولا بد لإقرار صحة العلاقة من أن يتكرر التساوي التقريبي لدى التعويض فيها بنتائج تجارب كثيرة العدد تختلف قيم المتحولات في كل منها عن الأخرى.

بعد التحقق التقريبي من صحة العلاقة، نعد إلى تقدير الارتياح في صحتها كما يلي:
نفاضل العلاقة تفاضلاً لغريتمياً وفق قواعد حساب الارتياح في القياس غير المباشر، فنحصل على عبارة الارتياح النسبي.

نقدر قيم الارتياحات المطلقة الواقعة في المتحولات وفق معطيات التجربة ولتكن:
 $\Delta u, \dots, \Delta y, \Delta x$ على الترتيب، ثم نحسب عددياً ارتياحاتها النسبية الموافقة لها: $\frac{\Delta u}{u}, \dots, \frac{\Delta y}{y}, \frac{\Delta x}{x}$ ونعوض في عبارة الارتياح النسبي، فتتوفر لدينا عندئذ قيمة عددية للارتياح النسبي في كل من الطرفين. نسمي الطرف الذي يكون الارتياح النسبي فيه أكبر وكذلك يكون الارتياح المطلق فيه أكبر، بالطرف الملحوظ لدينا لغايتنا المنشودة.

لنفرض مثلاً أننا وجدنا الارتياح النسبي في الطرف الأيمن $\frac{\Delta f}{f}$ أعظم من الارتياح النسبي في الطرف الأيسر $\frac{\Delta u}{u}$ (وهذا ما يحصل غالباً) . فنسمي الارتياح النسبي هذا بالارتياح النسبي في الطرف الملحوظ. ثم نحسب منه الارتياح المطلق في الطرف الملحوظ Δf .

سوف نرمز للقيمة العددية المحسوبة للطرف الملحوظ بـ f ، أما الطرف الآخر فنرمز لقيمته العددية المقيسة بـ f' .

تُعرف إذن القيمة العددية لكل من طرفي العلاقة f_i و f'_i من أجل مجموعة القيم التجريبية للمتحولات، المقيسة في كل تجربة i من جملة التجارب التي عددها n .
ثم تحسب الانحرافات المطلقة $E_i = |f_i - f'_i|$ من أجل كل تجربة i ، وهي تمثل انحرافات قيم الطرفين عن التساوي المفترض فيما بينها، في التجارب المكررة .

نقارن هذه الانحرافات بالارتياح المطلق في الطرف الملحوظ Δf الذي حسبناه سابقاً.
تعتبر كل تجربة في جملة التجارب n مقبولة إذا كان الانحراف E_i لها لا يتجاوز الارتياح المطلق Δf . أما في الحالة المخالفة، فتعتبر التجربة i شاذة وتهمل . أي أن كل تجربة لا بد لها أن تحقق الشرط التالي لكي تكون مقبولة :

$$E_i \leq \Delta f$$

ثم تحسب القيمة الوسطية للانحرافات $\bar{E}$ لكل التجارب المقبولة. ومنه يُحسب الانحراف النسبي $\varepsilon = \frac{\bar{E}}{f}$ ، ثم الانحراف النسبي المئوي $\varepsilon\%$.

إن قيمة $\varepsilon\%$ هذه هي الارتياح النسبي المئوي الذي يشوب صحة العلاقة في تحققنا، مبنية على التجارب المقبولة .

ويستحسن إدراج النتائج السابقة في جدول كالتالي، توخياً للوضوح وسهولة الحساب العددي.

رقم التجربة	القيمة العددية للطرف الملاحظ f_i	القيمة العددية للطرف الآخر f'_i	الانحرافات المطلقة $E_i = f_i - f'_i $	الاستنتاج
1 2 . n				التجربة مقبولة (أو غير مقبولة) بالمقارنة مع Δf
الوسطي	$\bar{f} =$		$\bar{E} =$	
	الانحراف النسبي	$\varepsilon = \frac{\bar{E}}{\bar{f}} =$		
	الارتياح النسبي المئوي في صحة للعلاقة	$\varepsilon \% =$		

مثال :

من الأمثلة التي ترد في منهاجنا على العلاقة من هذه الصيغة، قانون جمع المقاومات الكهربائية على التسلسل:

$$R = r_1 + r_2 + \dots + r_n = \sum_{i=1}^n r_i$$

لنفرض أن المجرّب قد اكتفى بقياس مقاومتين مجهولتين r_1 و r_2 ، وأنه وجد (بطريقة جسر واطسن) القيم العددية للمقاومات r_1 و r_2 و R . كما أثبتت في الجدول اللاحق .

كما أنه وجدت الارتياحات المطلقة التالية على الترتيب وفق طريقة جسر واطسن من الدقة :

$$\Delta r_1 = 0.1 \, \Omega$$

$$\Delta r_2 = 0.1 \, \Omega$$

$$\Delta R = 0.1 \, \Omega$$

نتحقق أولاً من التساوي التقريبي بين طرفي العلاقة في كل من التجارب الثلاث . وقد أدرج ذلك في الجدول التالي :

رقم التجربة	r_1 Ω	r_2 Ω	المجموع الحسابي $f_i = r_1 + r_2$ Ω	$f'_i = R$ Ω	الانحرافات المطلقة $E_i = f_i - f'_i $	الاستنتاج
1	15.5	27.3	42.8	42.7	0.1	مقبولة
2	16.0	26.9	42.9	43.3	0.4	مرفوضة
3	15.8	27.4	43.2	43.0	0.2	مقبولة
الوسطي			43.0		0.15	
الانحراف النسبي			$\varepsilon = \frac{\bar{E}}{f} = \frac{0.15}{43.0} = 0.0035$			
الارتياح النسبي المثوي في صحة العلاقة			$\varepsilon \% = 0.35 \% \approx 0.4 \%$			

ثم نفاضل العلاقة، ونلاحظ حاجة إلى التفاضل اللغريتمي، لأن العلاقة هي من نوع المجموع الجبري فنكتفي بالتفاضل العادي للسهولة. فنجد الارتياح المطلق في الطرف الأيمن:

$$\Delta r_1 + \Delta r_2 = 0.1 + 0.1 = 0.2 \Omega$$

والارتياح المطلق في الطرف الأيسر:

$$\Delta R = 0.1 \Omega$$

فيكون الطرف الأيمن هو الطرف الملحوظ في تجربتنا، لأن الارتياح المطلق فيه هو

$$f' = R \quad \text{و} \quad f = r_1 + r_2 \quad \text{الأكبر. إذن:}$$

وبمقارنة E_i مع Δf لكل تجربة نجد أن التجربة الثانية مرفوضة لأن: $\Delta f < E_2$

نعيد حساب القيمة الوسطى، فنحسب وسطي الانحراف للتجربتين الأولى والثالثة

فقط $\bar{E}$. ومنه نحسب الانحراف النسبي فنجد:

$$\varepsilon = \frac{\bar{E}}{f} = \frac{0.15}{43.0} = 0.0035 = 0.004$$

ثم نحسب الارتياح النسبي المثوي: $\varepsilon \% = 0.35 \% \approx 0.4 \%$

وهو كناية عن الارتياح النسبي المئوي في صحة القانون وفق تجربتنا . وقد أثبتنا هذه النتائج في أسفل الجدول السابق.

٢- الصيغة الثانية:

$$f(x_i, y_i, \dots) = c \quad (\text{ثابت})$$

حيث المتحولات $x, y, \dots$ هي قابلة للقياس التجريبي. ونسمي الطرف العام $f(x_i, y_i, \dots)$ السابق، الطرف العام في العلاقة.

ونكتب العلاقة التي من هذه الصيغة بالشكل:

$$f(x_1, y_1, \dots) = f(x_2, y_2, \dots) = \dots = f(x_n, y_n, \dots) = c \quad (\text{ثابت})$$

ولا يمكن الجزم بصحة هذه العلاقة أصلاً، إلا لدى حساب القيمة العددية للطرف العام f عدداً كبيراً من المرات، من أجل قيم مختلفة للمتحويلات. فإذا كانت النتائج متقاربة أدى هذا إلى اعتبار هذه القيم العددية المتقاربة، أو وسطها الحسابي، عدداً ثابتاً يرمز له بـ C وهذا ما يُنشئ العلاقة .

بعد التحقق من التساوي التقريبي بين أطراف العلاقة التي عددها n ، نعلم إلى تقدير الارتياح في صحتها كما يلي:

نفاضل عبارة الطرف العام من علاقتنا تفاضلاً لغريتمياً وفق قواعد حساب الارتياح في القياس غير المباشر، فنحصل على عبارة الارتياح النسبي في الطرف العام ولتكن $\frac{\Delta f}{f}$.

نقدر قيمة الارتياحات المطلقة الواقعة في المتحولات وفق معطيات التجربة، ولتكن

$$\Delta x, \Delta y, \dots \quad \text{ثم نحسب عددياً الارتياحات النسبية الموافقة لها:} \quad \frac{\Delta x}{x}, \frac{\Delta y}{y}, \dots$$

ونعوضها في عبارة الارتياح النسبي في الطرف العام $\frac{\Delta f}{f}$ ، فتتوفر لنا القيمة العددية لـ

$$\frac{\Delta f}{f} \quad \text{ونحسب منها الارتياح المطلق في الطرف العام} \Delta f.$$

تحسب على التوالي: القيمة الوسطية $\bar{f}$ لقيم الطرف العام في التجارب المكررة، ثم الانحرافات المطلقة $E_i = |\bar{f} - f_i|$ وهي تمثل انحراف القيم التجريبية المختلفة للطرف العام عن قيمته الوسطية $\bar{f}$.

وعلى نحو ما سبق، تعتبر كل تجربة i من جملة التجارب n مقبولة إذا كان الانحراف المطلق E_i من أجلها لا يتجاوز الارتياح المطلق Δf الذي حسب من قبل. أما في الحالة المخالفة فتعتبر التجربة i شاذة وتهمل. أي أن كل تجربة تحقق الشرط التالي تكون مقبولة:

$$E_i \leq \Delta f$$

فإذا اتفق أن أهملت بعض التجارب لشذوذها، يقتضي إعادة حساب القيمة الوسطية للطرف العام $\bar{f}$ لكل التجارب المقبولة وحدها بعد استبعاد التجارب الشاذة، ثم القيمة الوسطية للانحرافات المطلقة $\bar{E}$ ، ومنها يحسب الانحراف النسبي: $\varepsilon = \frac{\bar{E}}{\bar{f}}$ ، ثم الانحراف النسبي المئوي % ε .

إن قيمة % ε هي الارتياح النسبي المئوي الذي يشوب صحة العلاقة في تحققنا، مبنية على جملة التجارب المقبولة.

وتدرج النتائج السابقة في جدول كالتالي توكياً للوضوح والسهولة:

رقم التجربة	القيمة العددية للطرف العام f_i	الانحرافات المطلقة $E_i = \bar{f} - f_i $	الاستنتاج
1 2 . . n			التجربة مقبولة (أو غير مقبولة) بالمقارنة مع Δf
الوسطي	$\bar{f} =$	$\bar{E} =$	
الانحراف النسبي		$\varepsilon = \frac{\bar{E}}{\bar{f}} =$	
الارتياح النسبي المئوي في صحة العلاقة		$\varepsilon \% =$	

مثال:

من الأمثلة التي ترد في منهاجنا على العلاقة من هذه الصيغة قانون أوم:

$$\frac{V_i}{I_i} = R_i$$

حيث V فرق الكمون بين طرفي السلك المقاوم. و I شدة التيار المار فيه. و R مقاومته الكهربائية.

لنفرض أن المجرَّب قد وجد القيم العددية التالية بالقياس المباشر في دارته (تجربة قانون أوم) كما هو مبين في الجدول التالي:

رقم التجربة	V_i V	I_i A	$R_i = \frac{V_i}{I_i}$ Ω	الانحرافات المطلقة $E_i = \bar{f} - f_i $	الاستنتاج
1	0.200	0.085	2.35	0.01	مقبولة
2	0.300	0.126	2.39	0.03	مقبولة
3	0.500	0.213	2.34	0.02	مقبولة
الوسطي			2.36	0.02	
الانحراف النسبي			$\epsilon = \frac{0.02}{2.36} = 0.0084 = 0.008$		
الارتباب النسبي المئوي في صحة العلاقة			$\epsilon \% = 0.8 \%$		

كما أنه وجد أن الارتياحات المطلقة التالية وفق ما توفره التجربة هي:

$$\Delta I = 0.002 A \quad \text{و} \quad \Delta V = 0.008 V$$

نتحقق أولاً من التساوي التقريبي بين قيم الطرف العام في التجارب الثلاث، وهو واضح في الجدول السابق في الحقل R_i .

ثم نفاضل الطرف العام للعلاقة تفاضلاً لغريتمياً فيكون:

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

ونحسب الارتياح النسبي لإحدى تجاربنا.

في تجربة كهذه حيث تتزايد قيم المتحولين في حين أن الارتياح المطلق فيهما ثابت، يتناقص الارتياح النسبي مع ازدياد قيم المتحولين. لذلك سوف نختار التجربة ذات القيم الوسطى للمتحولين فيكون الارتياح النسبي فيها وسطياً أيضاً .

لهذا السبب سوف نختار التجربة الثانية لحساب الارتياح النسبي، ويغنينا هذا عن حساب الارتياح النسبي لكل تجربة وعن اعتبار الارتياح النسبي الوسطي فيكون بتطبيق القيم العددية:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{0.008}{0.300} + \frac{0.002}{0.126} = 0.027 + 0.016 = 0.043$$

من هذا الارتياح النسبي نحسب الارتياح المطلق في الطرف العام فيكون:

$$\Delta f = \Delta R = 0.043 \times 2.36 = 0.10 \quad \Omega$$

وبمقارنة الانحرافات المطلقة E_I للتجارب المختلفة مع الارتياح المطلق Δf

المحسوب آنفاً، نجد أن التجارب الثلاث مقبولة كلها، لأن الشرط التالي $\Delta f \geq E_I$ محقق فيها جميعاً . ثم نحسب وسطى الانحرافات للتجارب المقبولة $\bar{E}$ ومنه نحسب الانحراف النسبي:

$$\varepsilon = \frac{\bar{E}}{f} = \frac{0.02}{2.36} = 0.008$$

ثم الانحراف النسبي المئوي: $\varepsilon \% = 0.8 \%$

وهو كناية عن الارتياح النسبي المئوي في صحة العلاقة وفق تجربتنا، وقد أثبتنا هذه النتائج في أسفل الجدول السابق.

* * *

٦- التمثيل البياني واستخلاص النتائج منه

تعبر القوانين الفيزيائية عن علاقات بين المقادير الفيزيائية. ويمكن التعبير عن هذه القوانين إما بالكلام، أو بالعلاقات الرياضية، أو بالتمثيل البياني. فإذا رغبتنا في إجراء حساب ما كانت العلاقة الرياضية هي أفضل الأشكال الثلاثة. بيد أن التمثيل البياني أهمية جمة لا تضاهيه في تحصيلها أية وسيلة تعبيرية أخرى.

١- التمثيل البياني:

يؤدي القياس الذي نجريه في عملي الفيزياء في الحالة العامة إلى جدول نثبت فيه القيم العددية للمقادير الفيزيائية المتحولة والتابعة، بيد أن الخط البياني أفضل من جدول القيم العددية، فهو يعطي صورة حية يستشف منها الناظر مباشرة كيفية تغير المقادير الفيزيائية بعضها مع بعض.

تهدف الطريقة التجريبية إلى تعيين مجموعة من القيم على محورين أحدهما يسمى المتحول الأساسي على محور السينات X ، أو محور الفواصل، والقيم التي يأخذها المتحول الآخر يسمى التابع ويكون محور العينات Y ، أو محور الترتيب.

٢- فوائد التمثيل البياني:

نذكر من فوائد التمثيل البياني البارزة ما يلي:

أ- مراقبة نتائج القياس وكشف حالات الشذوذ فيها، وهي حالات من المفيد أن يحاول الطالب تفسير منشئها و معرفة جوهرها، ولربما كان الشذوذ التجريبي في بعض الأحيان كشفاً علمياً ذا أهمية بالغة. ومع أن ما قد يحصل من قيم شاذة في قياساتنا المخبرية لن يكون من هذا القبيل في الأرجح، فإنه سيتيح للطالب استبعاد النتائج غير المعقولة أو تحسينها.

ب- لعل أهم فائدة نجنيها من الرسم البياني في عملي الفيزياء هي الكشف عن

ماهية الظاهرة الفيزيائية على أوضح ما تتيحه نتائج القياس، أي اكتشاف قانون الظاهرة (أو التحقق من صحته إذا كان معطى لنا).

ج- إيجاد قيمة لأحد المقدارين الفيزيائيين المتغيرين من أجل قيمة مختارة للآخر غير واردة في نتائج القياس.

وتعرف هذه العملية بالاستقراء، وتتم بإنشاء عمود على محور القيمة المفروضة وفي موضعها حتى يلاقي المنحني، وبإسقاط عمود من نقطة التلاقي هذه على المحور الآخر تتحدد بمسقط هذا العمود قيمة المتغير الآخر على محوره .
والاستقراء نوعان هما :

- الاستقراء الداخلي : Interpolation

وتكون فيه القيمة المعلومة لأحد المتغيرين واقعة ضمن مجال القيم الحاصلة بالقياس.

- الاستقراء الخارجي : extrapolation

وتكون فيه القيمة المعلومة لأحد المتغيرين واقعة خارج مجال القيم الحاصلة بالقياس.

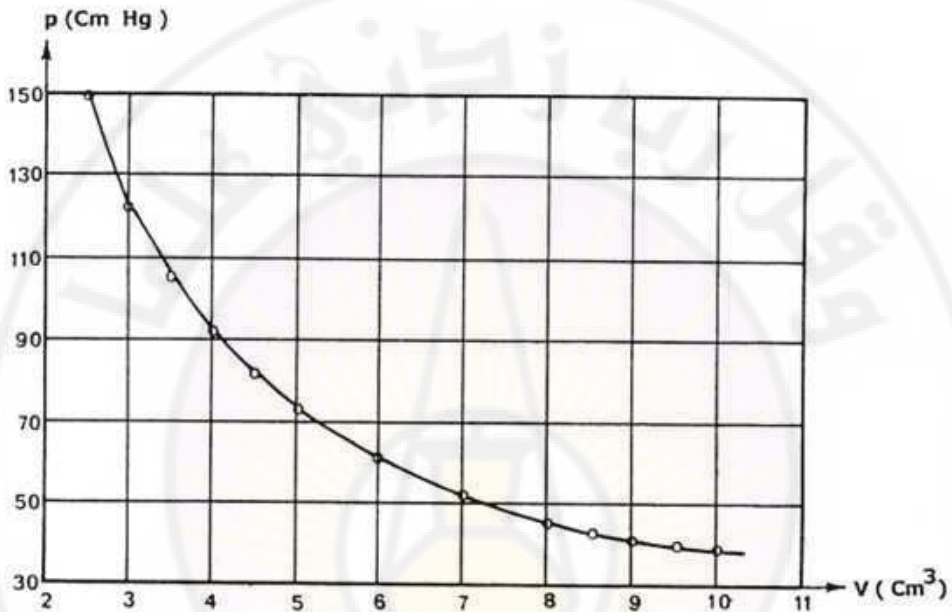
٣- أنواع الخطوط البيانية :

هناك أنواع متعددة من الخطوط البيانية أهمها :

أ- المنحني التجريبي :

وهو نوع نرسمه لبيان العلاقة الكائنة بين مقدارين أحدهما متحول والآخر تابع كما في الشكل (3) الذي يمثل تحولات الضغط P بدلالة الحجم V في غاز مثالي وبدرجة حرارة ثابتة.

فنعين النقاط التجريبية ونمرر منها أوجوارها خطأ انسيابياً. ونفهم ضمناً أن النقاط التجريبية التي لاتقع على الخط قد وقع فيها خطأ تجريبي أو عدم دقة، وأما البعيدة عنه بعداً كبيراً فهي نقاط شاذة.



الشكل (٣): المنحني البياني لتحويلات الضغط p بدلالة الحجم V مع ثبات درجة الحرارة في الغاز المثالي

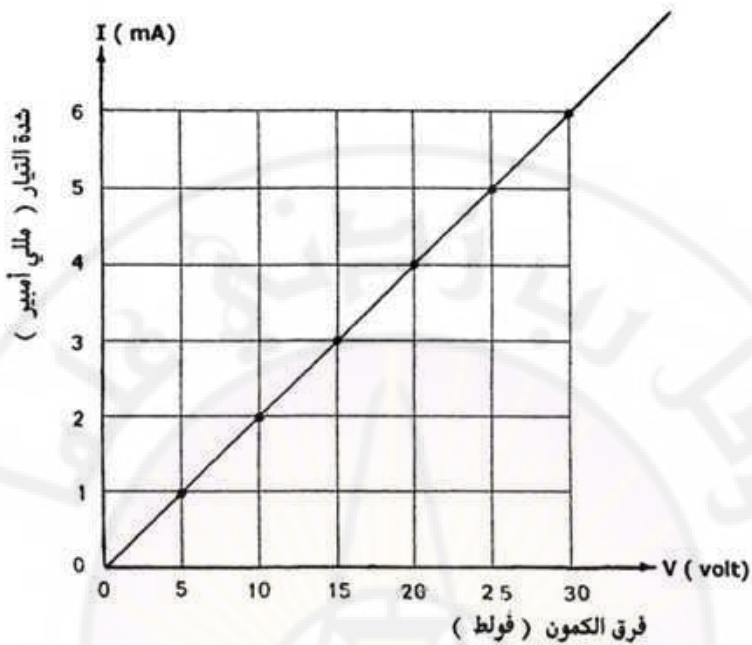
ب- المنحني النظري:

وهو خط بياني يعبر عن علاقة نظرية. فقد حصلنا على الترتيب في الشكل (4) من التبديل في القانون:

$$V = I.R$$

بالقيمة المقابلة للمتحول وبافتراض: $R = 5K\Omega$ وللمنحنيات التي من هذا النوع سلوك رياضي محدد كأن تكون خطوط مستقيمة أو منحنيات جيبيية أو قطعاً زائداً.

ولامعنى إذا لوضع نقاط على الخط المرسوم، وكثيراً ما يُرسم هذا المنحني إلى جانب المنحني التجريبي لبيان مدى ابتعاد النتائج التجريبية عنه.



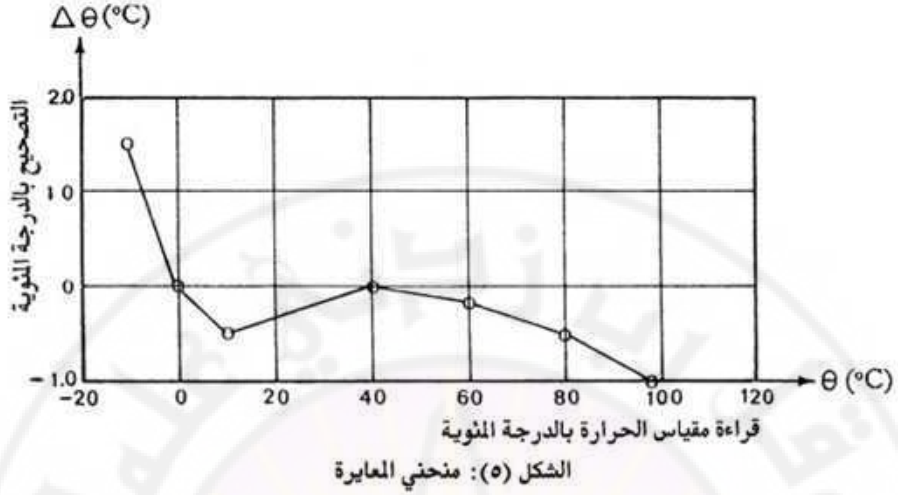
الشكل (٤): المنحني البياني لتحويلات شدة التيار I بدلالة فرق الكمون V

ج- منحني المعايرة:

وهو سجل بياني لقيم نلاحظها في نقاط متعددة. فإذا وجدنا بنتيجة معايرة مقياس حرارة عادي بمقياس حرارة عياري النتائج التالية:

-10	0	10	40	60	80	98	درجة الحرارة على المقياس العادي θ °C
-8.5	0	9.5	40	59.8	79.5	97	درجة الحرارة على المقياس العياري θ' °C
+1.5	0	-0.5	0	-0.2	-0.5	-1	التصحيح: $\Delta \theta = (\theta' - \theta)$ °C

فإنه يمكننا التعبير عن هذه النتائج بخط بياني على النحو المبين في الشكل (5). وقد وصلنا في هذا الشكل بخط مستقيم بين كل نقطتين متتاليتين نظراً لأن طبيعة التغيرات الحقيقية التي تجري في مقياس الحرارة غير معلومة، وقد تكون غير منتظمة. ويستخدم هذا النوع من الخطوط البيانية عادة لأغراض إحصائية ول معايرة الأجهزة.

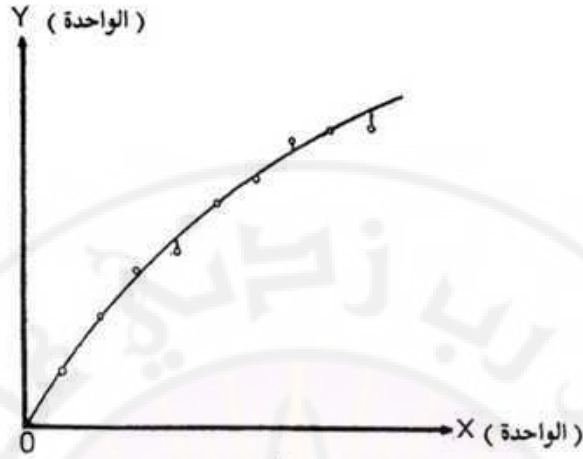


رسم الخطوط البيانية:

يتطلب تحقيق أعظم الفائدة من الخطوط البيانية بذل جهود جمة لدى رسمها. ويجب أن يكون شكل المنحني البياني المرسوم انسيابياً بحيث يمر بمعظم النقاط التجريبية أو بجوارها (هذا فيما عدا حالة منحنيات المعايرة وهي نادرة في عملنا المخبري). ويجب أن يستبعد هذا الرسم النقاط البعيدة بعداً ملحوظاً عن مجراه الانسيابي. ويمكن بتقريب أولي اعتبار أفضل الخطوط هو الخط الذي تتوزع النقاط على جانبيه بحيث يكون مجموع انزياحاتها أصغرياً.

ويعرف الانزياح بأنه القيمة المطلقة للفرق ما بين ترتيب النقطة التجريبية وترتيب النقطة من المنحني اللتين لهما فاصلة واحدة هي فاصلة النقطة التجريبية، كما في الشكل (6).

ومن المفيد بشأن رسم المنحنيات أن نشير إلى أنه توجد في الأسواق مساطر منحنيات تتصف بالدونة تأخذ شكل الانحناء الذي يعطى لها وتبقى عليه حتى يغير شكلها إلى سواه. وهي مفيدة جداً في رسم المنحنيات البيانية بصورة انسيابية على النحو الذي وصفناه. كما ينبغي للطالب أن يتدرب على رسم المنحنيات الانسيابية باليد مباشرة وبالقلم الرصاص.



الشكل (٦): رسم أفضل المنحنيات

٥- قواعد رسم الخطوط البيانية:

١- في حالة تمثيل النتائج على الورق المليمترى، يخصص المحور الأفقي (محور الفواصل أو محور السينات) للمتحول X ، والمحور العمودي عليه (محور الترتيب أو العينات) للتابع Y .

وينبغي أن يذكر على كل من المحورين اسم المقدار الفيزيائي الذي يمثل عليه أو رمزه، كما تذكر واحدة قياسه بين قوسين.

٢- يقسم كل محور إلى وحدات رئيسية وجزئية تناسب تمثيل القيم العددية المعطاة في الجدول من أصغرها إلى أكبرها. وليس من الضروري أن يكون قيمة التقسيمة الواحدة على المحور الأفقي مساوية لقيمة التقسيمة على المحور الشاقولي.

٣- ليس من الضروري أن يبدأ تدريج أي من المحورين بالصفر، وذلك كي يشغل المنحني أكبر مساحة ممكنة من ورقة الرسم.

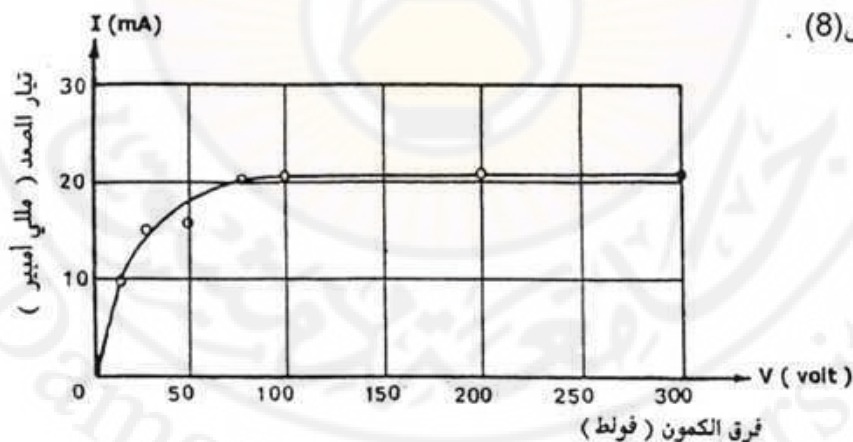
٤- يجب السعي قدر الإمكان أن تكون أصغر تقسيمة على المحور ممثلة لأصغر مرتبة موثوقة في القيم العددية المعطاة، وليست ممثلة لمرتبة أصغر من هذه. إن مراعاة

هذا الأمر تجنبنا الدقة الوهمية لدى رسم المنحني كما تعكس بأمانة الدقة الحاصلة فعلاً في القياس .

٥- استخدم تدريجات أساسية على المحورين بحيث تسهل تجزئة المسافات بينهما إلى قسمين أو خمسة أقسام أو عشرة. فهذا التقسيم يساعد على قراءة القيم من الخط البياني دونما صعوبة كما هو مبين في الشكل (7) .

ولاتجأ إلى تجزئة التقسيمة الأساسية الواحدة إلى ثلاثة أقسام أو سبعة أو تسعة لصعوبة تقديره قراءتها .

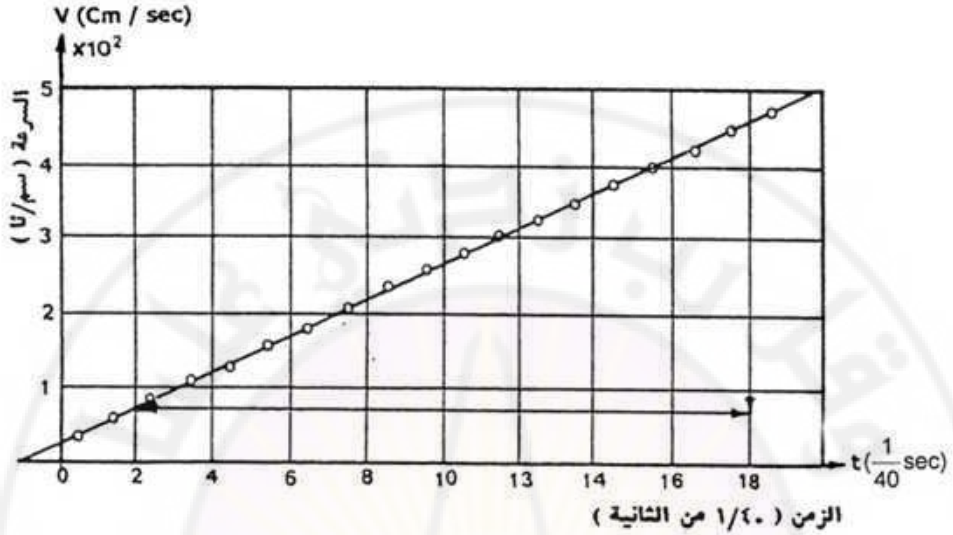
٦- إذا كانت القيم التي تمثلها على أحد المحورين أو على كليهما صغيرة للغاية أو كبيرة للغاية، فاستخدم عاملاً للضرب من قوى العشرة مثل: 10^{-3} أو 10^3 ولا تستخدم أعداداً فيها أكثر من رقمين معنويين لتمثيل التدريجات الرئيسية على المحورين. ويكتب عامل الضرب عند طرف المحور باتجاه التزايد كما هو مبين في الشكل (8) .



الشكل (٧): المنحني التجريبي لتحويلات شدة التيار I بدلالة فرق الكمون V في الصمام ثنائي المسرى

٧- يمكن تمييز كل نقطة تجريبية بدائرة صغيرة . وإذا رسمت أكثر من خط بياني على مساحة الورقة ذاتها، فبإمكانك استخدام رموز أخرى لتمييز النقاط التجريبية

المتعلقة بهذه الخطوط كالمربعات الصغيرة، أو إشارة +، أو إشارة X .



الشكل (٨): المنحني البياني لتحويلات السرعة V بدلالة الزمن t

٨- بعد هذا التقسيم للمحورين يسجل عليهما القيم الرئيسية، ثم تمثل النقاط التجريبية في ضوءها.

٩- بعد تعيين النقاط التجريبية توصل هذه النقاط بشكل انسيابي بقدر الإمكان، أو الاستعانة بالمسطرة اللدنة، وتوزع باقي النقاط التي لا يمر الخط البياني منها على طرفيه بالتساوي، والنقاط البعيدة تعتبر شاذة .

١٠- ارسم خطوط منقطة في حالة تمديد الخط البياني وذلك من أجل الاستقراء الخارجي .

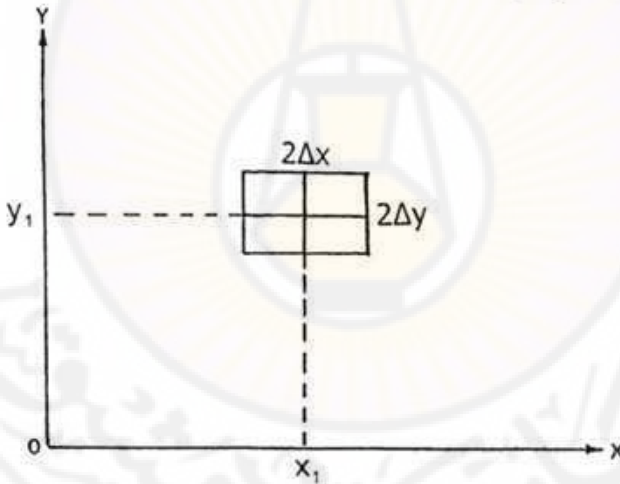
٦- تمثيل الارتياح بيانياً:

بما أن تعيين موضع كل نقطة تجريبية مثل (X_1, Y_1) على الورقة يتم بارتياح ناتج عن الارتياح المطلق الواقع في قياس كل من المتحول X والتابع Y ، لذلك وجب تمثيل هذين الارتياحين بيانياً لحصر المجال الذي تقع فيه النقطة الحقيقية .
نقدر الارتياحين ΔX و ΔY في القياسين المباشرين، ونرسم من النقطة التجريبية قطعة

مستقيمة أفقية طولها $2\Delta x$ تقع هذه النقطة في منتصفها، وقطعة مستقيمة شاقولية طولها $2\Delta y$ تقع النقطة في منتصفها كما هو مبين في الشكل (9).

يمكن جعل القطعتين المستقيمتين المتعامدتين الناتجتين محورين لمستطيل تقع النقطة التجريبية في مركزه . نسمي هذا المستطيل مستطيل الارتياح، وهو كناية عن الرقعة من المستوي التي تقع النقطة الحقيقية ضمنها .

نرسم مستطيلات الارتياح لكل النقاط التجريبية أوبعضها، وقد تكون هذه المستطيلات متساوية الأبعاد إذا كان الارتياح المطلق في المتحول ثابتاً، ومثله الارتياح المطلق في التابع، وقد لا تكون متساوية الأبعاد . وإذا كان أحد الارتياحين مهملاً تحول المستطيل إلى قطعة مستقيمة .



الشكل (٩): التمثيل البياني للارتياح

بعد رسم مستطيلات الارتياح، يرسم المنحني البياني انسيابياً كما سبق، وإذا لم يمر المنحني من إحدى النقاط التجريبية، فينبغي له على الأقل أن يقطع مستطيل ارتياحها، أما إذا وجدنا أن إحدى النقاط التجريبية بعيدة جداً عن مسير المنحني، بحيث أن المنحني لا يمكن أن يقطع مستطيل ارتياحها، فنعتبر هذه النقطة شاذة، ويجب إعادة قياسها أو استبعادها .

وإذا كان أحد الارتياحين في المتحول أو التابع صغيراً بحيث لا يمكن تمثيله على محوره، اعتبر هذا الارتياح مهملاً، و آل مستطيل الارتياح قطعة مستقيمة موازية للمحور الآخر. وإذا صدف أنه كان كل من الارتياحين مهملاً آل المستطيل إلى النقطة التجريبية ذاتها، ويجب في هذه الحالة أن يمر المنحني البياني من النقاط التجريبية كافة .

٧- استخلاص النتائج من الخطوط البيانية:

إذا ظهر أن النقاط التجريبية تتوزع على استقامة واحدة سهل رسم مستقيم مار بها، وتزداد دقة الرسم كلما ازداد عدد النقاط وبالتالي أمكن التعرف على استقامة الخط البياني، في حين أن التعرف على شكل أي منحني آخر هو أمر غير ميسور . من أهم مزايا الخط البياني المستقيم سهولة استنباط معادلته وشكلها العام هو:

$$Y = ax + b$$

حيث a ميل المستقيم، و b ترتيب نقطة تقاطعه مع محور الترتيب المرسوم عند مبدأ الفواصل . فإذا علمت القيمة العددية للثابتين a و b أمكن الحصول على المعادلة المطلوبة .

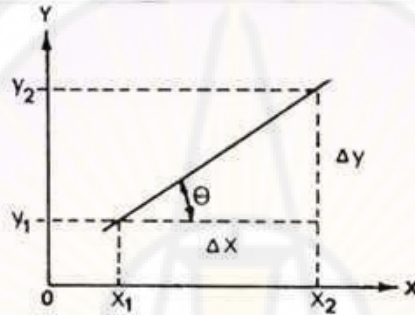
ونشير إلى أنه عند حساب ميل الخط البياني، يجب التمييز بوضوح بين ما يسمى بالميل الفيزيائي و ما يسمى بالميل الهندسي .

أ-الميل الفيزيائي:

وهو يمثل في حالة الخط المستقيم نسبة تغير التابع Δy إلى تغير المتحول Δx مقيسين بالوحدات المستخدمة لكل منهما على محوره أي:

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

ونحصل عليه في حالة الخط المستقيم برسم مثلث قائم، على النحو المبين في الشكل (10). وينبغي أن يكون وتره شاملاً معظم المستقيم المرسوم زيادة في دقة حساب الميل . ونشير إلى أنه ليس من الضروري أن تكون النقاط المختارة لحساب الميل نقاطاً تجريبية . وتكون النتيجة التي نجدها مستقلة بالطبع عن اختيارنا للتقسيمات على المحورين . فالميل الفيزيائي للمنحني الذي يبين تغيرات السرعة بدلالة الزمن يعطي التسارع . وتنتج واحدة التسارع بالحساب . وهذا الميل هو الذي نستخدمه في إيجاد معادلة المستقيم .



الشكل (١٠): حساب الميل الفيزيائي

وكمثال نموذجي:

نحسب الميل الفيزيائي للمنحني المبين في الشكل (8) من استقراء قيمتي y

$$\text{المقابلتين لـ } x_1 = \frac{2}{40} \text{ و } x_2 = \frac{18}{40} \text{ فنجد:}$$

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{(4.7 - 0.8) \times 10^2}{(18 - 2) \times 1/40} = \frac{\text{cm/sec}}{\text{sec}}$$

$$m = \frac{390 \text{ cm/sec}}{16/40 \text{ sec}} = 975 \text{ cm/sec}^2$$

ب-الميل الهندسي:

وهو يساوي في حالة الخط المستقيم $\tan \theta$ حيث θ هي الزاوية بين الخط المستقيم ومحور الفواصل . فهو إذن مقدار لا واحدة له لأنه نسبة طولين جبريين . ويختلف هذا

الميل بالطبع باختلاف التقسيمات التي نتخذها على المحورين. وهذا الميل لا نستخدمه في الحسابات، إلا عندما يكون المحورين مدرجين بمقياس واحد كما في الورق اللغريتمي. أما إذا كان الخط البياني منحنياً فإن ميله الفيزيائي أو الهندسي يختلف طبعاً من نقطة لأخرى، ويعرف ميله في نقطة ما بأنه ميل المستقيم المماس له في تلك النقطة. ويمكننا في بعض الأحيان استنباط معلومات هامة من نقطة تقاطع المستقيم البياني مع أحد المحورين. فنقطة تقاطع المستقيم البياني المثل لتحويلات السرعة بدلالة الزمن مع محور السرعة يعطي السرعة الابتدائية أي السرعة في لحظة الصفر. وأما نقطة تقاطع الخط مع محور الزمن فتعطي اللحظة التي كانت السرعة معدومة فيها والتي سبقت لحظة بدء التجربة انظر الشكل (8).

٨- رد المنحنيات المختلفة إلى مستقيم:

إذا ظهر أن المنحني ليس مستقيماً، تضاءلت إمكانية استنباط المعلومات منه، وتعذر في الأرجح استنباط العلاقة ما بين المقدارين الفيزيائيين المتحول والتابع. نحاول في هذه الحالة تطبيق ما يتوفر لنا من وسائل لرد هذا المنحني إلى مستقيم بغية تحصيل الفوائد السابقة. ومن هذه الوسائل:

أ- تغيير المتحول:

يتخذ متحول جديد X بدلالة المتحول الأصلي x كما في الأمثلة التالية:

١- $X = x^2$: ويعطي هذا التحويل خطاً بيانياً مستقيماً إذا كانت العلاقة من

الشكل: $y = ax^2 + b$ ، كما هي الحال في دراسة تغير دور النواس البسيط T بدلالة

طوله L ، حيث نرسم المنحني البياني لمربع الدور T^2 بدلالة الطول L . أي معادلة

$$T = \frac{4\pi^2}{g} \times L \text{ : دور النواس}$$

٢- $X = \frac{1}{x}$: ويعطي هذا التحويل خطأً بيانياً مستقيماً إذا كانت العلاقة من الشكل $y = \frac{a}{x} + b$ ، كما هي الحال في دراسة تغير ضغط الغاز المثالي p بدلالة حجمه v مع ثبات درجة حرارته، حيث نرسم المنحني البياني لتغير الضغط p بدلالة مقلوب الحجم $\frac{1}{V}$ ، أي المعادلة : $P = \frac{1}{V} + C$

٣- $X = \frac{1}{x^2}$ يعطي هذا التحويل خطأً بيانياً مستقيماً إذا كانت العلاقة من الشكل : $y = \frac{a}{x^2} + b$ كما هي الحال في دراسة تبديد الموشور للضوء، حيث نرسم المنحني البياني لتغير قرينة انكسار مادة الموشور n بدلالة مقلوب مربع الطول الموجي $\frac{1}{\lambda^2}$ للضوء المستعمل، وهي معادلة كوشي : $n = \frac{a}{\lambda^2} + b$ حيث a و b ثابتتان.

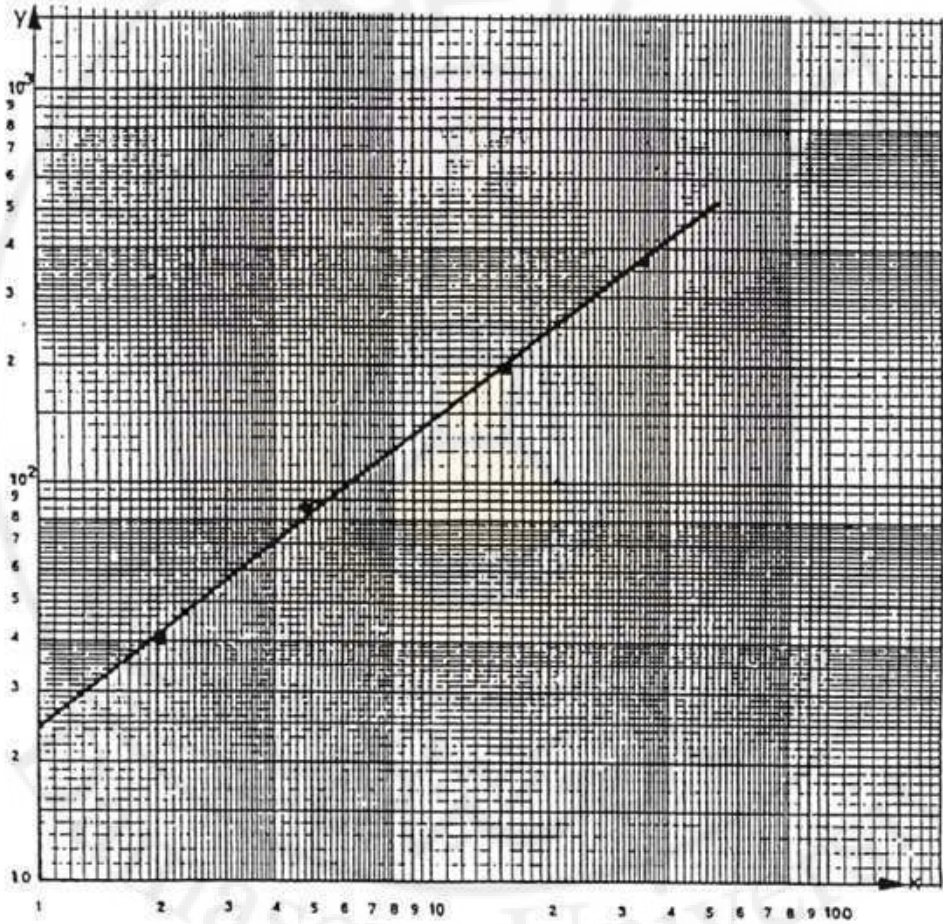
أما إذا فشل الورق المليمتر في تمثيل النتائج التجريبية على نحو يفيد في استنباط العلاقة بين المقدارين الفيزيائيين المتحول والتابع، فإننا نلجأ إلى استخدام الورق اللغريتمي أو الورق نصف اللغريتمي .

ب- الورق اللغريتمي :

و هو ورق يحتوي على محورين متعامدين تم تدريجهما على أساس لغريتمي . وتتخذ لتدريج المحورين مسافة أساسية تسمى الدور، حيث يحوي كل محور على عدد معين من هذه الأدوار . ويتميز كل دور من أدوار الورق اللغريتمي بأن تدريجاته تبدأ متباعدة ثم يزداد تراصها تدريجياً حتى نهاية الدور، حيث يبدأ دور جديد . والمقصود بتدريج الدور على أساس لغريتمي هو أن المسافة بين بداية الدور وأية تدريجة x منه تساوي طول الدور مضروباً بـ $\log x$.

ويبدأ الدور الأول بالواحد أو بإحدى قوى العشرة الموجبة أو السالبة، وينتهي دوماً بقيمة عددية تساوي قيمة بدايته مضروبة بـ 10 . فإذا بدأ الدور الأول بالعدد 0.1

مثلاً، كانت القيمة عند نهاية هذا الدور مساوية 1 و في نهاية الدور الثاني مساوية 10 ، وهكذا ففي الشكل (11) تبدو ورقة لغريتمية ذات دورين بالاتجاه الأفقي ودورين بالاتجاه الشاقولي . و يبدأ الدور الأول على المحور الأفقي بالقيمة 1 وينتهي بالعدد 10 وهو بداية الدور الثاني الذي ينتهي بالعدد 100 .



الشكل (١١): ورقة لغريتمية يظهر فيها دوران على كل من المحورين

أما الدور الأول على محور الترتيب فيبدأ بالعدد 10 وينتهي بالعدد 10^2 وهي بداية الدور الثاني ، أما نهاية هذا الدور فهي 10^3 . وبالطبع فإننا نختار القيمة العددية لبداية

الدور الأول على كل من المحورين بما يوافق القيم التجريبية التي نريد تمثيلها. يفيد الورق اللغريتمي في رد التمثيل البياني إلى خط مستقيم إذا كانت العلاقة ما بين

التابع والمتحول من الصيغة: $y = a x^n$. ذلك لأننا إذا أخذنا لغريتم طرفي هذه

$$\text{Log } y = n \text{ Log } x + \text{Log } a \quad \text{العلاقة:}$$

وإذا ضربنا طرفي هذه العلاقة بطول دور الورقة اللغريتمية وليكن L , وجدنا:

$$L \log y = L.n \log x + L \log a$$

فإذا رمزنا ب: $A = L \log a$, $X = L \log x$, $Y = L \log y$

$$Y = n x + A$$

آلت العلاقة السابقة إلى:

وهي تمثل خطاً مستقيماً .

فإذا رسمت قيم y بدلالة x على ورقة لغريتمية، أغنى ذلك عن أخذ لغريتم y ولغريتم x ، وكانت n هي الميل الهندسي للخط المستقيم المرسوم على الورقة اللغريتمية، وتكون عندها a ترتيب نقطة تقاطع الخط المستقيم مع محور الترتيب المنشأ عند الفاصلة $x=1$

فالخط المستقيم المرسوم في الشكل (11) يمثل علاقة بين y و x هي: $y = 24 x^{0.76}$

وهي علاقة يمكن للطالب أن يتحقق منها بسهولة بقراءة ترتيب نقطة تقاطع المستقيم مع محور الترتيب، وبحساب ميل المستقيم بإنشاء مثلث قائم عليه ثم قياس الطولين الجبريين لضلعيه المقابل والمجاور بالمسطرة المليمترية.

مثال:

وكمثال على استخدام الورق اللغريتمي نذكر دراسة شدة الاشعاع I بدلالة البعد

d حيث يتناسب الاشعاع عكساً مع مربع البعد، أي العلاقة $I = \frac{I_0}{d^2}$ فإذا رسمت قيم

I على المحور الشاقولي وقيم d على المحور الأفقي مرّ من النقاط التجريبية مستقيم ميله

(-2) .

ج- الورق نصف اللغريتمي:

و هو ورق يتميز بكونه مدرجاً بتدرجات مليمترية في اتجاه محور الفواصل، وبتدرجات لغريتمية في اتجاه محور التراتيب، كما هو مبين في الشكل (12). وهو يستخدم لتمثيل تحولات التوابع الأسية التي من الشكل:

$$y = a.e^{nx}$$

وذلك لأنه إذا أخذنا لغريتم الطرفين بالنسبة للأساس e فإننا نجد:

$$\ln y = n x + \ln a$$

وإذا ضربنا طرفي هذه العلاقة بطول الدور L ، فإننا نجد:

$$L.\ln y = L.n x + L.\ln a$$

فإذا رمزنا ب: $Y=L.\ln y$ ، $X=L.n x$ ، $A=L.\ln a$ ، آلت العلاقة السابقة إلى:

$$Y = n x + A$$

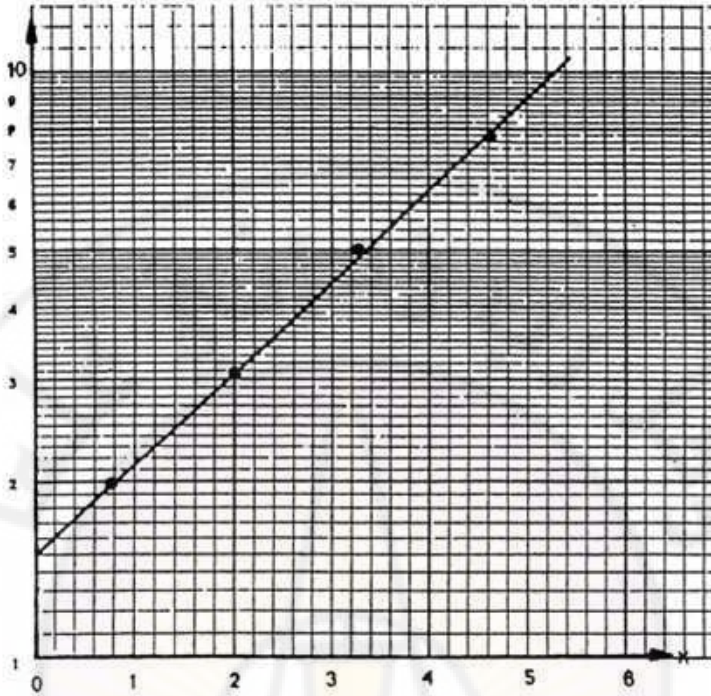
وهي معادلة خط مستقيم .

وعليه فإننا إذا مثلنا قيم y على محور مدرج تدرجات لغريتمية أغنانا ذلك عن أخذ قيم $\ln y$ وكذلك قيم $\ln a$ ونحصل بنتيجة الرسم على خط مستقيم ميله الفيزيائي n وترتيب نقطة تقاطعه مع محور التراتيب المرسوم من $x=0$ هو a ، أما ميل المستقيم فنحسبه من العلاقة:

$$n = \frac{\ln y_2 - \ln y_1}{x_2 - x_1} = \frac{\ln \frac{y_2}{y_1}}{x_2 - x_1}$$

حيث (x_1, y_1) ، (x_2, y_2) هي إحداثيات نقطتين متباعدتين على الخط المستقيم. فالخط البياني في الشكل (12) مثلاً يعطى بالعلاقة:

$$y = a e^{nx}$$



الشكل (١٢): ورقة نصف لغيرتمية

فتكون قيمة a التي نحسبها من تقاطع الخط المستقيم مع محور الترتيب من أجل $x=0$ هي $a=1.5$ أما ميل المستقيم الفيزيائي فنحسبه من العلاقة السابقة فنجد:

$$n = \frac{\ln 9 - \ln 2}{5 - 0.8} = \frac{\ln 4.5}{4.2} = \frac{1.5}{4.2} = 0.36$$

و تكون معادلة الخط البياني هي:

$$y = 1.5 \times e^{0.36x}$$

مثال:

وكمثال على استعمال الورق نصف اللغريتمي: نذكر دراسة عامل الامتصاص الخطي μ للاشعاع γ الصادر عن مادة مشعة بدلالة سمك المادة الماصة x , حيث نمثل تغير قيم شدة الاشعاع النافذ I على المحور الشاقولي بدلالة قيم سمك المادة x على المحور الأفقي، فيتحول المنحني الأسّي إلى مستقيم ميله $-\mu$ ، حسب العلاقة:

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

ونضيف أخيراً أننا إذا كنا نعلم أن المنحني البياني هو خط مستقيم، فإنه يمكننا تحديد هذا الخط بعدد قليل من النقاط .

و في حالة المستقيم البياني النظري، تكفي نقطتان أو نقطة وميل الخط . أما في حالة المستقيم التجريبي، فإن دقة الرسم تكون أفضل كلما ازداد عدد النقاط .

٩- رسم أفضل المستقيمات (طريقة أصغر المربعات):

تطبق طريقة أصغر المربعات لرسم أي منحني يمر من عدة نقاط تجريبية، وتأخذ أبسط أشكالها في حالة المستقيم وهي الحالة التي سنقتصر على شرحها فيما يلي: إن المعادلة العامة لمستقيم هي من الشكل :

$$y = ax + b$$

ويتعين المستقيم بالثابتين a وهو ميله، و b وهو ترتيب نقطة تقاطعه مع محور الترتيب من أجل $x=0$ ، أو من نقطتين منه .

وتنص طريقة أصغر المربعات على أن أفضل المستقيمات هو المستقيم الذي يكون مجموع مربعات الانزياحات (الانحرافات) الشاقولية للنقاط التجريبية عنه أصغر ما يمكن.

ويعرف الانزياح الشاقولي بأنه القيمة المطلقة للفرق ما بين ترتيب النقطة التجريبية وترتيب النقطة من المنحني اللتين لهما فاصلة واحدة هي فاصلة النقطة التجريبية.

فإذا كانت النقاط التجريبية ممثلة بالقيم $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ فإن قيمتي a و b التين تحققان الشرط السابق هما :

$$b = \frac{1}{n} (\sum y - a \sum x) \quad \text{و} \quad a = \frac{n \sum xy - \sum x. \sum y}{n \sum x^2 - \sum x. \sum x}$$

حيث تمثل n عدد النقاط التجريبية.

وبعد الحصول على معادلة المستقيم، نرسمه بيانياً بمعرفة نقطتين منه، أو ميله ونقطة تقاطعه مع محور العينات. ويمكن التأكد من صحته بتعيين النقاط التجريبية وقياس انزياحاتها الشاقولية عن المستقيم، ثم حساب مجموع مربعات هذه الانزياحات الذي يجب أن يكون مقداراً صغيراً جداً.

وترتب النتائج التجريبية اللازمة لحساب a و b في جدول كالتالي:

النقاط n	x	y	xy	x^2
1				
2				
3				
4				
5				
n				
Σ المجموع	Σx	Σy	Σxy	Σx^2

ونورد فيما يلي مثلاً عددياً على هذه الطريقة:

مثال:

لنكن لدينا مجموعة النقاط التجريبية لمحولين y, x عرفت إحداثياتهما بالقياس

المباشر في الجدول التالي:

n	x	y	xy	x^2
1	0	3	0	0
2	2	5	10	4
3	4	7	28	16
4	6	8	48	36
5	8	10	80	64
Σ	20	33	166	120

ومنه نحسب a, b:

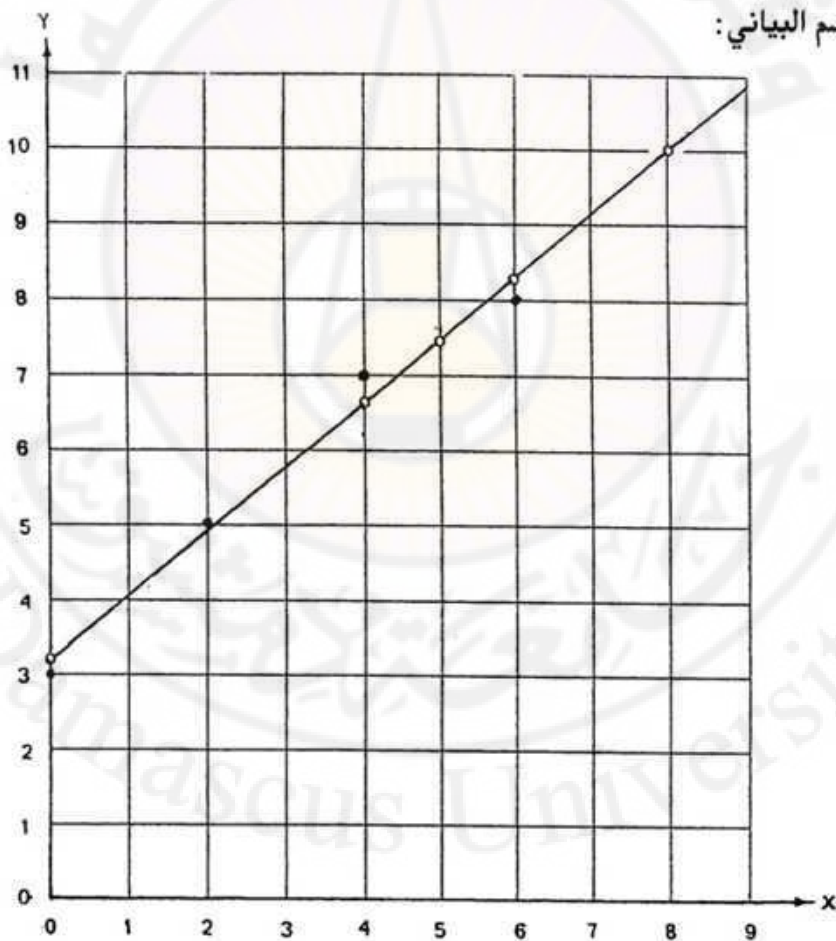
$$a = \frac{n \sum xy - \sum x \cdot \sum y}{n \sum x^2 - \sum x \cdot \sum x} = \frac{5 \times 166 - 20 \times 33}{5 \times 120 - 20 \times 20} = \frac{170}{200} = 0.85$$

$$b = \frac{1}{n}(\sum y - a \sum x) = \frac{1}{5}(33 - 0.85 \times 20) = \frac{16}{5} = 3.2$$

و تكون معادلة أفضل المستقيمات هي: $y = 0.85x + 3.2$

والمستقيم يمر من النقطتين: $x=0$, $y=3.2$, $x=8$, $y=10.0$

الرسم البياني:



الشكل (١٣): مستقيم رسم باتباع طريقة أصغر المربعات

٧- تمارين ومسابائل

على الحساب التقريبي وحساب الارتياب والتمثيل البياني

أ- تمارين على الحساب التقريبي :

١- حول القيم الآتية إلى الواحدات المبينة بجانب كل منها مستخدماً قوى

العشرة :

25 بيكو فاراد إلى فاراد

47.25 ميغا أوم إلى أوم

1234 ميغا هرتز إلى هرتز

0.0140 مللي هنري إلى هنري

1875.2 مليمتراً إلى متر

870 كيلو غرام إلى سنتيغرام

٢- نفترض أن الأعداد الواردة أدناه مكتوبة بشكل صحيح يعبر عن دقة القياس.

والمطلوب تنفيذ العمليات المبينة والاحتفاظ في الناتج بالعدد المناسب من الأرقام

المعنوية :

أ- $372.6587+25.61+0.43798=$

ب- $34.01\times11.3\times3.1416=$

ج- $3887.6\times3.1416\div25.4=$

٣- إن العمليات الحسابية المبينة أدناه عمليات صحيحة إلا إن تسجيل النتيجة

غير صحيح لأنه لم يلتزم بقواعد الحساب التقريبي في تدوين الجواب. نفترض أن كل

واحد من الأعداد المدونة إلى يسار إشارة المساواة يحتوي على رقم واحد مشبوه هو

بالطبع الرقم الأيمن. اكتب النتائج من جديد بحيث تحتفظ في الجواب بالعدد المناسب من الأرقام المعنوية :

أ- $(1.732)(1.74) = 3.01368$

ب- $(10.22) (0.0832)(0.41) = 0.34862464$

ج- $(6.23)^2 = 38.8129$

د- $628.7+7.8 = 80.602$

هـ- $1624 + 478.27+1844.4+87.2 = 4033.87$

و- $(38.4 + 14.26)(0.87) = 45.8142$

ز- $(17.34 - 17.13)(14.28) = 2.9988$

ح- $(81.4)(1.628) \div 0.00000440 = 301188000$

ط- $(43.1)(70.2)(24.5) = 74127.690$

٤- نفترض أن المقادير الواردة أدناه مكتوبة بشكل غير صحيح. والمطلوب التعبير عن هذه الأعداد تعبيراً صحيحاً محتفظاً بالعدد المناسب من الأرقام المعنوية. بفرض أن الارتبايات المطلقة التي أعطيت لها هي الصحيحة :

أ- 3.456 ± 0.2

ب- 746.000 ± 0.20

ج- 0.002654 ± 0.00008

د- 6523.587 ± 0.3

هـ- 716.42 ± 0.2

٥- أوجد ناتج العمليات التالية مراعيًا قواعد الحساب التقريبي :

أ- $(3.7855+2.630+17.06) \times 2.84 =$

$$372.6587+25.61+0.43789=$$
 ب-

$$162.4+478.27+18.445+0.66=$$
 ج-

$$34.01 \times 11.3 \times 3.1416=$$
 د-

$$1.732 \times 1.74 \times 1.6=$$
 ه-

$$3887.6 \times \frac{3.1416}{25.4} =$$
 و-

$$628.7 \div 7.8 =$$
 ز-

$$(6.23)^2 =$$
 ح-

ب- تمارين على حساب الارتياب :

٦- تعطى أبعاد قطعة خشبية على هيئة متوازي مستطيلات ابعاده a و b و c كما يلي :

$$a = (2.267 \pm 0.002) \text{ cm}$$

$$b = (3.376 \pm 0.002) \text{ cm}$$

$$c = (0.207 \pm 0.001) \text{ cm}$$

١- احسب حجم القطعة v وسجل النتيجة بحيث تحوي العدد المناسب من الأرقام المعنوية .

٢- احسب الارتياب النسبي المئوي $\%r = \frac{\Delta v}{v} \times 100\%$ والارتياب المطلق في حجم القطعة Δv عبر عن النتائج ملتزماً بقواعد الحساب التقريبي .

٧- يعطى قياس طولي قطعتين معدنيتين كما يلي :

$$a = (10.20 \pm 0.04) \text{ cm}$$

$$b = (3.61 \pm 0.03) \text{ cm}$$

ماهو الارتياب المطلق في ناتج جمع هذين الطولين؟ وماهو الارتياب المطلق في ناتج قسمتهما؟ ثم احسب الارتيابين النسبيين في ناتج الجمع وناتج القسمة .

٨- نفترض أن قياس طول حرف مكعب معدني هو: $L = (10. \pm 0.2) \text{ cm}$ وأن كتلته: $m = (8065 \pm 8) \text{ g}$. و المطلوب:

أ- احسب حجم المكعب المعدني من العلاقة: $V = L^3$
 ب- احسب كتلته الحجمية $\rho = \frac{m}{V}$ واحتفظ في جوابك بالعدد المناسب من الأرقام المعنوية .

ج- احسب الارتياح المطلق $\Delta\rho$ في الكتلة الحجمية ρ ، واحسب الارتياح النسبي المئوي $r\% = \frac{\Delta\rho}{\rho} \%$ ، و عبر عن قيمة الكتلة الحجمية بالجملة الدولية S.I .

٩- يعطى قياس طول قطعة لدى تكرار عملية القياس النتائج التالية:
 $L = (20.54 , 20.48 , 20.50 , 20.56) \text{ cm}$ والمطلوب:
 أ- ماهو عدد الأرقام المعنوية التي يجب أن نحتفظ بها في حسابنا للقيمة الوسطية $\bar{L}$ ؟
 ب- ما هي قيمة الارتياح المطلق الوسطي $\Delta\bar{L}$ ؟
 ج- سجل القيمة الوسطية $\bar{L}$ لطول القطعة، والارتياح المطلق الوسطي $\Delta\bar{L}$ فيه بشكل صحيح .
 د- احسب الارتياح النسبي $\frac{\Delta L}{L}$ لطول القطعة في عملية القياس .

١٠- احسب الارتياح النسبي للمقادير الفيزيائية التالية و ذلك باتباع طريقة التفاضل اللغريتمي:

$$Z = \frac{1}{x} + \frac{1}{y} \quad -١$$

$$x = \frac{a+b}{a-c} \quad -٢$$

$$Z = \text{tg } \chi \quad -٣$$

$$Z = \frac{x^2 - y^2}{x - y} \sqrt{x - y} \quad -٤$$

$$Z = \frac{x^2 - y^2}{x + y} \sqrt{x - y} \quad -٥$$

$$Z = \frac{x^2 + y^2}{x - y} \quad -٦$$

$$Z = \frac{x^2 - y^2}{x + y} \quad -٧$$

$$y = a x^{\frac{3}{2}} \quad -٨$$

$$Z = (x - y) \operatorname{tg} x \quad -٩$$

$$Z = y e^{3x^2} \quad -١٠$$

$$Z = \frac{1}{x^2} + \frac{1}{y^2} \quad -١١$$

$$Z = \frac{a^4}{b} \cdot c \cdot \sin \theta \quad -١٢$$

$$Z = (a^2 + b^2) \sin^2 \theta \quad -١٣$$

١١- لدينا المقدار الفيزيائي المعطى بالعلاقة: $z = \frac{a^2 + b^2}{a - b}$ حيث a و b مقداران

فيزيائيان أعطيت قيمتهما كما يلي:

$$a = (3.20 \pm 0.01) \text{ cm}$$

$$b = (2.15 \pm 0.02) \text{ cm}$$

والمطلوب:

أ- احسب قيمة Z ؟

ب- احسب الارتياب النسبي المئوي $r\% = \frac{\Delta Z}{Z} \times 100\%$ في Z ، و ذلك باتباع طريقة

التفاضل الغريتمي، ثم عين القيمة العددية لـ $\frac{\Delta Z}{Z}$ ، ملتزماً بقواعد الحساب التقريبي.

ج- قدم النتيجة النهائية لـ Z بالصيغة المناسبة وبالقيمة العددية .

ج- تمارين على التمثيل البياني :

١٢ - نفترض أننا أجرينا تجربة على سقوط جسم فحصلنا على النتائج التالية :

0.400	0.300	0.200	0.100	0	t الزمن (ثا)
4.58	3.72	2.74	1.73	0.76	V السرعة م/ثا

والمطلوب :

أ- ارسم خطأً بيانياً يعطي تغيرات السرعة بدلالة الزمن أي استخدم الزمن كمتحول مستقل .

ب- ماذا تستنتج من شكل الخط البياني ؟ احسب ميله . متى بدأ الجسم بالحركة ، أي متى كانت سرعته معدومة ؟

ج- ماذا يمثل الميل الفيزيائي للخط البياني المرسوم .

١٣- يعطي الجدول التالي النتائج التي سجلت بمراقبة درجة حرارة وعاء يحوي على الزيت الحار أثناء تبرده :

40	32	24	16	8	0	t الزمن (بالدقيقة)
30	38	52	77	121	200	θ درجة الحرارة (درجة مئوية)

والمطلوب :

أ- ارسم خطأً بيانياً لتحويلات درجة الحرارة θ بدلالة الزمن t .

ب- ماذا تستنتج من شكل الخط البياني الناتج ؟

ج- احسب ميل الخط البياني في الدقيقتين 8 و 28 . ماهو تعليقك على هذين الميلين ؟

١٤- نلاحظ أن الأثر الحراري للتيار الكهربائي المار في مقاومة معلومة يتناسب طردياً مع مربع شدة التيار . ماهو شكل الخط البياني الذي نحصل عليه إذا رسمنا

منحني تحولات كمية الحرارة المنتشرة بدلالة شدة التيار؟ كيف تغير المتحولات حتى تحصل على خط بياني مستقيم؟.

١٥- نجد تجريبياً أن التيار المار في مقاومة متغيرة مطبق عليها فرق كمون ثابت يتناسب عكساً مع قيمة المقاومة .

أ- ما هو شكل الخط البياني بين التيار والمقاومة؟

ب- كيف يمكنك تغيير المتحولات حتى تجد خطأً بيانياً مستقيماً؟

١٦- إن معادلة دور النواس البسيط بدلالة طوله هي: $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$

والمطلوب:

أ- ما هو شكل المنحني البياني الممثل لتحولات T بدلالة L على الورق المليمترى؟ هل هو مستقيم؟ ولماذا؟

ب- إذا لم يكن المنحني البياني مستقيماً فكيف تغير المتحول ليؤول هذا الخط البياني إلى خط مستقيم؟

ج- ما هو شكل المنحني البياني الممثل لتحولات T بدلالة L على الورق اللغريتمي وما هو ميل الخط الناتج؟

د- ما هو شكل المنحني البياني T^2 بدلالة L والمنحني T بدلالة $\sqrt{L}$ على الورق المليمترى؟

هـ- احسب ميل المنحني البياني T^2 بدلالة L المرسوم على الورق المليمترى، استنتج قيمة تسارع الجاذبية الأرضية g من هذا الميل.

١٧- يتناقص الاشعاع النافذ من صفيحة معدنية بشكل أسّي مع ثخنها وذلك وفقاً للمعادلة:

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

حيث I_0 شدة الاشعاع الوارد على الصفيحة التي ثخنها x و I شدة الاشعاع النافذ من الصفيحة. أما μ فهو عامل امتصاص مادة الصفيحة. والمطلوب:

- أ- كيف يبدو المنحني الممثل لتحويلات α بدلالة X على الورق المليمترى؟
ب- كيف يؤول المنحني إلى خط مستقيم؟
ج- ماذا يمثل ميل الخط البياني لتحويلات α بدلالة X على ورق نصف اللغريتمى؟

* * *

التجارب الأساسية

قياس الأطوال

تحليل النتائج التجريبية

الميزان الحساس



قياس الأطوال

The Measurement of Lengths

١- الغاية من التجربة:

التدرب على بعض وسائل القياس الدقيق للأطوال، وتقدير مجال الدقة في كل منها.

٢- التمهيد النظري:

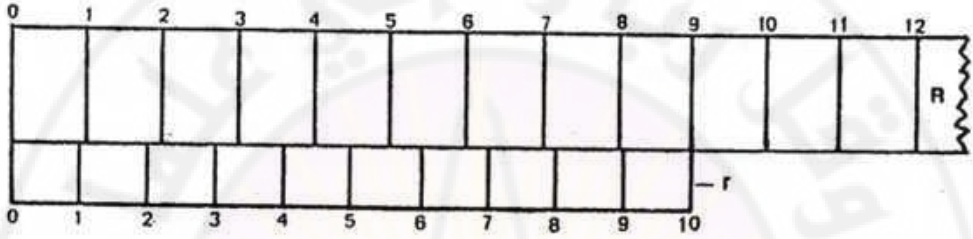
تستخدم المسطرة لقياس الأطوال مباشرة، بيد أن دقتها محدودة إذ أنها تكون مدرجة بالمليمترات أو بأنصافها. ومن المتعذر جعل التقسيمات أصغر من ذلك لأن سماكة خط التدرج تقارب 0.2 mm، ولأن العين المجردة لا تستطيع أن تقدر أقساماً أصغر من 0.1 mm.

فإذا أريد أن تكون دقة القياس أكبر من ذلك وجب الاستعانة بأدوات أخرى كالقدم القنوية Vernier Caliper، والدوارة اللولبية Screw Micrometer، ومقياس الكرة Spherometer وغيرها. وتعتمد كلها على فكرة تجزئة واحدة الطول، وهي المليمتر أو نصفه، بطرائق غير مباشرة. ومن أشهر الأدوات المستخدمة لتجزئة واحدة الطول هي المسطرة الورنية، نسبة إلى العالم بيير فرنييه Pierre Vernier الذي ينسب إليه تصميمها.

المسطرة الورنية:

الورنية مسطرة صغيرة r تنزلق محاذية لمسطرة عادية ثابتة R وتتميز عنها باختلاف تقسيماتها، ويبين الشكل (1) أبسط أنواعها. ويلاحظ في هذا الشكل أن المسطرة المنزلقة مقسمة إلى عشر تقسيمات متساوية تقابل تسع تقسيمات فقط على المسطرة الثابتة، وعليه فالتقسيم الواحد من تقسيمات الورنية تساوي $9/10$ من إحدى تقسيمات المسطرة التي تدرج عادة بالمليمتر. ولقياس طول جسم X مثلاً، نجعل

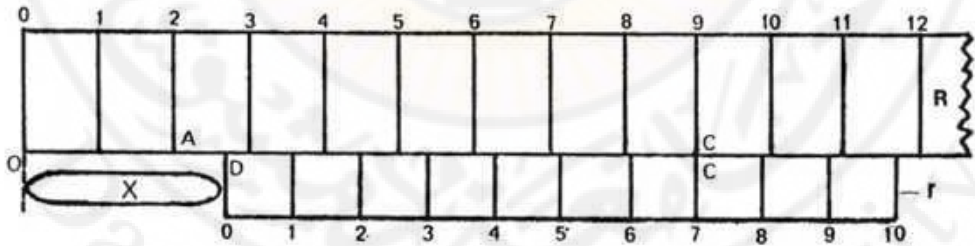
إحدى نهايتيه منطبقةً على صفر المسطرة الثابتة، ثم تزلق الورنية حتى ينطبق صفرها على نهاية الجسم الأخرى، فإما أن يقع صفر الورنية مقابل تدريجة معينة من تدريجات المسطرة الثابتة، وعندئذ يعرف طول الجسم من قراءة ما تشير إليه المسطرة الثابتة فقط، أو أن يقع صفر الورنية بين اثنتين من تدريجات المسطرة الثابتة، كما هو مبين في الشكل (2). فيكون طول الجسم X عندئذ مساوياً OD .



الشكل (١) : مبدأ عمل الورنية

لنفرض أن إحدى تدريجات المسطرة وقعت على امتداد إحدى تدريجات الورنية، عند C (ولتكن التدريجة 7 مثلاً)، فيكون طول الجسم X مساوياً:

$$X = OD = OA + AD = OA + (AC - DC) = OA + (7 - 7 \times 9/10) \\ = (OA + 0.7) = 2.7 \text{ mm}$$



الشكل (٢) : استخدام الورنية لقياس طول جسم

وعليه فإنه يكفي لمعرفة طول الجسم X أن نقرأ على المسطرة الثابتة التدريجة التي تسبق صفر الورنية مباشرة ولتكن a ، ثم نبحث عن تدريجة الورنية التي تقع على امتداد إحدى تدريجات المسطرة تماماً أو أقرب تدريجة إلى ذلك، ولتكن تدريجة الورنية هذه n ، فيكون طول الجسم X معطى بالعلاقة:

$$x = (a + n/10) \text{ mm} = (a + 0.1n) \text{ mm}$$

وإذا كانت الورنية مقسمة إلى عشرين تقسيمة تقابل تسع عشرة تقسيمة على المسطرة الثابتة، نجد بطريقة مماثلة أن:

$$X = (a + n/20) \text{ mm} = (a + 0.05 n) \text{ mm}$$

وإذا كانت الورنية مقسمة إلى مئة تقسيمة تقابل تسعاً وتسعين تقسيمة على المسطرة، فيمكننا أن نجد X من العلاقة:

$$X = (a + n/100) \text{ mm} = (a + 0.01 n) \text{ mm}$$

هذا وإن هناك ورنية تأخذ شكل قوس من دائرة مقسمة إلى 60 تقسيمة أو 30 تقسيمة، تنزلق على قرصٍ أساسي مدرج بالدرجات أو بأنصاف الدرجات، وتستخدم لقياس الزوايا بالدرجات والدقائق، وهي تستند على المبدأ السابق ذاته.

٣- الأجهزة والأدوات المستخدمة:

قدم قنوية، دواة لولبية، مقياس كرة، اسطوانة معدنية مجوفة، متوازي المستطيلات خشبي أو معدني، صفائح زجاجية أو بلاستيكية أو معدنية، أسلاك وقضبان معدنية ذات أقطار مختلفة، مرآة مستوية مقعرة.

أولاً- القدم القنوية:

١- وصفها:

هي أداة مجهزة بورنية تستعمل لقياس السماكات والأقطار الداخلية والخارجية للأنابيب وأعماقها. وتتألف كما هو مبين في الشكل (3) من مسطرة معدنية L مدرجة بالمليمترات على إحدى حافتيها، وبالإنشات على الحافة الأخرى، ينتهي أحد طرفيها بمسند مؤلف من فك ثابت m وسيف S ثابت أيضاً، يقابلهما فك m' وسيف S' مثبتان على منزلقة D تحمل الورنية وتنزلق على المسطرة، كما أن هذه المنزلقة تتصل

بقضيب B يبرز عن طرف المسطرة الثاني. وتحمل المنزلقة D في بعض الأحيان زراً دواراً (أو زناراً) b يسهّل عملية الزلق لدى الضغط عليه.

٢- استعمالها:

حين يتطابق صفر الورنية مع صفر المسطرة في القدم القنوية السليمة، يتلامس الفكان المتقابلان m و m' ، وكذلك الحرفان الحادان للسيفين S و S' ، وتنطبق نهاية القضيب B على نهاية المسطرة L. فإذا ما أزيحت المنزلقة D عن هذه الوضعة بمقدار X كان كل من المسافة الفاصلة بين الفكين، والمسافة الفاصلة بين الحرفين الحادين للسيفين، والطول الظاهر من القضيب، والبعد بين صفر الورنية وصفر المسطرة مساوياً X

٣- أجزاؤها:

نقدم فيما يلي شرحاً لاستعمال كل من هذه الأجزاء الثلاثة:

أ- وظيفة الفكين m و m' :

يستعمل الفكان لقياس السماكات، وذلك بأن يوضع بينهما الجسم المراد معرفة سماكته، ثم تحرك المنزلقة D بحيث يتقارب الفكان حتى يلامسا جانبي الجسم. وتعيين هذا السماكة بالمسافة الفاصلة بين صفر المسطرة وصفر الورنية.

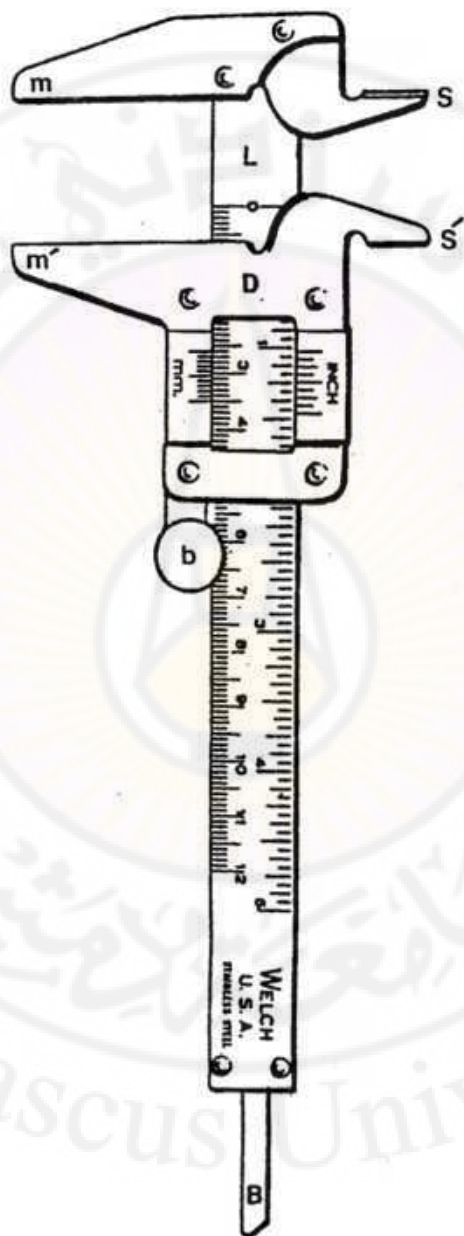
ب- وظيفة السيفين S و S' :

يستعمل السيفان لقياس الأقطار الداخلية للأنابيب والثقوب والأسطوانات المجوفة، وذلك بأن يوضع رأسهما ضمن الفتحة المراد قياس قطرها، ثم تحرك المنزلقة D بحيث يتباعد السيفان حتى يلامس حرفاهما الجدار الداخلي للفتحة، ويتعين القطر بالمسافة الفاصلة بين صفر المسطرة وصفر الورنية.

ج- وظيفة القضيب B:

يستعمل القضيب لقياس عمق أنبوب أو أسطوانة مجوفة، وذلك بأن تسند نهاية المسطرة على حافة الأنبوب ثم تحرك المنزلقة D بحيث يتباعد الفكان، حتى تلامس

نهاية القضيب قاع الأنبوب، فيساوي العمق المسافة الفاصلة بين صفر المسطرة وصفر الورنية.



الشكل (٣) : القدم القنوية

٤- القياسات والحسابات المطلوبة:

أ- قياس أبعاد الأسطوانة المجوفة:

١- تأكد من سلامة القدم القنوية قبل استعمالها، وعلامة سلامتها هي انطباق صفر المسطرة على صفر الورنية عند تلامس الفكين. فإذا لم يكن الصفران منطبقين، وجب أخذ الفرق بينهما بعين الاعتبار وطرح هذا الفرق أو إضافته إلى قراءة القدم القنوية، وذلك بحسب وضع صفر الورنية بالنسبة إلى صفر المسطرة الثابتة.

٢- قس القطر الداخلي d_1 للأسطوانة المجوفة في عدة مواضع وسجل نتائجك في جدول كالمبين أدناه، ثم احسب وسطي d_1 وليكن $\bar{d}_1$.

٣- قس القطر الخارجي d_2 للأسطوانة في عدة مواضع وسجل نتائجك في الجدول، ثم احسب وسطي d_2 وليكن $\bar{d}_2$.

٤- قس عمق الأسطوانة h في عدة مواضع، واحسب وسطي h وليكن $\bar{h}_1$.

٥- سجل نتائج القياس في الجدول التالي:

الارتياح في الجهاز:		الأداة المستخدمة: القدم القنوية				
رقم التجربة	القطر الداخلي		القطر الخارجي		العمق	
	d_1 mm	$ \Delta d_1 $ mm	d_2 mm	$ \Delta d_2 $ mm	h mm	$ \Delta h $ mm
1						
2						
3						
القيمة الوسطى						
النتيجة النهائية						
الارتياح النسبي النثوي						

ملاحظة:

إذا حصلت بتطبيق هذه الطريقة على ترتيبات مطلق $|\overline{\Delta d_1}|$ أو $|\overline{\Delta d_2}|$ أو $|\overline{\Delta h}|$ قيمته أصغر من الحد الأدنى الذي يمثل الترتيبات في أداة القياس، يجب استبدال الحد الأدنى المذكور بهذا الترتيبات المطلق لدى تسجيل النتيجة النهائية بالشكل: $x = (\bar{x} \pm \Delta x)$ وكذلك لدى حساب الترتيبات النسبي المثوي بالشكل:

$$r \% = \frac{\Delta x}{x} \times 100 \%$$

٦- أحسب الترتيبات المطلقة والنسبية في جميع القياسات السابقة، وسجلها في الجدول .

٧- أحسب وسطي سماكة جدار الاسطوانة، وليكن $\bar{t}$ من العلاقة:

$$\bar{t} = \frac{1}{2} (\bar{d_2} - \bar{d_1}) \text{ mm}$$

واحسب الترتيبات المطلق والنسبي في هذا القياس غير المباشر، ثم اكتب النتيجة النهائية لحساب السماكة t بالشكل: $t = (\bar{t} \pm \Delta t) \text{ mm}$

٨- احسب وسطي مساحة فتحة الأنبوب من العلاقة:

$$S = \frac{\pi}{4} \cdot \bar{d_1}^2 \text{ mm}^2$$

واحسب أيضاً الترتيبات المطلق والنسبي فيها، واكتب النتيجة النهائية لحساب المساحة بالشكل:

$$S = (\bar{S} \pm \Delta S) \text{ mm}^2$$

ب- قياس أبعاد متوازي المستطيلات:

٩- قس أبعاد متوازي المستطيلات المعطى لك في عدة مواضع مختلفة لا تقل عن ثلاث مرات، لطوله a ، وعرضه b ، وارتفاعه c ، واحسب وسطي هذه الأبعاد، وسجل

نتائجك في جدول مماثل.

١٠- احسب V حجم متوازي المستطيلات من العلاقة:

$$V = a . b . c \text{ mm}^3$$

واحسب أيضاً الارتيايين المطلق والنسبي في حجم متوازي المستطيلات بطريقة القياس غير المباشر مستخدماً طريقة التفاضل اللغريتمي، واكتب النتيجة النهائية بالشكل:

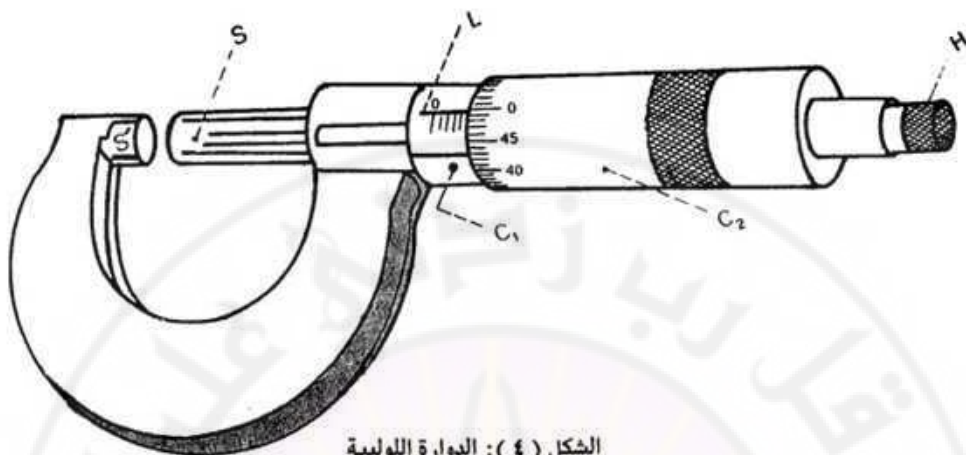
$$V = (\bar{V} \pm \Delta V) \text{ mm}^3$$

ثانياً- الدائرة اللولبية:

١- وصفها:

هي أداة تصلح لقياس السماكات وأقطار الأسلاك، وهي أدق قياساً من القدم القنوية. حيث باستطاعتنا قراءة حتى 0.01 من المليمتر بفضل هذه الأداة. تتألف الدائرة اللولبية كما هو واضح في الشكل (4) من قطعة معدنية على شكل الحرف U، في إحدى طرفيها صامولة ثابتة يدور فيها بسهولة لولب S خطوته في الحالة العامة مليمتر واحد، أي أنه ينتقل مليمتر واحد في منحى محور دورانه عندما يدور دورة كاملة، وفي الطرف الآخر مسند S' يقابل رأس اللولب S.

وينتهي اللولب S بأسطوانة C₂ تنزلق دورانياً على أسطوانة أخرى C₁ مثبتة بالصامولة. وحافة الأسطوانة C₂ القريبة من الصامولة، مخروطة كبرية القلم ومقسمة في الحالة العامة إلى مئة تقسيمة متساوية، كما يوجد على طول أحد مولدات الأسطوانة C₁ خط مستقيم L مدرج بالمليمترات نسميه المسطرة. هذا ويمكن أن تكون خطوة اللولب S نصف مليمتر، وعندئذ تكون حافة الأسطوانة C₂ مقسمة إلى خمسين تقسيمة والمسطرة مدرجة بأنصاف المليمتر، وهي حالة الشكل (4). وكلا النوعين من الدائرة اللولبية يمكننا من قراءة حتى 0.01 من المليمتر.



الشكل (٤) : الدوارة اللولبية

٢- استعمالها :

ينبغي قبل استعمال الدوارة اللولبية في القياس معرفة ما تدلّ عليه التقسيمة الواحدة من تقسيمات حافة الأسطوانة C_2 . فإذا كانت خطوة اللولب S تساوي B مليمترًا، وكان عدد تدريجات حافة الأسطوانة هو m ، فإن التقسيمة الواحدة b تساوي :

$$b = B / m \quad \text{mm}$$

مثلاً :

إذا كانت خطوة اللولب $B = 1 \text{ mm}$ ، وعدد التقسيمات $m = 100$ ، فإن :

$$b = 1 / 100 = 0.01 \text{ mm}$$

وإذا كانت خطوة اللولب $B = 0.50 \text{ mm}$ ، وكان عدد التقسيمات $m = 50$ ،

فإن :

$$b = 0.50 / 50 = 0.01 \text{ mm}$$

أيضاً وهكذا.

لقياس سماكة جسم ما، يجعل هذا الجسم بين طرف اللولب S والمسدّد S' ، وتدور الأسطوانة C_2 من رأسها H ، المتصل باحتكاك مع اللولب S ، حتى يلامس

اللولب S الجسم بضغط كافٍ يجعل الرأس H يدور دون أن يجر معه اللولب S، مما يجنبنا ضغط الجسم أو عطب الدوارة عندما نستعمل الأسطوانة C₂ في التدوير. وعندما يتم حصر الجسم بين S و S'، يقرأ التدرج المكشوف من المسطرة L وليكن a، وهو عدد صحيح من المليمترات، يضاف إليه نصف المليمتر إن وجد. كما يقرأ تدرج حافة الأسطوانة C₂ الواقع على امتداد خط المسطرة L وليكن n. فتكون سماكة الجسم X معطاة بالعلاقة:

$$X = (a + b \cdot n) \text{ mm}$$

فإذا كانت $b = 0.01$ يكون:

$$X = (a + 0.01 \cdot n) \text{ mm}$$

ملاحظة ١:

إذا لم تقع إحدى تدرجات حافة الأسطوانة على امتداد خط المسطرة تماماً، فيؤخذ أقرب تدرجات الحافة إلى امتداد المسطرة على أنه n ويهمل تقدير كسر التقسيمة الواحدة من تقسيمات حافة الأسطوانة، إذا كان أقل من نصف تدرجة، ويدور إلى تدرجة كاملة فيما عدا ذلك.

ملاحظة ٢:

لا تصح العلاقة السابقة إلا بافتراض أن الدوارة سليمة ويعني هذا أنه عند تلامس الطرفين S و S' يكون صفر تدرج الأسطوانة على امتداد خط المسطرة L وتقع حافة الأسطوانة على صفر المسطرة. فإن لم يتحقق ذلك وجب أن يؤخذ خطأ الصفر بعين الاعتبار إما بالإضافة أو بالطرح وذلك حسب وضع الأسطوانة C₂ بالنسبة لخط الصفر على الأسطوانة C₁.

٣- القياسات والحسابات المطلوبة:

١- قس السماكة e للصفحة في عدة مواضع ، وسجل نتائجك في جدول كالمبين أدناه، ثم احسب السماكة الوسطية $\bar{e}$.

٢- قس القطر d لكل من الأسلاك الموجودة لديك في عدة مواضع ، وسجل نتائجك في الجدول. ثم احسب القيمة الوسطى $\bar{d}$ لكل من هذه الأقطار.

٣- سجل نتائج القياس في الجدول التالي:

رقم التجربة	الارتياح في الجهاز:		الأداة المستخدمة: الدوارة اللولبية			
	القطر الأول		القطر الثاني		السماكة	
	d_1 mm	$ \Delta d_1 $ mm	d_2 mm	$ \Delta d_2 $ mm	e mm	$ \Delta e $ mm
1						
2						
3						
القيمة الوسطى						
النتيجة النهائية						
الارتياح النسبي المئوي						

ملاحظة:

إذا كان: $|\Delta d_1|$ أو $|\Delta d_2|$ أو $|\Delta e|$ أقل من 0.01 من المليمتر وهو أصغر تدريج تقرأه على أداة القياس، يجب في هذه الحالة أخذ ارتياح الأداة ونهمل الارتياح الناتج من الحساب، لدى تسجيل النتيجة النهائية بالشكل: $X = (\bar{X} \pm \Delta X)$ ، وكذلك لدى حساب الارتياح النسبي المئوي بالشكل:

$$r \% = \frac{\Delta X}{\bar{X}} \times 100 \%$$

٤- احسب الارتياحات المطلقة والنسبية في جميع القياسات السابقة، وسجلها في أماكنها من الجدول.

٥- احسب وسطي سطح مقطع كل من الأسلاك التي قستها من العلاقة:

$$S = \frac{\pi}{4} \cdot \bar{d}^2 \text{ mm}^2$$

بافتراض $\bar{d}$ القيمة الوسطية للقطر، ثم احسب الارتياحين النسبي والمطلق في S ، وقدم جوابك وفق العلاقة:

$$S = (\bar{S} \pm \Delta S) \text{ mm}^2$$

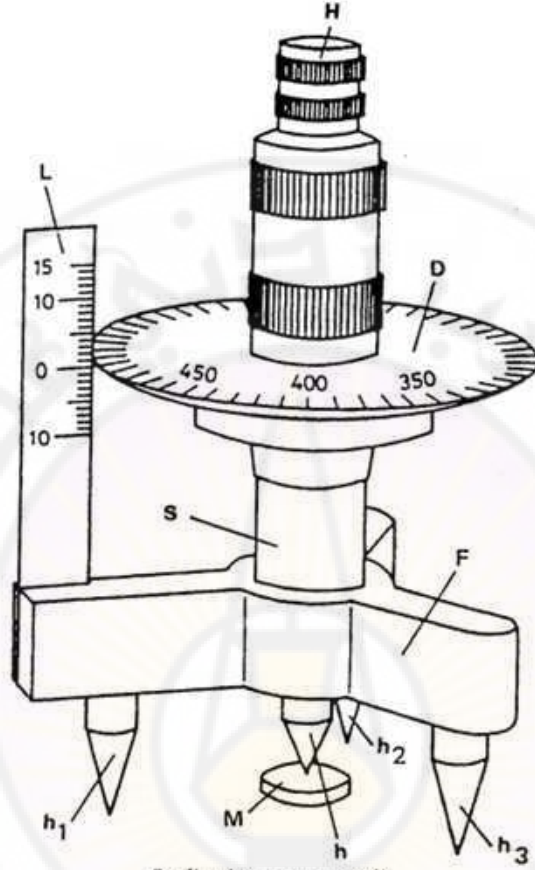
ثالثاً- مقياس الكرة:

١- وصفه:

هو أداة تستخدم لقياس السماكة وأقطار انحناء سطح الكرات الكبيرة، وغالباً ما تكون أدق قياساً من الدوارة اللولبية. حيث باستطاعتنا قراءة حتى 0.001 من المليمتر بفضل هذه الأداة.

يتألف مقياس الكرة من مسطرة شاقولية ثابتة L ، يتحرك بجانب حافتها المدرجة بالمليمترات قرص أفقي D مثبت بلولب شاقولي رأسه العلوي H ونهايته السفلى المدببة h . ويتحرك هذا اللولب في صامولة S مركبة على قاعدة ذات ثلاثة رؤوس مدببة h_1 ، h_2 ، h_3 ، وتثبت المسطرة L في أحد أطراف القاعدة، كما هو مبين في الشكل (5).

وتدرج المسطرة بالمليمترات أو بأنصافها، ويفضل لسهولة القياس أن يقع صفر تدريجاتها في الأسفل، فإن لم يكن كذلك، أمكن افتراضه ذهنياً. أما القرص فهو مدرج بين (0 - 500) تقسيمة. وتكون خطوة اللولب مليمترًا واحدًا، أي تنتقل حافة القرص مسافة مليمتر واحد عندما يدور القرص دورتين كاملتين، وعليه فإن كل تدريجة من القرص تعادل انتقالاً لرأس اللولب h بمقدار 0.001 مليمترًا، أي ميكرونًا واحدًا.



الشكل (٥) : مقياس الكرة

٢- استعمال الجهاز ومبدأ عمله:

ينبغي قبل استعمال مقياس الكرة معرفة ما تدلّ عليه التقسيمة الواحدة من تقسيمات قرصه. فإذا كانت خطوة اللولب B ملمترًا، وكان عدد تقسيمات القرص m ، فإن التقسيمة الواحدة b تساوي:

$$b = B / m \text{ mm}$$

مثلاً:

إذا كانت خطوة اللولب $B = 1 \text{ mm}$ ، وعدد تقسيمات القرص $m = 500$ ، فإن:

$$b = 1 / 500 = 0.002 \text{ mm}$$

وإذا كانت خطوة اللولب $B = 0.50 \text{ mm}$ ، وعدد تقسيمات القرص $m=500$ ، فإن:

$$b = 0.50 / 500 = 0.001 \text{ mm}$$

مبدأ عمل الجهاز:

يقوم مبدأ القياس بمقياس الكرة على تعيين مستويين ثم أخذ البعد الرأسي بينهما. يكون أحد هذين المستويين ثابتاً ويمكن اعتباره مستوي المقارنة ، وهو المستوي المار برؤوس القوائم الثلاث. أما المستوي الثاني فهو الموازي للمستوي السابق والذي يمر بنهاية اللولب المركزي المتحرك h . ويمثل البعد الرأسي بين المستويين سمك الصفيحة الواقعة بين مستوي المقارنة ورأس اللولب المركزي ، كما يمثل ارتفاع القبة الكروية في المرآة المقعرة كما سنرى. ولما كان البعد بين المستوي المار من نهاية اللولب h والمستوي المار من الوجه العلوي للقرص ثابتاً ، أمكن أن تؤخذ القراءة الموافقة لكل مستوي يمر من الرأس h عند الوجه العلوي للقرص ، المحاذي للمسطرة.

يتعين كل مستوي بقراءة تتألف من عدد صحيح من المليمترات ومن أجزاء المليمتر. أما عدد المليمترات الصحيحة ومعه نصف المليمتر إن وجد وليكن a ، فيقرأ على المسطرة الشاقولية بمحاذاة حرف القرص. وأما أجزاء المليمتر فيتم حسابها من عدد تقسيمات القرص n المقروءة بمحاذاة حرف المسطرة. فإذا كانت التقسيمة الواحدة على القرص تعادل b مليمترًا ، أمكن تعيين المستوي X بالعلاقة التالية:

$$X = (a + n \cdot b) \text{ mm}$$

فإذا كانت قيمة $b = 1 / 1000 = 0.001$ يكون:

$$X = (a + 0.001 \cdot n) \text{ mm}$$

٣- القياسات والحسابات المطلوبة:

أ- قياس سماكة صفيحة:

١- ضع مقياس الكرة على المرآة المستوية مرتكزاً على قوائمه الثلاث، على أن تكون نهاية الرأس h أعلى من مستوي المرآة.

٢- أدر اللولب من رأسه العلوي H حتى تلامس نهايته h سطح المرآة المستوية. يجب أن تكون إدارتك للولب برفق وتؤدي بحيث لا تؤدي إلى إزاحة المقياس عن موضعه. عندما تتجاوز النهاية h في انخفاضها مستوي المقارنة الذي تؤلفه نهايات القوائم الثلاث، يبدأ المقياس بالتأرجح والتمايل على قوائمه الثلاث حول النهاية h . دور القرص عندئذ في الاتجاه المعاكس بمقادير صغيرة، تقسيمة فتقسيمة مثلاً، اختبر تلامس النهاية h مع سطح المرآة المستوية، بنقر القاعدة من أحد أطرافها نقراً لطيفاً برأس الإصبع. فإذا دارت القاعدة حول نهاية اللولب h دلّ هذا على انخفاض النهاية h عن مستوي المقارنة. نتابع التدوير في اتجاه ارتفاع اللولب مع اختبار النقر لكل تقسيمة حتى ينعدم دوران القاعدة حول النهاية h ، وهكذا يتحقق الوضع الذي يحقق تماس نهاية اللولب h مع سطح المرآة المستوية بتقريب تقسيمة واحدة من تدرج القرص. سجل القراءة الموافقة لهذه الوضعة، ولتكن X_1 (متخذاً صفر المسطرة أسفل تدرج فيها للسهولة).

٣- أدر الرأس H بحيث ترتفع النهاية h ، حتى يمكن إدخال الصفيحة الزجاجية بين المرآة ونهاية اللولب h . وبعد إدخال الصفيحة، عيّن وضع تماس نهاية اللولب h مع الصفيحة بتقريب تقسيمة واحدة من تدرج القرص حسب الطريقة المبينة في الفقرة السابقة، سجل القراءة الجديدة X_2 .

٤- أعد قياس كل من x_1 ، x_2 عدّة مرات في مواضع مختلفة من سطحي المرآة والصفحة. واحسب وسطي كل من x_1 و x_2 والارتياح المطلق فيهما، وسجلهما في الجدول التالي:

الأداة المستخدمة: مقياس الكرة		الارتياح في الجهاز:		
x_1 mm	$ \Delta x_1 $ mm	x_2 mm	$ \Delta x_2 $ mm	رقم التجربة
				1
				2
				3
				القيمة الوسطى
				النتيجة النهائية
				الارتياح النسبي المئوي

٥- سجّل نتائج القياس في الجدول التالي. وسجل فيه نتائج القياس لكل من x_1 و x_2 ، واحسب وسطي كل منهما والارتياح المطلق فيهما.

٦- احسب وسطي سماكة الصفحة من العلاقة:

$$\bar{x} = (\bar{x}_2 - \bar{x}_1) \text{ mm}$$

٧- احسب الارتياحين المطلق والنسبي في $\bar{x}$. واكتب النتيجة النهائية بالشكل:

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

ب- قياس نصف قطر انحناء مرآة مقعرة:

- ١- أعد المرحلتين ١، ٢ المذكورتين في الفقرة أ. وخذ قراءة المسطرة والقرص ولتكن x_1
- ٢- ضع المقياس على ورقة مليمتريّة. واضغط على قاعدته بما يكفي حتى تترك القوائم الثلاث آثاراً ظاهرة. قس بالقدم القنوية باستخدام السيّفين، الأبعاد بين كل أثرين

منهما. وليكن $\bar{L}$ وسطي هذه الأبعاد. احسب نصف قطر دائرة استناد القوائم من

$$\bar{r} = \frac{\bar{L}}{\sqrt{3}}$$

العلاقة:

٣- ضع المقياس على المرآة المقعرة مركّزاً على قوائمه الثلاث، وأدر الرأس H

بحيث تتقدم النهاية h نحو سطح المرآة، واحصل على وضعة التماس الدقيق للنهاية h مع قعر المرآة متبعاً الطريقة المبينة في الفقرة (أ-٢)، ولتكن القراءة في هذه الوضعة x_2 .

٤- أعد قياس كل من x_1 و x_2 عدة مرات في مواضع مختلفة من سطحي المرآة

المستوية والمقعرة، واحسب وسطي كل منهما والارتياح المطلق فيهما وسجل النتائج في

الجدول التالي:

الارتياح في الجهاز:			الأداة المستخدمة: مقياس الكرة			
رقم التجربة	x_1 mm	$ \Delta x_1 $ mm	x_2 mm	$ \Delta x_2 $ mm	L mm	$ \Delta L $ mm
1						
2						
3						
القيمة الوسطى						
النتيجة النهائية						
الارتياح النسبي المئوي						

٥- احسب وسطي ارتفاع القبة الكروية $\bar{H}$ من العلاقة:

$$\bar{H} = (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) \text{ mm}$$

٦- احسب وسطي نصف قطر انحناء المرآة المقعرة R من العلاقة التالية:

$$R = \frac{1}{2} (\bar{H} + \frac{\bar{r}^2}{\bar{H}}) \text{ mm}$$

وهي تنتج من المثلث القائم $a d e$ المبين في الشكل (6) حيث الارتفاع $d b = r$
 وسط متناسب هندسي بين جزأي الوتر، أي بين: $b a = H$ و $b e = 2 R - H$

$$r^2 = H (2 R - H)$$

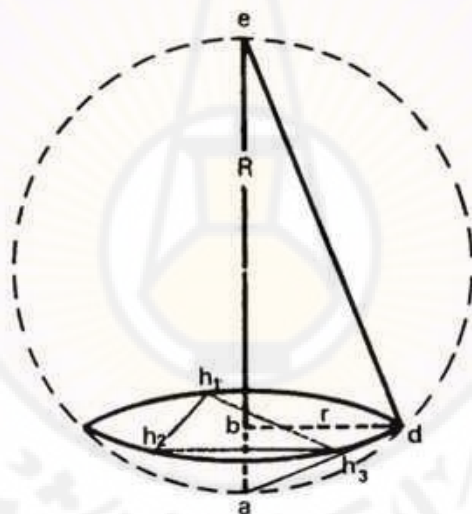
وعليه فإن:

$$R = \frac{1}{2} \left(H + \frac{r^2}{H} \right)$$

أو:

وتكتب على الشكل:

$$R = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{H^2 + r^2}{H} \right)$$



الشكل (٦) : حساب نصف قطر تقعر المراة

٧- احسب الارتيابين النسبي والمطلق في قياس R من العلاقة الأخيرة بطريقة
 حساب الارتياح في القياس غير المباشر، متبعاً طريقة التفاضل اللغريتمي، واكتب
 النتيجة النهائية بالشكل:

$$R = (\bar{R} \pm \Delta R) \text{ mm}$$

* * *

تحليل النتائج التجريبية

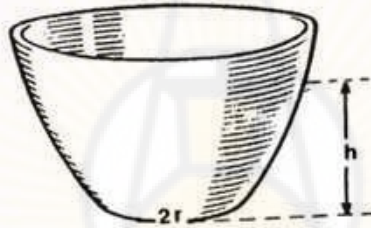
Analysis of an Experiment

١- الغاية من التجربة:

التدرب على استخراج القوانين الفيزيائية من المعطيات التجريبية.

٢- التمهيد النظري:

نفترض أننا أجرينا تجربة على حوض كالبيين في الشكل (1) على هيئة مجسم القطع المكافئ، ومجهز في أسفله بثقب يمكننا تغيير نصف قطره r بين 0.50 cm و 1.00 cm.



الشكل (١): حوض انقراغ الماء

في هذه التجربة نملأ الحوض بالماء إلى ارتفاعات مختلفة h ، ونقيس بالثواني الأزمنة اللازمة لانقراغ الحوض من الماء. ولنفترض أننا حصلنا في هذه التجربة على النتائج المبينة في الجدول التالي:

$h(\text{cm})$ $r(\text{cm})$	1.0	4.0	9.0	16.0
0.50	12.1	95.8	323.8	768.8
0.60	8.3	66.5	225.2	533.8
0.70	6.0	48.8	164.7	392.2
0.80	4.6	37.7	125.8	299.7
0.90	3.8	29.4	99.7	237.3
1.00	2.9	23.8	80.9	191.7

يتبين من الجدول أن الزمن اللازم لانفراغ الحوض من الماء يساوي 768.8 ثانية عندما يكون ارتفاع الماء فيه 16.0 cm، ونصف قطر الفتحة 0.50 cm. وإذا سألنا عن الزمن اللازم لانفراغ الحوض وهو مملوء إلى الارتفاع 10.0 cm، وفي أسفله ثقب نصف قطره 0.65 cm، لما استطعنا أن نجيب عن هذا السؤال من الجدول نظراً لخلوه من هاتين القيمتين.

وللإجابة عن مثل هذا السؤال لا بد من استخراج العلاقة التي تعطي زمن انفراغ السائل t بدلالة كل من h و r . ويمكننا الرسم البياني المنظم من استنباط هذه العلاقة. وتسمى عملية الاستنباط هذه بتحليل النتائج التجريبية.

٣- الأجهزة و الأدوات المستخدمة:

أوراق مليمتريّة، مسطرة منحنيات مرنة، مسطرة شفافة، أوراق لغريتمية ذات ثلاثة أدوار على محور الترتيب.

٤- مراحل العمل و النتائج:

١- ارسم على ورقة مليمتريّة الخط البياني لتحويلات t بدلالة r و ذلك من أجل قيمة ثابتة للارتفاع h وتساوي 4.0 cm. خذ قيم t على المحور الشاقولي وقيم r على المحور الأفقي واستخدم تدريجاً مناسباً على كل من المحورين بحيث تسهل قراءتها وبحيث تستفيد من معظم مساحة الورقة، تاركاً على المحور الأفقي بعض المجال لتنفيذ عملية الاستقراء الخارجي المطلوبة في الفقرة التالية مباشرة، والتي تتطلب أن يكون المحور الأفقي مدرجاً حتى 1.20 cm. استعن بمسطرة المنحنيات المرنة لرسم الخط البياني بحيث يمر من أكبر عدد ممكن من النقاط بشكل انسيابي. وخذ القيم من الجدول التالي:

من أجل ارتفاع الماء في الحوض: $h = 4.0 \text{ cm}$						
R(cm)	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00
t(sec)	95.8	66.5	48.8	37.7	29.4	23.8

٢- يمكننا استخدام الخط البياني السابق لاستخراج الزمن اللازم لانفراغ الحوض إذا ملئ، إلى الارتفاع نفسه h ، وفتح في أسفله ثقب يقع نصف قطره ضمن مجال القيم الواردة في الجدول أو خارجه مثلاً: $r = 0.65 \text{ cm}$ أو $r = 1.20 \text{ cm}$. ففي الحالة الأولى تسمى العملية عملية استقراء داخلي، أما في العملية الثانية فتسمى العملية عملية استقراء خارجي.

ففي الحالة الأولى يكفي رفع عمود من النقطة $r = 0.65 \text{ cm}$ حتى يلاقي المنحني الذي رسمناه في الفقرة (1)، ونقرأ الزمن على المحور t .

أما في الحالة الثانية فنمدد المنحني بشكل انسيابي حتى يتقاطع مع العمود المنشأ من النقطة $r = 1.20 \text{ cm}$ ، ونقرأ ترتيب نقطة التقاطع على المحور t ، فيكون هو الزمن اللازم لانفراغ الماء من الحوض في هذه الحالة. وبذلك يتعين بالاستقراء الداخلي زمن الانفراغ من أجل $r = 0.65 \text{ cm}$ ، وبطريقة الاستقراء الخارجي زمن الانفراغ من أجل $r = 1.20 \text{ cm}$ مع بقاء h ثابتة و تساوي 4.0 cm مثلاً.

٣- إن نظرة بسيطة إلى الجدول أو إلى المنحني المرسوم في الفقرة (1) تبين أن زمن الانفراغ يتناقص بازدياد r ، وهذا منطقي، إلا أننا لا نستطيع القول بأن الزمن t يتناسب عكساً مع r ، إذ أن التناسب العكسي مع r يقضي بأن يكون الخط البياني للزمن t بدلالة r على هيئة قطع زائد متساوي الساقين. أو يقضي بأن يكون الخط البياني لتحويلات t بدلالة $1/r$ خطاً مستقيماً. ويمكن التأكد بسهولة من أن هذا الخط ليس مستقيماً فعلاً، وذلك بحساب قيم $1/r$ ورسم المنحني t بدلالة $1/r$ من أجل $h = 4.0 \text{ cm}$ مثلاً. تأكد من صحة هذا القول بالرسم على ورقة مليمترية ثانية، وذلك بعد إعداد جدول كما يلي:

من أجل ارتفاع الماء في الحوض: $h = 4.0 \text{ cm}$						
$r \text{ (cm)}$	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00
$1/r \text{ (cm)}^{-1}$						
$t \text{ (sec)}$	95.8	66.5	48.8	37.7	29.4	23.8

٤- إن تناقص t مع ازدياد r قد يعني أن t يتناسب عكساً مع r أو عكساً مع r^2 ، أو عكساً مع r^3 . ولكي نعلم أي الفرضيات صحيحة، ينبغي تجريب كل الاحتمالات حتى نحصل على خط مستقيم بين تحويلات t ومقلوب r مرفوعاً لقوة معينة. إلا أن طبيعة المسألة توحي بأن زمن الانفراغ يرتبط بمساحة الفتحة، فكلما كبرت المساحة صغر زمن انفراغ الحوض. وللتحقق من ذلك ارسم على ورقة مليمترية ثلاثة تحويلات t بدلالة $\frac{1}{r^2}$ وذلك من أجل: $h = 16.0 \text{ cm}$ مثلاً. هل كان توقعنا صحيحاً؟ ما هي معادلة المنحني الناتج؟ اكتبها بصيغتها الحرفية العامة ثم عين ثوابتها بإحدى الطرق التي تعرفها. لاحظ أن المنحني ينبغي أن يمر من المبدأ، أي النقطة (0,0) هي نقطة من المنحني المطلوب رسمه وذلك لأن $\frac{1}{r^2} = 0$ تقابل فتحة في أسفل الحوض كبيرة للغاية تجعل زمن انفراغ الحوض معدوماً. وخذ القيم من الجدول التالي:

من أجل ارتفاع الماء في الحوض: $h = 16.0 \text{ cm}$						
$r \text{ (cm)}$	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00
$1/r^2 \text{ (cm)}^{-2}$						
$t \text{ (sec)}$	768.8	533.8	392.2	299.7	237.3	191.7

٥- ارسم على نفس الورقة المليمترية المستخدمة في الفقرة (الخط البياني لتحويلات t بدلالة $1/r^2$ وذلك من أجل $h = 9.0 \text{ cm}$ وتحقق من أنه يشير أيضاً إلى تناسب t عكساً مع r^2 . ما هي معادلة المنحني الناتج؟ عين ثوابتها العددية. لاحظ أن المنحني هنا يمر بالمبدأ كذلك. استفد من هذه المعادلة لإيجاد زمن الانفراغ عندما $r = 0.75 \text{ cm}$.

من أجل ارتفاع الماء في الحوض: $h = 9.0 \text{ cm}$						
$r \text{ (cm)}$	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00
$1/r^2 \text{ (cm)}^{-2}$						
$t \text{ (sec)}$	323.8	225.2	164.7	125.8	99.7	80.9

٦- ارسم على ورقة مليمتريّة رابعة الخط البياني لتحوّلات t بدلالة h مع بقاء r ثابتاً ويساوي $r = 1.00 \text{ cm}$ ، خذ القيم من الجدول التالي :

من أجل نصف قطر فتحة الحوض: $r = 1.00 \text{ cm}$				
$h \text{ (cm)}$	1.0	4.0	9.0	16.0
$t \text{ (sec)}$	2.9	23.8	80.9	191.7

هل يمر المنحني المرسوم من المبدأ؟ هل تستطيع أن تتنبأ بشكل العلاقة التي تربط بين t و h مع بقاء r ثابتاً، وذلك في ضوء معرفتك لمعادلات المنحنيات الشهيرة؟ إن بإمكاننا إيجاد شكل العلاقة باستخدام الورق اللغريتمي كما هو مبين في الفقرة التالية.

٧- يمكن في الحالة العامة أن نعبر عن علاقة t مع h بالشكل t يتناسب مع h^n ، حيث n قوة صحيحة أو كسرية موجبة أو سالبة. ولتعيين قيمة n ، ارسم على ورقة لغريتمية تحولات t بدلالة h مع بقاء r ثابتاً ويساوي 0.50 cm ، خذ القيم من الجدول أدناه. فإذا أمكن إمرار خط مستقيم من النقاط التجريبية المثلثة على الورق اللغريتمي كان ذلك دليلاً على صحة افتراضنا، أي تناسب t مع h^n ، ونكتب العلاقة من الشكل $t = \alpha \cdot h^n$ ، وتكون قيمة n مساوية ميل الخط البياني الهندسي المرسوم مقيساً بالمسطرة العادية. أوجد قيمة n .

من أجل نصف قطر فتحة الحوض: $r = 0.50 \text{ cm}$				
$h \text{ (cm)}$	1.0	4.0	9.0	16.0
$t \text{ (sec)}$	12.1	95.8	323.8	768.8

٨- ارسم على نفس الورقة اللغريتمية الخطوط البيانية لتحوّلات t بدلالة h من أجل قيم أخرى لـ r . هل تجد نفس القيمة لـ n من أجل هذه المنحنيات؟

٩- إذا افترضنا أن الفقرة (4) أفادت بأن t تتناسب مع $1/r^2$ ، وإذا افترضنا بأن الفقرة (7) أفادت بأن t تتناسب مع hn ، فإن دمج النتيجتين معاً يفيد بأن t تتناسب مع جدائهما أي مع المقدار $\frac{h^n}{r^2}$ ، ويمكننا أن نكتب علاقة t مع h و r على الشكل التالي :

$$t = k \cdot \frac{h^n}{r^2}$$

حيث k ثابت يمكن حسابه بالتعويض في هذه العلاقة بقيم t و h و r العائدة لإحدى النقاط التجريبية.

١٠- احسب قيمة k ما لا يقل عن ثلاث مرات مستفيداً من القيم التجريبية وخذ الوسطي وقربه إلى المرتبة التي تراها مناسبة، ثم تحقق من أن العلاقة السابقة التي حصلت عليها تعطي قيم t قريبة جداً من النتائج التجريبية مهما كانت h ومهما كانت r . رتب نتائجك في جدول كالتالي :

h = cm		n =		
r (cm)	h (cm)	t (sec)	$k = \frac{t \cdot r^2}{h^n}$	$ \Delta k $
0.50				
0.70				
1.00				
القيمة الوسطى				

* * *

الميزان الحساس

The Analytical Balance

١- الغاية من التجربة:

- التعرف على أجزاء الميزان الحساس وآلية حركته والاحتياطات الواجب اتخاذها أثناء استخدامه ، ومعرفة صفاته من أمانة و عدل وحساسية .
- تقدير حساسية الميزان وبيان فوائدها ، ومعرفة طرائق الوزن ، وتقدير الارتياب فيها.
- استخدام الميزان الحساس لقياس الكتل الحجمية لعدد من المواد عن طريق قياس أبعادها وكتلتها.

٢- التمهيد النظري:

إن قياس كتل الأجسام عملية هامة لكون الكتلة إحدى المقادير الفيزيائية الأساسية في جمل الواحدات إلى جانب الطول والزمن. وهي مقدار مستقل عن المكان. أما ثقل الجسم W ، فهو يختلف من مكان لآخر، ويساوي جداء كتلته M في تسارع الجاذبية الأرضية g في مكان وجوده، أي:

$$W = M \cdot g \quad (1)$$

والميزان الحساس وسيلتنا لمقارنة كتل الأجسام ، ولقياسها بدقة.

- توازن الميزان:

يتحقق توازن الميزان الحساس لدى وضع كتلتين M_1 ، M_2 في كفتيه ، إذا تساوى عزم الثقلين في كفتيه بالنسبة لمحور دوران العائق. أي إذا تحققت المساواة التالية :

$$M_1 \cdot g \cdot L_1 = M_2 \cdot g \cdot L_2$$

حيث L_1 و L_2 طولاً ذراعى العاتق، فإذا تساوى الذراعان أي: $L_1 = L_2$ ينتج أن:

$$M_1 = M_2 \quad (2)$$

وهذا هو مبدأ عملية الوزن أو قياس الكتلة، فنحن نقارن الكتلة المجهولة بكتل عيارية تعرف باسم السنجات.

٣- صفات الميزان:

تؤدي معرفة صفات الميزان الحساس الأساسية إلى إجراء عمليات الوزن بأقل قدر ممكن من الارتياح، وتتحقق هذه الصفات بتحقيق جملة من الشروط يتعلق بعضها بصانع الميزان، ويتعلق بعضها الآخر بالمجرب. وسوف نقتصر على ما يهمنا منها:

أ- أمانة الميزان:

الأمانة: هي صفة الميزان الأساسية، وهي عدم تغير وضعة التوازن عند تكرار عملية الوزن لجسم معين عدة مرات.

يتطلب هذا دقة حروف السكاكين الثلاثة في الميزان و توازيها، مما يضمن عودة حامل الكفتين إلى مكان تعليقهما و بالتالي ثبوت طولي الذراعين L_1 و L_2 دون تساويهما بالضرورة. و يساعد على تحقيق هذا الأمر صنع عاتق الميزان من مادة صلبة لا تنحني بسهولة. و تحدد للميزان حمولة عظمى ينبغي عدم تجاوزها لضمان عدم انحناء العاتق و ثبات أمانة الميزان.

ب- عدل الميزان:

عدل الميزان: هي عدم تغير وضعة التوازن إذا أضفنا كتلتين متساويتين إلى الكفتين المتوازنتين، أو إذا بادلنا بين الكتلتين المتوازنتين في الكفتين، ويتحقق هذا بتساوي ذراعي الميزان أي: $L_1 = L_2$

ج- حساسية الميزان:

تعرف الحساسية التجارية بأنها: عدد المليغرامات التي تسبب انحراف إبرة الميزان تقسيمة واحدة عند إضافتها إلى إحدى الكفتين، أي:

$$S = \frac{m}{|n-n'|} \text{ mg / تقسيمة} \quad (3)$$

حيث تمثل n وضعة التوازن لدى وضع كتلتين متساويتين في كفتيه، و n' وضعة التوازن بعد إضافة الكتلة الصغيرة m مقدرة بالمليغرامات لإحدى الكفتين .
وتقدر الحساسية S بالمليغرام/ تقسيمة، وهي تتغير عموماً بتغير حمولة الميزان .

٤- طرائق الوزن:

يوجد ثلاث طرائق لقياس الكتلة بالميزان وهي:

أ- الوزن البسيط:

نعين وضعة توازن إبرة الميزان وكفتاه فارغتان، ثم يوضع الجسم المجهول في وسط إحدى الكفتين، و توضع السنجات في الكفة الثانية، حتى تعود الإبرة إلى وضعة التوازن السابقة، فيكون وزن الجسم المجهول هو وزن السنجات .
تعطي هذه الطريقة قياساً صحيحاً للكتلة إذا كان الميزان أميناً وعادلاً. أي إذا كان ذراعا العاتق متساويين $L_1 = L_2$.

ب- الوزن المتبادل أو طريقة غوص:

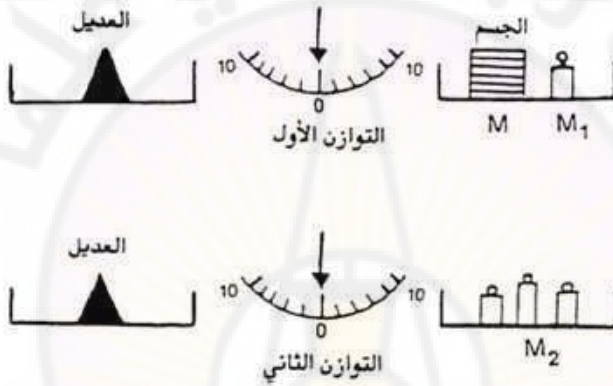
- ١- تقاس كتلة الجسم بطريقة الوزن البسيط، وذلك بوضع الجسم في إحدى الكفتين، ولتكن M_1 كتلة السنجات المتوازنة مع الجسم.
- ٢- تقاس كتلة الجسم مرة أخرى بوضعه في الكفة الثانية، ولتكن M_2 كتلة السنجات الموازنة له. فتعطي كتلة الجسم المجهول M بالعلاقة:

$$M = \sqrt{M_1 \cdot M_2} \quad (4)$$

إن هذه الطريقة دقيقة ولا تتعلق بعدل الميزان أي تساوي الذراعين .

جـ- الوزن المضاعف أو طريقة بوردا :

تستخدم هذه الطريقة في الوزن لتلافي عدم عدل الميزان، وهي تقوم على وضع كتلة ثابتة في إحدى الكفتين هي العديل، أثقل من كتلة الجسم المقاس بقليل، وعلى تحقيق توازنين في موضع واحد n من سلم التدرج كما في الشكل (1) وفق ما يلي :



$$M = M_2 - M_1 \quad \text{كتلة الجسم :}$$

الشكل (١) : تعيين كتلة الجسم بطريقة الوزن المضاعف

يوضع الجسم المجهول الكتلة M في وسط إحدى الكفتين، ويوضع في الكفة الأخرى العديل، ويضاف السنجات M_1 إلى الكفة التي فيها الجسم المجهول لحدوث التوازن على التدرج n .

٢- يترك العديل مكانه، وتفرغ كفة الجسم من محتوياتها، ثم يوضع في هذه الكفة السنجات M_2 التي تعيد وضعة التوازن على التدرج n ذاتها. فإذا كان L طول الذراع المتعلق بكفة الجسم فيكون العزم المؤثر على كفة الجسم متساوياً بين التوازن الأول والتوازن الثاني، أي :

$$(M + M_1) \cdot L = M_2 \cdot L$$

ومنه تكون كتلة الجسم M تعطى بالعلاقة :

$$M = M_2 - M_1 \quad (5)$$

و بهذه الطريقة لا يتعلق قياس الكتلة بطول الذراع ، أي أنها لا تتعلق بعدل الميزان.

٥- الأجهزة والأدوات المستخدمة:

ميزان حساس حمولته العظمى g 200 ، علبة سنجات تحوي كتلاً مختلفة بدءاً من الغرام حتى الحمولة العظمى للميزان. مجموعة سنجات من أجزاء الغرام، ملقط لتناول السنجات، جسم مجهول الوزن، عدیل رصاصي، متوازي مستطيلات من مواد مختلفة أو أسطوانة معدنية، دواة لولبية .

٦- وصف الميزان:

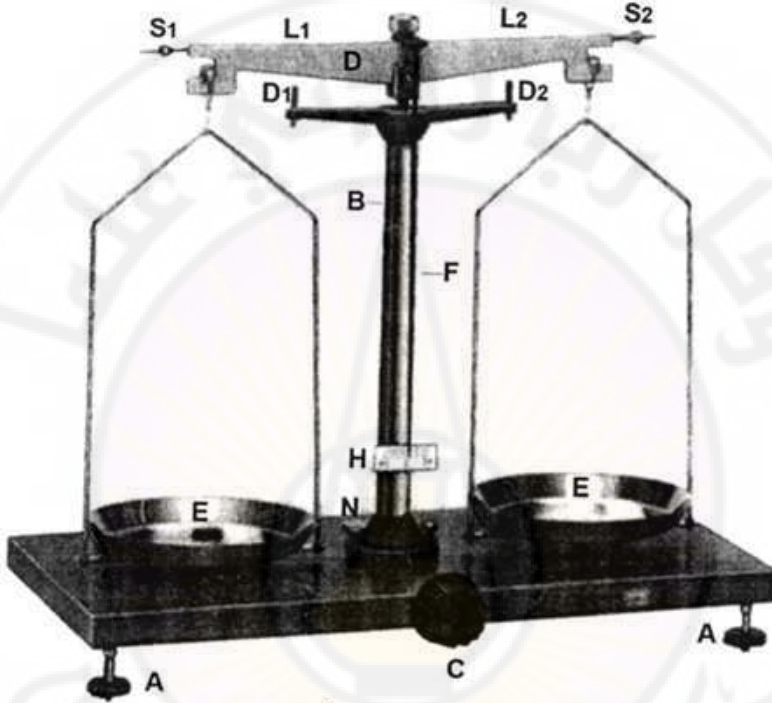
توجد نماذج مختلفة للميزان الحساس. وسنقتصر على وصف نموذج منها هو المبين في الشكل (2) .

يتألف الميزان الحساس من الأجزاء الرئيسية التالية:

أ- قاعدة الميزان:

وهي قطعة خشبية مجهزة من أسفلها بثلاثة مساند، أحدها ثابت وهو الخلفي، واثنان أماميان مجهزان بلولين A يستخدمان لضبط استواء قاعدة الميزان بمساعدة أداة تسوية ذات فقاعة هوائية N مثبتة على القاعدة. ويدار اللولبان لهذه الغاية حتى تظهر الفقاعة الهوائية عندما ننظر إليها شاقولياً داخل الدائرة المرسومة على الزجاج الساتر لها.

قد تستبدل الفقاعة الهوائية في بعض الموازين بخيط مطمار صغير معلق بعمود الميزان، وفي هذه الحالة ينبغي أن تنطبق نهاية المطمار على الرأس المدبب المثبت بالعمود.

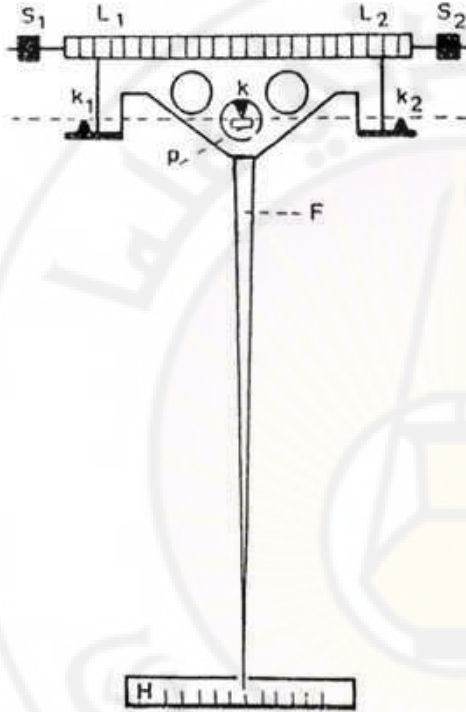


الشكل (٢) : الميزان الحساس وأجزائه الرئيسية

ب- عمود الميزان:

و هو عبارة عن قطعة معدنية طويلة مجوفة B ومثبتة بصورة جيدة في القاعدة بحيث تكون عمودية عليها وتحمل في أسفلها لوحة مدرجة H، كما في الشكل (3). تتحرك تجاهها إبرة F يدل استقرارها على وضعة توازن الميزان. و يتحرك داخل العمود الثابت هذا ساق معدنية يمكن تحريكها بواسطة زر التثبيت C الواقع في منتصف قاعدة الميزان من الأمام. يقوم هذا الزر برفع الساق المتحركة لدى إدارته في اتجاه عقارب الساعة وذلك لتحرير عاتق الميزان، كما يقوم بخفضها لدى إدارته في اتجاه عكس عقارب الساعة، وذلك لتثبيت عاتق الميزان.

يجهز العمود المتحرك (الساق المعدنية) في أعلاه بقطعة معدنية تحمل في منتصفها مسنداً مستوياً P من العقيق، وهي مادة تمتاز بقساوتها. بينما يجهز العمود الثابت B في أعلاه بقطعة معدنية تمتد إلى الجانبين تحمل مسندين D_1 و D_2 لكي يستند العاتق إليهما عند تثبيته.



الشكل (٣) : جملة العاتق

ج- عاتق الميزان:

يتألف عاتق الميزان أو (قب الميزان) من قطعة معدنية قاسية D مجهزة من أسفلها بثلاثة سكاكين K_1 ، K ، K_2 يُجعل حرف الوسطى منها K متجهاً نحو الأسفل ويستند عند تحرير عاتق الميزان على مستوي العقيق المثبت في منتصف الساق المتحركة من عمود الميزان، في حين يجعل حرفا السكّين الجانبيين K_1 ، K_2 متجهين نحو الأعلى، ويستند كل منهما عند تحرير عاتق الميزان إلى مستوي من العقيق مثبت

في الركاب الحامل لكل من كفتي الميزان E ، كما في الشكل (3).

تثبت إبرة الميزان F عادة في منتصف العاتق المجهز في نهايته بلولبين S_1 ،

يساعدان على ضبط توازن الميزان عندما يكون فارغاً على منتصف سلم التدرج H .

وتقسم الحافة العلوية من العاتق عادة إلى خمسين تقسيمة من المنتصف إلى

اليمين، ومثلها إلى اليسار، بحيث تعادل كل تقسيمة 0.2 mg عندما يوضع الراكب

عليها. وتجعل النهاية العليا للعاتق مسننة عند هذه التقسيمات بغية وضع الراكب في

تجاويفها بملقط مناسب.

و في بعض الموازين يوضع الراكب على عاتق الميزان بواسطة أداة نقل الراكب G وهي مثبتة في أعلى الميزان بقضيب يمكن تحريكه يمناً ويسرة لوضع الراكب على أي تدريج من تدريجات حافة العاتق .

د- السنجات:

ترفق مع كل ميزان مجموعة سنجات من أضعاف الغرام، قيمة أكبر سنجة فيها تساوي الحمولة العظمى للميزان، كما يوجد سنجات من أجزاء الغرام، ينبغي تناولها بالملقط .

٧- مراحل العمل والنتائج:

١- الاحتياطات الواجب اتخاذها حين استخدام الميزان:

الميزان جهاز حساس فينبغي قبل الشروع باستعماله الانتباه إلى مايلي:

أ- التعرف على أجزاء الميزان المختلفة و وظائفها و نخص بالذكر لولبي ضبط إبرة الميزان عند الصفر S_1 ، S_2 ، و لولبي ضبط سووية قاعدة الميزان A، و زر التثبيت C الذي يستعمل لتثبيت عاتق الميزان D عند عدم استعماله . لذا ينبغي تحريك هذا الزر بلطف، كما ينبغي تجنب وضع السنجات في كفة الميزان و عاتقه محرر، إذ ينبغي وضعها في وسط كفة الميزان حينما يكون العاتق مثبتاً .

ب- تجنب لمس السنجات باليد لئلا تعلق فيها المواد الدهنية فتغير من كتلتها . واستعمل الملقط لنقلها و أعدها إلى علبتها عقب الانتهاء من استعمالها .

ج- تجنب وضع المواد السائلة أو المسحوقة في كفتي الميزان مباشرة لئلا تؤثر هذه المواد عليها كيميائياً فتغير كتلتها .

هـ- استعمل الميزان في مكان ليس فيه تيارات هوائية، و يفضل أن يكون الميزان موضوعاً في قفص زجاجي . كما ينبغي تجنب هز الطاولة التي يوضع عليها الميزان .

٢- إعداد الجسم للوزن:

أ- إذا كان الجسم حاراً فينبغي تركه حتى يبرد، وإذا كان الجسم الساخن سائلاً فينبغي وضعه في مجفف حتى يبرد دون أن يمتص بخار الماء من الجو .

ب- إذا كان الجسم مسحوقاً أو سائلاً فينبغي وضعه في وعاء موزون مسبقاً لئلا تعلق ذرات المسحوق بالكفة، أو تؤثر المادة السائلة في كفة الميزان، وإذا حدث وتلوثت الكفة فيجب تنظيفها مباشرة.

ج- إذا كان الجسم المراد وزنه بارداً و صلباً، فلا مانع من استخدامه مباشرة.

٣- إعداد الميزان للعمل:

وهذا يتطلب تحقيق ما يلي:

أ- ضبط سوية الميزان:

ويتم ذلك بتحريك اللولبين الأماميين A والنظر إلى فقاعة أداة التسوية بصورة شاقولية حتى تصبح فقاعة الهواء ضمن محيط الدائرة المرسومة على الزجاج الساتر لها، أو استخدام المطمار المعلق لهذه الغاية.

ب- ضبط صفر الميزان:

أدر زر التثبيت C برفق في اتجاه حركة عقارب الساعة فيتحرك عاتق الميزان D. دع الميزان ينوس، ثم عين وضعة توازنه بحيث يكون انحراف إبرة الميزان في جوار منتصف سلم التدرج H المثبت في أسفل العمود B . فإذا لم يتحقق ذلك، أدر زر التثبيت C في الاتجاه المعاكس واستخدم لولبي ضبط الصفر S_1 ، S_2 حتى تحصل على حالة اهتزاز يصبح فيها مقدار انحراف إبرة الميزان تجاه سلم التدرج متساوياً

تقريباً في الجانبين حول الصفر عند تحرير العاتق برفق، سعياً لجعل الإبرة تستقر عند منتصف سلم التدرج H إذا تركت حتى تقف .

إذا كان الميزان حاد السكاكين وطال زمن انتظاره حتى يقف عن الاهتزاز لدى تحرير عاتقه، نلجأ في هذه الحالة إلى طريقة المطالات الثلاث لتحديد وضعة توازن إبرة الميزان دونما حاجة لانتظار توقف اهتزازها.

٤- طريقة المطالات الثلاثة:

إذا تأرجحت إبرة الميزان فبلغت على التوالي التدرجة n_1 إلى اليسار ثم التدرجة n_2 إلى اليمين ثم التدرجة n_3 إلى اليسار، تكون وضعة التوازن هي التدرجة n المعطاة بالعلاقة:

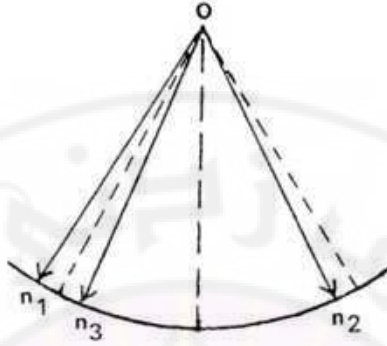
$$n = \frac{n_2 + \frac{n_1 + n_3}{2}}{2}$$

ومنه نجد:

$$n = \frac{n_1 + 2 \cdot n_2 + n_3}{4} \quad (6)$$

أي أن وضعة توازن إبرة الميزان n تقع في منتصف المسافة الفاصلة ما بين التدرجة n_2 ووسطي التدرجتين n_1 ، n_3 . كما في الشكل (4).
ملاحظة:

لدى قراءة المطالات الثلاثة: n_1 ، n_2 ، n_3 تقرب القراءة إلى أقرب تدرجة صحيحة، أي أننا نهمل كسر التقسيمة الواحدة، ثم نقرب n إلى أقرب عدد صحيح.
إذا اعتبر صفر سلم التدرج H في منتصفه، عُدت التدرجات موجبة عن يمين الصفر وسالبة عن يساره، كانت الأعداد n السابقة كلها جبرية. بيد أن تطبيق قاعدة المطالات الثلاثة لا يوجب هذا الأمر، إذ يكفي افتراض نقطة الصفر في أقصى اليسار من سلم التدرج، وتغدو الأعداد n كلها عندئذٍ موجبة.



الشكل (٤) : طريقة المطالات الثلاثة

٥- تقدير الحساسية وفوائدها:

أ- تقدير الحساسية:

إنَّ حساسية الميزان التجارية هي بالتعريف: عدد المليغرامات التي تحرف إبرة الميزان تدريجة واحدة. ونحصل عليها كما يلي:

١- نضع كتلتين متساويتين M في كفتي الميزان، ثم نحرر الميزان ونعين وضعة التوازن بطريقة المطالات الثلاثة ولتكن عند التدريجة n .

٢- نضيف كتلة صغيرة m من رتبة عشرات المليغرامات إلى إحدى الكفتين، فينزاح التوازن إلى وضعة جديدة ولتكن n' فتكون الحساسية حسب التعريف:

$$S = \frac{m}{|n - n'|} \quad \text{تقسيمه } mg \quad (7)$$

٣- أعد العمل من أجل حمولات مختلفة متزايدة حتى الحمولة العظمى. إنَّ حساسية الميزان تختلف باختلاف الحمولة، لذلك فهي تابعة للحمولة. ونحسبها في حالة الوزن المضاعف من أجل حمولة العديل لأنه يظل ثابتاً أثناء عمليات الوزن .

ملاحظة:

يكون الارتياح في تقدير الحساسية S أقل ما يمكن عندما يكون الفرق $|n - n'|$ أكبر ما يمكن، ويتحقق ذلك باختيار الكتلة m بشكل مناسب.

٤- رتب نتائج القياس في جدول كالتالي:

رقم التجربة	حمولة الميزان M g	n	m mg	n'	$ n - n' $	$S = \frac{m}{ n - n' }$ تقسمة mg
1	0					
2	25					
3	50					
4	75					
5	100					
6	125					
7	حمولة العديل					
8	الحمولة العظمى					

٥- إذا كانت قيم الحساسية متقاربة، فاحسب القيمة الوسطى $\bar{S}$ ، وإذا كانت قيم الحساسية S غير متقاربة، أي تابعة للحمولة M ، ارسم على ورقة مليمتريّة منحنى الحساسية، أي تحولات S بدلالة M .

ب- فوائد الحساسية:

١- تقدير الارتياح:

تقدير الارتياح في عملية الوزن في الميزان الحساس من أجل الكتلة أو الحمولة المستخدمة، ومن أجل وضعيتي التوازن في حالة الوزن المضاعف، فيكون ΔM هو الحساسية S أي:

$$\Delta M = S(mg) = \frac{S}{1000} \text{ g} \quad (8)$$

٢- اختصار عمليات الوزن:

يتطلب الوزن الصحيح لجسم ما بطريقة الوزن البسيط وضع بعض السنجات في إحدى كفتي الميزان ليتم التوازن. ولما كان الأمر صعباً في الحالة العامة لعدم توفر السنجات الصغيرة المناسبة، فيمكننا الاكتفاء بالحصول على وضعة توازن مجاورة لوضعة التوازن المنشودة، كأن تختلف عنها بمسافة a تقسيمة ونحسب الكتلة m' الواجب إضافتها إلى السنجات الموجودة في الكفة أو طرحها منها بالعلاقة:

$$m' = S \cdot a \quad (9)$$

إذا كانت الحساسية S متغيرة من أجل حمولات مختلفة، فيمكن حساب الحساسية لكل حمولة من منحنى الحساسية.

٦- عمليات الوزن:

١- أوجد بطريقة الوزن البسيط كتلة الأسطوانة المعدنية، واحسب الارتفاع فيها.

٢- أوجد بطريقة الوزن المضاعف كتلة الاسطوانة المعدنية السابقة واحسب الارتفاع فيها.

٣- أوجد بطريقة الوزن المتبادل كتلة الاسطوانة المعدنية السابقة واحسب الارتفاع فيها.

٤- قارن بين النتائج الثلاث. ثم احسب حجم الأسطوانة بقياس ارتفاعها h ونصف قطر قاعدتها r من العلاقة: $V = \pi \cdot r^2 \cdot h$ ، ثم احسب كتلتها الحجمية من العلاقة: $\rho = \frac{M}{V}$ واحسب الارتفاع النسبي و المطلق في الكتلة الحجمية ρ بطريقة القياس غير المباشر مستخدماً طريقة التفاضل اللغريتمي.

٧- استخدام الميزان لقياس الكتل الحجمية:

١- قس بالقدم القنوية أو بالدوارة اللولبية أبعاد متوازيات المستطيلات a, b, c

a لعدد من المواد المختلفة المعطاة لك ثلاث مرات لكل منها.

٢- سجل نتائج القياس في جدول كالتالي:

المادة	الحديد						الخشب					
رقم التجربة	a mm	\Delta a mm	b mm	\Delta b mm	C mm	\Delta c mm	a mm	\Delta a mm	b mm	\Delta b mm	c mm	\Delta c mm
1												
2												
3												
القيمة الوسطى												
النتيجة النهائية												
الارتياح النسبي المئوي												

٣- أحسب حجم متوازي المستطيلات V من العلاقة:

$$V = a \cdot b \cdot c \quad \text{cm}^3$$

واحسب الارتياحين النسبي والمطلق المرتكبين في الحجم V بطريقة القياس غير المباشر مستخدماً طريقة التفاضل اللغريتمي.

٤- قس بطريقة الوزن المضاعف كتلة متوازي المستطيلات M واستنتج الارتياح المطلق ΔM في عملية الوزن من منحني الحساسية. ثم قس كتلة متوازي المستطيلات الآخر.

٥- احسب الكتلة الحجمية ρ لكل متوازي المستطيلات من العلاقة:

$$\rho = \frac{M}{V} \quad \text{g/cm}^3$$

٦- سجل نتائج القياس في جدول كالتالي :

مادة متوازي المسطحات	M g	V cm ³	$\rho = \frac{M}{V}$ g /cm ³	$\Delta\rho$ g /cm ³	$r\% = \frac{\Delta\rho}{\rho} \times 100\%$
الحديد					
الخشب					
رصاص					
نحاس					
توتياء					

٧- احسب الارتياحين النسبي والمطلق في حساب ρ بطريقة القياس غير المباشر مستخدماً طريقة التفاضل اللغريتمي .

٨- قارن نتائجك مع قيم ρ للمواد المختلفة المعروفة من جداول الثوابت و فسر أي تباین بينهما .

* * *

تجارب في الميكانيك الفيزيائي و خواص المادة

النواس البسيط

الحركة الاهتزازية التوافقية

قياس الكثافة بطريقة الدورق

قياس التوتر السطحي

اللزوجة



الفواس البسيط

The simple pendulum

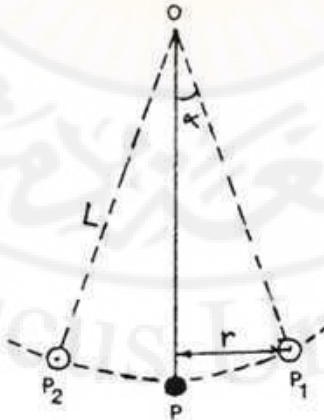
١- الغاية من التجربة:

- التحقق من صحة قانون النواس البسيط .
- دراسة العوامل المؤثرة في دور النواس البسيط .
- حساب تسارع الثقالة الأرضية g باستخدام قانون دور النواس .

٢- التمهيد النظري:

أ- تعاريف:

يعرّف النواس البسيط بأنه نقطة مادية معلقة بخيط عديم الكتلة والفتل والتمدد، تُثبت طرفه العلوي بنقطة ثابتة O تسمى نقطة التعليق .
وبما أنّ هذا النواس لا يمكن تحقيقه عملياً، إنّما يمكن تحقيق نواس أقرب ما يكون إلى النواس البسيط المثالي بتعليق كرة صغيرة ثقيلة P بخيط طويل دقيق وقليل التمدد OP وضئيل الكتلة، وعديم الفتل، كما هو مبين في الشكل (١) .



الشكل (١): النواس البسيط

كما نعرف عدة مقادير بالنسبة للنواس البسيط:

- ١- طول النواس البسيط L : وهو المسافة بين نقطة تعليقه O ومركز كرته P .
 - ٢- سعة النوسان α : هي الزاوية التي يصنعها خيط النواس مع الشاقول المار من O أثناء نوسانه .
 - ٣- النوسة الكاملة: هي الحركة التي يقوم بها النواس عندما يشرع بالحركة من نقطة معينة حتى يعود إلى هذه النقطة متجهاً بالجهة نفسها التي بدأ بها الحركة.
 - ٤- الدور T : هو المدة اللازمة ليقوم النواس بنوسة كاملة.
 - ٥- التواتر f : هو عدد النوسات في الثانية وهو يساوي مقلوب الدور أي : $f = \frac{1}{T}$
- ب- حركة النواس البسيط:

إن وضع توازن النواس هو الوضع الشاقولي OP ، حيث يقع ثقل كرته على خط الشاقول المار من نقطة التعليق O . فإذا أزيح عن وضعة التوازن هذه إلى الوضعة OP_1 بزاوية α هي سعة النوسة ، ثم ترك وشأنه ، قام بحركة اهتزازية بين الوضعين المتناظرين OP_1 و OP_2 على مساره .

ج- معادلة دور النواس:

إذا كانت كتلة النواس m وطوله L ، فإن ثقله هو $m.g$ كما هو مبين في الشكل (2). فإذا حرفنا النواس عن وضعة توازنه OP على مساره إلى النقطة P_1 حيث يصنع خيطه زاوية α مع وضعة التوازن OP ، فيمكن تحليل ثقله $m.g$ إلى مركبتين: إحداها على استقامة خيطه يفتنيها شد الخيط، والأخرى مماسية F_T قيمتها تساوي:

$$m \cdot g \cdot \sin \alpha$$

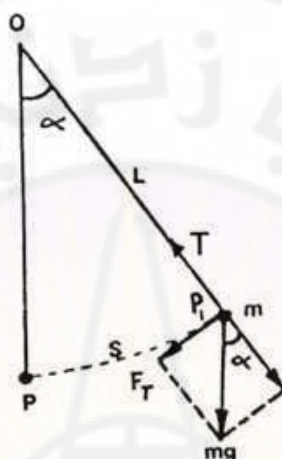
ولما كانت جهة الحركة معاكسة لجهة الزاوية α نكتب : $F_T = - m.g.\sin \alpha$

وإذا كانت السعة صغيرة وقدرنا α بالرديان فيكون : $F_T = - m.g.\alpha$

وهي القوة المعيدة للتوازن، وهي متناسبة مع الانتقال الزاوي. وتكون الحركة اهتزازية توافقية ضمن هذا التقريب، أي: في حالة السعات الصغيرة .

وحسب قانون نيوتن الثاني تكون القوة المماسية مساويةً:

$$F_T = m \cdot \gamma_T$$



الشكل (٢): حركة النواس البسيط

ولما كان مركز ثقل النواس يتحرك على دائرة نصف قطرها L ، فإن التسارع

المماسي يعطى بالعلاقة:

$$\gamma_T = L \frac{d^2 \alpha}{dt^2}$$

$$m \cdot \gamma_T = -m \cdot g \cdot \alpha$$

وتكون معادلة الحركة المماسية:

$$\frac{d^2 \alpha}{dt^2} + \frac{g}{L} \cdot \alpha = 0$$

أو:

وإذا سمينا $\omega^2 = \frac{g}{L}$ يكون:

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

(1)

وهي معادلة تفاضلية من المرتبة الثانية بدون طرف ثانٍ، وحلها العام من الشكل:

$$\alpha = \alpha_0 \sin (\omega.t + \varphi) \quad (2)$$

وهي حركة جيبية، نبضها الزاوي ω ويساوي $\omega = \frac{2\pi}{T}$. ولما كان لدينا:

$$\omega^2 = \frac{g}{L} \quad \text{، نجد أن دور الحركة:}$$

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

وهو قانون دور اهتزاز النواس البسيط T من أجل السعات الصغيرة (أي أقل من تسع درجات). ونلاحظ من العلاقة (3) أن دور النواس مستقل عن كتلته وعن سعته. أما إذا كانت سعة النوسة α كبيرة، فلا يعود الدور مستقلاً عنها ، وتعطي الدراسة النظرية في هذه الحالة أن دور النواس T' بدلالة دوره T من أجل السعات الصغيرة بالعلاقة التالية :

$$T' = T \left(1 + \frac{\alpha^2}{16} \right) \quad (4)$$

حيث α : هي السعة مقدرة بالراديان ، وذلك بإهمال الحدود التي هي أعلى من الدرجة الثانية في α لصغرها .

د- الدراسة التجريبية لقانون النواس البسيط:

لدراسة حركة النواس البسيط تجريبياً، فإننا نجد من قانون دور النواس البسيط (3) وعلاقته بمختلف العوامل المؤثرة مايلي :

١- قانون توقيت النوسات الصغيرة:

لا يتوقف دور النواس البسيط على سعة النوسة مادامت هذه السعة صغيرة، أي أقل من تسع درجات . ويكون الدور ثابتاً ومستقلاً عن سعة الاهتزاز . إذن فدور النواس البسيط ثابت في حالة السعات الصغيرة .

٢- قانون تأثير المادة:

إذا استخدمنا عدة نواسات متساوية في الطول و تختلف كراتها في المادة والكتلة ، كالحديد والنحاس والخشب ، وجعلت تنوس في مكان واحد من أجل ساعات صغيرة فتكون أدوارها متساوية ، إذن: لا يتعلق دور النواس البسيط بطبيعة مادته ولا بكتلته.

٣- قانون الطول:

يتبين من التجربة أن دور النواس البسيط ينقص بنقصان الطول ، ولكن هذه التابعة ليست خطية ، بل تتبع التناسب التربيعي .

إذن: يتناسب دور النواس البسيط طرماً مع الجذر التربيعي لطوله.

٤- قانون تأثير الجاذبية الأرضية:

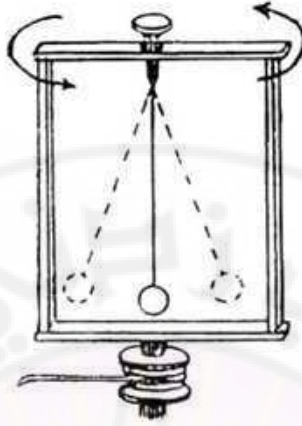
تدل التجارب على أن دور النواس البسيط ينقص بازدياد الجاذبية الأرضية له ، ويزداد إذا نقصت هذه الجاذبية . وقد دلت القياسات الدقيقة على مايلي:

يتناسب دور النواس البسيط عكساً مع الجذر التربيعي لتسارع الثقالة الأرضية في مكان النواس .

٥- قانون ثبات مستوي النوسان:

يؤخذ إطار مستطيل له ضلعان شاقوليان ، وهو قابل للدوران حول محور شاقولي مار من منتصف ضلعيه الأفقيين كما هو مبين في الشكل (3) .

فإذا ثبتنا نواساً بسيطاً في منتصف الضلع الأعلى من الإطار المستطيل بحيث ينطبق خيطه على محور دوران الإطار ، ثم جعلنا النواس يهتز في مستوى الإطار ، فإن مستوي اهتزازة يظل منطبقاً على مستوى الإطار .



الشكل (٣): ثبات مستوى النوسان

ثم إذا دورنا الإطار المستطيل نلاحظ أنَّ مستوي اهتزاز النوسان لا يدور معه، بل يظل ثابتاً على حاله الأولى، ويدور الإطار مستقلاً عن حركة النوسان. ومنه النتيجة التالية:

إنَّ مستوي نوسان النوسان ثابت تماماً ولا يتبع محور النوسان في دورانه. ولهذه النتيجة أهمية عظيمة حيث تمكن العالم فوكو بواسطتها من البرهان على دوران الأرض.

- وينتج من القانون المعطى بالعلاقة (3) أنَّ دور النوسان:

- ١- لا يتوقف على سعة النوسة مادامت هذه السعة صغيرة.
- ٢- لا يتعلق بكتلة النوسان أو بطبيعة مادته.
- ٣- يتناسب مع الجذر التربيعي لطول النوسان.
- ٤- يتناسب عكساً مع الجذر التربيعي لتسارع لثقالة الأرضية في مكان النوسان.
- ٥- إنَّ مستوى النوسان ثابت ولا يتبع محور النوسان في دورانه.

٣- الأجهزة و الأدوات المستخدمة:

حامل معدني للنواس، خيط ضئيل الكتلة والفتل والتمدد، عداد ثوان، ثلاث كرات من النحاس والحديد و الخشب، متر معدني لقياس طول النواس، مسطرة خشبية لتقدير إزاحة الكرة، قدم قنوية لقياس قطر الكرات .

- وصف عداد الثواني :

يستخدم في هذه التجربة عداد ثوان رقمي مجهز بثلاثة أزرار: أسود- أخضر- أحمر . أحدها للتشغيل والثاني للإيقاف والثالث للتصغير، كما يوجد نوع آخر له زران: الأول أحمر للتشغيل و الإيقاف و الثاني أسود للتصغير .

٤- مراحل العمل والنتائج:

أولاً- التحقق من استقلال دور النواس عن سعته مادامت صغيرة:

١- قس بالقدم القنوية قطر كل من الكرات الثلاث . يكرر القياس ثلاث مرات لكل كرة في مواضع مختلفة ثم يحسب نصف القطر الوسطي.

٢- اربط الكرة بخيط يتدلى من ثقب القضيب الأفقي المثبت في أعلى الحامل الشاقولي، واضبط طول الخيط بحيث تكون المسافة الفاصلة بين مركز الكرة ونقطة التعليق مساوية المتر . ثبت طرف الخيط العلوي بالحامل .

٣- أزح النواس عن وضعة توازنه بزاوية قدرها 3° وهو يوافق إزاحة كرة النواس عن وضعة توازنها مسافة 0.05 m تقريباً إذا كان طول النواس 1.00 m . لاحظ أن $\sin \alpha = \frac{x}{L}$ و منه :

$$x = L \cdot \sin \alpha \quad \text{أو} \quad x = L \cdot \alpha \quad \text{على أن تقدر } \alpha \text{ بالراديان.}$$

٤- اترك الكرة تنوس، وعندما تصل إلى أقصى اليمين، اضغط على زر تشغيل عداد الثواني . راقب النواس حتى يقوم بخمسين نوسة كاملة . اضغط على زر عداد الثواني مرة أخرى، فيقف عن الحركة مشيراً إلى مدة 50 نوسة، اقرأ الزمن الكلي t .

٥- سجل نتائج القياس في الجدول التالي :

1.00m طول النواس :			مادة كرة النواس : الحديد			
الانحرافات التجريبية $ \Delta T = \bar{T} - T_i $	وسطي الدور $\bar{T} = \frac{\bar{t}}{50}$ ثانية	وسطي المدة $\bar{t}$ ثانية	مدة خمسين نوسة t ثانية			سعة النوسة α
			تجربة 3	تجربة 2	تجربة 1	
						3°
						6°
						9°
$\Delta \bar{T} =$	$\bar{T} =$	الوسطي العام				

٦- أعد المرحلتين ٣ و ٤ من أجل الإزاحة ذاتها مرتين آخرين . ثم احسب $\bar{t}$ وكذلك احسب الدور الوسطي $\bar{T} = \frac{\bar{t}}{50}$ ، وسجل النتائج في الجدول .

٧- أعد المراحل ٣ و ٤ و ٥ من أجل السعتين 6°, 9° الموافقتين لإزاحتين تساويان نحو 0.10 m و 0.15 m على الترتيب . واحسب في كل مرة القيمة الوسطى T ، ثم تمم الجدول بحساب الوسطي العام $\bar{T}$ ، والانحرافات التجريبية .

٨- تقدير الارتياح المطلق في الزمن :

إنّ قياس مدة 50 نوسة كاملة t يقتضي الضغط على زر عداد الثواني مرتين ، فيكون الارتياح المطلق لعداد الثواني 0.2 ثانية وكذلك الارتياح الارتكاسي العصبي الغريزي 0.2 ثانية ، بالإضافة إلى ارتياح قراءة عداد الثواني الذي يمكن أن يصل إلى 0.1 ثانية ، فإنّ الارتياح المطلق في قياس t هو : $\Delta t = 0.2 + 0.2 + 0.1 = 0.5$ ثانية ، أما الارتياح المطلق في قياس الدور T هو :

$$\Delta T = \frac{\Delta t}{50} = \frac{0.5}{50} = 0.01 \text{ ثانية}$$

قارن هذا الارتياح المطلق ΔT بالانحرافات التجريبية لقيم T عن الوسطي العام فإذا كانت هذه الانحرافات أصغر من ΔT دلّ ذلك على صحة قانون دور النواس واستقلاله عن سعة النوسة مادامت أقل من 9° .

ثانياً- التحقق من استقلال دور النواس عن مادة كرتة وكتلتها:

يستخدم سعة نوسان ثابتة 6° من أجل طول للنواس ثابت $L = 1.00 \text{ m}$.

١- خذ من الجدول السابق نواتج قياسك للنواس الذي كتلته من الحديد وسعة نوسانه 6° وسجلها في الجدول المبين أدناه.

٢- قس مدة 50 نوسة كاملة ثلاث مرات في حالة نواس كرتة من النحاس واحسب الدور T وسجل النتائج في الجدول.

٣- أعد الفقرة السابقة من أجل نواس كرتة من الخشب واحسب الدور T ، وسجل النتائج في الجدول.

٤- سجل نتائج القياس في جدول كالتالي:

سعة النواسات: $\alpha = 6^\circ$			طول النواس: 1.00 m		
مادة كرة النواس	مدة خمسين نوسة t ثانية			وسطي الدور	الانحرافات التجريبية
	تجربة 1	تجربة 2	تجربة 3	$\bar{t} = \frac{t}{50}$ ثانية	$ \Delta T = \bar{T} - T_i $
الحديد					
النحاس					
الخشب					
				$\bar{T} =$	$\Delta \bar{T} =$

٥- ماذا تستنتج من هذا الجدول في ضوء الارتياح المطلق الذي وجدته آنفاً أي: $\Delta \bar{T} = 0.01$ ثانية.

إذا وجدت أن النواتج العائدة لإحدى الكرات غير مقبولة، استبعدتها من حساب الوسطي العام $\bar{T}$.

ثالثاً- علاقة دور النواس بطوله:

ثبت سعة النوسة على 6° ، واستخدم إحدى الكرتين المعدنيتين.

١- قس مدة 50 وسة كاملة وذلك من أجل أطوال مختلفة للنواس تتراوح بين 0.50 و1.50 متر ولا يقل عددها عن ستة أطوال.

لاحظ أنه عندما يكون طول النواس 1.00 m فإن سعة 6° تقابل انزياحاً للنواس

$$\text{قدره: } 1 \times \frac{10}{100} = \frac{1}{10} \text{ m تقريباً.}$$

خذ وسطى ثلاث تجارب من أجل كل طول من أطوال النواس واحسب الدور $\bar{T}$.

٢- سجل نتائج القياس في جدول كالتالي:

مادة كرة النواس:			سعة النوسة: $\alpha = 6^\circ$			
$\bar{T}^2$ (ثانية) ^٢	وسطى الدور $\bar{T} = \frac{\bar{t}}{50}$ ثانية	وسطى المدة $\bar{t}$ ثانية	مدة خمسين نوسة $\bar{t}$ ثانية			طول النواس L (m)
			تجربة 3	تجربة 2	تجربة 1	
						0.50
						.
						.
						.
						.
						1.50

٣- ارسم على ورقة مليمتريّة الخط البياني لتحويلات $\bar{T}^2$ بدلالة L. بيّن أن هذا الخط مستقيم ويمر من مبدأ الإحداثيات (0,0). ثم احسب ميله الفيزيائي m المعطى بالعلاقة:

$$m = \frac{\bar{T}_2^2 - \bar{T}_1^2}{L_2 - L_1} \quad (5)$$

حيث تمثل $(L_1, \bar{T}_1^2)$ و $(L_2, \bar{T}_2^2)$ نقطتان يجب أن تكونا متباعدتين على الخط البياني.

نعلم من معادلة دور النواس البسيط (3)، وبتريع طرفيها نجد الميل هو $m = \frac{4\pi^2}{g}$ ومنه يكون:

$$g = \frac{4\pi^2}{m} \quad (6)$$

احسب قيمة تسارع الثقالة الأرضية g من العلاقة (6) بعد تعويض قيمة الميل الفيزيائي للخط البياني m من العلاقة (5).

٤- ارسم على ورقة لغريتمية الخط البياني لتحويلات $\bar{T}$ بدلالة L ، وتحقق أن ميل الخط البياني الهندسي يساوي $\frac{1}{2}$.

و كذلك احسب تسارع الثقالة الأرضية g ، من الخط البياني المرسوم على ورقة لغريتمية وذلك من تقاطع المستقيم مع محور العينات في نقطة ولتكن b من أجل $L = 1$

$$\text{من العلاقة: } b^2 = \frac{4\pi^2}{g}$$

و منها نحسب g فيكون:

$$g = \frac{4\pi^2}{b^2} \quad (7)$$

٥- قارن بين قيمتي التسارع g المحسوبتين في ٣ و ٤.

٦- احسب الارتياحين النسبي والمطلق في حساب g وذلك بتقدير الارتياح في القياس غير المباشر المركب في حساب الميل الفيزيائي من العلاقة (5) وهي:

$$m = \frac{\bar{T}_2^2 - \bar{T}_1^2}{L_2 - L_1}$$

يحسب الارتياح النسبي ثم المطلق، حيث $\Delta T = 0.01$ ثانية المحسوب آنفاً،
و أن الارتياح المطلق في طول النواس يساوي $\Delta L = 0.002$ m على الأقل .



الحركة الاهتزازية التوافقية

Simple Harmonic Motion

١- الغاية من التجربة :

- التعرف على خاصة المرونة والتحقق من قانون هوك تجريبياً .
- التعرف على نماذج من الحركات الاهتزازية والتحقق من قوانينها .

٢- التمهيد النظري :

أ- الدراسة السكونية لل نابض :

لنفترض نابضاً طوله الطبيعي L معلقاً في حامل ، كما هو مبين في الشكل (١- أ). فإذا علقنا في نهايته الأخرى كتلة m كانت القوة المؤثرة التي تشده إلى الأسفل هي $m.g$ ، ويزداد طول النابض بمقدار معين وليكن ΔL كما هو مبين في الشكل (١- ب). وقد بين هوك (Hook) أنه إذا كانت الكتلة المعلقة لا تجعل النابض يتجاوز حد مرونته ، فإن مقدار استطالة النابض يتناسب طردياً مع ثقل الكتلة المؤثرة عليه ، حسب العلاقة الآتية :

$$m.g = K. \Delta L \quad (1)$$

وهو قانون هوك ، حيث يرمز K إلى ثابت مرونة النابض ، ووحداته كما يتضح من العلاقة (1) ، هي القوة على الطول أي : (نيوتن / متر) في الجملة الدولية ، أو (دين / سم) في الجملة السغوية .

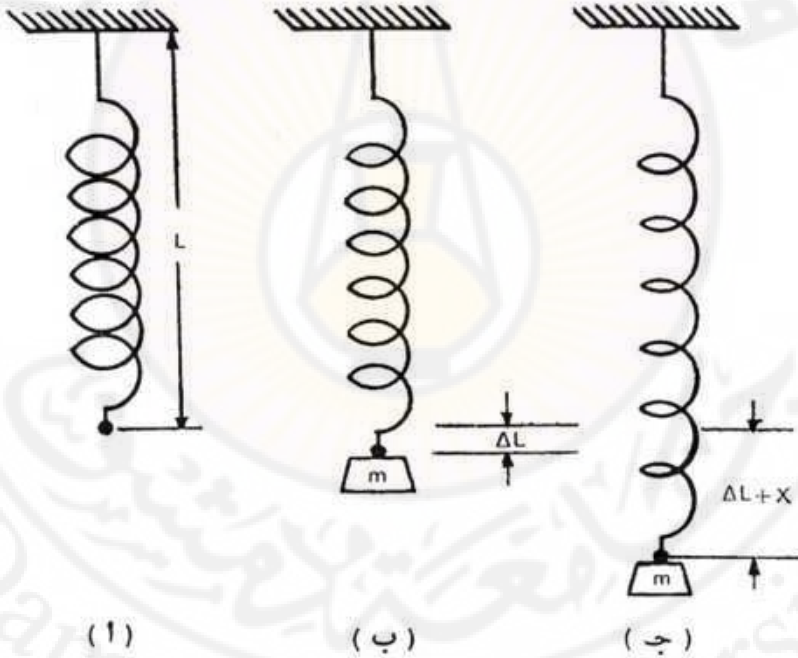
ب- الدراسة التحريكية لل نابض :

لنتأمل الآن في القوى المؤثرة في الكتلة m في الحالتين (ب) و (ج) من الشكل (1) . ففي الحالة (ب) : تخضع الكتلة m إلى قوتين متساويتين ومتعاكستين مباشرة فتتوازن. وهاتان القوتان هما الثقل $m.g$ وقوة شد النابض للكتلة m وهي القوة المعيدة إلى وضعة

التوازن ومتناسبة مع الاستطالة وقيمتها $K \cdot \Delta L$ وذلك بسبب استطالة النابض بالمقدار ΔL . إذن تصبح العلاقة (1) على الشكل التالي:

$$m \cdot g - K \cdot \Delta L = 0 \quad (2)$$

وفي الحالة (ج): إذا أزلنا الكتلة m عن وضعة توازنها المبينة في الحالة (ب) مسافة x شاقولياً نحو الأسفل بقوة خارجية F ، استطال النابض بمقدار إضافي x ، وأصبحت قوة شد النابض للكتلة m ، وهي القوة المعيدة لوضعة التوازن ومتناسبة مع الإستطالة، مساوية: $K (\Delta L + x)$ ، وهي متجهة نحو الأعلى، وتبقى الكتلة m



الشكل (١): استطالة النابض

في هذه الحالة خاضعة إلى قوة الثقالة الأرضية $m \cdot g$ ، فإذا تركت الكتلة وشأنها بدءاً من هذه الوضعة، كانت محصلة القوى المؤثرة فيها ولتكن F مساوية إلى:

$$F = m \cdot g - k(\Delta L + x)$$

$$F = m.g - k.\Delta. L - k.x$$

وبالاستفادة من العلاقة (2) نستنتج العلاقة الأساسية أي:

$$F = -K.x$$

(3)

تخضع الكتلة إذن إلى قوة تعيدها إلى وضعة التوازن، وتتناسب هذه القوة المعيدة مع بعدها عن وضعة التوازن، وهي صفة عامة للحركات الاهتزازية التوافقية، أي: إن القوة المعيدة تتناسب في كل لحظة مع مقدار الاستطالة عن وضعة التوازن و تعاكسها في الإشارة .

جـ- معادلة الحركة :

لإيجاد معادلة الحركة التوافقية نطبق قانون نيوتن الثاني: $F = m.\gamma$ حتى نرى كيف تتحرك الكتلة مع الزمن . وبالإسقاط على محور الحركة وبالمطابقة مع المعادلة (3) نكتب :

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

ومنه نجد :

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

(4)

وإذا فرضنا أن: $\omega^2 = \frac{K}{m}$ نكتب :

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

(5)

وهي معادلة تفاضلية من المرتبة الثانية بدون طرفٍ ثانٍ . و حل هذه المعادلة التفاضلية الذي يحقق الشروط الابتدائية المبينة أعلاه هو من الشكل:

$$x = x_0 \sin(\omega t + \varphi)$$

(6)

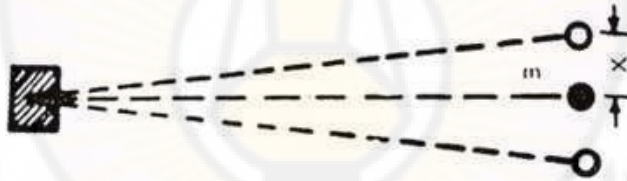
وهي معادلة الحركة الجيبية ، حيث يرمز x_0 إلى بعد الكتلة m عن وضعية توازنها لحظة تركها . وتبين العلاقة (6) أن الكتلة تقوم بحركة اهتزازية بين الوضعين x_0 و $-x_0$ ، وأنها تحتاج إلى زمن T يسمى دور الحركة الاهتزازية كي تتم اهتزازة كاملة، وإن ω هو نبض الحركة ويساوي $\omega = \frac{2\pi}{T}$ ، ولما كان لدينا $\omega = \sqrt{\frac{K}{m}}$ ، نجد الدور T بالمطابقة فيكون :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{K}} \quad (7)$$

و هو دور الحركة الاهتزازية التوافقية .

د- الدراسة التحريكية للنصلة :

لندرس الآن حركة كتلة m مثبتة في نهاية نصلة معدنية كما هو في الشكل (2).



الشكل (2): اهتزاز كتلة في نهاية نصلة

إن القوة اللازمة تطبيقها كي تبتعد الكتلة m عن وضعية توازنها مسافة x تتناسب مع هذه المسافة ، ويسمى ثابت التناسب ثابت مرونة النصلة المفروضة ، وعليه إذا أزعجنا الكتلة m مسافة صغيرة عن وضعية توازنها، فإن هذه الكتلة تخضع إلى قوة معيدة هي :

$$F = -K'x \quad (8)$$

حيث: K' ثابت مرونة النصلة. وتقوم الكتلة بعد تركها بحركة اهتزازية توافقية يعطى دورها T بقانون مماثل للقانون (7) .

٣- الأجهزة والأدوات المستخدمة :

نابض معلق في حامل وينتهي بخطاف ، كفة أوزان كتلتها 50 g ، عشر كتل معدنية متساوية 50 g ، خمس كتل معدنية متساوية 100 g ، عداد ثواني ، مقبض منضدة ، قضيب معدني طول متر، مسطرة شاقولية ذات مؤشر منزلق، حامل للمسطرة، نصلة معدنية مثبتة بصورة أفقية من أحد طرفيها تثبتاً جيداً، كتل معدنية أسطوانية مشقوقة ذات قيم معلومة، مفك براغ .

_ وصف جهاز التجربة :

يتألف الجهاز من نابض معلق في حامل وينتهي بخطاف ذي كفة، كما هو مبين في الشكل (2). و يجهز الحامل بمسطرة شاقولية ذات مؤشر منزلق توضع خلف النابض وقريبة منه بحيث نستطيع قراءة التدريج المقابل لنهاية النابض ، أو قراءة التدريج المقابل للوجه السفلي للكفة .

إن كتلة الكفة مع الخطاف مقدرة بالغرام مسجلة عليها . وتضاف الكتل المعدنية معلومة الكتلة بالغرام وهي أقراص مشقوقة عن طريق إدخالها من الطرف العلوي الرفيع من حامل الكفة .

٤- مراحل العمل والنتائج :

أولاً - التحقق من قانون هوك :

١- علق النابض بحامله، واستخدم المؤشر المنزلق على المسطرة لقراءة التدريجة A_0 التي يدل عليها حرف المؤشر المحاذي للنهاية السفلى للنابض قبل تعليق أي ثقل فيه .

٢- علق في نهاية النابض كتلة m_1 ، فيستطيل النابض، اقرأ التدرج A_1 التي يدل عليها المؤشر عندما تجعل حافته محاذاة للنهاية السفلى للنابض .



الشكل (٣): جهاز دراسة الحركة الاهتزازية التوافقية

٣- احسب مقدار الاستطالة: $\Delta L = |A_1 - A_0|$ من أجل كل كتلة m معلقة بالنابض.

٤- حمل النابض كتلاً متزايدة $m_2, m_3, \dots$ ، واحسب ΔL في كل مرة، على أن لا تقل عن ست تجارب.

٥- سجل نتائج القياس في الجدول أدناه .

٦- ارسم على ورقة مليمتريّة الخط البياني لتحويلات الثقل ($F = m \cdot g$) بدلالة الاستطالة (ΔL)، ثم احسب الميل الفيزيائي للخط البياني الناتج، واستنتج منه قيمة ثابت المرونة K للنابض . قارن هذه النتيجة مع قيمته المحسوبة من الجدول السابق.

$\Delta A = \dots\dots m$ الارتياح في الجهاز (المسطرة):					$A_0 = \dots\dots m$	
رقم التجربة	m kg	F=m.g N/m	A m	$\Delta L = A - A_0$ m	$K = \frac{m.g}{\Delta L}$ N/m	الانحرافات المطلقة $E_i = \bar{K} - K_i $
1						
2						
3						
4						
5						
6						
الوسطي					$\bar{K}$	$\bar{E}_i$

٧- للتحقق من صحة قانون هوك نتبع ما يلي:

أ- احسب الارتياح المطلق من قانون هوك $K = \frac{m.g}{\Delta L}$ وذلك بالطريقة التفاضلية اللغزمية في القياس غير المباشر لإحدى تجاربك فيكون:

$$\Delta K = \left[\frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta g}{g} + \frac{\Delta(\Delta L)}{\Delta L} \right] \times K$$

بعد أن حسبت القيمة الوسطية $\bar{K}$ ، وحسبت الانحراف $E_i = |\bar{K} - K_i|$.

قارن الانحرافات المطلقة لكل تجربة مع ΔK الذي حسبته، فإذا كان: $E_i \geq \Delta K$ تكون التجربة مقبولة.

ب- احسب وسطي K للتجارب المقبولة وكذلك الانحراف المطلق والنسبي.

ج- احسب الانحراف النسبي المئوي للتجارب المقبولة من العلاقة:

$$\varepsilon_i \% = \frac{\bar{E}_i}{\bar{K}} \times 100\%$$

وهو يمثل التحقق من صحة قانون هوك .

ثانياً- التحقق من قانون الحركة الاهتزازية للكتلة في نهاية نابض:

١- علق في نهاية النابض كتلة m ، ثم أزلها عن وضع توازنها مسافة صغيرة

واتركها لتبدأ بالاهتزاز . فإذا كانت الاهتزازات سريعة استبدل بالكتلة m كتلة أكبر منها . استعمل عداد الثواني لقياس زمن 50 نوسة كاملة وليكن t . ثم احسب زمن النوسة الواحدة T وهو دور الحركة الاهتزازية .

٢- أعد الفقرة السابقة من أجل كتل متزايدة على أن لاتقل عن ست تجارب .

٣- سجل نتائج القياس في جدول كالتالي :

الارتياح في الجهاز (مقياس الزمن) : $\Delta t = \dots \text{ sec}$						
رقم التجربة	m kg	t (sec)	$T = \frac{t}{50}$ (sec)	T^2 (sec) ²	$y = \frac{T^2}{m}$ (sec) ² /kg	الانحرافات المطلقة $E_i = \bar{y} - y_i $
1						
2						
3						
4						
5						
6						
الوسطي					$\bar{y} =$	$\bar{E}_i =$

٤- بأي ارتياح نسبي تتحقق من صحة تناسب T^2 مع m ، أي تناسب T مع $\sqrt{m}$ ، تحسب كما في الفقرة (6) السابقة .

٥- ارسم على ورقة مليمتيرية الخط البياني لتحويلات T^2 بدلالة m ، ثم احسب ميله الفيزيائي S للخط البياني المعطى بالعلاقة :

$$S = \frac{T_2^2 - T_1^2}{m_2 - m_1} \quad (9)$$

حيث تمثل (m_1, T_1^2) و (m_2, T_2^2) نقطتان يجب أن تكونا متباعدتين على الخط البياني المرسوم .

نعلم من معادلة دور الحركة الاهتزازية (7) وبتربيع طرفيها، نجد أن الميل

هو: $S = \frac{4\pi^2}{K}$ ، ومنه يكون:

$$K = \frac{4\pi^2}{S} \quad (10)$$

احسب قيمة ثابت مرونة النابض K من العلاقة (10) بعد تعويض قيمة الميل الفيزيائي S من العلاقة (9).

٦- ارسم على ورقة لغريتمية الخط البياني لتحويلات T بدلالة m . وتحقق من أن الميل الهندسي يساوي $\frac{1}{2}$.

٧- احسب ثابت مرونة النابض K ، من الخط البياني المرسوم على ورقة لغريتمية وذلك من تقاطع المستقيم مع محور العيّنات في نقطة ولتكن b من أجل $m=1$ من العلاقة: $b^2 = \frac{4\pi^2}{K}$ ومنها نحسب K فيكون:

$$K = \frac{4\pi^2}{b^2} \quad (11)$$

٨- قارن بين نتيجتي الفقرتين 5 و 6 وبين قيمة K التي وجدتها لدى التحقق من قانون هوك.

ثالثاً- الحركة الاهتزازية في نهاية النصلة:

١- ضع كتلة m في نهاية النصلة وثبتها جيداً. أزع الكتلة عن وضعة توازنها واتركها لتتهتز . استعمل عداد الثواني لقياس زمن 50 اهتزازة كاملة، وليكن t . احسب دور الحركة الاهتزازية T للكتلة.

٢- استبدل بالكتلة m كتلة أخرى متزايدة على التوالي، ثم احسب في كل مرة T على أن لا تقل عن ست تجارب.

٣- سجل نتائج القياس في جدول كالجدول السابق.

٤- ارسم على ورقة مليمتريّة الخط البياني لتحوّلات T^2 بدلالة m ، واحسب ميله الفيزيائي واستنتج قيمة ثابت المرونة K' للنّصلة.

٥- ارسم على ورقة لغريتمية الخط البياني لتحوّلات T بدلالة m . وتحقق من أنّ الميل الهندسي يساوي $\frac{1}{2}$ ، وأوجد معادلته. وكذلك احسب قيمة ثابت المرونة K' للنّصلة وذلك من تقاطع الخط البياني الناتج مع محور العينات من أجل $m = 1$ كما سبق في الفقرة (6).

٦- قارن هذه النتيجة لثابت المرونة K' مع القيمة التي وجدتها في الفقرة (4) السابقة.

* * *

قياس الكثافة بطريقة الدورق

Specific Gravity Bottle

١ - الغاية من التجربة:

- قياس الكتلة الحجمية لجسم صلب لا ينحل في الماء ولا يطفو عليه.
- قياس الكثافة النسبية لسائل.

٢ - التمهيد النظري:

١- الكتلة الحجمية:

تعرف الكتلة الحجمية أو الكثافة المطلقة لجسم ما في درجة الحرارة θ ويرمز لها بـ δ_θ ، بأنها: كتلة واحدة الحجم من هذا الجسم في تلك الدرجة. فإذا فرضنا M كتلة الجسم، و V_θ حجم الجسم في الدرجة θ أمكننا أن نكتب:

$$\delta_\theta = \frac{M}{V_\theta} \quad (1)$$

وتقدر δ_θ بالكيلوغرام/ متر مكعب (Kg/m^3) في الجملة الدولية . وبالغرام / سنتيمتر مكعب (g/cm^3) في الجملة السغوية.

إن قياس الكتلة الحجمية وفقاً للعلاقة (1) يتطلب معرفة حجم الجسم V_θ في درجة الحرارة θ ، وغالباً ما يصعب ذلك. خاصة إذا لم يكن للجسم المدروس شكل هندسي مألوف . ويتم التغلب على هذه الصعوبة بأخذ كتلة حجم من الماء يساوي مثل حجم الجسم في درجة الحرارة θ ذاتها.

فإذا كانت M' كتلة حجم من الماء، يساوي الحجم V_θ ذاته و δ'_θ الكتلة الحجمية للماء المقطر في الدرجة θ ، كان لدينا:

$$\delta'_\theta = \frac{M'}{V_\theta} \quad (2)$$

وبحذف V_θ بين العلاقتين (1) ، (2) نجد علاقة الكتلة الحجمية تساوي:

$$\delta_{\theta} = \frac{M}{M'} \delta'_{\theta} \quad (3)$$

إذن لتعيين الكتلة الحجمية δ_{θ} لجسم ما في درجة حرارة المخبر θ ، يكفي أن نعين نسبة كتلة الجسم M إلى كتلة مثل حجمه من الماء المقطر M' في هذه الدرجة، ثم نضرب هذه النسبة بالكتلة الحجمية للماء المقطر δ'_{θ} في درجة الحرارة θ ذاتها.

٢- الكثافة النسبية:

تعرف الكثافة النسبية لجسم ما في درجة الحرارة θ ويرمز لها بـ d_{θ} ، بأنها: نسبة كتلة من هذا الجسم في الدرجة θ إلى كتلة مثل حجمها من الماء المقطر في الدرجة +4 مئوية.

و قد حددت الدرجة +4 مئوية لأنها الدرجة التي تكون فيها الكتلة الحجمية للماء عظمى، وتساوي الواحد تقريباً.

فإذا فرضنا M كتلة الجسم في درجة الحرارة θ و M'_4 كتلة مثل حجمه من الماء في الدرجة +4 يكون:

$$d_{\theta} = \frac{M}{M'_4} \quad (4)$$

و إذا طبقنا هذا التعريف على الماء، في درجة الحرارة θ ، وفرضنا M' كتلته في هذه الدرجة θ يكون لدينا:

$$d'_{\theta} = \frac{M'}{M'_4} \quad (5)$$

حيث: d'_{θ} الكثافة النسبية للماء المقطر في الدرجة θ .

وبحذف M'_4 من العلاقتين (4)، (5) نجد علاقة الكثافة النسبية لسائل:

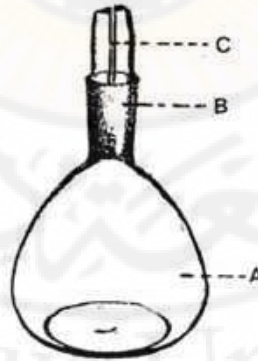
$$d_{\theta} = \frac{M}{M'} d'_{\theta} \quad (6)$$

٣- الأجهزة والأدوات المستخدمة:

دورق الكثافة، ميزان حساس مع علبة سنجات وكذلك علبة سنجات من أجزاء الغرام، عدیل من الرصاص، كرات من جسم صلب (زجاج، رصاص)، حوض زجاجي، سلك معدني دقيق، ماء مقطر أو عادي، أو ماء مالح، ورق نشاف أو مجفف شعر.

- وصف دورق الكثافة:

هو دورق صغير من الزجاج رقيق الجدران A كما هو مبين في الشكل (1)، تعلوه فوهة واسعة بعض الشيء B، بحيث يسهل إدخال قطع صغيرة من الجسم الصلب المطلوب قياس كتلته الحجمية إلى داخل الدورق، ويغلق الدورق بسدادة زجاجية تخترقها قناة شعرية C. ويوجد حز دائري D على منتصف جدار السدادة من الخارج يحدد حجم السائل الذي يملأ الدورق. وإذا لم تحو السدادة حزاً، فيعتبر سطحها العلوي بمثابة الحز. و ينبغي حمل هذا الدورق دوماً من عنقه B حتى لا ترتفع درجة حرارة السائل الموضوع فيه عن طريق التوصيل الحراري عبر جدار الدورق.



الشكل (١): دورق الكثافة

- وصف الميزان الحساس:

راجع وصف الميزان في تجربة الميزان الحساس، وكذلك طريقة القياس به،

ولا سيما: تعيين وضعة التوازن بطريقة المطالات الثلاثة، و تقدير الحساسية وفوائدها،
وطريقة الوزن المضاعف.

٤- مراحل العمل والنتائج:

عين حساسية الميزان من أجل العديل المستخدم في الوزن المضاعف بطريقة
المطالات الثلاثة من العلاقة:

$$S = \frac{m}{|n - n'|} \text{ mg/تقسيم}$$

ونعلم أن الحساسية هي: عدد المليغرامات التي تحرف مؤشر الميزان تقسيمة
واحدة عندما يكون محملاً حمولةً مساويةً وزن العديل في كلٍ من كفتيه . وإنّ الارتياب
المطلق في الوزن المضاعف يساوي مقدار الحساسية S .

١- تعيين الكتلة الحجمية لجسم صلب:

١- املأ الدورق النظيف ماءً مقطراً ثم سده بالسدادة الزجاجية فتمتلئ القناة
الشعرية حتى سطحها في حال عدم وجود الحز . وينبغي مسك الدورق بالأصابع من
عنقه B وليس براحة الكف من انتفاخه ، لئلا يسخن الدورق وما فيه من سائل بحرارة
اليدين . تأكد من عدم وجود فقاعات هوائية باقية في عنق الدورق أو في القناة الشعرية فإذا
وجدت فتخلص منها باستخدام سلك معدني دقيق ورجّ الدورق برفق .

٢- جفف جوانب الدورق وسداده تجفيفاً جيداً بورق نشاف . ثم ضعه في إحدى
كفتي الميزان وضع العديل في الكفة المقابلة، ثم أضف إلى كفة الدورق السنجات M_2
حتى يتم التوازن الدقيق مع العديل في الكفة الأخرى، كما في الشكل (2) .

٣- ضع في كفة الدورق بضع عشرات من كرات جافة من قطع الجسم الصلب
المراد تعيين كتلته الحجمية . استبدل السنجات M_2 بالسنجات الجديدة M_1 اللازمة
لإعادة التوازن الدقيق إلى الوضعة السابقة، فتكون كتلة قطع الجسم:

$$M = M_2 - M_1$$

٤- ارفع الدورق من كفة الميزان وانزع سداده، وأدخل فيه قطع الجسم بعد بلّها جيداً بالماء، ثم رُجّ الدورق لتخليص القطع من فقاعات الهواء الملتصقة بها . أكمل ملء



$$M = M_2 - M_1$$

كتلة الكرات (الجسم)



$$M' = M_3 - M_1$$

كتلة الماء المزاح

الشكل (٢): تعيين كتلة الجسم وكتلة مثل حجمه من الماء بطريقة الوزن المضاف

الدورق حتى فوهته بالماء وسده بسدادته. تأكد من خلو عنق الدورق والقناة الشعرية من الفقاعات الهوائية، ومن أن الماء يملأ القناة الشعرية حتى سطحها.

٥- جفف الدورق وسدادته جيداً وأعدّه إلى كفة الميزان، وضع بجانبه السنجات M_3 اللازمة لتوازن الميزان الدقيق، فتكون كتلة مثل حجم الجسم من الماء (أي حجم الماء الذي أزاحه الجسم الصلب) مساوية:

$$M' = M_3 - M_1$$

٦- احسب الكتلة الحجمية للجسم من العلاقة (3) أي:

$$\delta_0 = \frac{M}{M'} \delta'_0 \quad (3)$$

معتمداً على الجدول التالي لإيجاد قيمة δ'_0 الكتلة الحجمية للماء بدلالة درجة الحرارة θ .

الدرجة θ	0°	4°	10°	15°	20°	25°	30°
δ'_0 للماء المقطر أو d'_0	0.9998	1	0.9997	0.9992	0.9983	0.9971	0.9958

ارسم على ورقة مليمتريّة المنحني البياني لتحويلات δ'_0 بدلالة θ ، ثم استخرج δ'_0 الملائمة لدرجة حرارة المخبر المقروءة من مقياس الحرارة المعلق على جدار المخبر بالاستقراء الداخلي من المنحني البياني.

٧- أعد التجربة مرتين أخريين مغيراً في كل مرة كمية الجسم الصلب. جفف الكرات المستخدمة جيداً قبل وضعها في الميزان عند تحديد التوازن الثاني من التجارب اللاحقة كما سبق.

٨- سجل نتائج القياس في الجدول أدناه.

٩- أتمم إملاء القيم المطلوبة في الجدول بما فيها الانحرافات المطلقة وهي

$$E\delta_0 = |\bar{\delta}_0 - \delta_{0i}| \quad \text{ثم بين القيمة الوسطى } \bar{\delta}_0 \text{ ونتائج التجارب 3,2,1.}$$

$\theta =$ درجة حرارة المخبر					$\delta'_\theta =$ للماء القطر في درجة حرارة المخبر θ			
رقم التجربة	M_2 g	M_1 g	كتلة قطع الجسم $M = M_2 - M_1$ g	M_3 g	كتلة الماء المزاح $M' = M_3 - M_1$ g	$\frac{M}{M'}$	$\delta_\theta = \frac{M}{M'} \delta'_\theta$ g/cm ³	الانحرافات $E \delta_\theta$ g/cm ³
1								
2								
3								
الوسيطي							$\bar{\delta}_\theta =$	

١٠- احسب الارتياحين النسبي والمطلق في قيمة δ_θ بطريقة التفاضل اللغريتمي من العلاقة (3) .

١١- قارن الانحرافات $E\delta_\theta$ في الجدول بالارتياح المطلق $\Delta\delta_\theta$ الذي تجده بتطبيق طريقة التفاضل اللغريتمي على العلاقة (3) . واستبعد كل تجربة يكون فيها الانحراف $E\delta_\theta$ أكبر من الارتياح المطلق $\Delta\delta_\theta$ إن هذا الارتياح المطلق $\Delta\delta_\theta$ المحسوب يمثل الحد الأدنى للارتياح الذي تسمح به الأدوات المستخدمة في التجربة .
اعتمد التجارب المقبولة واحسب القيمة الوسطية لها $\bar{\delta}_\theta$ وقدم النتيجة النهائية

بالشكل :

$$\delta_\theta = (\bar{\delta}_\theta \pm \Delta\delta_\theta) \text{ g/cm}^3 \quad (7)$$

١٢- حول هذه النتيجة السابقة إلى وحدات الجملة الدولية.

ب- تعيين الكثافة النسبية لسائل:

١- نظف الدورق وجففه و ضعه فارغاً مع سداته الكفة اليمنى للميزان. وأضف إلى هذه الكفة السنجات M_2 اللازمة لتوازن مع العديل الموجود في الكفة الأخرى .

٢- املاً الدورق بالسائل، وجففه و أعدّه إلى كفته، و أضف السنجات M_1 اللازمة

لإعادة التوازن السابق، فتكون كتلة السائل:

$$M = M_2 - M_1$$

٣- فرغ الدورق واغسله جيداً، ثم إملأه بالماء، وجففه، وأعدّه إلى كفته، و أضف إلى هذه الكفة السنجات M_3 اللازمة لإعادة التوازن السابق فتكون كتلة الماء:

$$M' = M_2 - M_3$$

٤- احسب الكثافة النسبية للسائل من العلاقة (6) وهي:

$$d_\theta = \frac{M}{M'} d'_\theta$$

معتمداً على قيمة d'_θ التي وجدتها من قبل في الجدول السابق.

٥- أعد التجربة مرة ثانية كما سبق.

٦- سجل نتائج القياس في الجدول التالي:

$\theta =$ درجة حرارة المخبر					$d'_\theta =$ للماء المقطر في درجة حرارة المخبر θ			
رقم التجربة	M_2 g	M_1 g	كتلة السائل $M = M_2 - M_1$ g	M_3 g	كتلة الماء $M' = M_2 - M_3$ g	$\frac{M}{M'}$	$d_\theta = \frac{M}{M'} d'_\theta$	الانحرافات Ed_θ
1								
2								
3								
الوسطي $\bar{d}_\theta =$								

٧- احسب الارتيابين النسبي والمطلق في d_θ من العلاقة (6) بطريقة التفاضل اللغريتمي. وقدم النتيجة بالشكل:

$$d_\theta = \bar{d}_\theta \pm \Delta d_\theta \quad (8)$$

* * *

التوتر السطحي

Surface Tension

١- الغاية من التجربة:

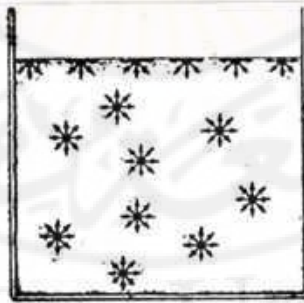
قياس التوتر السطحي بطريقة وزن القطرة.

٢- التمهيد النظري:

لنأخذ سائلاً ما موضوعاً في وعاء، ولندرس القوى المؤثرة في جزيئاته المختلفة في منطقة بعيدة عن جدار الوعاء، انظر الشكل (1)، فنلاحظ مايلي:

بالنسبة للجزيئات الواقعة داخل السائل، نلاحظ أن كل جزيئة من جزيئاته تتجاذب مع الجزيئات المجاورة بقوى متساوية ومتعاكسة مع بعضها بعضاً، بمعنى أن محصلة القوى المؤثرة فيها تساوي الصفر.

أما إذا أمعنا النظر في جزيئات السائل الموجودة على سطحه، فإننا نجد أن هذه الجزيئات تخضع إلى قوى متجهة نحو الأسفل وإلى قوى جانبية.



الشكل (١): جزيئات السائل

فأما القوى الجانبية فيعدم بعضها بعضاً، إذا كانت بعيدة عن جدران الوعاء الحاوي على السائل، وأما القوى المتجهة نحو الأسفل فلا يوجد ما يعاكسها أي لا يوجد قوى

متجهة إلى الأعلى تعدمها. ويسبب هذا وجود توتر في سطح السائل يميز جزيئاته عن سائر الجزيئات الأخرى ويكسبه صفات الأغشية المرنة كالمطاط.

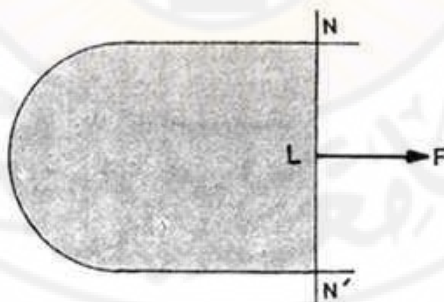
وتبدو ظاهرة التوتر السطحي بشكل واضح فيما إذا أخذنا سلكاً على شكل حرف U ووضعنا عليه سلكاً متعامداً معه NN' ، كما هو مبين في الشكل (2).

فإذا غمسنا الجملة في محلول الصابون ورفعناها بحيث يعلق عليها غشاء من محلول الصابون، وجدنا أن هذا الغشاء يحاول سحب السلك NN' نحو الداخل لتقليص مساحة الغشاء، وأنه ينبغي تطبيق قوة F للحيلولة دون حدوث هذا الأمر.

ويعرف التوتر السطحي A في هذه الحالة بنصف القوة F التي ينبغي تطبيقها على واحدة الطول من السلك NN' حتى يتوازن هذا السلك أي:

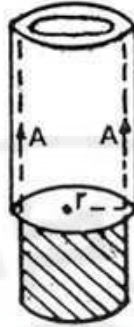
$$A = \frac{F}{2L} \quad (1)$$

حيث يرمز L إلى طول السلك NN' و F القوة الكلية المطبقة على السلك. والسبب في وضع العدد 2 هو أن لغشاء الصابون المتشكل وجهين أحدهما علوي والآخر سفلي، وكل منهما يسهم في جذب السلك NN' نحو الداخل ليجعل المساحة المتشكلة أصغر ما يمكن.



الشكل (2): غشاء الصابون

إن الطريقة التي سنتبعها هنا لتعيين التوتر السطحي لسائل، تعتمد على تشكيل قطراته عند أحد طرفي أنبوب أسطواني، وبالتالي فإن القطرات تأخذ شكلاً أسطوانياً قبل لحظة انفصالها وتتساقط من أنبوب نصف قطره الداخلي r ، انظر الشكل (3).



الشكل (٣): قوة التوتر السطحي على جدار الأنبوب

و نعلم أن توازن ثقل القطرة الواحدة mg مع القوة الناشئة عن التوتر السطحي A على محيط الأنبوب للسائل قبل لحظة انفصالها من نهاية الأنبوب، مضافاً إليها القوة الناشئة عن فرق الضغط داخل القطرة و الضغط الجوي الخارجي.
لنكتب شرط توازن القطرة والقوى المؤثرة عليها:

١- قوى ناشئة عن التوتر السطحي A المؤثرة على محيط الأنبوب الداخلي ويكون اتجاهها إلى الأعلى، فتكون قيمتها الكلية F هي:

$$F = 2\pi \cdot r \cdot A$$

٢- قوى مؤثرة وفق الاتجاه الشاقولي نحو الأسفل و هي:
ثقل القطرة $F_1 = m \cdot g$ ، بالإضافة إلى قوة ناشئة F_2 عن فرق الضغط داخل القطرة و الضغط الجوي الخارجي، ويكون فرق الضغط هذا يساوي $\frac{A}{r}$ ، وبالتالي فإن القوة F_2 الناشئة عن فرق الضغط وفق الاتجاه الشاقولي تساوي:

$$F_2 = \pi \cdot r^2 \cdot \frac{A}{r} = \pi \cdot r \cdot A$$

ويصبح شرط التوازن كما يلي:

$$F = F_1 + F_2$$

$$2\pi r \cdot A = m \cdot g + \pi \cdot r \cdot A$$

و بالتبديل يكون:

$$A = \frac{m \cdot g}{\pi r}$$

أي: (2)

حيث mg ثقل القطرة الواحدة r نصف القطر الداخلي للأنبوب فيما إذا كان السائل لا يبذل جوانبه أما إذا كان السائل يبذل جوانب الأنبوب كالماء مثلاً، فإن r تمثل حينئذٍ نصف القطر الخارجي للأنبوب.

ويسبب إضافة جزء صغير من السائل اختلال شرط التوازن هذا، وانفكاك القطرة عن الأنبوب. إلا أن المسألة في الواقع أعقد مما ذكرنا وخاصة حين الانفكاك. ولقد وجد اللورد رايلي (Raleigh) قانوناً أشد قريباً من الواقع ومن القانون المستنتج أعلاه، وينص على أن قوة التوتر السطحي تعطى بالعلاقة:

$$A = \frac{m \cdot g}{3.8 \cdot r} \quad \text{دينة / سم} \quad (3)$$

حيث تقاس A بنيوتن/ متر في الجملة الدولية، دينة/سم في الجملة السغثية. نستنتج من العلاقة (3) أنه يمكن المقارنة بين قيمتي التوتر السطحي لسائليين دونما حاجة إلى قياس r إذا جرى القياس بالأنبوب ذاته، وذلك لأن:

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{m_1}{m_2} \quad (4)$$

ويكفي عندئذٍ قياس كتلة قطرة كل من السائليين ومعرفة التوتر السطحي لأحدهما، حتى يتم استنتاج التوتر السطحي للسائل الآخر.

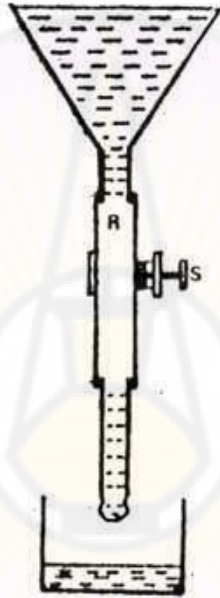
٣- الأجهزة والأدوات المستخدمة:

جهاز قياس التوتر السطحي، ميزان حساس وعلبة سنجات، جفنتان لجمع القطرات، حوض زجاجي لجمع السائل، عداد ثواني، قدم قنوية لقياس القطر الخارجي للأنبوب الزجاجي، ماء مقطر أو عادي، محلول صابون.

اللورد رايلي: عالم فيزيائي انكليزي: (1842-1919)

- وصف جهاز قياس التوتر السطحي:

يتألف الجهاز من قمع زجاجي يتصل بأنبوب زجاجي نصف قطره من رتبة 0.5 سم بواسطة وصله مطاطية R، ركبت عليها ضاغطة تسمح بالتحكم في انسياب السائل كما هو مبين في الشكل (4)، وهذا الجهاز مثبت بحامل يجعل الأنبوب شاقولياً.



الشكل (4): جهاز قياس التوتر السطحي

- وصف الميزان الحساس:

راجع وصف الميزان في تجربة الميزان الحساس، وطريقة تعيين وضعة التوازن بطريقة المطالات الثلاثة، ثم تقدير الحساسية، وكذلك طريقة التوازن المضاعف.

٤- مراحل العمل والنتائج:

عين حساسية الميزان من أجل العديل المستخدم في الوزن المضاعف مستخدماً طريقة المطالات الثلاثة من العلاقة:

$$S = \frac{m}{|n - n'|} \text{ mg/تقسيمة} \quad (5)$$

ونعلم أن تعريف الحساسية: هي عدد المليغرامات التي تحرف مؤشر الميزان تقسيمة واحدة والارتياح المطلق في الوزن المضاعف هو S أي: $\Delta M = S$

١- ضع الجفنة في إحدى كفتي الميزان وضع العدل في الكفة المقابلة، ثم اصف سجات M_2 إلى كفة الجفنة حتى تحصل على التوازن الدقيق مع العدل في الكفة الأخرى، كما في الشكل (5).

٢- املأ القمع بالماء، وافتح الضاغطة حتى يمتلئ الأنبوب الزجاجي بالماء تماماً، بحيث يكون خالياً من الفقاعات الهوائية، ولكي تتخلص من الفقاعات الهوائية استعن باصبعك لسد أسفل الأنبوب حتى ينتهي خروج الفقاعات ثم اغلق الضاغطة، ثم أبعد إصبعك عن أسفل الأنبوب، واستخدم الحوض الزجاجي لجمع الماء الساقط. عين درجة حرارة الماء التي نعتبرها مساوية لدرجة حرارة المخبر، وذلك لأن التوتر السطحي لأي سائل يتغير قليلاً بتغير درجة حرارته.

اقرأ درجة جو المخبر على مقياس الحرارة المعلق على جدار المخبر ولتكن θ .
٣- افتح الضاغطة قليلاً واضبطها على وضع يكون من أجله الزمن الفاصل بين سقوط قطرتين متتاليتين ثابتاً وقريباً من نصف دقيقة.

ولتحقيق ذلك سجل لحظات انفكاك القطرات واحسب الأزمنة الفاصلة. إن دقة التجربة تزيد كلما زادت الفترة الزمنية الفاصلة بين سقوط قطرتين متتاليتين وذلك لأن نقصان هذه الفترة يجعل القطرة تنفصل قبل اكتمال تكونها وتحقق شروط التوازن.

٤- ضع الجفنة السابقة تحت الأنبوب وانتظر سقوط n قطرة، وليكن $n=20$.

٥- ضع الجفنة مع القطرات في كفة الميزان السابقة وضع في جانبها السجات M_1 اللازمة لإعادة الميزان إلى وضعة التوازن الدقيق مع العدل في الكفة الأخرى، فتكون كتلة القطرات مساوية:

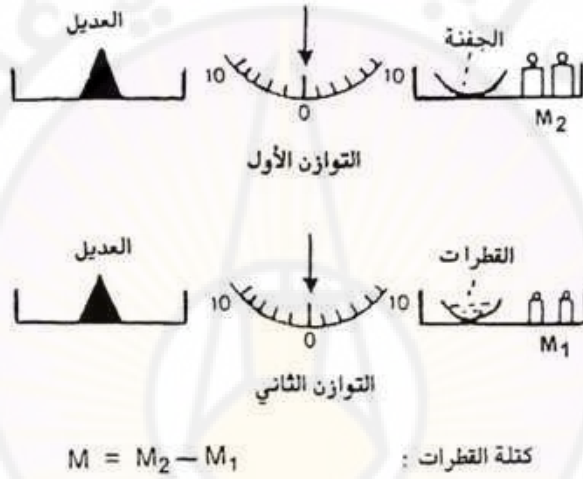
$$M = M_2 - M_1$$

(6)

وتكون كتلة القطرة الواحدة:

$$m = \frac{M}{n}$$

(7)



الشكل (٥): تعيين كتلة القطرات بطريقة الوزن المضاعف

٦- قس بالقدم القنوية نصف القطر الخارجي للأنبوب الزجاجي ٢ عدة مرات واحسب قيمته الوسطى.

٧- احسب قيمة التوتر السطحي A باستخدام العلاقة (3) واستعمل واحداث الجملة الدولية.

٨- أعد التجربة مرة أخرى للماء من أجل عدد مختلف من القطرات ولتكن $n=25$ قطرة و سجل نتائج القياس في الجدول .

- ٩- أعد الخطوات السابقة من أجل محلول الصابون مستخدماً الجهاز السابق أو الجهاز الآخر المخصص لمحلول الصابون إن وجد و ذلك بإجراء تجربتين.
- ١٠- سجل نتائج القياس في الجدول التالي :

$g = (9.8 \pm 0.1) \text{ m/s}^2$			$\theta =$ درجة حرارة جو المخبر					
نوع السائل	M_2 kg	M_1 kg	عدد القطرات n	كتلة القطرات $M = M_2 - M_1$ kg	كتلة القطرة m kg	نصف قطر الأنبوب r m	التوتر السطحي $A = \frac{mg}{3.8.r}$ N/m	$ \Delta A $ N/m
الماء								
العادي								
الوسطي								
محلول								
الصابون								
الوسطي								

- ١١- احسب الارتيايين النسبي والمطلق في A من العلاقة (3) بطريقة التفاضل اللغزومي لإحدى تجاربك لكل من السائلين، وقدم النتيجة بالشكل :

$$A = (\bar{A} \pm \Delta A) \text{ N/m} \quad (8)$$

- ١٢- لاحظ أن الارتيايب المطلق في كتلة القطرة الواحدة Δm يحسب كما يلي :

$$\Delta m = \frac{\Delta M}{n} = \frac{\Delta M_2 + \Delta M_1}{n} = \frac{S}{n} \quad \text{من العلاقة (7) فيكون:}$$

حيث تمثل S حساسية الميزان من أجل حمولة تساوي كتلة العديل.

* * *

قياس لزوجة سائل

Measuring Viscosity of A Liquid

١- الغاية من التجربة:

تعيين معامل اللزوجة لسائل بالاعتماد على سقوط كرة في وسط لزج .

٢- التمهيد النظري:

تتعلق قوى الاحتكاك اللزج عند سقوط الكرة في الوسط اللزج بشكل الجسم وسرعة حركته وبكثافة السائل . عندما تسقط كرة في سائل أو غاز كما في الشكل (1) فإنها تخضع إلى ثلاث قوى هي:

أ- قوى الثقالة الأرضية F_1 و تساوي:

$$F_1 = m.g \quad (1)$$

و ترتبط كتلة الكرة بكثافتها بالعلاقة التالية :

$$m = \rho_1.V \quad (2)$$

بالتعويض في العلاقة (1) نجد:

$$F_1 = \rho_1.V.g \quad (3)$$

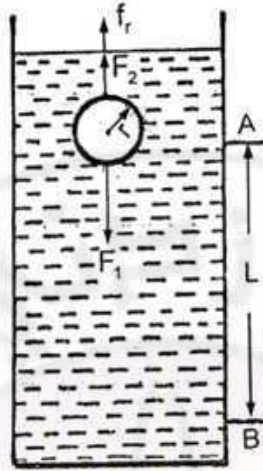
حيث: ρ_1 : تمثل كثافة مادة الكرة .

V : تمثل حجم الكرة .

ب-دافعة أرخميدس F_2 و تساوي وزن السائل المزاح أي:

$$F_2 = \rho_2.V.g \quad (4)$$

حيث ρ_2 تمثل كثافة السائل (أو الغاز في حالة سقوط الكرة في وسط غازي) .



الشكل (١): جهاز قياس اللزوجة

جـ- قوة الاحتكاك f_r و تعطى وفق قانون ستوكس بالعلاقة :

$$f_r = 6 \pi \cdot \eta \cdot r \cdot v \quad (5)$$

حيث : v : سرعة سقوط الكرة .

r : نصف قطر الكرة .

η : لزوجة الوسط و وحداتها في الجملة السغئية البواز Poise نسبة إلى

العالم بوازيل .

و يعرف البواز على أنه القوة المماسية لواحدة المساحة اللازمة للإبقاء على فرق في

السرعة مقداره 1 cm/s بين مستويين متوازيين من السائل تفصل بينهما مسافة 1cm .

و لدينا: 1 بواز = 1 باسكال × ثانية .

و بالاعتماد على قانون نيوتن الثاني نكتب :

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

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

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

نقسم طرفي العلاقة على $(\rho_1 \cdot V)$ و بعد إجراء الترتيب ينتج لدينا أن:

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

و بالتعويض عن حجم الكرة V بدلالة نصف قطرها r أي: $V = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3$ و بعد

الاختصار نحصل على:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{(\rho_1 - \rho_2)}{\rho_1} g - \frac{9}{2} \cdot \frac{\eta \cdot v}{\rho_1 \cdot r^2} \quad (6)$$

توضّح العلاقة (6) أنّ التسارع ينتقص كلما ازدادت سرعة سقوط الكرة حتى تتساوى قوة الثقالة مع دافعة أرخميدس و قوة الاحتكاك فتتعدم عندها قيمة التسارع و تتابع الكرة حركتها بسرعة منتظمة تعرف باسم السرعة الحديّة و نرمز لها بـ v_0 و بذلك تؤول العلاقة (6) إلى الشكل التالي:

$$\frac{(\rho_1 - \rho_2)}{\rho_1} g = \frac{9}{2} \cdot \frac{\eta \cdot v_0}{\rho_1 \cdot r^2} \quad \text{و منها نجد:}$$

$$v_0 = \frac{2}{9} \cdot \frac{(\rho_1 - \rho_2) g \cdot r^2}{\eta} \quad (7)$$

$$\eta = \frac{2}{9} \cdot \frac{(\rho_1 - \rho_2) g \cdot r^2}{v_0} \quad (8)$$

تُمكننا العلاقة (8) من حساب لزوجة السائل بعد قياس السرعة الحدية v_0 ومعرفة نصف قطر الكرة r و كثافتها ρ_1 و كثافة الوسط اللزج ρ_2 .

ملاحظة: يمكننا الوصول إلى النتيجة ذاتها بافتراض أن الكرة تتحرك بسرعة منتظمة v_0

$$F_1 = F_2 + f_r \quad \text{فعندها يكون:}$$

$$mg = \rho_1 g \cdot V = \rho_2 g V + 6 \pi \cdot \eta \cdot r \cdot v_0$$

$$\eta = \frac{(\rho_1 - \rho_2) g \cdot V}{6 \pi \cdot r \cdot v_o} = \frac{(\rho_1 - \rho_2) g \cdot \frac{4}{3} r^3}{6 \pi \cdot r \cdot v_o}$$

$$\eta = \frac{2}{9} \cdot \frac{(\rho_1 - \rho_2) g \cdot r^2}{v_o} \text{ وهي العلاقة (8) نفسها .}$$

و واضح أنّ واحدة η في الجملة السغئية هي :

$\frac{\frac{g}{cm^3} \cdot \frac{cm}{S^2} \cdot cm^2}{\frac{cm}{S}} = \frac{g}{cm \cdot S^2} \cdot S = \frac{\frac{g \cdot cm}{S^2}}{cm^2} \cdot S = \frac{\text{قوة}}{\text{مساحة}} \cdot \text{ثانية} = \frac{\text{دينه}}{\text{سم}^2} \cdot \text{ثانية}$
--

٣- الأجهزة و الأدوات المستخدمة:

- أنبوب أسطواني مدرج ، سائل لزج هو الغليسرين النقي ، مقياس الكثافة لقياس السائل (الهيدرو متر) ، ميقاتية لقياس الزمن t ، مسطرة مدرجة ، كرات زجاجية مختلفة الأقطار ، دوائر لولبية لقياس أنصاف أقطار الكرات ، ميزان حرارة .

٤- طريقة العمل و النتائج:

١- اسكب السائل اللزج و هو الغليسرين في الأنبوب الأسطواني ثم ضع فيه مقياس الكثافة و سجل كثافة السائل ρ_2 .

٢- ضع علامتين مميزتين A , B على الأنبوب الأسطواني ، الأولى تقع أسفل السطح السائل بنحو 5 cm و الثانية بالقرب من قاعدة الأسطوانة . قس المسافة بين العلامتين و لتكن L .

٣- اختر إحدى الكرات الزجاجية ، واحسب نصف قطرها r (بقياس ثلاثة أقطار لها مختلفة) ، ثم أسقطها دون إعطائها سرعة ابتدائية في السائل المراد قياس لزوجه . و عيّن الزمن t الذي تستغرقه لمرورها بين العلامتين A ، B .

٤- احسب سرعة سقوط الكرة v_0 و ذلك بتقسيم المسافة المقطوعة L على الزمن t الذي تستغرقه الكرة، أي: $v_0 = \frac{L}{t}$.

٥- استخدم العلاقة (8) لحساب لزوجة السائل η ، مع العلم أن الكتلة الحجمية للزجاج تساوي: 3.05 g/cm^3 ، وأن الكتلة الحجمية للغليسرين: 1.26 g/cm^3 .

٦- أعد التجربة من أجل كرات أخرى.

٧- سجل نتائج القياس في الجدول التالي:

L = cm		θ=.....°C				ρ ₁ =..., ρ ₂ =...		$\frac{2}{9} \cdot (\rho_1 - \rho_2) g = \dots$	
رقم التجربة	نصف قطر الكرة r (cm)				زمن السقوط t(sec)	السرعة الحدية $v_o = \frac{L}{t}$ cm/s	$\frac{r^2}{v_o}$	عامل اللزوجة η بواز	الانحراف Δη
	2r ₁	2r ₂	$\overline{2r}$	$\bar{r}$					
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
القيمة الوسطى									

٨- ارسم على ورقة مليمتريّة تحولات η مقدرة بالبواز بدلالة درجة الحرارة θ عندما تتحول θ بين الصفر و 30° ، واستنتج بالاستقراء الداخلي قيمة لزوجة الغليسرين في درجة حرارة المخبر . فسر أي تباين بين قياساتك و القراءة التي تحصل عليها من الرسم البياني .

٩- احسب الارتياحين النسبي و المطلق المرتكبين في قياس عامل اللزوجة بطريقة حساب الارتياح في القياس غير المباشر .

١٠- قارن نتائجك بالقيم التي تعطيها جداول الثوابت و هي بالنسبة للغليسرين كما هو مبين في الجدول أدناه معطاة بالبواز (P) و بالسنتي بواز (CP)، لا حظ أن $1 (P) = 100 (CP)$.

درجة الحرارة °C	η (CP) سنتي بواز	η بواز (P)
0	12110	121.10
6	6260	62.60
15	2330	23.30
20	1430	14.30
25	954	9.54
30	629	6.29

* * *

تجارب في الحرارة والإشعاع

قانون ستيفان وبولتزمان في الإشعاع

المعادل الميكانيكي للحريرة

الترمسور وتطبيقاته

امتصاص الأشعة تحت الحمراء

الحرارة النوعية لجسم صلب

الإشعاع الحراري ومكعب ليزلي



قانون ستيفان و بولتزمان في الإشعاع

Stephan & Boltzman's Law of Radiation

١- الغاية من التجربة:

- التعرف على طرق انتقال الحرارة .
- التعرف على الخصائص الإشعاعية للأجسام عند رفع درجة حرارتها .
- التعرف على قانون ستيفان و بولتزمان في الإشعاع و التحقق منه عملياً .
- التعرف على خاصية تغير مقاومة ناقل بتغير درجة حرارته .

٢- التمهيد النظري:

تنتقل الحرارة من موضع لآخر بإحدى طرق ثلاث، هي الحمل و التوصيل والإشعاع . ولا يحتاج انتقال الحرارة بطريق الإشعاع إلى وسط مادي بدليل أن حرارة الشمس تصل إلى الأرض رغم وجود فراغ كوني فاصل بينهما .

وإذا رفعت درجة حرارة جسم أصبح مصدراً للإشعاع . وإذا كانت هذه الدرجة عالية كان الإشعاع الصادر عن هذا الجسم مؤلفاً من ضوء مرئي و حرارة وهو ما نراه ونلمسه في مصباح التنغستين العادي لدى مرور التيار الكهربائي فيه .

ويبين الشكل (1) كيفية تغير الطاقة الإشعاعية الصادرة عن واحدة السطح من جسم ساخن في واحدة الزمن، عندما تزداد درجة حرارته . وذلك بدلالة طول موجة الإشعاع الصادر عنه مقدراً بالميكرون . يتضح من الشكل أن معظم هذه الطاقة يقع خارج نطاق الضوء المرئي والذي يشغل مجال الأطوال الموجية ما بين (0.4 - 0.75) ميكرون فقط .

فالمساحة الواقعة تحت أي منحنٍ من هذه المنحنيات تمثل الطاقة الكلية التي تصدرها واحدة السطح من الجسم الساخن في واحدة الزمن إذا رفع للدرجة المبينة على

المنحني ، و هي مقدرة بالدرجات المطلقة K .

ومن أهم قوانين الإشعاع الحراري القانون المعروف باسم قانون ستيفان وبولتزمان الذي ينص على أن معدل إصدار جسم للطاقة بالإشعاع يتناسب مع القوة الرابعة لدرجة حرارته المطلقة . و يعبر عن ذلك رياضياً بالعلاقة الآتية :

$$P = A \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (1)$$

حيث : P الطاقة التي يشعها الجسم في واحدة الزمن ، و تقدر بالواط .

A مساحة الجسم المشع ، و تقدر بالمتر المربع .

T درجة الحرارة المطلقة مقدرة بالكلفن K .

σ ثابت ستيفان و بولتزمان و قيمته العددية

$$\sigma = (5.67 \pm 0.02) \times 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$$

ε ثابت الإصدارية (Emissivity) و تتراوح قيمته بين الصفر والواحد

بحسب نوع الجسم و طبيعته . و هو يساوي الواحد في حالة الجسم المصدر المثالي و الذي يطلق عليه اسم الجسم الأسود (Black body) ، الذي يمتص جميع الإشعاعات الواردة عليه و هو دون الواحد بالنسبة للأجسام الأخرى .

وإذا كانت T عالية كما هو شأن تجربتنا هنا . حيث سنستخدم للتحقق من

قانون ستيفان وبولتزمان سلك مصباح من التنغستين متوهج من جراء مرور التيار

الكهربائي فيه . أمكننا أن نهمل ما يتلقاه سلك المصباح من الوسط المحيط ، وتكون

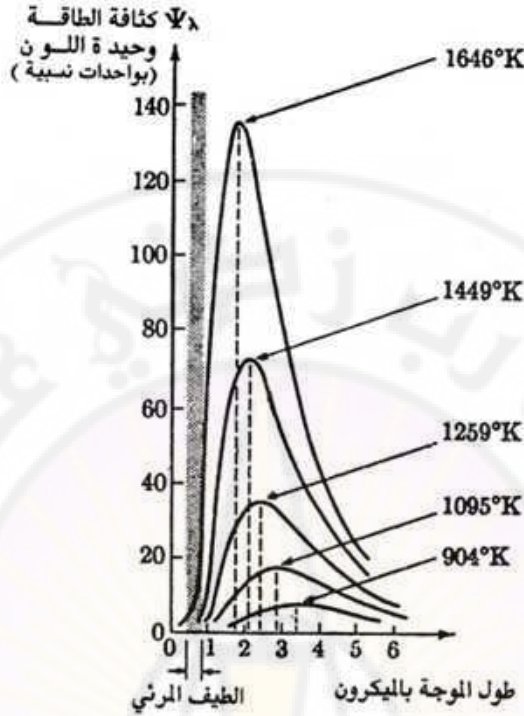
العلاقة (1) كافية لوصف ما يحدث معنا . و نظراً لثبات قيم ε و σ و A في تجربتنا

فإن P تتناسب مع T^4 . و هذا ما سنتحقق منه تجريبياً .

ولما كان قياس T المباشر أمراً متعذراً فسنستفيد من العلاقة التي تربط بين مقاومة

سلك المصباح في الدرجة صفر مئوية R_0 و بين مقاومته R_t في الدرجة t هي :

$$R_t = R_0(1 + \alpha t) \quad (2)$$



الشكل (١): الطاقة الإشعاعية الصادرة عن جسم ساخن

و يمكن كتابة العلاقة (2) التي تعطي t بالشكل:

$$t = \frac{1}{\alpha} \left(\frac{R_t}{R_0} - 1 \right) \quad (3)$$

حيث: α عامل المقاومة الحراري، وهو في حالة التغنستين يساوي: $\alpha = 4.82 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ويمكن تحديده تجريبياً بتجربة بسيطة حيث تقاس فيها مقاومة سلك المصباح في درجتين معلومتين احدهما درجة الصفر المئوية .

و تقاس R_t عن طريق قانون أوم بقياس فرق الكمون المطبق بين طرفيها V بالقولط، و التيار المار فيها I بالأمبير فيكون لدينا:

$$R_t = \frac{V}{I} \quad (4)$$

إن R_t هذه تمثل مقاومة سلك المصباح في درجة الحرارة التي تصل إليها . وهذا يعني إذا زدنا V زاد I وزاد توهج المصباح بسبب ارتفاع درجة حرارته . وتزداد R_t بارتفاع درجة الحرارة .

و لما كانت t مرتبطة بالدرجة المطلقة T بالعلاقة :

$$T = t + 273 \quad (5)$$

من المعلوم أن الطاقة الكهربائية المقدمة لسلك المصباح التي يشعها بكاملها تقريباً بشكل حراري تمثل الاستطاعة P التي يشعها المصباح في واحدة الزمن مقدرة بالواط عندما تقاس I بالأمبير و V بالفولط و التي تعطى بالعلاقة :

$$P = V \cdot I \quad (6)$$

و باستخدام العلاقة (1) ينتج أن :

$$P = V \cdot I = A \cdot \epsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (7)$$

حيث A و ϵ و σ هي ثوابت تتعلق بسلك التنغستين المدروس .

٣- الأجهزة والأدوات المستخدمة :

محول متغير (Variac)، أو منبع تغذية من طراز (13530.93) من صنع شركة فيفي (Phywe)، مصباح تنغستين 12 فولط 30 واط، مقياس فولط رقمي متناوب V (0 - 15)، مقياس أمبير رقمي متناوب A (0 - 3)، أسلاك توصيل، مقاومة 100Ω .

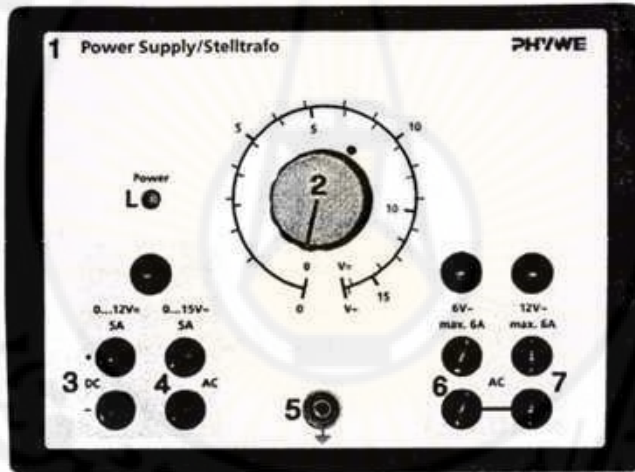
- وصف منبع التغذية :

يبين الشكل (2) واجهة منبع التغذية و فيما يلي وظائف الأجزاء الهامة منه :

١- مفتاح التشغيل : off/on يقع خلف الجهاز مهمته تشغيل الجهاز و يوجد

من الأمام مصباح L يضيء عند تشغيله .

- ٢- مجزئ كمون: و هو مفتاح دوار بواسطته نغير فرق الكمون المستمر ما بين $(0-12)V$ ، و فرق الكمون المتناوب ما بين $(0-15)V$.
- ٣- مأخذ المربطين للجهد المستمر الذي يمكن تغييره $(0-12)V$.
- ٤- مأخذ المربطين للجهد المتناوب الذي يمكن تغييره $(0-15)V$.
- ٥- مأخذ أرضي.
- ٦- مأخذ المربطين للجهد المتناوب الثابت و هو $6V$.
- ٧- مأخذ المربطين للجهد المتناوب الثابت و هو $12V$.



الشكل (٢) واجهة منبع التغذية

- وصف مقياس AVO الرقمي متعدد المجالات:

يبين الشكل (3) مقياس آفو الرقمي و يظهر فيه الأجزاء الآتية:

- ١- زر التشغيل off/on.
- ٢- زر ناخب نوع التيار AC , DC.



الشكل (٣): مقياس AVO الرقمي

٣- مفتاح ناخب مجال القياس و له

أربعة أوضاع:

أ- وضع لقياس الفولط V .

ب- وضع لقياس التيار A .

ج- وضع لقياس المقاومات Ω .

د- وضع لقياس السعات F .

٤- المرتبط الموجب للفولط و الأوم .

٥- المرتبط السالب العام COM للفولط و التيار .

٦- المرتبط الموجب للتيار حتى 200 mA .

٧- المرتبط الموجب للتيار حتى 10 A .

٨- شاشة إظهار .

٤- مراحل العمل و النتائج:

أولاً- قياس مقاومة سلك المصباح R_0 :

لقياس مقاومة سلك المصباح R_t في درجة حرارة المخبر t ، نركب الدارة

المبينة في الشكل (4) و تغذى هذه الدارة بتيار مستمر DC .

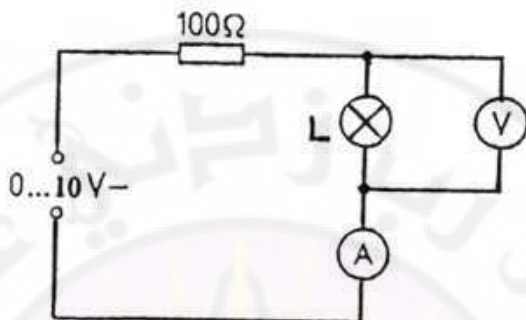
بعد ذلك نقيس شدة التيار I و فرق الكمون V ثم نحسب النسبة $\frac{V}{I}$ و منه

نجد قيمة R_t في درجة حرارة المخبر t ، شريطة أن لا يؤدي فرق الكمون إلى توهج

المصباح، باعتبار أن التيار المستخدم في التجربة صغير جداً، بحيث يهمل الأثر

الحراري . و من ثم نحسب R_0 في درجة حرارة الصفر المئوية .

- ١- خذ قيمة للتيار و لتكن $I = 50\text{mA}$ ، و اقرأ قيمة فرق الكمون V ، ثم احسب R_t في درجة حرارة المخبر t و سجلها في الجدول المبين أدناه .



الشكل (٤): دائرة قياس مقاومة سلك المصباح

- ٢- خذ قيم أخرى للتيار $I = 75\text{mA}$ ، $I = 100\text{mA}$ ، و اقرأ في كل مرة فرق الكمون V ، ثم احسب R_t لكل منها و سجلها في الجدول .
- ٣- سجل النتائج في جدول كالتالي :

رقم التجربة	شدة التيار $I \text{ (mA)}$	فرق الكمون $V \text{ (mv)}$	$R_t = \frac{V}{I} (\Omega)$
1	50		
2	75		
3	100		
الوسطي			$\bar{R}_t =$

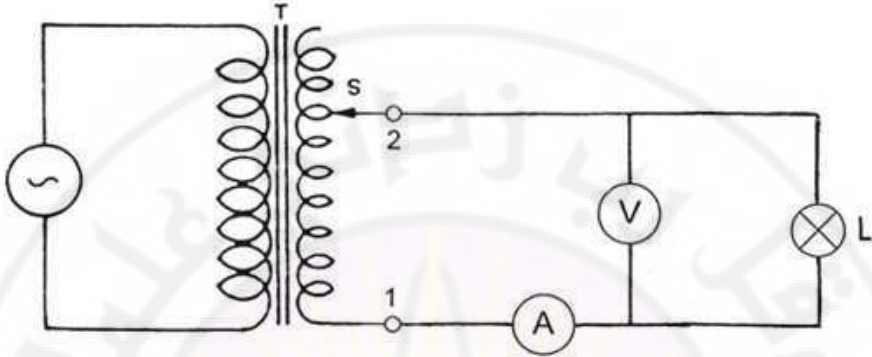
٥- احسب $\bar{R}_0$ من العلاقة :

$$\bar{R}_0 = \frac{\bar{R}_t}{1 + \alpha t} \quad (8)$$

ثانياً- التحقق من قانون ستيفان و بولتزمان :

- ١- ركب الدارة المبينة في الشكل (5) ، و تغذى هذه الدارة بتيار متناوب AC.

حرك الزالاقة S أو مفتاح تغير فرق الكمون من منبع التغذية ببطة بدءاً من موضع الصفر، و راقب تلون سلك المصباح التدريجي بقيم متزايدة حتى 10 V .



الشكل (٥): الدارة الكهربائية للتحقق من قانون ستيفان و بولتزمان

٢- ثبت الزالاقة S أو مفتاح تغير الكمون بحيث يشير مقياس الفولط إلى القراءة 3 فولط، وقرأ شدة التيار على مقياس الأمبير، ثم احسب P و R_1 ذلك من العلاقتين 4 و 7 ، ثم استنتج $\frac{R_1}{R_0}$ بعد أن حسبت R_0 من العلاقة (8) .

٣- احسب t من العلاقة (3) وذلك بالاستفادة من حسابك لـ R_0 و α .
٤- استنتج درجة الحرارة المطلقة T لسلك المصباح بتطبيق العلاقة (5) . ثم احسب T^4 و النسبة $\frac{P}{T^4}$ التي ينبغي أن تكون ثابتة في ضوء العلاقة (7) .

٥- أعد العمل السابق من أجل قيم متزايدة لفرق الكمون: $V = 4, V = 5$ ، حتى 10V .

٦- سجل نتائج القياس في الجدول أدناه .
٧- هل النسبة $\frac{P}{T^4}$ ثابتة؟ احسب وسطي هذه النسبة، وبيّن ماذا تمثل في ضوء

التمهيد النظري .

٨- ارسم على ورقة لغريتمية تحويلات P بدلالة T واحسب الميل الهندسي

للخط البياني الناتج . ماذا تمثل قيمة هذا الميل؟ وهل يمر الخط البياني من جميع النقاط التجريبية ، استبعد النقاط الشاذة إذا لزم الأمر وفسر سبب شذوذها؟ هل تنسجم نتيجتك مع قانون ستيفان و بولتزمان؟

$\alpha = 4.82 \times 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$				$R_t = \dots (\Omega)$ (في درجة حرارة المخبر)			$R_0 = \dots \Omega$		
V	I	P=V.I	$R_t = \frac{V}{I}$	$\frac{R_t}{R_0}$	$t = \frac{1}{\alpha} \left(\frac{R_t}{R_0} - 1 \right)$	$T = t + 273$	T^4	$\frac{P}{T^4}$	$\Delta \left \frac{P}{T^4} \right $
V	A	(w)	(Ω)		$^{\circ}\text{C}$	K	K ⁴		
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
الوسطي									

- ٩- أوجد ثابت التناسب A.ε.σ. الوارد في العلاقة (7) و هي $P = A.ε.σ.T^4$ من تقاطع ممد الخط البياني السابق مع العمود المقام من $T=1\text{K}$ ، و قارن الناتج مع وسطي النسبة $\frac{P}{T^4}$ الذي وجدته . ثم احسب قيمة A بمعرفتك σ و ε .
- ١٠- ارسم على ورقة مليمتريّة تحولات P بدلالة V، ثم استنتج بالاستقراء الخارجي استطاعة المصباح عندما الكمون بين طرفيه مساوياً $V = 12\text{V}$.

* * *

المعادل الميكانيكي للحريرة

Mechanical Equivalent of Heat

١- الغاية من التجربة:

– التحقق من صحة قانون جول (Joule) بقياس المعادل الميكانيكي للحريرة J اعتماداً على مبدأ انحفاظ الطاقة .

٢- التمهيد النظري:

ينص قانون جول على ما يلي:

إن كمية الحرارة H التي ينشرها مرور تيار كهربائي مستمر I بناقل تتناسب طردياً مع مقاومة هذا الناقل R ومع مربع شدة التيار المار I ومع زمن مرور التيار بالناقل t . ومنه نجد:

$$JH = R.I^2.t \quad (1)$$

حيث تقاس كمية الحرارة H بالحريرة، و المقاومة الكهربائية R بالأوم، و شدة التيار I بالأمبير، و الزمن t بالثواني، والمعادل الميكانيكي للحريرة J بالجول لكل حريرة، أما الجداء $J.H$ يقدر بالجول وهو كافي الطاقة الكهربائية المتحولة إلى حرارة . كما يُعرّف المعادل الميكانيكي للحريرة J : بأنه الطاقة الكهربائية اللازمة لتوليد حريرة واحدة. فالطاقة الكهربائية W مقدرة بالجول تتحول في الوعاء الداخلي للمسر إلى طاقة حرارية H مقدرة بالحريرات ومنه يكون:

$$J = \frac{W}{H} \quad \text{Joul/cal} \quad (2)$$

وتفيد العلاقة (1) أن الطاقة الكهربائية تتعادل مع الطاقة الحرارية .

فإذا مرّ تيار كهربائي مستمر في سلك مقاوم مغموس في ماء مسعر درجة حرارته الابتدائية θ_1 ، فإن حرارته تنتقل إلى ماء المسعر وترتفع حرارته إلى الدرجة θ_2 النهائية، بعد انقضاء مدة زمنية t .

وتكون كمية الحرارة H المنتشرة في المسعر معطاة بالعلاقة الآتية :

$$H = (MC + M'C' + M'')(\theta_2 - \theta_1) \quad (3)$$

حيث تقاس كتلة الماء في المسعر M بالغرام، وحرارته النوعية C=1 حريرة/غرام. درجة، ومعادله المائي M.C حريرة/ درجة، و M' إلى كتلة الوعاء الداخلي وحرارته النوعية C' ومعادله المائي M' C' حريرة/ درجة. و M'' المعادل المائي للمحقات المسعر من مخلوط وقضبان توصيل، و يختلف باختلاف المسعر المستخدم . إن قيمة C' هي 0.09 للنحاس و 0.22 للألومنيوم لكل درجة .

ونعلم أنه إذا مرّ تيار كهربائي شدته I أمبير في مقاومة كهربائية R أوم تولّد بين طرفيها فرق كمون V حسب العلاقة $V=RI$ فولط وكانت الطاقة الكهربائية التي يصرفها التيار خلال فترة زمنية t والمتحوّلة إلى حرارة، مقدرة بالجول تعطى بالعلاقة الآتية :

$$W = V.I.t = R.I^2.t \quad (4)$$

وبحسب العلاقة (1) و (2) و (3) و (4) بالتبديل يكون :

$$J = \frac{V.I.t}{(MC + M'C' + M'')(\theta_2 - \theta_1)} \quad (5)$$

تمثل المعادلة (4) الطاقة الكهربائية التي يصرفها التيار في المقاومة من أجل التيار المستمر، وتصح هذه العلاقة من أجل التيار المتناوب شريطة اعتبار القيمة المنتجة لكل من التوتر V والشدة I.

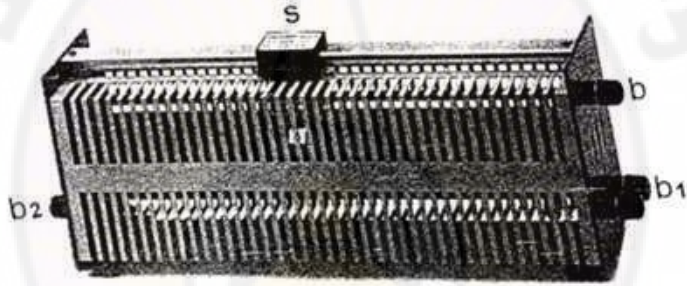
٣- الأجهزة والأدوات المستخدمة :

محول خافض للتوتر، معدلة ذات زلقة، مقياس أمبير متناوب، مقياس فولط متناوب، قاطعة، مسعر كهربائي، مقياس حرارة عشري، أسلاك توصيل، ميزان عادي حساسيته 0.5 g مع علبة سنجات، عدل من أجل الوزن المضاعف، عداد ثواني .

- جيمس جول: عالم فيزيائي انكليزي (1818 - 1889)، أوجد قانونه 1841م.

- وصف المعدلة:

هي مقاومة متغيرة كما هو مبين في الشكل (1) تتألف من أسطوانة عازلة أفقية محمولة على هيكل معدني، يلف عليها بشكل وشيعة سلك ذو مقاومة كهربائية R ، ينتهي بمربطين b_1 و b_2 مثبتين في طرفي الهيكل. و يعلو الوشيعة قضيب معدني مواز للوشيعة و ينتهي بمربط b في أحد طرفي الهيكل من الأعلى و يتصل مع زالقة S تنزلق على القضيب المعدني وذلك لتغيير قيمة المقاومة، فإذا ربطت المعدلة من المربطين b_1 و b_2 كانت مقاومتها ثابتة. أما إذا ربطت بين b_1 و b أو b_2 و b كانت مقاومتها متغيرة حسب وضع الزالقة.



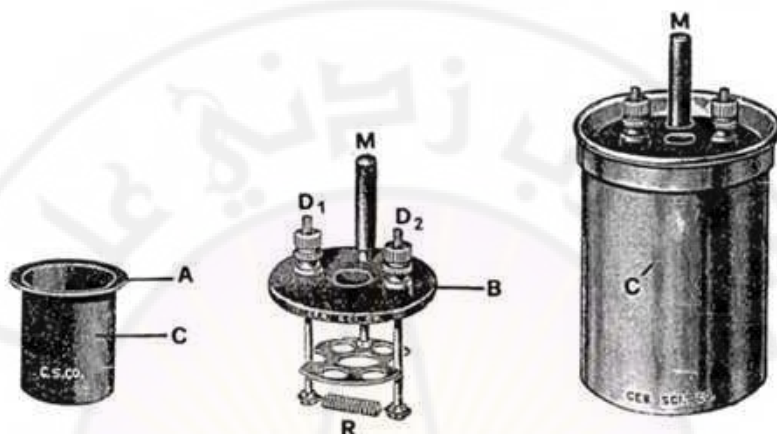
الشكل (1): المعدلة ذات الزالقة

- وصف المسعر:

يتألف المسعر كما هو مبين في الشكل (2) من وعاء خارجي C' ، و وعاء داخلي C أصغر منه كلاهما معدني، يحمل الوعاء الخارجي على حافته العليا حلقة من مادة عازلة حرارياً A تستند إليها حافة الوعاء الداخلي، فينشأ بين الوعائين حيز من الهواء يكون قليل النقل للحرارة نسبياً، ولزيادة العزل يصنع الوعاءان من معدن مصقول. لرد قسم من الحرارة التي يتلقاها بالإشعاع.

يعلو الوعائين الداخلي والخارجي غطاء مشترك B من مادة عازلة حرارياً. وفيه ثقبان أحدهما مركزي لمرور مقياس الحرارة، والآخر لساق المخلط M . و هذا المخلط هو قرص يحمل ثقباً، يُحرك به السائل في الوعاء الداخلي، و له ساق طويلة يُمسك منها

فوق غطاء المسعر . ويوجد قضيبان ناقلان مثبتان على الغطاء العازل للكهرباء بالمربطين D_1 و D_2 من الخارج، ويتدليان من الأسفل إلى ضمن السائل حيث يتصل طرفاهما بمقاومة كهربائية مناسبة R يمر إليها التيار عبر المربطين.

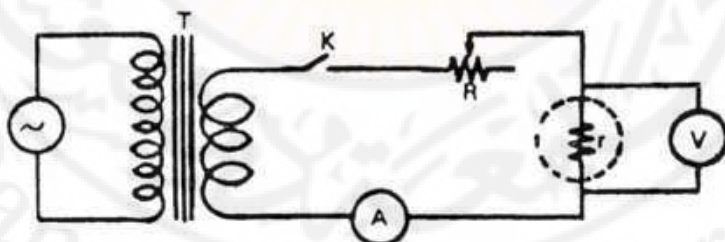


الشكل (٢): المسعر وأجزأؤه

٤- مراحل العمل والنتائج:

١- صل الدارة المبينة في الشكل (3) واترك القاطعة K مفتوحة، أدخل من المعدلة معظم مقاومتها.

٢- زن الوعاء الداخلي C للمسعر بطريقة الوزن المضاعف ولتكن كتلته M' غراماً.



الشكل (٣): الدارة الكهربائية للتحقق من قانون جول

٣- إملأ الوعاء الداخلي للمسعر بالماء حتى نصفه تقريباً، وقدر درجة حرارة الماء θ_1 والتي ينبغي أن تكون أقل من درجة حرارة جو المخبر τ بنحو 3 إلى 4 درجات فإن لم تكن كذلك برّد الماء بإضافة قطع صغيرة من الجليد إليه، حتى يتحقق الشرط السابق.

٤- زن الوعاء الداخلي مع مافيه من الماء، بطريقة الوزن المضاعف، ولتكن كتلته M_1 غراماً، فتكون كتلة الماء وحده مساوية:

$$M = M_1 - M' \quad (6)$$

٥- ضع الوعاء الداخلي مكانه ضمن الوعاء الخارجي للمسرر وأطبق الغطاء عليهما فتنغمس المقاومة R في الماء. اجعل مقياس الحرارة في موضعه عبر غطاء المسرر، مع الانتباه إلى عدم كسره.

تأكد أن الدارة صالحة للعمل، ثم أغلق القاطعة وأحكم المعدلة بسرعة بحيث تحصل على تيار شدته تتراوح بين (1.5 - 3) أمبير، وكمون ضمن مجال مقياس الفولط ثم افتح القاطعة.

٦- حرك المخلط بلطف واقرأ درجة الحرارة الابتدائية θ_1 بعد ذلك مباشرة. وقدر الفرق $(\tau - \theta_1)$.

٧- أغلق القاطعة بسرعة بعد قراءة θ_1 مباشرة و في هذه اللحظة، اضغط على زر بدء الزمن في عداد الثواني، لتعيين بدء الزمن t_1 ، حرك المخلط بلطف من حين إلى آخر كي تسهل عملية الانتقال الحراري من السلك إلى الماء، وتضمن تساوي درجة حرارة الماء في كل أجزائه.

٨- راقب مقياس الأمبير والفولط للمحافظة على ثبات التيار، وصحح أي اختلاف في التيار بتحريك زلقة المعدلة إلى الجهة المناسبة، سجل شدة التيار I والتوتر V . راقب باستمرار ارتفاع درجة الحرارة على مقياس الحرارة.

٩- عندما تصبح حرارة ماء المسرر أعلى من درجة حرارة جوالمخبر τ بالفارق الأول $(\tau - \theta_1)$ ذاته، اقطع التيار الكهربائي بفتح القاطعة، واضغط في الوقت نفسه على زر عداد الثواني، واقرأ الزمن t_2 وهو مدة مرور التيار في الدارة. تابع تحريك

المخلط بلطف وسجل درجة الحرارة النهائية العظمى θ_2 التي يشير إليها مقياس الحرارة .

١٠- احسب بالثواني الزمن t الذي انقضى حتى قطع التيار . ثم احسب L من العلاقة (5) بعد التعويض عن W و H فيها من العلاقتين 3 و 4 . وإن العلاقة (5)

هي :

$$J = \frac{V \cdot I \cdot t}{(MC + M' C' + M'')(\theta_2 - \theta_1)} \quad (5)$$

١١- كرر التجربة مرتين أخريين على الأقل، على أن تتغير كل مرة كتلة الماء M في المسعر، و تغيير شدة التيار I ، و سجل النتائج في مكانها من الجدول .

١٢- سجل نتائج القياس في جدول كالتالي :

$c=1\text{cal/g}^\circ\text{c}$		$C' = \dots\text{cal/g}^\circ\text{c}$					$M'' = \dots\text{cal/g}^\circ\text{c}$					$\tau = \dots^\circ\text{c}$
رقم التجربة	M_1 g	M' g	M g	θ_1 درجة	θ_2 درجة	H حريرة	V فولط	I أمبير	t ثانية	W جول	$J = \frac{W}{H}$ جول/حريرة	الانحراف $ \bar{J} - J $ جول/حريرة
1												
2												
3												
الوسطي												

١٣- إذا حصلت على قيم متقاربة لـ L في التجارب الثلاث، احسب القيمة الوسطية $\bar{L}$ من النتائج المتقاربة.

١٤- احسب الارتيابين النسبي والمطلق في L من العلاقة (5) لإحدى تجاربك بطريقة الارتياح غير المباشر وذلك باستخدام الطريقة التفاضلية اللغريتمية . ثم قدر الارتياح

المطلق في المقادير التي تحويها المعادلة (5) أي: $\Delta V, \Delta I, \Delta t, \Delta M, \Delta M', \Delta \theta_1, \Delta \theta_2$ مستعيناً بارتياح الأجهزة المستخدمة، ويمكن إهمال الارتياحات في $\Delta M'', \Delta C', \Delta C$.

١٥- احسب الانحرافات المطلقة $E_I = |\bar{J} - J|$ لكل تجربة i أجريتها، ثم قارن الانحراف E_I بالارتياح المطلق ΔI الذي حسبناه أنفاً و هو يمثل الحد الأدنى للارتياح والذي تسمح به أدوات القياس في التجربة . تعتبر التجربة مقبولة إذا كان $E_I \leq \Delta I$ ، ثم يحسب الوسطي $\bar{J}$ للتجارب المقبولة مستبعداً التجارب غير المقبولة.

* * *

الترمستور و تطبيقاته

Thermistor and Applications

١- الغاية من التجربة:

- التعرف على تركيب الترمستور و أنواعه .
- استخدام الترمستور لتعيين درجات الحرارة و مقارنته بو سائل تعيين درجات الحرارة الأخرى.
- استخدام الترمستور لتعيين درجة حرارة سائل .
- استخدام الترمستور في دارات إنذار من الحريق أو ارتفاع درجات الحرارة .

٢- التمهيد النظري:

أ- بنية الترمستور و تعريفه:

الترمستور نوع من أنواع المقاومات الكهربائية الصنعية تتغير مقاومته تغيراً كبيراً بتغير درجة الحرارة. ويصنع عادة من مزيج من أكاسيد المنغنيز والكوبالت والنحاس والنيكل . ولعل من أهم تطبيقاته استخدامه لتعيين درجات الحرارة . ولقياس درجات الحرارة، تستخدم عادة أنواع مختلفة من المقاييس، نذكر منها:

مقياس الحرارة الزئبقي، مقياس الحرارة الكحولي، المزدوجة الكهحرارية (thermocouple)، النابعة الكهحرارية (Thermopile)، مقياس الحرارة الضوئي (Pyrometer)، السلك المقاوم (Resistor)، الترمستور (Thermistor) .

ولكل من هذه المقاييس مزايا ومجالات للعمل يصلح عندها دون سواه . وسوف نقتصر على عرض خصائص السلك المقاوم والترمستور .

تتغير مقاومة السلك المقاوم المعدني بشكل خطي تقريباً مع درجة الحرارة، ويمكننا التعبير رياضياً عن ذلك بالعلاقة التقريبية التالية:

$$R_t = R_0(1 + \alpha t) \quad (1)$$

حيث R_t : مقاومة السلك في الدرجة t مقدرة بالدرجات المئوية.

R_0 : مقاومة السلك في درجة الصفر المئوية.

α : عامل المقاومة الحراري و يقاس بمقلوب الدرجة المئوية .

و يبين الجدول التالي قيمة α من أجل معادن معينة :

جدول عامل المقاومة الحراري α	
المادة	$\alpha (^{\circ}\text{C}^{-1})$
الألمنيوم	0.0042
النحاس	0.0043
النيكل	0.00681
البلاتين	0.00392
التنغستين	0.0046

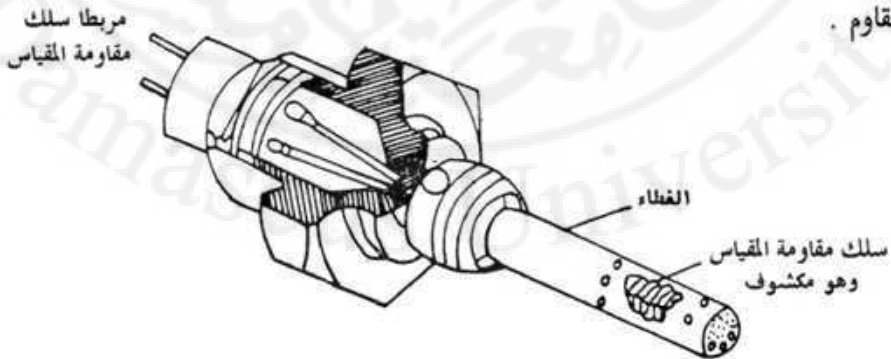
و يبدو واضحاً أنَّ α بالنسبة لمعظم المعادن موجبة و ذات قيمة منخفضة، و لذا

فإنَّ تغير المقاومة بتغير درجة الحرارة هو تغير بطيء. و مع ذلك فإننا نستخدم هذه

الخاصة أحياناً في تعيين درجات الحرارة، و لا سيما درجات الحرارة العالية .

و يوضح الشكل (1) نموذجاً من هذا النوع لمقياس درجات الحرارة ذي سلك

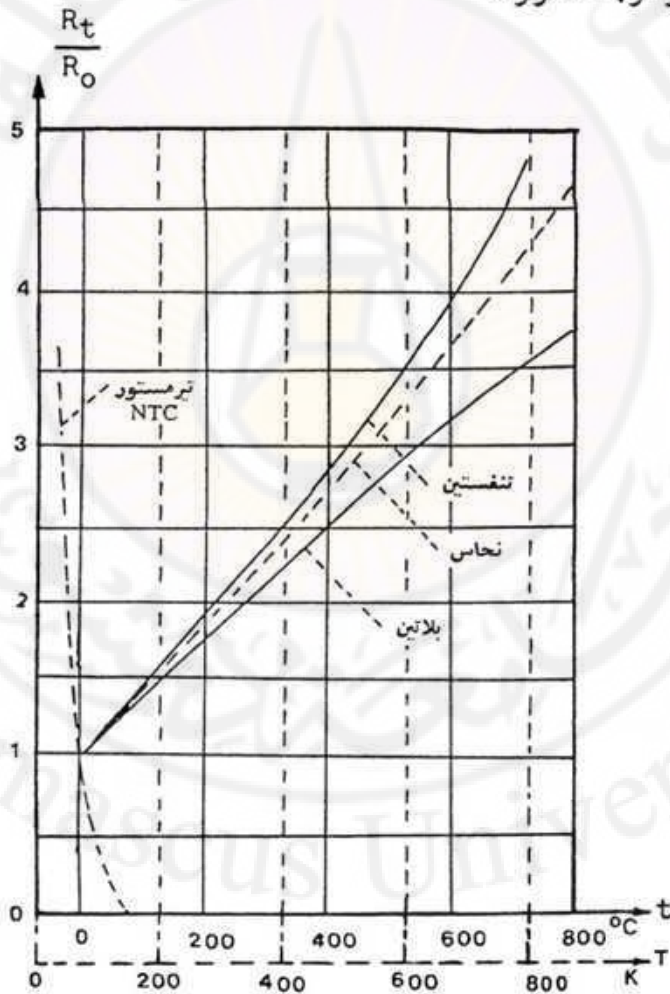
مقاوم .



الشكل (١): مقياس حراري ذو سلك مقاوم

ويبين الشكل (2) تغير النسبة $\frac{R_t}{R_0}$ بدلالة درجة الحرارة t مقدرة بالدرجات المئوية، وبدلالة درجة الحرارة المطلقة T مقدرة بالكلفن K ، وذلك من أجل ثلاثة معادن نموذجية هي التنغستين والنحاس والبلاتين .

كما يبدو بوضوح من الشكل السابق أن للبلاتين سلوكاً خطياً إلى حد بعيد، و لذا فهو شائع الاستعمال في أجهزة تعيين درجات الحرارة التي تعتمد على مبدأ تغير المقاومة بتغير درجة الحرارة .



الشكل (٢): الخط البياني لتحويلات المقاومة النسبية بدلالة درجة الحرارة المئوية و المطلقة

ب- أنواع الترمستور:

يوجد نوعان من الترمستور:

١- الترمستور من النوع NTC:

حيث تتناقص مقاومته بشدة بارتفاع درجة الحرارة فهو ذو عامل حراري

سالب.

ونرى في الشكل (2) كذلك الخط البياني المقابل للترمستور من النوع NTC .
ويبدو فيه انخفاض قيمة المقاومة الكبير بارتفاع درجة الحرارة .

في الواقع يمكننا التعبير عن علاقة مقاومة الترمستور بدرجة الحرارة

بالعلاقة التالية:

$$\frac{R_T}{R_0} = e^{-\beta \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right)} \quad (2)$$

حيث: R_0 مقاومة الترمستور في الدرجة صفر المئوية أي الدرجة $T_0 = 273 \text{ K}$.

R_T مقاومة الترمستور في الدرجة المطلقة T ..

β ثابت الترمستور الحراري و قيمته ضمن المجال (3000 – 4500)

ويقدر بوحدة هي درجة كلفن .

إن ارتفاع قيمة β هو السبب في التغير السريع لمقاومة الترمستور بتغير درجة الحرارة، و لذا فقد شاع استعماله لهذا الغرض و خاصة في مجال درجات الحرارة الممتدة بين 150° و -35° درجة مئوية.

وتشير العلاقة (2) إلى أن الخط البياني لتحويلات $\frac{R_T}{R_0}$ بدلالة $\left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right)$

المرسوم على ورقة مليمتريّة هو خط متناقص أسياً .

أما إذا رسم الخط البياني ذاته على ورقة نصف لغريتمية فإنّ هذا الخط سيكون

مستقيماً ميله $-\beta$.

٢- الترمستور من النوع PTC:

وفيه تزداد مقاومته بسرعة بارتفاع درجة الحرارة، فهو ذو عامل حراري موجب . و قد وجد أنه يمكن التعبير عن علاقة مقاومة الترمستور بدرجة الحرارة بالعلاقة الآتية:

$$\frac{R_T}{R_0} = e^{+\gamma\left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}\right)} \quad (3)$$

حيث: γ ثابت الترمستور الحراري و قيمته ضمن المجال (3000 – 4500) ويقدر بوحدة هي درجة كلفن .

إن ارتفاع قيمة γ هو السبب في التغير السريع لمقاومة الترمستور بتغير درجة الحرارة . لذا فقد شاع استعماله لهذا الغرض و خاصة في مجال درجات الحرارة الممتدة بين 150° و 35° - درجة مئوية .

و تشير العلاقة (3) إلى أن الخط البياني لتحويلات $\frac{R_T}{R_0}$ بدلالة $\left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}\right)$ ، المرسوم على ورقة مليمتريّة، هو خط متزايد أسياً .

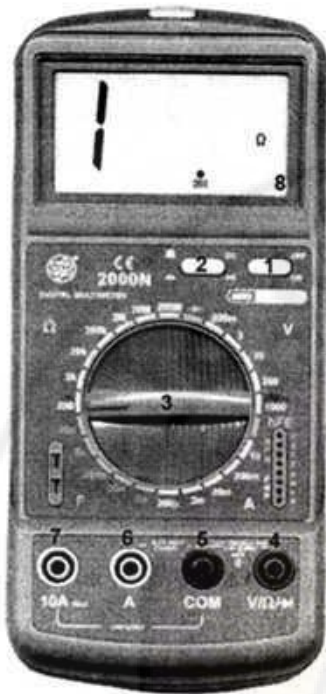
أما إذا رسم الخط البياني ذاته على ورقة نصف لغريتمية فإنّ هذا الخط سيكون مستقيماً ميله $+\gamma$.

٣- الأجهزة و الأدوات المستخدمة:

سخانة كهربائية، دورقان زجاجيان، حامل ثلاثي القوائم، ترمستور نوع NTC مركّب على حامل، ترمستور نوع PTC، مقياس حرارة كحولي، مقياس أوم رقمي، سلك توصيل عدد (2)، مخلط معدني .

- وصف مقياس AVO الرقمي متعدد المجالات:

يبين الشكل (3) مقياس آفو الرقمي، وهو مقياس عام لقياس شدة التيار والكمون و المقاومة والسعة، ويظهر فيه الأجزاء الآتية:



الشكل (٣): مقياس الأوم الرقمي

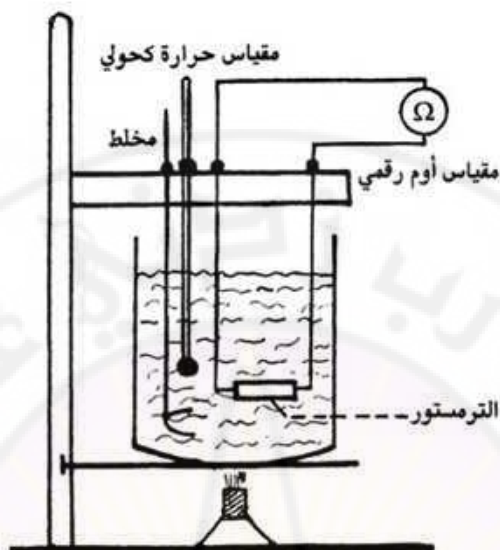
- ١- زر التشغيل off/on .
- ٢- زر ناخب نوع التيار AC , DC .
- ٣- مفتاح ناخب مجال القياس وله أربعة أوضاع:
 - أ- وضع لقياس الفولط V .
 - ب- وضع لقياس التيار A .
 - ج- وضع لقياس المقاومات Ω .
 - د- وضع لقياس السعات F .
- ٤- المربط الموجب للفولط و الأوم .
- ٥- المربط السالب العام COM للفولط و التيار .
- ٦- المربط الموجب للتيار حتى 200 mA .
- ٧- المربط الموجب للتيار حتى 10 A .
- ٨- شاشة إظهار .

٤- مراحل العمل والنتائج:

أولاً- دراسة و معايرة الترمستور:

أ- الترمستور من النوع NTC:

- ١- ضع قطعاً من الجليد و قليلاً من الماء في دورق، ثم اغمس الترمستور من نوع NTC ومقياس الحرارة الكحولي في الدورق ..
- ٢- صل الترمستور بمقياس الأوم الرقمي كما هو مبين في الشكل (4) واقرأ قيمة مقاومة الترمستور R_0 في الدرجة صفر مئوية بعد تحريك الماء جيداً .
- ٣- ارفع قطع الجليد من الماء، ثم زد الماء الموجود في الدورق بماء عادي حتى ترتفع الحرارة إلى الدرجة 10° مئوية . اقرأ قيمة مقاومة الترمستور بمقياس الأوم الرقمي عند هذه الدرجة .



الشكل (٤) : جهاز دراسة الترمستور

٤- استخدم السخانة الكهربائية لرفع درجة حرارة الماء . اقرأ قيمة مقاومة الترمستور من أجل تزايد مقداره كل عشر درجات حتى الدرجة 90° مئوية ، مع مراعاة تحريك السائل باستمرار لضمان تجانس درجة حرارة الماء في الدورق .

٥- أطفئ السخانة و أبعدها عن دورق الماء . اقرأ قيمة المقاومة عند كل انخفاض لدرجة الحرارة مقداره 10° درجات حتى الدرجة 20° مئوية مع الاستمرار بتحريك الماء لضمان تجانس درجة حرارة الماء في الدورق .

خذ وسطي قيمة المقاومة المقروءة بالزيادة و النقصان في الفقرتين السابقتين ، وسجلهما في الجدول.

٦- احسب T من درجات الحرارة t ، وكذلك $\frac{1}{T}$ ، ثم $\left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}\right)$ ،

وسجلها في الجدول.

٧- سجل نتائج القياس في جدول أدناه .

$R_o = \dots\dots\dots (\Omega)$					$\frac{1}{T_o} = \dots\dots\dots K^{-1}$		
$t(^{\circ}C)$	$T = t + 273$ K	$R_t = R_T (\Omega)$			$\frac{R_T}{R_o}$	$\frac{1}{T}$	$\left(\frac{1}{T_o} - \frac{1}{T}\right)$
		بالزيادة	بالنقصان	الوسطي			
0	273						
10	283						
20	293						
30	303						
40	313						
50	323						
60	333						
70	343						
80	353						
90	363						

٨- ارسم على ورقة مليمتريّة الخط البياني لتحوّلات $\frac{R_T}{R_o}$ بدلالة

$\left(\frac{1}{T_o} - \frac{1}{T}\right)$. هل تنسجم نتائجك مع ما وجدته في التمهيد النظري؟

٩- ارسم على ورقة نصف لغريتميّة الخط البياني لتحوّلات $\frac{R_T}{R_o}$ بدلالة

$\left(\frac{1}{T_o} - \frac{1}{T}\right)$ واستنتج قيمة β من ميل الخط الناتج، ثمّ قارنها مع القيمة النظرية .

١٠- ارسم على ورقة مليمتريّة منحنى معايرة الترمستور أي الخط البياني

لتحوّلات R_T بدلالة t .

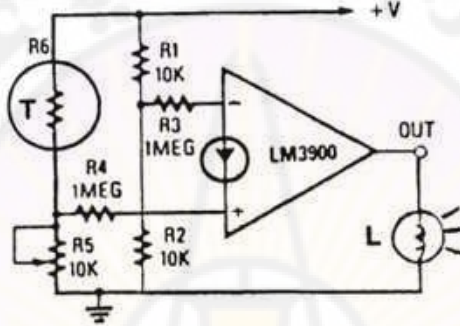
ب- الترمستور من النوع PTC:

١١- أعد المراحل من 1 - 10 على الترمستور من نوع PTC ، إذا كان لديك

متسعاً من الوقت .

فوق حدٍ معين يمكن ضبطه بفضل المقاومة المتغيرة R_5 .

يستخدم في هذه الدارة مكبر عمليات طراز LM 3900 الذي يصبح خرجه مساوياً جهد التغذية (+V) عندما تزيد درجة حرارة الترمستور على الدرجة التي تم اختيارها بفضل المقاومة R_5 فيضيء عندها المصباح L و يعطي إنذاراً ضوئياً بارتفاع درجة الحرارة .



الشكل (٦): دارة حديثة للإنذار بارتفاع درجة الحرارة

* * *

امتصاص الأشعة تحت الحمراء في الزجاج

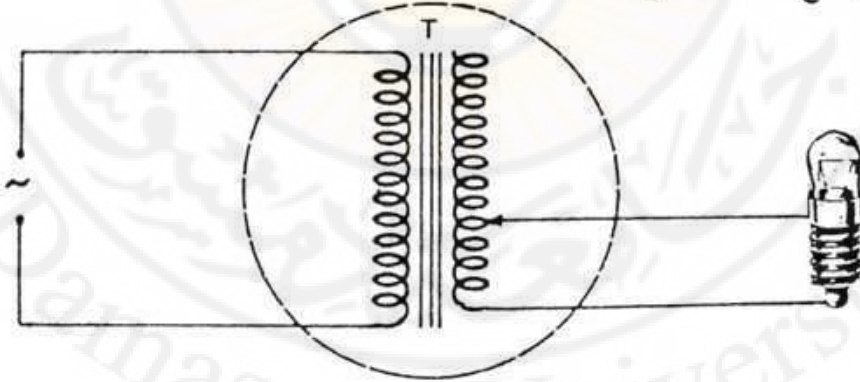
Absorption of infrared radiation in glass

١- الغاية من التجربة :

- التعرف على الخصائص الأساسية للأشعة تحت الحمراء وعلى وسائل كشفها.
- دراسة امتصاص الزجاج لهذه الأشعة.

٢- التمهيد النظري:

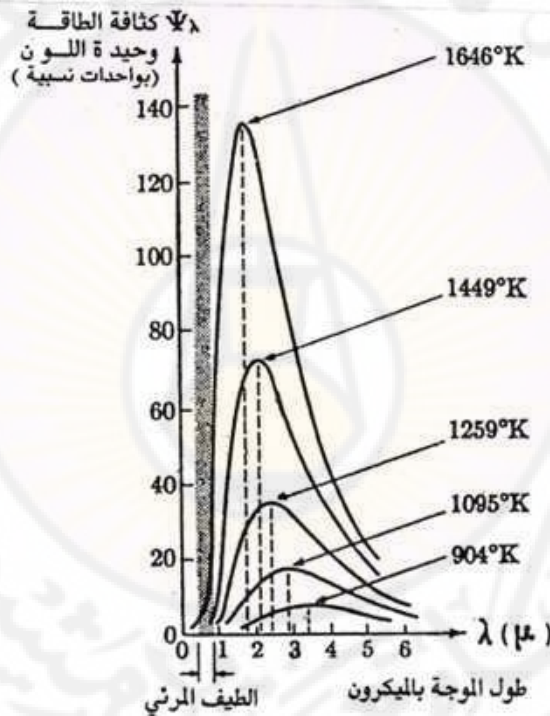
نفترض دائرة كهربائية مؤلفة من الملف الثانوي لمحول متغير (Variac)، ومن مصباح كهربائي، كالدائرة المبينة في الشكل (1). فإذا وصلنا الملف الابتدائي بمنبع تيار المدينة وزدنا تدريجياً فرق الكمون المأخوذ بين طرفي الملف الثانوي، فإننا نلاحظ أن سلك المصباح يتخذ لوناً مائلاً إلى الأحمر في بادئ الأمر، ثم إلى البرتقالي، فالأصفر، فالأبيض، و ينتشر أثناء ذلك كله إشعاعٌ حراريٌّ نشعر بأثره الحراري ولا تراه أعيننا، هو الإشعاع تحت الأحمر .



الشكل (١): المحول المتغير و دائرة المصباح

و نستطيع أن نفهم سبب هذا التلون من المنحني المبين في الشكل (2) و الذي يعطي الطاقة الصادرة عن واحدة السطح من جسم ساخن في واحدة الزمن وذلك بدلالة طول موجة الإشعاع .

ففي الدرجات المطلقة المنخفضة التي تقل عن 1259°K ، يكون الإشعاع الصادر عن المصباح إشعاعاً غير مرئي أي أنه إشعاع حراري أو تحت الأحمر، وذلك لأن مجال الضوء المرئي محدود بطولي الموجة (0.4 - 0.75) ميكرون . فإذا رُفعت درجة حرارة السلك أكثر من ذلك صدر عنه ضوء أحمر في البدء وهو أقرب الألوان إلى حدود الضوء المرئي من حيث طول الموجة، ثم تلاه البرتقالي، فالأصفر، ومتى اكتملت الأضواء المرئية صدر عن السلك المتوهج ضوء متقد أبيض .



الشكل (٢): الطاقة الإشعاعية الصادرة عن جسم ساخن

تتصف الأشعة تحت الحمراء، بخواص الضوء المرئي جميعاً من حيث الانكسار والامتصاص و الانعكاس، إلا أنها لا تثير حس الرؤية في العين .
و تستخدم لكشفها أجهزة خاصة بها نذكر منها النابعة الكهحرارية (thermopile) التي تحول الإشعاع الحراري مباشرة إلى طاقة كهربائية .

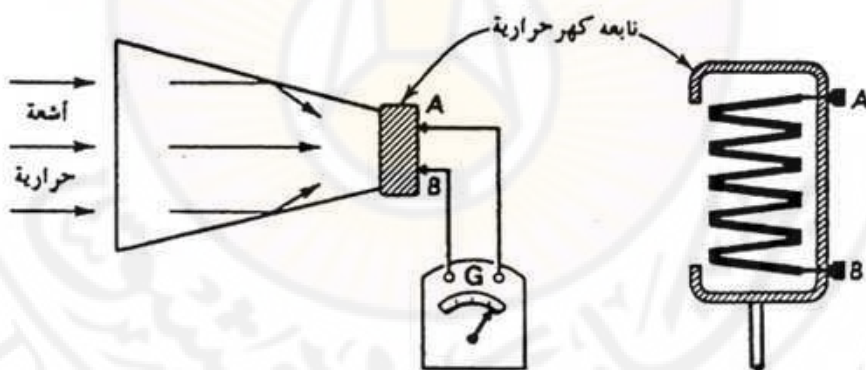
و سوف نستخدم هذه النابذة في تجربتنا لدراسة امتصاص الزجاج للأشعة تحت الحمراء .

٣- الأجهزة والأدوات المستخدمة:

نابذة كهحرارية، مقياس فولط رقمي مستمر (0 - 30mV)، مصباح كهربائي، حظاران للضوء، عدسة، قدم قنوية، وحدة تغذية (6V استطاعتها 30 W)، ألواح زجاجية من نوعين مختلفين يتميز أحدهما عن الآخر بلون زجاجه على مقطعه، وليكن عدد الألواح من كل نوع عشرة، حامل للألواح الزجاجية، أسلاك توصيل .

- وصف النابذة الكهحرارية :

تتألف النابذة الكهحرارية من قمع مصقول لاستقبال الأشعة الحرارية ومن مجموعة مزدوجات كهحرارية موصولة على التسلسل، كما هو موضح في الشكل (3) .



الشكل (٣): دائرة النابذة الكهحرارية

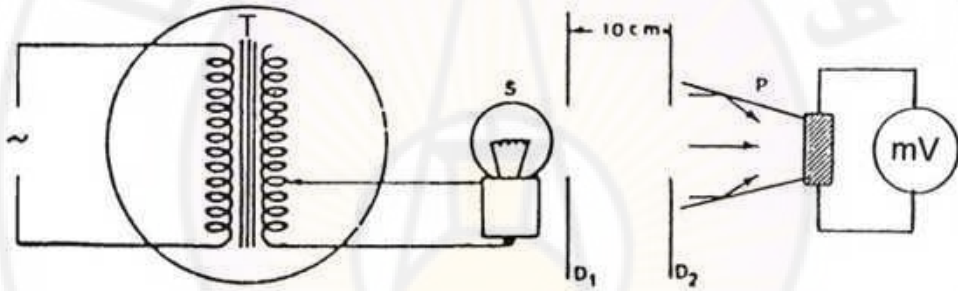
و تتألف كل مزدوجة من سلكين معدنيين من مادتين مختلفتين، إذا تعرضنا لإشعاع حراري تولدت قوة محرقة كهربائية بين نهايتيهما البعديتين . إن المربطين A و B هما مربطا النابذة الكهحرارية، وتتولد بينهما قوة محرقة كهربائية لدى سقوط الإشعاع الحراري على القمع . وتُركب النابذة عادة على حامل يمكننا من تثبيتها على الارتفاع المناسب للتجربة .

٥- مراحل العمل والنتائج:

١- رتب الأجهزة والأدوات المستخدمة في التجربة على النحو المبين في الشكل (4)
حيث ترمز: T إلى المحوّل المتغير ، S إلى المصباح الكهربائي، D_1 و D_2 إلى
الحظارين، P إلى النابذة الكهرحرارية، mV إلى مقياس الملي فولط، و يمكن استخدام
عدسة L ، لتركيز الأشعة على النابذة .

٢- اضبط ارتفاع S، D_1 ، D_2 ، P حتى تصبح على محور أفقي واحد .

٣- صل مقياس الملي الفولط الرقمي بين طرفي مربطي النابذة الكهرحرارية .



الشكل (٤): الترتيب التجريبي للأجهزة

٤- اجعل مفتاح الكمون من المحوّل المتغير على الصفر ثم صل طرفي ملفه الابتدائي
بمنبع تيار المدينة . أدر مفتاح الكمون تدريجياً و راقب تلون سلك المصباح S مع ازدياد
توجهه دون أن يتجاوز 8 V ، ثم استخدم فتحتين ملائمتين من الحظارين D_1 و D_2
حتى يعطي مقياس الملي فولط أكبر قراءة ممكنة عليه .

٥- قس السماكة t لأحد الألواح الزجاجية بعد تنظيفه ثم ضعه بين D_1 و D_2
على حامل الألواح الزجاجية، أي بين المصباح والنابذة الكهرحرارية . سجل القراءة
 E_1 التي يشير إليها مقياس الملي فولط .

إن انخفاض قراءة مقياس الملي الفولط دليل على امتصاص صفيحة الزجاج للأشعة
تحت الحمراء التي اجتازتها.

- ٦- قس سماكة لوح آخر نظيف وضعه بين D_1 و D_2 ، بالإضافة إلى اللوح السابق ، و سجل القراءة المقابلة على مقياس الملي فولت .
- ٧- أعد التجربة من أجل اللوح الثالث ثم الرابع حتى اللوح العاشر وسجل النتائج في الجدول التالي:

الألواح من النوع:				
عدد الألواح	سماكة الزجاج $t(mm)$	زيادة السماكة $E_1(mV)$	نقص السماكة $E_2 (mV)$	القوة المحركة E $\bar{E} = \frac{E_1 + E_2}{2}$
0	0.00			
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

- ٨- سجل في العمود E_2 القراءة المقابلة لمقياس الملي فولت لدى رفع الألواح واحداً تلو الآخر .

٩- احسب وسطي القراءتين $\bar{E}$ أي: $\bar{E} = \frac{E_1 + E_2}{2}$.

- ١٠- أعد التجربة ذاتها على مجموعة الألواح من النوع الثاني وسجل نتائجك في جدول مماثل .

- ١١- لا حظ من الجدول تناقص $\bar{E}$ بازدياد t . ارسم على ورقة مليمتريّة الخط البياني لتحويلات E مقدرة بالملي فولت بدلالة t سماكة ألواح الزجاج من النوع الأول مقدرة بـ mm . ماذا تستنتج من هذا الخط البياني ؟ هل تتناسب E مع t ؟

١٢- ارسم على ورقة مليمتريّة أخرى الخط البياني لتحوّلات E بدلالة $\frac{1}{t}$ لألواح

الزجاج من النوع الأول . هل تتناسب E مع $\frac{1}{t}$ ؟ .

١٣- ارسم على ورقة نصف لغريتمية تحولات E بدلالة t لألواح الزجاج من النوع

الأول بحيث تحمل قيم E على السلم اللوغاريتمي و قيم t على السلم المليميترى . هل يمر خط مستقيم من هذه النقاط التجريبية ؟ احسب الميل الفيزيائي من العلاقة :

$$\mu = \frac{\ln\left(\frac{E_2}{E_1}\right)}{t_2 - t_1} , \text{ حيث } (t_1, E_1) \text{ و } (t_2, E_2) \text{ إحداثيات نقطتين متباعدتين على}$$

الخط المستقيم الناتج، وأوجد ترتيب نقطة تقاطعه مع المحور E، ثم اكتب معادلته .

١٤- أعد المرحلة (١٣) على نتائج ألواح الزجاج من النوع الثاني و استنتج

العلاقة الرياضية التي تعطي E بدلالة t، استخدم الورقة النصف لغريتمية ذاتها للرسم .

١٥- أوجد قانون امتصاص الزجاج للأشعة تحت الحمراء مع ملاحظة ما يلي :

إذا كانت لدينا علاقة من الشكل :

$$E = E_0 e^{\mu t} \quad (1)$$

تربط بين E و t حيث E_0 و μ ثابتان نريد تعيينهما بالرسم، فبإمكاننا أن نكتب

العلاقة (1) على الشكل التالي :

$$\frac{E}{E_0} = e^{\mu t} \quad (2)$$

وبأخذ اللوغاريتم الطبيعي للطرفين بالنسبة لـ e نجد :

$$\ln\left(\frac{E}{E_0}\right) = \mu t$$

فمن أجل قيمتين لـ t مثلاً t_1 ، t_2 نفترض أنه لدينا E_1 ، E_2 فيكون :

$$\ln\left(\frac{E_1}{E_0}\right) = \mu t_1$$

$$\ln\left(\frac{E_2}{E_0}\right) = \mu t_2$$

وبالطرح ينتج لدينا :

$$\ln\left(\frac{E_2}{E_0}\right) - \ln\left(\frac{E_1}{E_0}\right) = \ln E_2 - \ln E_1 = \mu (t_2 - t_1)$$

إذن :

$$\mu = \frac{\ln E_2 - \ln E_1}{t_2 - t_1} = \frac{\ln\left(\frac{E_2}{E_1}\right)}{t_2 - t_1} \quad (3)$$

فلإيجاد μ التي تمثل الميل الفيزيائي للخط المستقيم، المرسوم على ورقة نصف لغريتمية، يكفي أن نأخذ نقطتين على هذا الخط، ويفضل أن تكونا متباعدتين، ثم نطبق العلاقة (3) على احداثياتهما (t_1, E_1) و (t_2, E_2) .
أما E_0 فنجدها من نقطة تقاطع المستقيم مع المحور E مباشرة.

يسمى هذا الثابت μ عامل امتصاص الزجاج للأشعة تحت الحمراء و واحدته هي مقلوب المليمتر أي (mm^{-1}) ، و قيمته سالبة .

* * *

الحرارة النوعية لجسم صلب

Specific Heat of Solids

١- الغاية من التجربة:

- استخدام المسعر Calorimeter لقياس كميات الحرارة.
- قياس الحرارة النوعية لجسم صلب لعدد من المعادن ومقارنتها بما نجده في جداول الثوابت.

٢- التمهيد النظري:

تعرف الحرارة النوعية لجسم ما بأنها كمية الحرارة مقدرة بالحريرة Calory اللازمة لرفع درجة حرارة غرام واحد منه درجة مئوية واحدة، وهي تساوي الواحد بالنسبة للماء water ونكتب: $C_w = 1 \text{ cal /g.c}^\circ$

يستخدم لقياس الحرارة النوعية لجسم ما جهاز يسمى المسعر calorimeter وهو يتألف من وعائين معزولين عن بعضهما بمادة رديئة النقل للحرارة. تجري عملية قياس الحرارة النوعية لمعدن على مرحلتين يتم في أولاهما تقدير المكافئ المائي للمسعر وتوابعه ونرمز له بـ C_k ، وهي تعطى بالعلاقة:

$$C_k = C_w \cdot m_w \frac{\theta_w - \theta_m}{\theta_m - \theta_k} \quad (1)$$

حيث:

- θ_k : درجة حرارة الوعاء الداخلي للمسعر والتي تساوي درجة حرارة المخبر.
- θ_w : درجة حرارة الماء الحار (حوالي 50°C) الذي يملأ المسعر حتى منتصفه تقريباً.
- θ_m : درجة حرارة الماء في المسعر عند الاستقرار (بعد عشر دقائق من صب الماء فيه).
- m_w : كمية الماء مقدرة بالغرامات التي صبت في الوعاء الداخلي للمسعر.
- C_w : الحرارة النوعية للماء وهي تساوي $1 \text{ cal / g.}^\circ \text{c}$.

تعبّر العلاقة (1) عن أن ما خسره الماء من كمية حرارة يساوي ما كسبه الوعاء

الداخلي للمسعر من كمية حرارة .

فكمية الماء m_w تبردت من الدرجة θ_w حتى بلغت θ_m ، وبالتالي فكمية الحرارة التي خسرها هي : $m_w \cdot C_w (\theta_w - \theta_m)$.

وأما المسعر فإن درجة حرارته ارتفعت من θ_k حتى بلغت θ_m ، وإذا كان C_k المكافئ المائي له فإن كمية الحرارة التي كسبها الوعاء الداخلي للمسعر هي $C_k(\theta_m - \theta_k)$.

أما في المرحلة الثانية والتي تعطي الحرارة النوعية للمعدن المدروس ونرمز لها بالرمز C فتتم من خلال المعادلة التالية :

$$C = \frac{(C_w \cdot m_w + C_k)(\theta_m - \theta_1)}{m_p (\theta_2 - \theta_m)} \quad (2)$$

حيث :

θ_2 : درجة حرارة المعدن أي درجة حرارة غليان الماء .

θ_1 : درجة حرارة المسعر والماء الابتدائية .

θ_m : درجة حرارة المزيج بعد وضع قطع المعدن الساخنة في ماء المسعر عند الاستقرار (أي بعد عشر دقائق) .

وبالتبع فإن المعادلة (2) تعبر عن أن كمية الحرارة التي كسبها الماء والمسعر هي

$(C_w \cdot m_w + C_k)(\theta_m - \theta_1)$ تكافئ كمية الحرارة التي خسرتها كتلة المعدن m_p بسبب انخفاض درجة حرارتها من θ_2 حتى θ_m أي : $m_p (\theta_2 - \theta_m)$

٣- الأجهزة والأدوات المستخدمة :

- دورق زجاجي سعة ٥٠٠ ميلي ليتر .

- مسعر مائي Calorimeter من طراز 04401.00 . صنع شركة فيفي كما هو

مبين في الشكل (1) .

- ميزان حرارة يقيس عشر الدرجة $^{\circ}C$ (0 - 50) .

- ميزان حرارة مدرج بالدرجات $^{\circ}C$ (0 - 100) .

- سخان كهربائي .

- ميزان حساس + سنجات + عدل رصاصي .

- كتل من معادن مختلفة (نحاس، ألنيوم، حديد) .

- عداد الثواني .

- وصف المسعر:

يتألف المسعر المائي المبين في الشكل (1) من وعائين معزولين عن بعضهما بمادة رديئة النقل للحرارة، فالأول وعاء خارجي عازل C' ، والثاني وعاء داخلي C أصغر منه وهو من الألنيوم سعته 500 ml، يعلو الوعائين الداخلي والخارجي غطاء مشترك B من مادة عازلة حرارياً، وهو أكبر من الوعاء الخارجي.



الشكل (١): المسعر وأجزأؤه

في هذا الغطاء B خمسة ثقوب، اثنان لساقى المخلط M ، وثقبان يتصلان بقضيبين

يتدليان داخل المسعر ضمن السائل ويتصلان بمقاومة كهربائية R مواصفاتها :

$$(V=12 \text{ v} , I=5A , R=2.5 \Omega)$$

يدخل التيار إليها عبر المربطين D_1 , D_2 ، وكذلك يوجد ثقب واسع قليلاً A لمرور ميزان الحرارة إلى داخل المسعر لقياس درجة حرارة السائل الموجود فيه.

٤- طريقة العمل والنتائج:

أ - إيجاد المكافئ المائي للمسعر:

- ١- ارفع غطاء المسعر عنه ثم وازن الجزء الداخلي منه C بسنجات مناسبة.
- ٢- سجل θ_k درجة حرارة المخبر التي تمثل درجة حرارة الوعاء الداخلي للمسعر حيث أن المسعر موجود فيه وهو متوازن حرارياً معه.
- ٣- ضع كمية من الماء تقارب 400 مللي ليتر في الدورق الزجاجي ثم سخنه حتى الدرجة $\theta_w = 50^\circ \text{C}$
- ٤- صب كمية من الماء ذي الدرجة 50°C في المسعر حتى منتصفه تقريباً. أعد غطاء المسعر وراقب درجة حرارة الماء في المسعر كل دقيقة سجل عند ثباتها الدرجة θ_m بعد عشر دقائق تقريباً مع ملاحظة استخدام المخلط بين حين وآخر .
- ٥- ارفع غطاء المسعر ووازن الجزء الداخلي منه C وما يحتويه من ماء من جديد بسنجات مناسبة تمثل كتلة الماء في المسعر m_w .
- ٦- احسب المكافئ المائي للمسعر من العلاقة (1) .
- ٧- سجل نتائج القياس في جدول كالتالي:

$C_w = 1 \text{ cal/g}^\circ \text{C}$		$\theta_k = \dots^\circ \text{C}$				$\theta_w = 50^\circ \text{C}$				$m_w = \dots \text{ g}$	
t (min)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
θ ($^\circ \text{C}$)	50										θ_m

ملاحظة:

لولا وجود المخلط الذي يمتص جزءاً لا بأس به من كمية الحرارة لأمكننا حساب المكافئ المائي للمسر من جراء كتلة وعائه الداخلي بحرارته النوعية التي تساوي $0.22 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ حيث أنه مصنوع من الألمنيوم .

ب- إيجاد الحرارة النوعية لجسم صلب:

- ١- استخدم الميزان الحساس لمعرفة كتلة المكعبات النحاسية m_p بالوزن البسيط.
- ٢- ضع الكتل النحاسية في الدورق الزجاجي برفق ثم صب الماء حتى العلامة 400 ميلي ليتر على جدار الدورق .
- ٣- سخن ماء الدورق حتى درجة الغليان وانتظر بضع دقائق حتى تكتسب كتل النحاس درجة غليان الماء . سجل درجة الغليان هذه ولتكن θ_2 .
- ٤- سجل درجة حرارة الماء الابتدائية θ_1 وهو الماء الذي استخدمته في الجزء (أ) من التجربة.
- ٥- ارفع الكتل النحاسية من الدورق وضعها فوراً في الوعاء الداخلي للمسر.
- أعد غطاء المسر وراقب درجة حرارة المزيج حتى تبلغ النهاية العظمى θ_3 .
- ٦- سجل نتائج القياس في جدول كالآتي:

كتلة الماء	$m_w = \dots\dots\text{g}$
كتلة النحاس	$m_p = \dots\dots\text{g}$
الحرارة النوعية للماء	$C_w = \dots\dots\text{ cal/g}^\circ\text{C}$
درجة حرارة الماء الابتدائية	$\theta_1 = \dots\dots^\circ\text{C}$
درجة حرارة الماء النهائية	$\theta_2 = \dots\dots^\circ\text{C}$
درجة غليان الماء	$\theta_3 = \dots\dots^\circ\text{C}$

٧- احسب الحرارة النوعية للنحاس C من العلاقة (2) .

٨- أعد التجربة على الحديد ورتب نتائجك في جدول مماثل وقارن نتائجك مع ما تعطيه جداول الثوابت والتي نورد بعضها أدناه:

نوع المعدن	الألمنيوم	الحديد	النحاس
C(cal/ g.°c)	0.22	0.11	0.093

٩- اعرض نتائجك بالشكل: $C = (C \pm \Delta C)$ ، واحسب ΔC بطريقة التفاضل اللغريتمي في إحدى تجاربك.

١٠- فسر لماذا يفضل استخدام النحاس لتصنيع أدوات الطبخ .

* * *

الإشعاع الحراري ومكعب ليزلي

Leslie Cube & Heat Radiation

١- الغاية من التجربة:

- دراسة علاقة الإشعاع الحراري الصادر عن جسم ما بدرجة حرارة سطحه.
- دراسة علاقة الإشعاع الحراري بطبيعة السطح الذي يصدر الإشعاع.
- التعرف على وسائل قياس الإشعاع الحراري الصادر عن جسم ما.

٢- المبدأ النظري:

يعطي قانون ستيفان وبولتزمان الطاقة الإشعاعية الصادرة عن جسم في واحدة الزمن بالعلاقة:

$$P = \sigma A e T^4 \quad (1)$$

حيث:

P : الطاقة الإشعاعية الصادرة في واحدة الزمن مقدرة بالواط (W) .

A : مساحة السطح المشع مقدرة بالتر المربع .

T : درجة حرارة السطح المشع مقدرة بالكلفن (K) ومعلوم أن $T = t + 273$ حيث ترمز t على درجة الحرارة المثوية.

e : ثابت يميز طبيعة السطح المشع ويسمى بإصدارية السطح emissivity وهي تأخذ القيمة بين (1 و 0) .

σ : ثابت بولتزمان وقيمه في الجملة الدولية SI هي:

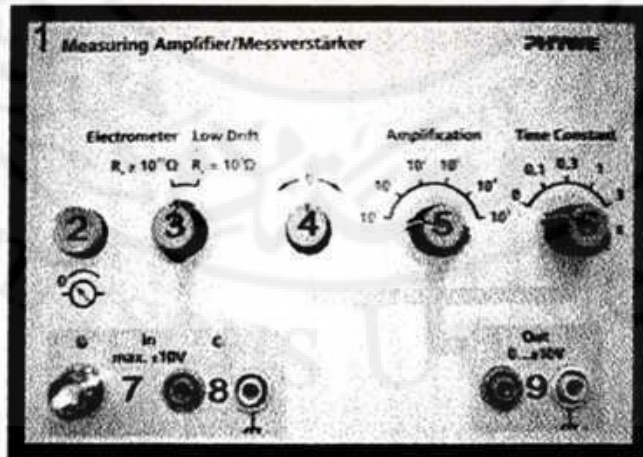
$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$$

سنتحقق في هذه التجربة من تناسب P مع القوة الرابعة لـ T ونستنتج قيمة e العائدة لأربعة وجوه هي وجوه مكعب ليزلي .

٣- الأجهزة والأدوات المستخدمة :

- مكعب ليزلي.
- بيل كهحراري لقياس الإشعاع الحراري + صفيحة حماية .
- مكبر القياس العام Universal measuring amplifier من طراز 13626.98 صنع شركة فيفي كما هو مبين في الشكل (1) .
- مقياس فولط متعدد المجالات $V (0 - 1)$.
- سخان كهربائي غاطس.
- بيشر زجاجي + قمع زجاجي.
- ميزان حرارة $100^{\circ} C \dots 10^{\circ} -$.
- أسلاك توصيل .
- حامل دوار .
- حامل البيل الكهحراري .
- وصف مضخم القياس العام :

يبين الشكل (١) الواجهة الأمامية لمضخم الجهد ويظهر فيه الأجزاء التالية :



الشكل (١): الواجهة الأمامية لمضخم الكميون

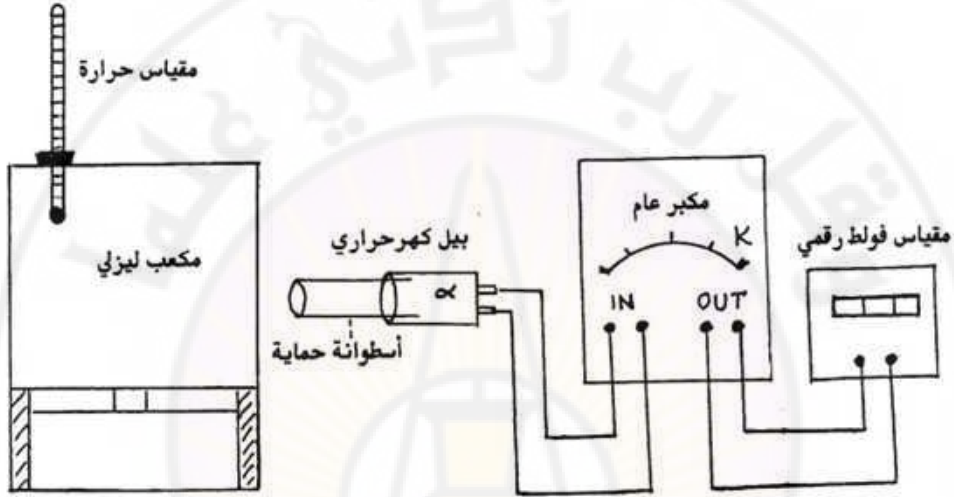
- ١- مفتاح التشغيل off/ on: ويقع خلف الجهاز.
- ٢- زر تفريغ الشحنة للتخلص من الشحنة على المدخل.
- ٣- مفتاح ناخب ذو وضعين.
- Low drift: للاستخدام عند التضخيم.
- Electrometer: للاستخدام عند قياس الشحنات الكهربائية.
- ٤- مفتاح تصفير.
- ٥- مفتاح نسبة التضخيم وله ستة أوضاع $10^0 - 10^5$.
- ٦- مفتاح ثابت الزمن لمرشح داخلي له خمسة أوضاع (0 - 3) sec.
- ٧- مربوط دخل مركزي للإشارة.
- ٨- مربوط دخل عادي للإشارة.
- ٩- مخرج المضخم ويوصل مع مقياس الجهد أو مع راسم إشارة يشار إلى أنه عند استخدام المقياس كمضخم للجهد يوضع المفتاح (٣) على الوضع Low Drift.

٤- طريقة العمل والنتائج:

- ١- صل البيل الكهحراري بمدخل مضخم القياس العام، وصل خرج المضخم بمقياس الفولط متعدد المجالات كما هو مبين في الشكل (1).
- ٢- وجّه البيل الكهحراري نحو جدار مكعب ليزلي واضبط المضخم العام حتى يعطي خرجاً يساوي الصفر على مقياس الفولط الرقمي متعدد المجالات.
- ٣- سخن كمية من الماء حتى الغليان تكفي لملء مكعب ليزلي. استعن بالقمع واملأ مكعب ليزلي بالماء الساخن بعناية. غطس ميزان الحرارة بحيث تتمكن من مراقبة درجة حرارة الماء دخل المكعب.
- ٤- وجّه البيل الكهحراري باتجاه أحد وجوه مكعب ليزلي وسجل درجة حرارة الماء في المكعب t وقراءة مقياس الفولط الرقمي V . لاحظ أن القراءة V تمثل خرج البيل الكهحراري بعد تضخيمه k مرة حسب وضع مفتاح التضخيم على المضخم.

كما أن خرج البيل لا يعطي الطاقة التي يستقبلها من واحدة السطح المدروس إلا بعد ضربه بعامل يزودنا به الصانع ولنسمه α بمعنى أن:

$$\frac{P}{A} = \left(\frac{V}{k} \right) \cdot \alpha$$



الشكل (٢): الترتيب التجريبي لدراسة الإشعاع الحراري من مكعب ليثي

وعليه فإن العلاقة (1) تؤول في ضوء ذلك إلى:

$$\frac{P}{A} = \frac{V}{k} \cdot \alpha = \sigma e T^4 \quad \text{أو:}$$

$$V = \left(\frac{k \cdot \sigma \cdot e}{\alpha} \right) (T^4) = C T^4 \quad (2)$$

٥- تابع مراقبة كل من t و V للسطح ذاته بانخفاض درجة الحرارة t .

٦- سجل نتائج القياس في الجدول أدناه .

٧- استخدم $\bar{C}$ واستفد من العلاقة (2) لإيجاد إصدارية السطح النحاسي المطلي

بالسواد، وذلك في ضوء معرفتك لعامل التضخيم k وللثابت α الذي يقدمه الصانع

ولـ σ . هل تقع قيمة e بين صفر و واحد ؟

٨- أعدد التجربة على السطح اللامع من مكعب ليزلي . واستنتج بالطريقة ذاتها قيمة e لسطح النحاس اللامع. أيهما أقرب إلى الواحد؟ أيهما أشد إصداراً للإشعاع الحراري؟

k =		$\alpha = \dots$		نوع السطح : نحاس مطلي بالسواد		
t °C	T = t + 273 K	V (volt)	T ⁴ (K) ⁴	C = $\frac{V}{T^4} \frac{\text{Volt}}{(\text{K})^4}$	ΔC	
90						
80						
70						
60						
50						
40						
القيمة الوسطى				$\bar{C} =$		

٩- ارسم على ورقة لغزيمية تحويلات V بدلالة T للسطح النحاسي المطلي بالسواد. ما هو ميل المنحني الناتج؟ هل تنسجم نتيجتك مع الدراسة النظرية؟ ماذا تمثل نقطة تقاطع الخط الناتج مع العمود المرفوع من النقطة T = 1 K؟ استنتج من ذلك قيمة e أي إصدارية السطح النحاسي المطلي بالسواد وذلك بالإفادة من العلاقة (2) .

١٠- ارسم على الورقة ذاتها تحويلات V بدلالة T العائدة للسطح النحاسي اللامع ، واستنتج إصدارية هذا السطح من نقطة تقاطع الخط الناتج مع العمود المرفوع من النقطة T = 1 K.

* * *

تجارب في الكهرباء والمغناطيسية

قانون أوم

جسر وطسطن

التيار المتناوب

تخطيط الحقول الكهربائية

قياس الحقل المغناطيسي



قانون أوم

Ohms Law

١- الغاية من التجربة:

- التحقق من صحة قانون أوم في حالة التيار المستمر، وتطبيقه في حالة ناقل أسطواني، وكذلك في حالة دائرة مغلقة .

٢- التمهيد النظري:

أولاً- قانون أوم:

يتناول هذا القانون جزءاً من دائرة كهربائية لا تحوي إلا 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 :

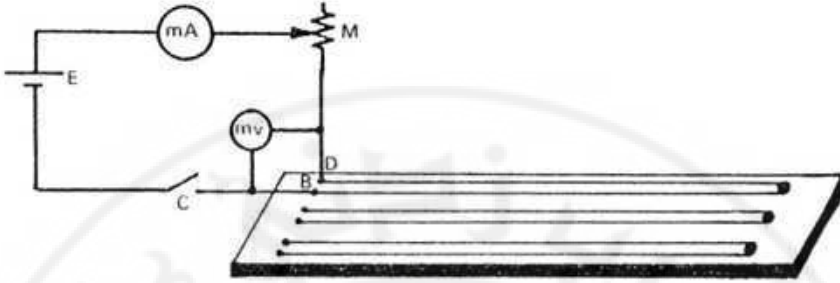
$$R = \frac{V}{I} \quad (1)$$

تقاس R بالأوم، V بالفولط I بالأمبير، ويشترط لصحة هذا القانون بقاء درجة حرارة الناقل ثابتة . وسوف ندرس هذا القانون في حالة التيار المستمر. و يمكن كتابة العلاقة (1) بصيغة تابعة فرق الكمون لشدة التيار على الشكل:

$$V = R.I \quad (2)$$

للتحقق من صحة هذا القانون، نركب الدارة الكهربائية كما في الشكل (1) التي تحتوي على التسلسل منبعاً للتيار المستمر E ، ومقاومة صرفة R وهي المراد دراستها وهي على شكل سلك مقاوم مثبت على لوحة خشبية، ومعدلة M (مقاومة متغيرة لها زالقة) للتحكم بشدة التيار في الدارة، مقياس مللي أمبير لقياس شدة التيار I ، وقاطعة C

جورج سيمون أوم: عالم فيزيائي ألماني (1789-1854) اكتشف قانون أوم في الكهرباء .



الشكل (١): الدارة النظرية للتحقق من قانون أوم

لفتح الدارة وغلقها، ويربط مقياس مللي فولط على التفرع بين طرفي السلك المقاوم R لقياس فرق الكمون V ، أي بين B , D

تؤخذ قيم مختلفة ومتزايدة لفرق الكمون V بتحريك زلقة المعدلة M ابتداء من قيمة كبيرة لمقاومتها. فنتنتج قيم مختلفة لشدة التيار I .

تحسب النسبة $\frac{V}{I}$ لكل تجربة فإن وجدت هذه النسبة ثابتة تقريباً كان قانون أوم صحيحاً ومحققاً.

كما يمكن رسم الخط البياني على ورقة مليمتريّة لتحويلات V بدلالة I . فإن كان هذا الخط مستقيماً تأكد بذلك أن النسبة $\frac{V}{I}$ ثابتة، وهي تساوي الميل الفيزيائي للخط البياني الناتج.

ثانياً- قانون أوم في حالة ناقل اسطواني:

ليكن لدينا ناقل أسطواني الشكل طوله L متراً ومساحة مقطعه S متراً مربعاً، ومقاومته الكهربائية R أوماً.

يبين قانون أوم أن مقاومة الناقل R تتناسب طردياً مع طوله L وعكساً مع مساحة مقطعه S ، وتتوقف قيمة عامل التناسب ρ على طبيعة الناقل وعلى خواصه الفيزيائية

ويسمى المقاومة النوعية لمعدن الناقل أو الخليطة التي صنع منها، ويقاس بالأوم X متر، في الجملة الدولية ($\Omega \cdot m$). ومنه نكتب القانون بالشكل:

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (3)$$

يسمى مقلوب المقاومة النوعية ρ بالناقلية النوعية $\sigma = \frac{1}{\rho}$ للمعدن أو الخليطة وتقاس بوحدة هي : سيمنس/متر ($S \cdot m^{-1}$)، كما يسمى مقلوب المقاومة R بناقلية السلك أو الناقل $\delta = \frac{1}{R}$ وتقاس بـ (Ω^{-1}).

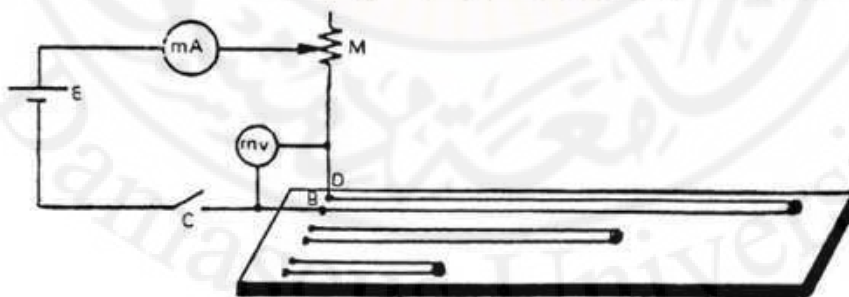
و للتحقق من صحة القانون (3) ندرس على التوالي: تأثير الطول، ثم مساحة المقطع، ثم المادة، على مقاومة الناقل، فنحصل على ثلاثة قوانين جزئية هي:

١- قانون الأطوال:

إن نسبة مقاومتي ناقلين أسطوانيين من طبيعة واحدة و من مقطع واحد كنسبة طوليهما . أي أن R تتناسب طردياً مع L عند ثبات S و ρ .

من أجل ذلك تؤخذ ثلاثة نواقل أسطوانية متحدة في مساحة المقطع و المادة، مثبتة على لوحة خشبية . نسبة أطوالها إلى بعضها كنسبة 1 إلى 2 إلى 3 مثلاً.

يربط كل من هذه النواقل بدوره في الدارة المبينة في الشكل (2):



الشكل (٢): الدارة النظرية للتحقق من قانون الأطوال

و تقاس مقاومة كل ناقل وفق قانون أوم $R = \frac{V}{I}$. وبما أن مقاومة الناقل الأسطواني تحسب من العلاقة (3) فإننا نستطيع أن نكتب:

$$\boxed{\frac{R}{L} = \frac{\rho}{S} = \text{ثابت}} \quad (4)$$

ثم تحسب النسب $\frac{R_3}{L_3}, \frac{R_2}{L_2}, \frac{R_1}{L_1}$ فإن وجدت متقاربة قبلنا بأن المقاومة الكهربائية R تتناسب طردياً مع طول الناقل L، ومنه نكتب:

$$\boxed{\frac{R_1}{L_1} = \frac{R_2}{L_2} = \frac{R_3}{L_3}} \quad (5)$$

٢- قانون المقاطع:

إن نسبة مقاومتي ناقلين أسطوانيين من طبيعة واحدة ومن طول واحد تساوي عكس النسبة التي بين مساحتي مقطعيهما، أي أن R تتناسب عكساً مع S عند ثبات ρ و L.

من أجل ذلك تؤخذ ثلاثة نواقل ممتدة في الطول و المادة مثبتة على لوحة خشبية، نسبة أنصاف أقطارها إلى بعضها كنسبة 1 إلى 2 إلى 4 مثلاً.

يربط كل من هذه النواقل بدوره في الدارة المبينة في الشكل (1)، وتقاس مقاومة كل ناقل وفق قانون أوم. و بما أن مقاومة الناقل الأسطواني تحسب من العلاقة (3) التي يمكننا كتابتها بالشكل:

$$\boxed{S.R = \rho.L = \text{ثابت}} \quad (6)$$

و بافتراض d قطر السلك المقاوم أي أن: ثابت = $\frac{\pi d^2}{4}.R$ أو:

$$\boxed{R.d^2 = \text{ثابت}} \quad (7)$$

ثم تحسب الجداءات المتناسبة $R_1 d_1^2, R_2 d_2^2, R_3 d_3^2$ ، فإن وجدت هذه الجداءات متساوية تقريباً قبلنا بأن المقاومة الكهربائية R تتناسب عكساً مع مساحة مقطع الناقل S. ومنه نكتب:

$$\boxed{R_1 d_1^2 = R_2 d_2^2 = R_3 d_3^2} \quad (8)$$

٣- قانون المواد:

إن نسبة مقاومتي ناقلين أسطوانيين من طول واحد و مقطع واحد كنسبة مقاومتيهما النوعيتين، أي أن R تتناسب طردياً مع المقاومة النوعية ρ عند ثبات L و S .
من أجل ذلك تؤخذ ثلاثة نواقل أسطوانية مثبتة على لوحة خشبية متحدة في الطول و في مساحة المقطع و مصنوعة من مواد مختلفة مقاوماتها النوعية معلومة .
يربط كل من هذه النواقل بدوره في الدارة المبينة في الشكل (1) و تقاس مقاومة كل ناقل وفق قانون أوم . و تحسب مقاومة الناقل الأسطواني من العلاقة (3) التي يمكن كتابتها بالشكل:

$$\frac{R}{\rho} = \frac{L}{S} = \text{ثابت} \quad (9)$$

ثم تحسب النسب $\frac{R_1}{\rho_1}$ ، $\frac{R_2}{\rho_2}$ ، $\frac{R_3}{\rho_3}$ ، فإن وجدت متقاربة دل ذلك على أن المقاومة الكهربائية R تتناسب طردياً مع المقاومة النوعية للناقل ρ ، و منه نكتب:

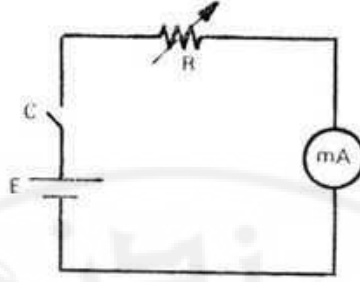
$$\frac{R_1}{\rho_1} = \frac{R_2}{\rho_2} = \frac{R_3}{\rho_3} \quad (10)$$

و من ثم إذا صحت القوانين الجزئية الثلاثة: قانون الأطوال و قانون المقاطع و قانون المواد صحت العلاقة (3) التي تضمها جميعاً و هي:

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

ثالثاً- قانون أوم في حالة دارة مغلقة:

يمكن تطبيق قانون أوم على دارة مغلقة كما في الشكل (3) تحتوي على التسلسل، مولد قوته المحركة الكهربائية E فولطاً و مقاومته الداخلية r أوماً، و مقاومة صرفة R و مقياس مللي أمبير مقاومته الداخلية r' أوماً . و عند إغلاق القاطعة C يمر في الدارة تيار شدته I أمبيراً .



الشكل (٣): الدارة النظرية للتحقق من قانون أوم في حالة دارة مغلقة

و ينص قانون أوم في حالة دارة مغلقة: إن نسبة القوة المحركة الكهربائية للمولد E إلى شدة التيار في الدارة I هي نسبة ثابتة و تساوي مجموع المقاومات في الدارة أي:

$$\boxed{\frac{E}{I} = R + \Sigma r} \quad (11)$$

يمثل الطرف $(R + \Sigma r)$ مجموع المقاومات في الدارة ويساوي المقاومة R مضافاً إليها المقاومات الأخرى في الدارة Σr وهي المقاومة الداخلية لبيل دانييل r والمقاومة الداخلية لمقياس المulli أمبير r' ، وتكون صغيرة جداً يمكن إهمالها. كما تهمل مقاومات أسلاك التوصيل وتصبح العلاقة على الشكل:

$$\boxed{\frac{E}{I} = R + r} \quad (12)$$

و من أجل أن تكون القوة المحركة الكهربائية E ثابتة نأخذ بيل دانييل الذي تكون قوته المحركة الكهربائية $E = 1.1V$ بارتياح 0.1 فولطاً، و تؤخذ المقاومة R ذات القيمة المتغيرة من علبة المقاومات العيارية، و يقاس التيار I بالأمبير كل مرة و تحسب النسبة $\frac{E}{I}$.

يرسم الخط البياني على ورقة مليمتريّة لتحويلات $\frac{E}{I}$ بدلالة R فإن كان مستقيماً، يعني هذا أن العلاقة (12) محققة. ويمكن من هذا المستقيم أن نستخرج قيمة r بالاستقراء إذ أنه يساوي ترتيب التابع عند الفاصلة $R = 0$.

٣- الأجهزة و الأدوات المستخدمة:

منيع للتيار المستمر، معدلة ذات زالقة كما في الشكل (4)، مقياس مللي أمبير مستمر $m A$ (0-1000) كما في الشكل (5)، مقياس مللي فولت مستمر mV (0-1000) كما في الشكل (6)، علبة مقاومات عيارية، نابعة دانيل كما في الشكل (7)، أسلاك توصيل، تسع مقاومات سلكية مختلفة، كل ثلاث منها مشدودة على دفة خشبية، وهي من صنع شركة فيفي (PHYWE) كما يلي:

١- الدفة الأولى: تتحد المقاومات الثلاث في مساحة المقطع والمادة (0.50 mm،

كونستنتان) وتكون نسبة أطوالها إلى بعضها كنسبة 1 إلى 2 إلى 3، وهي:

(0.333 m، 0.666 m، 1.000 m)، وهي من طراز: 6108.03.

٢- الدفة الثانية: تتحد المقاومات الثلاث في الطول والمادة (1.000 m، كونستنتان)،

وتختلف في مساحة مقاطعها وتكون نسبة أقطارها إلى بعضها كنسبة 1 إلى 2 إلى 4 وهي:

(0.25mm، 0.50mm، 1.00mm)، وهي من طراز: 6108.01.

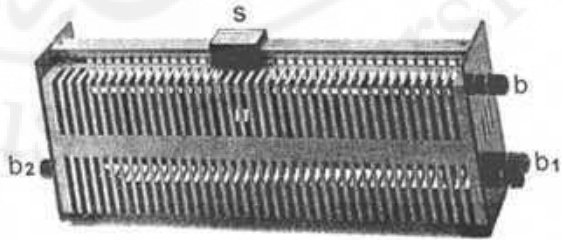
٣- الدفة الثالثة: تتحد المقاومات الثلاث في الطول وفي مساحة المقطع (1.000 m،

0.20 mm)، وتختلف في المادة. وهي تضم سلكاً حديدياً، وسلكاً نحاسياً، وسلكاً من

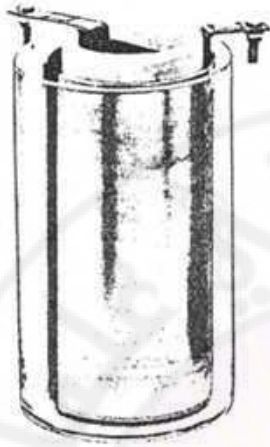
خليطة الكونستنتان، وهي من طراز 6108.02.



الشكل (٥): مقياس مللي أمبير مستمر mA



الشكل (٤): المعدلة ذات الزالقة



الشكل (٧): بيل دانييل



الشكل (٦): مقياس مللي فولت mV مستمر

٤- مراحل العمل و النتائج:

أولاً- التحقق من صحة قانون أوم:

١- أنشئ الدارة المبينة في الشكل (1) مستخدماً منبعاً للتيار المستمر بمثابة المولد E . اختر أحد الأسلاك من إحدى الدفات الثلاث بمثابة R ، وهو سلك الكونستنتان طوله 1m و ذو القطر الأصغر .

٢- اجعل الزاقة المعدلة على وضع قيمتها العظمى، وأغلق القاطعة C ثم حرك الزاقة بحيث تنقص قيمتها تدريجياً .

٣- قس في كل مرة شدة التيار I المار في السلك المقاوم وفرق الكمون V بين طرفيه .

٤- أعد التجربة بما لا يقل عن خمس مرات و ذلك بتغيير وضعية الزاقة

وسجل في كل مرة التيار I والكمون V ، واحسب النسبة $\frac{V}{I}$ لكل تجاربك ولاحظ إن كانت قيمها متقاربة .

٥- سجل نتائج القياس في الجدول أدناه .

رقم التجربة	I mA	V mV	$R = \frac{V}{I}$ Ω	الانحراف $E_i = \bar{R} - R_i $	الاستنتاج
1					
2					
3					
4					
5					
الوسطي $\bar{R} =$					

٦- قَدِّر الارتياح المطلق لكل من ΔI , ΔV كلاً على مقياسه، ثم احسب الارتياح النسبي في R لبعض تجاربك بطريقة التفاضل اللغريتمي، ثم احسب الارتياح المطلق ΔR فيها .

قارن الانحراف $E_i = |\bar{R} - R_i|$ لكل من التجارب بالارتياح المطلق ΔR الذي حسبته . و هو يمثل الحد الأدنى للارتياح المطلق الذي تسمح به تجهيزات التجربة . إذا كان الانحراف $E_i \leq \Delta R$ تكون التجربة مقبولة، و إن وجد بعض التجارب غير مقبولة، يحسب الوسطي $\bar{R}$ للتجارب المقبولة . و هذا يبين صحة القانون (1) .

٧- ارسم على ورقة مليمتريّة الخط البياني لتحويلات V بدلالة I ، ماذا تستنتج من ذلك؟

ارسم مستطيل الارتياح على بضع نقاط منها، هل تقع النقاط على استقامة واحدة، ماذا يمثل الميل الفيزيائي للخط البياني الناتج . فإن وجد الخط البياني مستقيماً فهذا دليل أيضاً على صحة القانون (1) .

ثانياً- التحقق من قانون أوم في حالة ناقل أسطواناني:

للتحقق من صحة القانون (3) و هو $R = \rho \frac{L}{S}$ نستخدم الدفات الثلاث ذات

الأسلاك المقاومة والتي تحوي على تسع أسلاك على التوالي بمثابة المقاومة R بحسب الحالة المدروسة كما يلي :

أ- التحقق من صحة قانون الأطوال :

- ١- أنشئ الدارة المبينة في الشكل (2) مستخدماً الدفة التي تختلف مقاومة أسلاكها باختلاف أطوالها فقط . وهي متحدة في مساحة المقطع والمادة.
- ٢- قس ثلاث مرات كلاً من المقاومات الثلاث على الدفة، واحسب القيمة الوسطية $\bar{R}$ لكل منها و ذلك بأخذ التجارب التي تعطي قيمةً متقاربة لهذه المقاومة.
- ٣- سجل نتائج القياس في جدول كالتالي :

مادة السلك : الكونستانتان			قطر السلك : $d = 0.50 \times 10^{-3} \text{ m}$		
طول السلك L m	شدة التيار I mA	فرق الكمون V mV	$R = \frac{V}{I}$ Ω	$\bar{R}$ Ω	الاستنتاج
1.000					
0.666					
0.333					

٤- احسب النسبة $\frac{\bar{R}_1}{L_1}$ و y_1 ومثيلاتها y_2 ، y_3 .

وقارن بين هذه النسب الثلاث فإذا وجدت المساواة التقريبية فيكون :

$$y = \frac{\bar{R}_1}{L_1} = \frac{\bar{R}_2}{L_2} = \frac{\bar{R}_3}{L_3}$$

فماذا نستنتج منها؟

٥- احسب الارتياح النسبي $\frac{\Delta y}{y}$ لإحدى هذه النسب بطريقة التفاضل اللغريتمي، ثم احسب الارتياح المطلق Δy .

٦- نظم جدولاً كالتالي مسجلاً فيه قيم النسب الثلاث. ثم احسب القيمة الوسطية لهذه النسب $\bar{y}$ ، والانحرافات E_i لكل نسبة عن الوسطي.

الاستنتاج التجربة مقبولة أم مرفوضة	الانحرافات $E_i = \bar{y} - y_i $	$y_i = \frac{\bar{R}_i}{L_i}$
الوسطي	$\bar{E}_i =$	$\bar{y}_i =$

٧- قارن الانحرافات E_i مع الارتياح المطلق Δy الذي حسبته، والذي يمثل الحد الأدنى للارتياح في y الذي تسمح به تجهيزات التجربة، و سجل في حقل الملاحظات ما إذا كانت التجربة مقبولة أو مرفوضة. ثم احسب وسطي الانحرافات $\bar{E}$ للتجارب المقبولة.

٨- احسب الانحراف النسبي الوسطي $\bar{\varepsilon} = \frac{\bar{E}_i}{y}$ ، و عبّر عنه كنسبة مئوية $\bar{\varepsilon}\%$.
فيكون هو الارتياح النسبي المثوي في صحة قانون الأطوال.
ب- التحقق من قانون المقاطع:

١- أنشئ الدارة المبينة في الشكل (1) مستخدماً الدفة التي تختلف مقاومة أسلاكها باختلاف أقطارها فقط.

٢- قس كما سبق مقاومات الأسلاك الثلاث التي هي على الدفة، واحسب القيمة الوسطية $\bar{R}$ لكل منها وذلك بأخذ التجارب التي تعطي قيماً متقاربة لهذه المقاومة.

٣- سجل نتائج القياس في الجدول التالي :

مادة السلك : الكونستانتان			طول السلك: $L = (1.000 \pm 0.002) \text{ m}$		
الاستنتاج	$\bar{R}$ Ω	$R = \frac{V}{I}$ Ω	فرق الكمون V mV	شدة التيار I mA	قطر السلك d m
					1.00×10^{-3}
					0.50×10^{-3}
					0.25×10^{-3}

٤- احسب الجداء: $y_1 = \bar{R}_1 \cdot d_1^2$ و مثليه y_2 ، y_3 ، و قارن بين هذه الجداءات الثلاثة فإذا وجدت المساواة التقريبية بينها يكون :

$$Y = \bar{R}_1 \cdot d_1^2 = \bar{R}_2 \cdot d_2^2 = \bar{R}_3 \cdot d_3^2$$

فماذا تستنتج منها؟

٥- احسب الارتياب النسبي $\frac{\Delta y}{y}$ لإحدى هذه الجداءات بطريقة التفاضل اللغريتمي، ثم احسب الارتياب المطلق Δy .

٦- نظم جدولاً على غرار ما ورد في الفقرة السابقة (6) و سجل فيه نتائج الحساب كما سبق. ثم احسب على التوالي $\bar{E}$ ، $\bar{\epsilon}$ ، $\bar{\epsilon}\%$. بين ماهو الارتياب النسبي المئوي الذي يتحقق به قانون المقاطع .

ج- التحقق من قانون المواد:

١- أنشئ الدارة المبينة في الشكل (1) مستخدماً الدفة التي تختلف مقاومة الأسلاك فيها من حيث موادها فقط .

٢- قس كما سبق مقاومات الأسلاك الثلاث التي هي على الدفة، و احسب القيمة الوسطية $\bar{R}$ لكل منها و ذلك بأخذ التجارب التي تعطي قيماً متقاربة لهذه المقاومة .

٣- سجل نتائج القياس في جدول كالتالي:

طول السلك: $L = (1.000 \pm 0.002) \text{ m}$			قطر السلك: $d = 0.20 \times 10^{-3} \text{ m}$		
مادة السلك و مقاومتها النوعية $\Omega .m$	شدة التيار I mA	فرق الكون V mV	$R = \frac{V}{I}$ Ω	$\bar{R}$ Ω	الاستنتاج
الحديد $\rho_1 = 9.6 \times 10^{-8}$ $\Omega .m$					
النحاس $\rho_2 = 1.7 \times 10^{-8}$ $\Omega .m$					
الكونستانتان $\rho_3 = 52 \times 10^{-8}$ $\Omega .m$					

٤- احسب النسبة $y_1 = \frac{R_1}{\rho_1}$ و مثلثيتها y_2, y_3 ، و قارن بين هذه النسب

الثلاث، فإذا وجدت المساواة التقريبية بينها يكون:

$$y = \frac{\bar{R}_1}{\rho_1} = \frac{\bar{R}_2}{\rho_2} = \frac{\bar{R}_3}{\rho_3}$$

فماذا تستنتج منها؟

٥- احسب الارتياح النسبي $\frac{\Delta y}{y}$ لإحدى هذه النسب بطريقة التفاضل اللغريتمي، ثم احسب الارتياح المطلق Δy .

٦- نظم جدولاً على غرار ما ورد في الفقرة السابقة (6) و سجل فيه النتائج كما سبق، ثم احسب وسطي الانحرافات: $\bar{E}$ ، $\bar{\varepsilon}$ ، $\bar{\varepsilon}\%$ ، بين ما هو الارتياح النسبي المثوي الذي يتحقق به قانون المواد.

٧- في ضوء التحقق من صحة القوانين الجزئية الثلاثة، فإننا نتحقق من صحة

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad \text{القانون (3) و هو:}$$

- وهذا جدولٌ بقيم ρ لبعض المعادن و الخلائط المشهورة:

جدول المقاومة النوعية ρ في الدرجة 20°				
المعدن	$\rho(\Omega.m).10^{-8}$	الخلائط	$\rho(\Omega.m).10^{-8}$	تركيبها %
الفضة	1.60	المخور	30	15 Ni+25Zn+60Cu
النحاس	1.70	المانغنين	45	4Ni+12Mn+84Cu
الألمنيوم	2.82	الكونسنتان	52	40Ni+60Cu
التنغستين	5.60	الفولاذ بالسليسيوم	62	1C+4Si+95Fe
النيكل	7.80	حديد النيكل	80	1C+25Ni+74Fe
الحديد	9.60	النيكروم	110	23Fe+12Cr+65Ni

ثالثاً- التحقق من قانون أوم في حالة دائرة مغلقة:

١- أنشئ الدارة الكهربائية المبينة في الشكل (3) مستخدماً نابعة دانييل بمثابة المولد E وهي تساوي: $E = (1.1 \pm 0.1)V$.

٢- أدخل المقاومة R من علبة المقاومات العيارية تساوي 5 أوم، ثم أمر التيار في الدارة بإغلاق القاطعة وسجل شدته I بالأمبير.

٣- غير المقاومة R من العلبة بزيادة 5 أوم في كل مرة وكرر التجربة عشر مرات. و سجل النتائج في الجدول.

٤- احسب النسبة $\frac{E}{I}$ لكل تجربة وسجلها في الجدول واحسب الارتياح المطلق ΔI و ΔR ، ونظم جدولاً على غرار ما ورد في الفقرة السابقة (6) وسجل فيه النتائج كما سبق، ثم احسب على التوالي: $\bar{E}$ ، $\bar{E}$ ، $\bar{E}\%$.

٥- سجل نتائج القياس في الجدول أدناه.

٦- ارسم على ورقة مليمتريّة الخط البياني لتحويلات $\frac{E}{I}$ بدلالة R .

٧- عين مستطيل الارتياح لبعض النقاط التجريبية الواقعة على الخط البياني،

هل تقع هذه النقاط على استقامة واحدة؟ فإن وجد الخط البياني مستقيماً فهذا دليل

على صحة القانون (11) وهو: $\frac{E}{I} = R + r$.

القوة المحركة الكهربائية لبيل دانييل : $E = (1.1 \pm 0.1) V$			
رقم التجربة	المقاومة العيارية $R(\Omega)$	شدة التيار $I(A)$	$\frac{E}{I}$
1	5		
2	10		
3	15		
4	20		
5	25		
6	30		
7	35		
8	40		
9	45		
10	50		

٨- احسب بالاستقراء من الخط البياني قيمة r المقاومة الداخلية لبيل دانييل من

أجل $R=0$.

* * *

قياس المقاومات بطريقة جسر وطسطن

Wheatstone's Bridge

١- الغاية من التجربة:

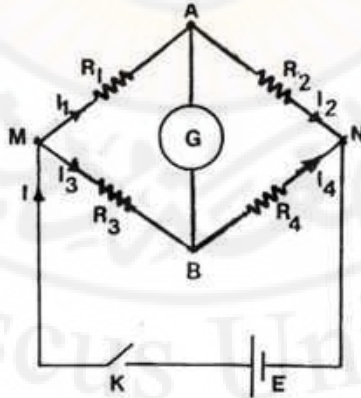
- قياس المقاومات المجهولة باستخدام جسر وطسطن.
- التحقق من قانوني جمع المقاومات على التسلسل وعلى التفرع.
- التعرف على طريقة قراءة المقاومات المستخدمة في الدارات الالكترونية.

٢- التمهيد النظري:

يعد جسر وطسطن أكثر الأجهزة انتشاراً واستخداماً لقياس المقاومات . ويبين الشكل (1) الدارة النموذجية النظرية لجسر وطسطن.

أ- وصف الجسر:

يتألف جسر وطسطن من شبكة كهربائية تحتوي على أربع مقاومات R_1, R_2, R_3, R_4 ، ثلاث منها معلومة، أما الرابعة فهي المقاومة المجهولة التي نرغب في قياسها، ومن مقياس غلفاني G ومنبع للتيار المستمر E ، وقاطعة K .



الشكل (١): الدارة النظرية لجسر وطسطن

- تشارلز وطسطن عالم فيزيائي انكليزي (1802-1875)، اخترع جسر وطسطن عام 1843

ب- توازن الجسر:

تضبط قيم المقاومات المعلومة في هذه الدارة حتى يصبح التيار الساري في المقياس الغلفاني G معدوماً. يقال عندها أن الجسر متوازن. وعند ذلك تكون النقطتان A و B في كمون واحد فيكون:

$$V_{MA} = V_{MB}$$

$$V_{AN} = V_{BN}$$

وكذلك

وإذا عبرنا عن هاتين المساواتين بدلالة التيارات والمقاومات كان لدينا:

$$I_1 R_1 = I_3 R_3$$

$$I_2 R_2 = I_4 R_4$$

ولما كان التيار معدوماً في المقياس G فإن $I_1 = I_2$ و $I_3 = I_4$. فإذا قسمنا المعادلة الثانية على الأولى وجدنا:

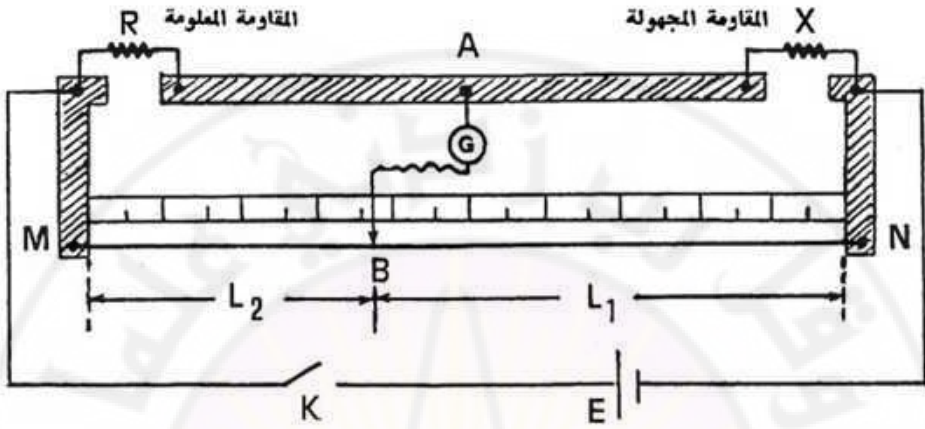
$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3}$$

$$\boxed{R_2 = R_1 \frac{R_4}{R_3}} \quad (1) \quad \text{أو:}$$

وغالباً ما يستعاض عن المقاومتين R_3 و R_4 الموجودتين في الفرع MBN من الجسر بسلك طوله متر واحد مصنوع من المنغنين، وهي خليطة مقاومتها النوعية كبيرة كما هو مبين في الشكل (2). وتصبح عندها النسبة $\frac{R_4}{R_3}$ مساوية نسبة الطولين $\frac{BN}{MB}$ ، لأن نسبة مقاومتي سلكين متجانسين في المادة والمقطع تساوي نسبة طوليهما، حسب تطبيقات قانون أوم لدى التحقق من العلاقة: $R = \rho \frac{L}{S}$.

يجعل في الفرع MAN فجوتان إحداها معدة لربط المقاومة المعلومة والأخرى معدة لربط المقاومة المجهولة. ويتصل أحد طرفي المقياس الغلفاني بالنقطة الثابتة A بينما

يتصل طرفه الآخر بزاوية تتحرك على طول السلك MN حتى يحصل التوازن عند النقطة المناسبة B .



الشكل (٢): الدارة العملية لجسر وطسطن

ونستخدم عادة علبة مقاومات عيارية مكان R_1 ونرمز لقيمة المقاومة المستخدمة منها بـ R وتوضع المقاومة المجهولة مكان R_2 ونرمز لها فيما يلي بـ X .
وإذا رمزنا للطول MB بـ L_2 (وهو من جهة المقاومة المعلوم) وللطول BN بـ L_1 (وهو من جهة المقاومة المجهولة) يصبح شرط توازن الجسر عندئذ:

$$X = R \frac{L_1}{L_2} \quad (2)$$

جـ- نورد الآن ملاحظات تتعلق بالتطبيق العملي للعلاقة (2) وهي كما يلي:

١- تعيين وضعة التوازن:

بمفاضلة العلاقة (2) تفاضلاً لغريتمياً مع إهمال الارتياح في R لأنها مقاومة عيارية تصنع بحيث يكون الارتياح فيها صغيراً جداً، نجد:

$$\frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta L_1}{L_1} + \frac{\Delta L_2}{L_2} = \frac{L_2 \Delta L_1 + L_1 \Delta L_2}{L_1 \cdot L_2} \quad (3)$$

ولما كان ΔL_1 و ΔL_2 ارتياحين متقاربين في القيمة، أي أن الارتياح فيهما واحد تقريباً ولنرمز له بـ ΔL يكون:

$$\frac{\Delta X}{X} = \Delta L \frac{L_1 + L_2}{L_1 \times L_2} \quad (4)$$

يظهر في الطرف الأيمن كسر صورته مجموع ثابت $L_1 + L_2$ ، أما مخرجه فيتغير بتغير كل من L_1 و L_2 ، فيكون هذا الكسر في قيمته الصغرى إذا كان الجداء $L_1 \cdot L_2$ أعظمية، ويتحقق هذا عندما يكون $L_1 = L_2$. بحسب القاعدة التي تنص: أن العددين اللذين مجموعهما ثابت يكون جداءهما أعظمية عندما يتساويان. لذا يكون الارتياح النسبي في X أصغرياً عندما يحقق توازن الجسر هذا الشرط الأخير. ولبلوغ هذه الغاية، نجعل الزالقة عند منتصف الجسر، ونغير من قيم المقاومة المعلومة R حتى يقترب الجسر من التوازن، ثم تزاح الزالقة قليلاً حول المنتصف حتى نجد وضعة التوازن الدقيقة.

٢- التخلص من المقاومات الدخيلة:

إن التأمل في الدارة النظرية لجسر وطسطن في الشكل (1) يشير إلى أن مقاومة كل فرع من الفروع الأربعة تشمل المقاومة المربوطة ومعها كل المقاومات الدخيلة الأخرى، مثل مقاومات نقاط التماس ومقاومات أسلاك التوصيل. وبقدر ماتكون هذه المقاومات الدخيلة صغيرة تكون العلاقة (2) صالحة للتطبيق عملياً، والارتياح فيها مقبولاً.

يصنع السلك MN متجانساً في المادة والمقطع و يلحم من طرفيه. بيد أن هذا التجانس قد لا يتحقق تماماً من الوجهة العملية، كما أن نقطتي الالتحام تدخلان 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 ، والزالقة في جوار منتصف السلك تكون قيمة الطولين $L_1 \text{ cm}$ (وهو الطول الواقع من جهة المقاومة المجهولة) و $L_2 \text{ cm}$ (وهو الطول الواقع من جهة المقاومة المعلومة).

نستبدل المقاومتين السابقتين المعلومة والمجهولة إحداهما بالأخرى، ويبحث عن التوازن الجديد للجسر، فيتحقق من أجل الطولين L_1 و L_2 . يلاحظ أن الفرق بين الطولين L_1 و L_1' يكون ضئيلاً، ومثله الفرق بين الطولين L_2 و L_2' فتؤخذ القيمتان الوسطيتان:

$$\bar{L}_2 = \frac{L_2 + L_2'}{2} \quad \text{و} \quad \bar{L}_1 = \frac{L_1 + L_1'}{2}$$

وتحسب X عندها من العلاقة (2):

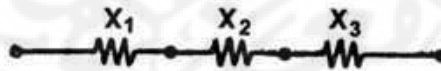
$$X = R \frac{\bar{L}_1}{\bar{L}_2} \quad (5)$$

د- قانون جمع المقاومات على التسلسل:

إذا كانت لدينا n مقاومة مربوطة على التسلسل كما في الشكل (3). فإن المقاومة المكافئة لها X_t تساوي مجموعها وهذا ما يسمى قانون جمع المقاومات على التسلسل، ويكتب:

$$X_t = X_1 + X_2 + \dots + X_n \quad (6)$$

$$X_t = \sum_{i=1}^n X_i \quad (7) \quad \text{ونكتب هذا القانون بالشكل:}$$

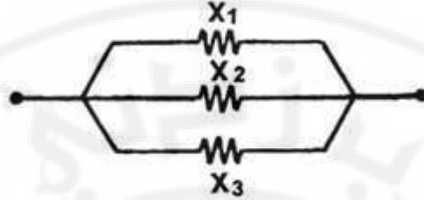


الشكل (3): وصل المقاومات على التسلسل

وللتحقق من صحة هذا القانون تجريبياً نقيس كل مقاومة على حده، ثم نقيسها مربوطة على التسلسل وكأنها مقاومة واحدة. هي المقاومة المكافئة X_t وتقاس بمثابة المقاومة المجهولة في الجسر، ومن ثم نحصل على قيمتها تجريبياً. ونعوض بالقيم العددية التي وجدناها في طرفي العلاقة (6) ونتأكد من المساواة التقريبية بين طرفيها.

هـ- قانون جمع المقاومات على التفرع:

إذا كان لدينا n مقاومة مربوطة على التفرع كما في الشكل (4).



الشكل (4): وصل المقاومات على التفرع

فإن المقاومة المكافئة X_t لها تعطى بالعلاقة:

$$\frac{1}{X_t} = \frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2} + \dots + \frac{1}{X_n} \quad (8)$$

وهذا ما يسمى قانون جمع المقاومات على التفرع.

$$\frac{1}{X_t} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{X_i} \quad \text{ويكتب هذا القانون بالشكل:}$$

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

نعوض من ثم بالقيم العددية التي وجدناها في طرفي العلاقة (8) ونتأكد من المساواة التقريبية بين طرفيها.

٣- الأدوات والأجهزة المستخدمة:

جسر وطسطن، منبع تغذية للتيار المستمر، مقياس غلفاني صفري، علبة مقاومات

عيارية, مقاومتان مجهولتان, قاطعة, أسلاك توصيل, مجموعة من المقاومات المستخدمة في الدارات الالكترونية.

٤- مراحل العمل والنتائج:

أولاً- قياس مقاومة مجهولة:

١- صل الدارة المبينة في الشكل (2) مستخدماً المقاومة الأولى المجهولة مكان X والمقاومة العيارية مكان R .

٢- ابحث أولاً عن وضعة التوازن التقريبي للجسر: ولهذه الغاية اجعل الزالقة B عند منتصف الجسر, واختر من علبة المقاومات مقاومة R . اغلق الدارة بالقاطعة K واضغط على الزالقة وراقب انحراف إبرة المقياس الغلفاني. غير المقاومة R حتى تحصل على أقل انحراف ممكن, فتحصل بذلك على وضعة التوازن التقريبي.

٣- ابحث ثانياً عن وضعة التوازن الدقيق وذلك بتحريك الزالقة حول منتصف الجسر حتى ينعدم مرور التيار في المقياس الغلفاني, ويظهر ذلك ببقاء إبرته مستقرة على الصفر عند ضغط الزالقة أو تركها. فتكون قيمة المقاومة المعلوم R مساوية تقريباً المقاومة المجهولة X , سجل قيمة هذه المقاومة ولتكن R' في أعلى الجدول.

تجدر الإشارة أن المقياس الغلفاني المستخدم حساس جداً وأوسرع العطب, فللمحافظة عليه يجب أن لاتصل إبرته إلى آخر المجال ويتحقق ذلك بأن يكون الضغط على الزالقة لفترات قصيرة ما أمكن حتى لايسخن سلك الجسر و تتغير مقاومته. ولهذين السببين افتح القاطعة K فور الانتهاء من إيجاد وضعة التوازن.

٤- أدخل من علبة المقاومات العيارية مقاومة قريبة من القيمة التي وجدتها في الفقرة السابقة, مرة أصغر منها وأخرى أكبر منها بمقدار $\Omega(1-2)$, ابحث عن وضعة التوازن من جديد, اقرأ الطول L_1 (من جهة المقاومة المجهولة) واستنتج الطول L_2 (من جهة المقاومة المعلوم R وسجلهما في الجدول.

٥- سجل نتائج القياس في جدول كالتالي :

رقم المقاومة المجهولة :					$\Omega =$ (القيمة التقريبية) R'				
رقم التجربة	R Ω	L_1 cm	L'_1 cm	$\bar{L}_1$ cm	L_2 cm	L'_2 cm	$\bar{L}_2$ cm	$x = R \frac{\bar{L}_1}{\bar{L}_2}$ Ω	$ \Delta x $ Ω
1									
2									
الوسطي									

٦- بادل المقاومتين المعلومة والمجهولة احدهما بالأخرى، وأوجد وضعة التوازن الجديدة. سجل الطولين L'_1 (من جهة المقاومة المجهولة) و L'_2 (من جهة المقاومة المعلومة). لاحظ أن L_1 و L'_1 متقاربان في القيمة، وكذلك L_2 و L'_2 .
احسب $\bar{L}_1 = \frac{L_1 + L'_1}{2}$ و $\bar{L}_2 = \frac{L_2 + L'_2}{2}$ ثم احسب x ، وسجل هذه النتائج في مواضعها في السطر الأول من الجدول.

٧- أعد المراحل السابقة من أجل قياس المقاومة المجهولة الأولى x_1 مرة ثانية، متخذاً مقاومة معلومة R أكبر منها بمقدار أوم واحد عن R' ، ثم ابحث عن وضعة توازن الجسر. ثم احسب x وسجل نتائج هذا القياس الجديد في السطر الثاني من الجدول.
٨- قس المقاومة المجهولة الثانية المعطاة لك، بالطريقة المشروحة سابقاً وسجل نتائج القياس في جدول مماثل آخر.

٩- تقدير الارتفاع ΔL تجريبياً .
نفرض أن ΔX هو الارتفاع المطلق الواقع على ناتج قياس المقاومة x ، ونحسبه بطريقة حساب الارتفاع في القياس غير المباشر، من قانون حساب x ، بعد ملاحظة أن: $L_2 = (100 - L_1)$ فيصبح القانون :

$$x = R \frac{L_1}{100 - L_1} \quad (7)$$

يمكن في هذا الحساب، افتراض أن الارتياح المطلق في المقاومة العيارية R مهمل، أما الارتياح المطلق في الطول L_1 ، فليس ناشئاً بوجه أساسي عن الارتياح المطلق في قراءة الطول على المسطرة، بل على مدى حساسية الدارة، ويعين تجريبياً كما يلي:

بعد الحصول على وضعة التوازن الدقيق للجسر، ولتكن d_0 ، وقراءة الطولين L_1 و L_2 ، تزاح الزالقة رويداً بأقل طول ممكن إلى إحدى الجهتين، وتغلق القاطعة ويضغط على الزالقة، لاختبار ما إذا كان توازن الجسر قد انتقض أم لا. نتابع هذا العمل بإزاحة الزالقة إلى الجهة المختارة حتى يلاحظ بدأ انتقاض توازن الجسر. فنقرأ وضعة الزالقة عند بدء تحرك الإبرة، ولتكن d_1 .

ثم يعاد هذا العمل من الجهة الأخرى، لتحديد وضعة بدء تحرك الإبرة لدى إزاحة الزالقة إلى هذه الجهة، ولتكن d_2 هذه الوضعة. فيكون الارتياح المطلق في L_1 من رتبة نصف المسافة بين الوضعتين، أي:

$$\Delta L = \frac{1}{2} |d_2 - d_1| \quad (8)$$

١٠- احسب الارتياح النسبي في إحدى تجاربك لكل مقاومة مجهولة قستها، بمفاضلة العلاقة (7) لغريتمياً، ثم احسب الارتياح المطلق Δx في المقاومة المجهولة الأولى وذلك من أجل إحدى التجريبتين.

ثم أعد ذلك من أجل المقاومة المجهولة الثانية.

ثانياً- التحقق من قانون جمع المقاومات على التسلسل:

١- صل على التسلسل المقاومتين اللتين قستهما على انفراد، واربطهما مكان المقاومة المجهولة، كما في الشكل (3).

٢- أعد العمل السابق لإيجاد توازن الجسر، واحسب المقاومة x_1 المكافئة للمجموعة.

٣- رتب نتائج القياس في جدول كالسابق.

٤- أعد العمل مرة أخرى مع تغيير قيمة المقاومة المعلومة R كما سبق وسجل النتائج في الجدول .

٥- عوض عن القيم العددية التي وجدتها في العلاقة (6) وتأكد من المساواة التقريبية بين طرفيها وذلك لكل من التجريبتين، فتأكد بهذا من صحة قانون الجمع على التسلسل بصورة تقريبية. ويمكن حساب الفرق بين القيمة العددية لكل من طرفي العلاقة السابقة، وهو يمثل الارتياح المطلق في صحتها .

٦- احسب الارتياحين المطلق والنسبي من العلاقة (6) التي تكتب من أجل مقاومتين بالشكل :

$$X_t = X_1 + X_2$$

ثالثاً- التحقق من جمع المقاومات على التفرع :

١- صل على التفرع المقاومتين السابقتين، واربطهما مكان المقاومة المجهولة. كما في الشكل (4) .

٢- أعد العمل السابق لإيجاد توازن الجسر، واحسب المقاومة المكافئة لهما.

٣- رتب نتائج القياس في جدول كالسابق .

٤- أعد العمل مرة أخرى مع تغيير المقاومة المعلومة R كما سبق و سجل النتائج في الجدول .

٥- عوض عن القيم العددية التي وجدتها في العلاقة (8) وتأكد من المساواة التقريبية بين طرفيها وذلك لكل من التجريبتين. فتأكد بهذا من صحة قانون الجمع على التفرع بصورة تقريبية، ويمكن حساب الفرق بين القيمة العددية لكل من طرفي العلاقة، وهو يمثل الارتياح المطلق في صحتها.

٦- احسب الارتياحين المطلق والنسبي من العلاقة (8) التي تكتب من أجل

$$\frac{1}{X} = \frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2}$$

مقاومتين بالشكل :

$$X = \frac{X_1 \cdot X_2}{X_1 + X_2}$$

أو بالشكل:

أي أن جمع مقاومتين على التفرع يساوي جداء هاتين المقاومتين على مجموعها.

رابعاً — طريقة قراءة رموز المقاومات في الدارات الالكترونية:

من المفيد التدرب على قراءة المقاومات المستخدمة في الدارات الالكترونية،

وفي هذا الخصوص، اشتهرت طريقتان أساسيتان للرمز إلى المقاومات التي تستخدم في

صناعة الأجهزة الالكترونية، وهما: ١- الطريقة اللونية، ٢- الطريقة الكتابية.

١- طريقة الرمز بالألوان: وهذه الطريقة على نوعين:

آ- النوع الأول:

حيث ترسم في هذا النوع، على جسم المقاومة الأسطواناني الشكل ثلاث

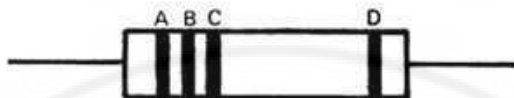
حلقات A, B, C ملونة بألوان الجدول أدناه وتكون متقاربة فيما بينها وأقرب إلى

أحد طرفي المقاومة. وهي تنفذ في تحديد قيمة المقاومة كما في الشكل (5).

- أما رموز الحلقات الثلاث A, B, C تعطى بالجدول التالي:

اللون		A	B	C
فضي	Silver	-	-	10^{-2}
ذهبي	Gold	-	-	10^{-1}
أسود	Black	0	0	10^0
بني	Brown	1	1	10^1
أحمر	Red	2	2	10^2
برتقالي	Orange	3	3	10^3
أصفر	Yellow	4	4	10^4
أخضر	Green	5	5	10^5
أزرق	Blue	6	6	10^6
بنفسجي	Violet	7	7	-
رمادي	Grey	8	8	-
أبيض	White	9	9	-

كما ترسم حلقة رابعة D ملونة بأحد الألوان، وتكون بعيدة نسبياً عن مجموعة الحلقات السابقة، تفيد في تحديد الارتياح النسبي المثوي في قيمة المقاومة.



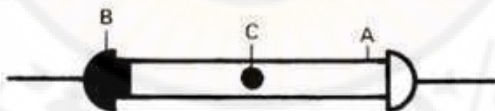
الشكل (٥): المقاومات الملونة من النوع الأول

وأما رموز الحلقة D فتعطى في الجدول التالي:

لون الحلقة D	بنّي	أحمر	ذهبي	فضي	لا توجد حلقة
الارتياح النسبي المثوي	1%	2%	5%	10%	20%

ب- النوع الثاني:

يوضع على جسم المقاومة في هذا النوع ثلاثة ألوان موزعة على النحو المبين في الشكل (6) وتفيد في تحديد قيمة المقاومة حسب القاعدة الواردة في النوع الأول، حيث يشير A إلى جسم المقاومة و B إلى طرفها الأول و C إلى النقطة التي عليها و D إلى طرفها الثاني لتحديد الارتياح النسبي في قيمة المقاومة. وهذا النوع من المقاومات قلّ استعماله.



الشكل (٦): المقاومة الملونة من النوع الثاني

ج- قراءة المقاومات المستخدمة في الدارات الالكترونية:

تعرف قيمة المقاومة والارتياح النسبي فيها وفقاً للقاعدة التالية:

ينظر إلى جسم المقاومة بحيث تقع الحلقات A , B , C , إلى اليسار والحلقة D إلى اليمين. ثم يترجم رمز اللون للحلقتين A و B إلى رقم فيتألف منهما عدد ذو رقمين. ثم يترجم رمز اللون للحلقة C إلى رقم ويعد أساً للعشرة فتضرب قوة العشرة هذه بالعدد السابق فتعرف بهذا قيمة المقاومة.

ثم يترجم رمز اللون للحلقة D إلى النسبة المئوية المقابلة فتعرف منها الارتفاع النسبي المثوي في قيمة المقاومة .

- أمثلة:

الارتفاع النسبي المثوي	A	B	C	D	قيمة المقاومة (Ω) R
± 5%	أحمر 2	أسود 0	أصفر 4	ذهبي 5%	$R_1 = 20 \times 10^4 = 200000$
± 2%	أبيض 9	أزرق 6	أسود 0	أحمر 2%	$R_2 = 96 \times 10^0 = 96$
± 10%	أخضر 5	بنّي 1	بنّي 1	فضي 10%	$R_3 = 51 \times 10 = 510$
± 1%	أزرق 6	أسود 0	فضي 10^{-2}	بنّي 1%	$R_3 = 60 \times 10^{-2} = 0.6$

وتكتب قيم هذه المقاومات مع ارتفاعاتها بالشكل:

$$R_1 = (20 \pm 1) \times 10^4 \Omega$$

$$R_2 = (96 \pm 2) \Omega$$

$$R_3 = (510 \pm 51) \Omega$$

$$R_4 = (60 \pm 0.6) \times 10^{-2} \Omega$$

و نشير أنه توجد مقاومات يكون الارتفاع النسبي فيها 1% أو 2% تستخدم في الأجهزة الالكترونية الدقيقة، مثل أجهزة القياس ويشار إليها بذلك كتابةً.

٢- طريقة الرمز بالكتابة:

في هذا النوع، يشار إلى قيمة المقاومة مع الارتفاع النسبي فيها بالكتابة على جسمها الاسطواني كما في الشكل (7) وفقاً للقواعد التالية:



الشكل (٧): المقاومة ذات الرمز الكتابي

١- في المقاومات التي تقل عن 10^3 أوماً، يستخدم الحرف R للدلالة على واحدة الأوم، وتكتب في موضع الفاصلة العشرية من العدد الذي يعطي قيمتها، سواء أكانت هناك فاصلة عشرية أم لا.

- أمثلة:

R25	1R5	100R	15R	الكتابة
0.25 Ω	1.5 Ω	100 Ω	15 Ω	مقاديرها

٢- إذا زادت المقاومة على 10^3 أوماً يستخدم الحرف K للدلالة على 10^3 أوم (كيلو أوم). يكتب الحرف المناسب منهما في موضع الفاصلة العشرية من العدد الذي يعطي قيمتها، سواء أكانت هناك فاصلة عشرية أم لا.

- أمثلة:

100K	8 K2	5K1	K 22	الكتابة
100 K Ω	8.2 K Ω	5.1 K Ω	0.22 K Ω	مقاديرها

٣- وإذا زادت على 10^6 يستخدم الحرف M للدلالة على 10^6 أوم (ميغا أوم)، ويكتب في موضع الفاصلة العشرية من العدد الذي يعطي قيمتها، سواء أكانت هناك فاصلة عشرية أم لا.

10M	4 M7	1M2	M22	الكتابة
10 M Ω	4.7M Ω	1.2M Ω	0.22M Ω	مقاديرها

٤- يلحق بالكتابة السابقة حرف يفيد التسامح في قيمة المقاومة أي الارتياح النسبي المتوحي الواقع لدى صنعها، وهي خمسة حروف نذكرها مع دلالتها:

M	K	J	G	F	الكتابة
$\pm 20\%$	$\mp 10\%$	$\mp 5\%$	$\mp 2\%$	$\mp 1\%$	مقادها

– أمثلة:

2M5M	3KOK	2K2K	R 35 F	الكتابة
2.5 ميغا أوم $\pm 20\%$	3.0 كيلو أوم $\pm 10\%$	$10\% \pm 2.2K\Omega$	0.35 أوم $\pm 1\%$	مقادها

* * *

التيار المتناوب

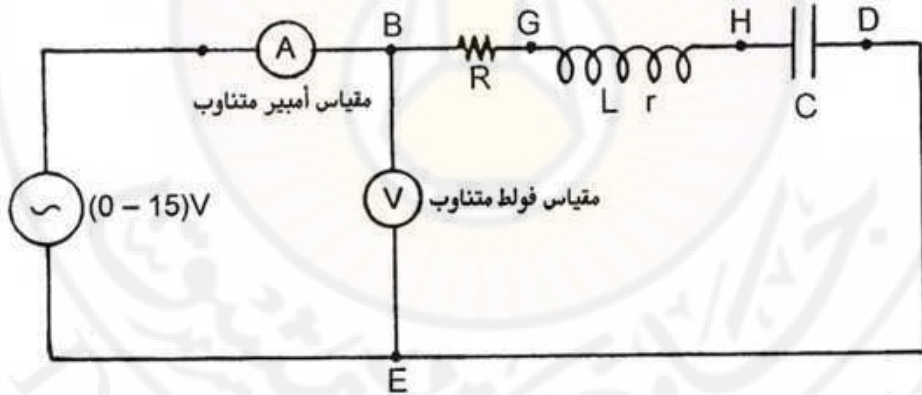
Alternating current

١- الغاية من التجربة:

دراسة دارة التيار المتناوب التي تضم على مقاومة وملف ومكثفة موصولة على التسلسل، وترسيخ مفهوم الجمع الشعاعي للجهود الكهربائية.

٢- التمهيد النظري:

نفترض دارة كالمبينة في الشكل (1) مؤلفة من منبع تغذية متناوب $V (0 - 15)$ ، ومقياس أمبير $A (0 - 1.5)$ ومقاومة صرفة R ، وملف L ، ومكثفة C ، موصولة على التسلسل، و من مقياس فولت V موصول على التفرع بين النقطتين B و E .



الشكل (١): دارة تيار متناوب تحوي مقاومة وملف ومكثفة

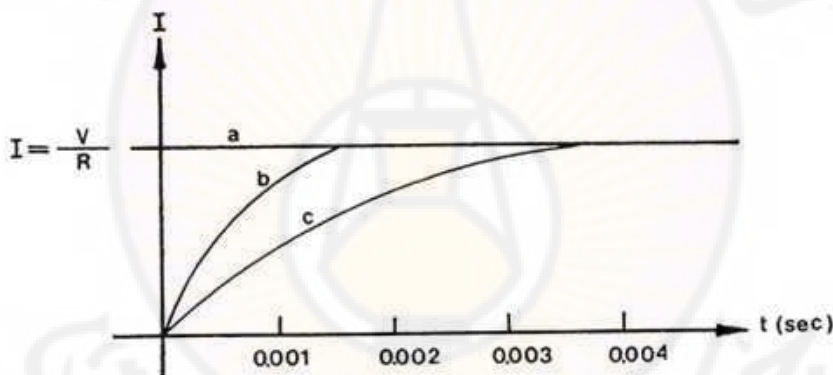
فإذا ماقيست الجهود الكهربائية بين طرفي المقاومة R ، ثم بين طرفي الملف L ، ثم بين طرفي المكثفة C ، و جمعت هذه الجهود جمعاً جبرياً، لوجدنا أن ناتج الجمع في الحالة العامة يختلف عما يشير إليه مقياس الفولت بين النقطتين B و E ، أي بداية المقاومة ونهاية المكثفة .

لا يحدث هذا الأمر في حالة دارة يمر فيها تيار مستمر، فما هو سبب هذا الاختلاف؟

للإجابة عن هذا السؤال، نتأمل في التيار الذي يمر في سلك مقاومته R لدى وصله بمنبع جهد متناوب قيمته V فولطاً . فإذا كان السلك على شكل مستقيم مرفيه تيار قدره:

$$I = \frac{V}{R} \quad (1)$$

وارتفعت شدة التيار بصورة فورية إلى هذه القيمة . أما إذا جعل السلك على شكل ملف، أو وضعت نواة حديدية بداخله، فإن التيار لا يبلغ القيمة I إلا بعد زمن، نظراً لتولد قوة محرّكة عكسية أثناء الوصل تحول دون بلوغ التيار في بادئ الأمر إلى القيمة $\frac{V}{R}$.



الشكل (٢): ازدياد التيار مع الزمن بعد التوصيل

ويبين الشكل (2) هذه الأمور جميعاً حيث تظهر فيه كيفية تغير التيار مع الزمن لدى الوصل في الحالات الثلاث التالية:

- a- السلك مستقيم .
- b- السلك بشكل ملف .
- c- السلك بشكل ملف وبداخله نواة حديدية .

من هذا نرى أنّ وجود سلك بشكل ملف في دائرة يجعل الجهد يتقدم في بلوغ قيمته العظمى عن التيار، و نعبّر عن ذلك فنقول بأنّ الجهد يتقدم في الطور عن التيار .

وبالطريقة ذاتها يمكن أن نبين أن وجود مكثفة في دارة مطبق عليها جهد متناوب، يسبب تأخر الجهد عن التيار، ونقول بأن الجهد متأخر في الطور عن التيار .

فإذا احتوت الدارة على مقاومة وملف ومكثفة، وجب أخذ فروق الطور هذه بين التيار ومختلف الجهود بعين الاعتبار، وسوف نرى أن هذا يتطلب جمع هذه الجهود جمعاً شعاعياً .

فإذا رمزنا إلى الجهد بين طرفي المقاومة بـ V_R ، كان لدينا بحسب قانون أوم:

$$V_R = I.R$$

وإذا رمزنا إلى الجهد بين طرفي الملف بـ V_L كان لدينا:

$$V_L = \omega . L . I = 2\pi . f . L . I = 314 L . I$$

وذلك لأن تواتر تيار المدينة $f = 50 \text{ Hz}$.

و إذا رمزنا إلى الجهد بين طرفي المكثفة بـ V_C كان لدينا:

$$V_C = \frac{1}{\omega C} I = \frac{I}{2\pi . f . C} = \frac{I}{314 . C}$$

وتكون العلاقة صحيحة التي تأخذ فروق الطور بعين الاعتبار هي:

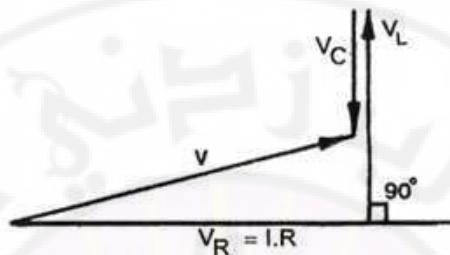
$$\bar{V} = \bar{V}_R + \bar{V}_L + \bar{V}_C$$

تجمع هذه المتجهات جمعاً شعاعياً في الحالة المثالية التي نفترض فيها أن مقاومة سلك الملف مهمة كما هو مبين في الشكل (3) حيث يظهر V_L متقدماً في الطور عن التيار بمقدار 90° وحيث يبدو V_C متأخراً في الطور عن التيار بمقدار 90° .

و يلاحظ من الشكل (3) إنه إذا فرضنا Z المقاومة المكافئة للدارة، فإن V يساوي

عندئذ $I.Z$ ، ويعطي المثلث القائم النتيجة التالية حسب نظرية فيثاغورس:

$$V^2 = I^2 \cdot Z^2 = I^2 \cdot R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2 \cdot I^2$$



الشكل (٣): الرسم الشعاعي في حالة دارة تحوي مقاومة وملف ومكثفة

وبالتقسيم على I^2 نجد العلاقة:

$$Z^2 = R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2$$

التي تعطي:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2} \quad (3)$$

ويطلق على Z ممانعة الدارة (impedance)، في حين يطلق على المقدار ωL

اسم الرديّة التحريضية (inductive reactance)، وعلى المقدار $\frac{1}{\omega C}$ اسم الرديّة

الوسعية أي المنسوبة إلى السعة (capacitive reactance).

تشير العلاقة (3) إلى أن ممانعة الدارة Z لا تكون مساوية R إلا عندما يكون:

$$\omega L = \frac{1}{\omega C} \quad \text{أي عندما يكون:}$$

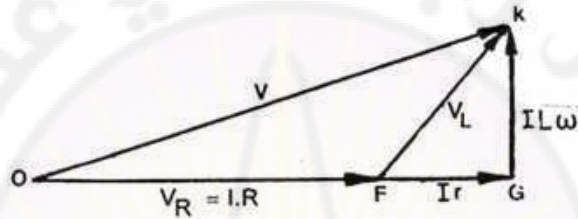
$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

ولما كان $\omega = 2\pi f$ ، فإن تواتر التيار f الذي يحقق ذلك يعطى بالعلاقة التالية:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}} \quad (6)$$

و تدعى هذه الحالة بحالة التجاوب (resonance) .

وفي الحالة التي تخلو فيها الدارة المبينة في الشكل (1) من C، يكون الرسم الشعاعي الموافق هو كالمبين في الشكل (4) .

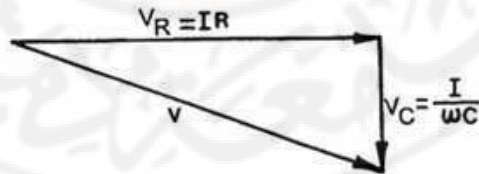


الشكل (4): الرسم الشعاعي في حالة دارة تحوي مقاومة و ملف

وتغدو ممانعة الدارة في هذه الحالة :

$$Z = \sqrt{(R + r)^2 + \omega^2 L^2} \quad (4)$$

أما في الحالة التي تخلو فيها الدارة المبينة في الشكل (1) من L، فيكون الرسم الشعاعي الموافق هو كالمبين في الشكل (5) .



الشكل (5): الرسم الشعاعي في حالة دارة تحوي مقاومة ومكثفة

وتغدو ممانعة الدارة في هذه الحالة :

$$Z = \sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}} \quad (5)$$

٣- الأجهزة والأدوات المستخدمة:

وحدة تغذية تعطي فرق كمون متناوب $V (0 - 15)$ ، مقاومة قيمتها $R = 5 \Omega$ ، مكثفة سعتها $C = 500 \mu f$ ، ملف قيمة تحريضه معلومة $L = 9 \text{ mH}$ ، مقياس فولت متناوب $V (0 - 15)$ ، مقياس أمبير متناوب $A (0 - 1.5)$ ، أسلاك توصيل، فرجار.

٤- مراحل العمل والنتائج:

١- حالة دائرة تحتوي على مقاومة وملف فقط:

١- صل الدارة المبينة في الشكل (6) مستخدماً المجال المناسب من مقياس الأمبير $A (0 - 1.5)$ ، وجاعلاً مؤشر وحدة التغذية على الصفر.

٢- صل وحدة التغذية بتيار المدينة، وحرك مؤشر وحدة التغذية حتى يمر بالدائرة تيار شدته 0.8 A .



الشكل (٦): دائرة تحوي على مقاومة وملف

٣- استخدم مقياس الفولط لقياس الجهود التالية:

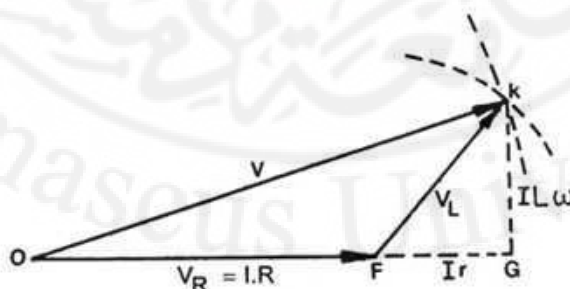
V_R فرق الكمون بين طرفي المقاومة، V_L فرق الكمون بين طرفي الملف، V فرق الكمون بين طرفي الدارة.

٤- سجل نتائج القياس في جدول أدناه.

$I = \dots\dots\dots A$, $R = 5 \Omega$, $L = 9mH$, $\omega = 2\pi f = 314$					
$Z = \sqrt{(R+r)^2 + (L\omega)^2}$, $Z_L = \sqrt{r^2 + (L\omega)^2}$					
$V_R = I.R$ كمون المقاومة		$V_L = I.Z_L$ كمون الملف		$V = I.Z$ الكمون الكلي	
بالقياس		بالقياس		بالقياس	
بالحساب		بالحساب		بالحساب	
$ \Delta V_R $		$ \Delta V_L $		$ \Delta V $	

هـ- ارسم على ورقة مليمتريّة خطأً أفقيّاً بطول V_R مبدؤه 0 ، ثم استخدم الفرجار لرسم دائرة من نهاية V_R ، أي من النقطة F كما في الشكل (7) ، بنصف قطر V_L ، ثم ارسم دائرة مركزها O ونصف قطرها V ، نفرض k نقطة تقاطع الدائرتين . صل k بـ O و F .

تمثل القطعة FG الجداء $I.r$ أي جداء شدة التيار في مقاومة سلك الملف r .
احسب هذه المقاومة من معرفة $I.r$ ومن قياس I . و تمثل القطعة KG الجداء $L . \omega$.
أي جداء شدة التيار في ممانعة الملف ، احسب L عامل التحريض الذاتي للملف من معرفة الجداء $L . \omega$ و من قياس I .



الشكل (٧): الرسم الشعاعي لدائرة تحوي مقاومة و ملف

٦- احسب ممانعة الدارة Z في هذه الحالة، وذلك من النسبة $\frac{V}{I}$. و قارن ذلك بما

$$تجده من العلاقة: Z = \sqrt{(R + r)^2 + (L\omega)^2} .$$

٧- أعد التجربة من أجل تيار شدته 1 A، و كرر مراحل العمل (6 - 2) و سجل النتائج في جدول مماثل .

٢- حالة دارة تحتوي على مقاومة ومكثفة فقط:

١- صل الدارة المبينة في الشكل (6) مع وضع مكثفة C بدلاً من الملف L ومستخدماً المجال المناسب من مقياس الأمبير (0-1.5) A، وجاعلاً مؤشر وحدة التغذية على الصفر .

٢- صل وحدة التغذية بتيار المدينة، و حرك مؤشر وحدة التغذية حتى يمر بالدارة تيار شدته 0.8 A.

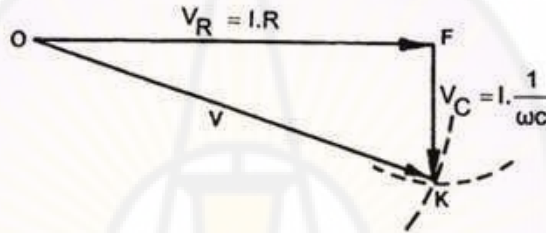
٣- استخدم مقياس الفولط لقياس التوترات التالية:

V_R فرق الكمون بين طرفي المقاومة، V_C فرق الكمون بين طرفي المكثفة، V فرق الكمون بين طرفي الدارة .

٤- سجل نتائجك في جدول كالتالي:

$I = \dots A$, $R = 5 \Omega$, $C = 500 \mu f$, $\omega = 2 \pi f = 314$					
$Z_C = \frac{1}{\omega C}$, $Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}$					
الكمون الكلي $V = I.Z$		كمون المكثفة $V_C = I.Z_C$		كمون المقاومة $V_R = I.R$	
بالقياس		بالقياس		بالقياس	
بالحساب		بالحساب		بالحساب	
$ \Delta V $		$ \Delta V_C $		$ \Delta V_R $	

٥- ارسم على ورقة مليمتريّة خطاً أفقيّاً بطول V_R مبدؤه 0، ثم استخدم الفرجار لرسم دائرة من نهاية V_R ، أي من النقطة F، بنصف قطرها V_C ، ثم ارسم دائرة مركزها O ونصف قطرها V، كما هو مبين في الشكل (8). نفرض k نقطة تقاطع الدائرتين. صل k بـ 0 و F. تمثل القطعة FK الجداء $I \cdot \frac{1}{\omega C}$ أي جداء شدة التيار في ممانعة المكثفة، احسب C سعة المكثفة من معرفة الجداء $I \cdot \frac{1}{\omega C}$ ، و من قياس التيار I.



الشكل (٨): الرسم الشعاعي لدائرة تحوي مقاومة ومكثفة فقط

٦- احسب ممانعة الدارة Z في هذه الحالة، و ذلك من النسبة $\frac{V}{I}$. و قارن ذلك

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

بما تجده من العلاقة

٧- أعد التجربة من أجل تيار شدته 1 A، و كرر مراحل العمل (6 - 2) و سجل النتائج في جدول مماثل.

٣- حالة دارة تحتوي على مقاومة وملف ومكثفة:

١- صل الدارة المبينة في الشكل (1) مستخدماً المجال المناسب من مقياس الأمبير (0-1.5) A، وجاعلاً مؤشر وحد التغذية على الصفر.

٢- صل وحدة التغذية بتيار المدينة، و حرك مؤشر وحدة التغذية حتى يمر بالدائرة تيار شدته 0.8 A.

٣- استخدم مقياس الفولط لقياس الجهود التالية :

V_R فرق الكمون بين طرفي المقاومة ، V_L فرق الكمون بين طرفي الملف ، V_C فرق الكمون بين طرفي المكثف ، V فرق الكمون بين طرفي الدارة .

٤- سجل نتائج القياس في الجدول التالي :

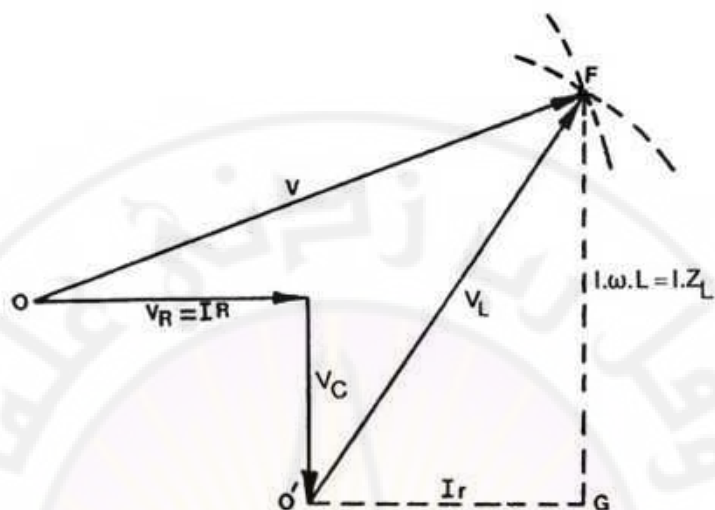
$I = \dots\dots A$, $R = 5 \Omega$, $C = 500 \mu f$, $\omega = 2 \pi f = 314$							
$Z_L = \sqrt{r^2 + (\omega L)^2}$, $Z_C = \frac{1}{\omega C}$, $Z = \sqrt{(R+r)^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$							
الكمون الكلي $V = I \cdot Z$		كمون المكثف $V_C = I \cdot Z_C$		كمون الملف $V_L = I \cdot Z_L$		كمون المقاومة $V_R = I \cdot R$	
بالقياس		بالقياس		بالقياس		بالقياس	
بالحساب		بالحساب		بالحساب		بالحساب	
$ \Delta V $		$ \Delta V_C $		$ \Delta V_L $		$ \Delta V_R $	

٥- ارسم على ورقة مليمتريّة خطاً أفقيّاً بطول V_R مبدؤه O ، ثم من نهايته وعمودياً نحو الأسفل خطاً بطول V_C ولتكن O' نهاية V_C . استخدم الفرجار لرسم دائرة مركزها O' ، نصف قطرها V_L ، ثم ارسم دائرة مركزها O نصف قطرها V ، كما هو مبين في الشكل (9) فتتقاطع الدائرتان في F . صل F بـ O و O' ، تمثل القطعة $O'G$ الجداء $I \cdot r$ أي جداء شدة التيار في مقاومة سلك الملف r ، احسب هذه المقاومة من معرفة $I \cdot r$. وتمثل القطعة FG الجداء $I \cdot \omega L$. أي جداء شدة التيار في ممانعة الملف ، احسب L عامل التحريض الذاتي للملف من معرفة $I \cdot \omega L$ من قياس I .

٦- احسب ممانعة الدارة Z في هذه الحالة ، وذلك من النسبة $\frac{V}{I}$. وقارن ذلك

$$Z = \sqrt{(R+r)^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad \text{بما تجده من العلاقة :}$$

٧- أعد التجربة من أجل تيار شدته $1 A$ ، وكرر مراحل العمل (6 - 2) و سجل النتائج في جدول مماثل .



الشكل (٩): الرسم الشعاعي في حالة دائرة تحوي مقاومة وملف ومكثفة

* * *

تخطيط الحقول الكهربائية

Electric Fields

١- الغاية من التجربة:

- رسم خطوط تساوي الكمون بين مسريين متوازيين وحساب الحقل بينهما.
- استنتاج خطوط الحقل الكهربائي .
- رسم خطوط جريان الماء حول سارية في نهر باستخدام التشبيه الكهربائي .

٢- التمهيد النظري:

أ- رسم خطوط الحقل الكهربائي بين المسريين المتوازيين:

إن رسم خطوط الحقل المغناطيسي أمر سهل ، فيكفي لرسم خطوط الحقل المغناطيسي بين طرفي مغناطيس نضوي مثلاً أن نضع لوحاً من الزجاج فوق المغناطيس ، ثم نذر قليلاً من برادة الحديد على اللوح ، فإذا ضرب لوح الزجاج ضرباً خفيفاً اتخذت برادة الحديد منحى الحقل المغناطيسي بين قطبي المغناطيس.

ولكي نرسم الحقول الكهربائية غالباً ما نلجأ إلى رسم ما يسمى خطوط تساوي الكمون Equipotential Lines وهي خطوط يكون الكمون متساوياً عليها فتكون الخطوط العمودية على خطوط تساوي الكمون هذه هي خطوط الحقل الكهربائي . والمماس لهذه الخطوط الأخيرة في كل نقطة يعطي منحى القوة التي تخضع لها شحنة موجبة توضع في تلك النقطة.

لنفترض جهازاً كالبيان في الشكل (1) مؤلفاً من منبع تغذية مستمر E ، يمكن تغيير فرق الكمون المأخوذ منه ، ومقياس فولط V ، وصفيحة ورق ناقل P مقاومته عالية وهو ورق خاص يستخدم لرسم الحقول الكهربائية ، ومسريين ناقلين L_1 و L_2 ، ومجس S مربوط بأحد مربطي مقياس الفولط . فإذا وصلنا مقياس الفولط بين A المتصل بالقطب

السالب لمنبع التغذية وB المتصل بالقطب الموجب لهذا المنبع ، أمكننا أن نغير فرق الكمون بينهما من القيمة صفر حتى القيمة التي نريدها .

لنفترض أننا اخترنا من منبع التغذية المستمر فرق الكمون مقداره 30 فولط . فإذا رفعنا الآن رأس المجس عن المربط الموجب ولمسنا به الورقة الناقلة P ، حصلنا على قراءة مغايرة .

فإذا وجدنا نقطة على الورقة P أشار مقياس الفولط V من أجلها الى قيمة ما بين الصفر و30 فولط ولتكن 15 فولط مثلاً ، وإذا بحثنا عن كل النقاط التي تحقق هذا الشرط ووصلنا هذه النقاط بعضها ببعض ، لحصلنا على خط تساوي الكمون من أجل $V=15$. وبالطريقة ذاتها يمكننا تحديد خطوط تساوي الكمون $V=13, V=14, \dots$ الخ.

وإذا رسمنا الخطوط العامودية على خطوط تساوي الكمون هذه ، حصلنا على خطوط الحقل الكهربائي بين المسريين L_1, L_2 وهي الخطوط التي تسلكها الشحنات الكهربائية في تحركها بين المسريين الناقلين .

ب- رسم خطوط جريان ماء حول سارية في مجرى نهر باستخدام التشبيه الكهربائي :

كثيراً ما يستخدم التشابه بين انسياب التيار الكهربائي وانسياب التيار المائي لدراسة أمور مائية معقدة عملياً . فالماء ينساب من المنطقة المرتفعة إلى المنطقة المنخفضة أي من الموقع الذي تكون للماء فيه طاقة كامنة عالية إلى الموقع الذي تكون فيه الطاقة الكامنة للماء منخفضة .

وبالمقابل فإن الكهرباء تسري من الموقع ذي الكمون العالي إلى الموقع ذي الكمون المنخفض . ويشبه التيار المائي التيار الكهربائي . ويمكن تمثيل المنطقة التي لا ينفذ منها الماء كجسم سد أو سارية مثلاً بعازل كهربائي كالهواء . وعليه فإذا اقتطعت دائرة من لوح الورق الناقل ليمثل سارية في نهر ، ووضع على اللوح المخصص للدراسة

مسريان يمثلان سويتي الماء قبل السارية وبعدها، يمثل القطب الموجب منهما الطرف العلوي من نهر، والقطب السالب الطرف السفلي منه، وأما الورقة الناقلة فتمثل مجرى النهر ذاته الذي يسري فيه الماء .

أمكنا بالطريقة السابقة رسم خطوط تساوي الكمون ومن ثم استنتاج خطوط الجريان .

٣- الأجهزة والأدوات المستخدمة

لوح خشبي أول عليه الورقة الناقلة ومسريان متوازيان لرسم خطوط تساوي الكمون ومن ثم خطوط الحقل بين المسريين، لوح آخر لدراسة خطوط جريان الماء حول سارية في نهر بالطريقة الكهربائية، مقياس فولط رقمي (0-30 V)، أسلاك توصيل، مجس بشكل رأس قلم، منبع تغذية مستمر (0-30) V .

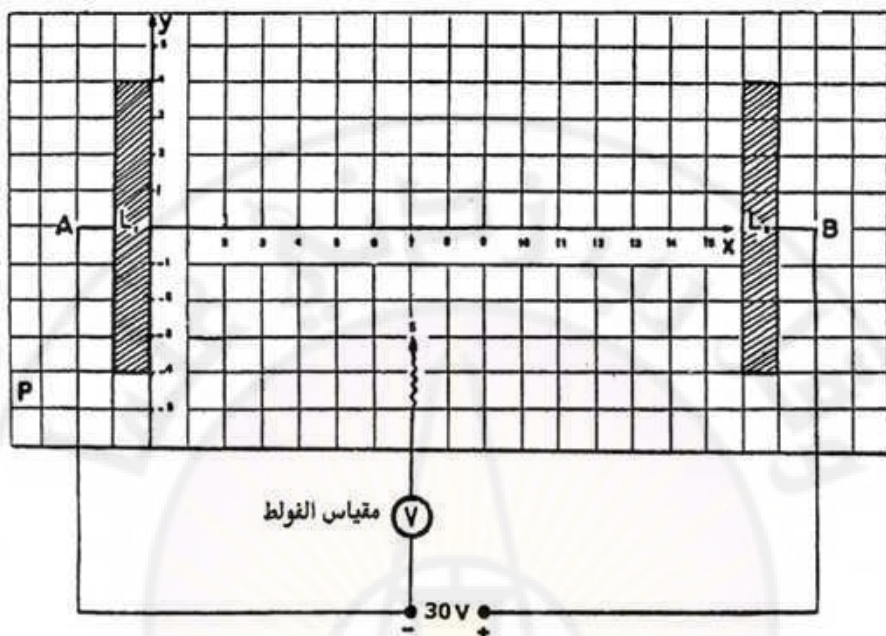
٤- مراحل العمل والنتائج:

أ- رسم خطوط الحقل الكهربائي بين المسريين المتوازيين:

١- استخدم اللوح الخشبي الأول الخاص برسم الحقل الكهربائي بين المسريين المتوازيين، ثم صل المسريين بالدارة المبينة بالشكل (1) .

٢- صل رأس المجس S بالمربط B وزد الجهد المطبق من منبع التغذية حتى يشير مقياس الفولط الى القراءة 30 v .

٣- ابحث عن النقاط من الورقة الناقلة التي تجعل مؤشر المقياس يشير الى 5 v . حدد كل نقطة منها باحداثياتها وذلك عندما يكون تراتيب النقاط هي: $y = (\pm 6, \pm 4, \pm 2) \text{ cm}$ ثابتة تسهيلاً لعملية تحديد النقاط فيكفي إذن تحريك المجس على خطوط أفقية عند هذه التراتيب .



الشكل (١): مبدأ جهاز تخطيط الحقل الكهربائي

٤- سجل نتائج القياس في الجدول التالي:

y	V = 5v	V=10v	V =15v	V=20v	V =25v
	x	x	x	x	x
6					
4					
2					
0					
-2					
-4					
-6					

٥- أعد المرحلة ٣ من أجل فروق الكمون (V) (25 , 20 , 15 , 10) ، وسجل

النتائج في الجدول نفسه .

٦- ارسم على ورقة مليمتريّة خطوط تساوي الكمون $V=5$, $V=10$ ثم ارسم أربعةً من الخطوط العامودية على هذه الخطوط الصادرة من $y = \pm 2\text{cm}$, $y = \pm 4\text{cm}$, $y = \pm 6\text{cm}$ ، هل هذه الخطوط أفقية دوماً ؟ ما شأن هذه الخطوط عند الأطراف ؟

٧- احسب شدة الحقل الكهربائي E_{av} بين اثنين من خطوط تساوي الكمون

من العلاقة :

$$E_{av} = \frac{|V_1 - V_2|}{d}$$

بفرض d البعد بين خطي تساوي الكمون، مثلاً $V_1=5\text{ V}$, $V_2=0\text{ V}$ وذلك عند $y=0$.

٨- أعد الحساب من أجل مجموعة الخطوط (15,10)، (20,15)، (25,20) فولت

٩- سجل نتائج القياس في جدول كالتالي :

V_1	V_2	$V_1 - V_2 = V$ (V)	d m	E_{av} V/m	$\Delta E_{av} $
10	5				
15	10				
20	15				
25	20				
الوسطي					

١٠- قارن وسطي E_{av} بالقيمة $E = \frac{30}{D}$ حيث D المسافة لفاصلة بين المسريين L_1 , L_2

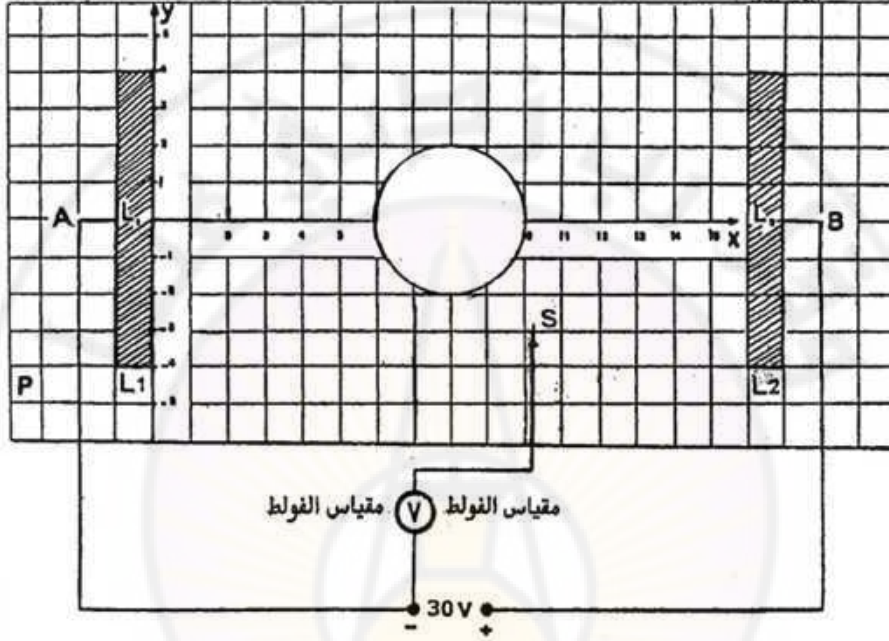
مقدرة بالأمتار.

ب- رسم خطوط جريان ماء حول سارية في مجرى نهر باستخدام التشبيه

الكهربائي:

١- استخدم اللوح الخشبي الآخر لرسم خطوط الحقل الكهربائي بين المسريين

المتوازيين، ثم صل المسريين بالدائرة المبينة بالشكل (2).



الشكل (٢): دائرة رسم خطوط جريان ماء حول سارية في نهر

٢- صل رأس المجس S بالمربط B وزد الجهد المطبق من منبع التغذية حتى يشير مقياس الفولط الى القراءة 30 v .

٣- ابحث عن النقاط من الورقة الناقلة التي تجعل مؤشر المقياس يشير الى 5v . حدد كل نقطة منها باحداثيها، وذلك عندما يكون ترتيب النقاط هي $y = (\pm 6, \pm 4, \pm 2)$ ثابتة تسهياً لعملية تحديد النقاط . فيكفي إذن تحريك المجس على خطوط أفقية عند هذه الترتيب .

٤- سجل نتائج القياس في الجدول أدناه .

y	V=5v	V=	V=	V=	V=
	x	x	x	x	x
6					
4					
2					
0					
-2					
-4					
-6					

٥- أعدد المرحلة ٣ من أجل فروق الكمون (20 , 14 , 12 , 7) مناسبة تعطي خطوطاً لتساوي الكمون مستمرة وسجل النتائج في الجدول نفسه .

٦- ارسم على ورقة مليمتريّة خطوط تساوي الكمون $V=5$, $V=7$

٧- لاحظ أنّ خط تساوي الكمون من أجل 20V سيكون منازراً لخط تساوي الكمون 10 بالنسبة للخط 15 V الخ ...

٨- ارسم خطوط الحقل الكهربائي وهي الخطوط العامودية على خطوط تساوي الكمون الصادرة من: $y = \pm 5\text{cm}$, $y = \pm 3\text{cm}$, $y = \pm 1\text{cm}$ فتحصل على خطوط الحقل الكهربائي، إنّ هذه الخطوط تمثل خطوط جريان الماء حول السارية في نهر .

* * *

قياس الحقل المغناطيسي الأرضي

Earth's Magnetic Field

١- الغاية من التجربة:

- التعرف على منشأ الحقل المغناطيسي الأرضي.
- التعرف على سلوك بوصلة في الحقل المغناطيسي الأرضي.
- قياس المركبتين الأفقية B_H و الشاقولية B_V للحقل المغناطيسي الأرضي في دمشق.

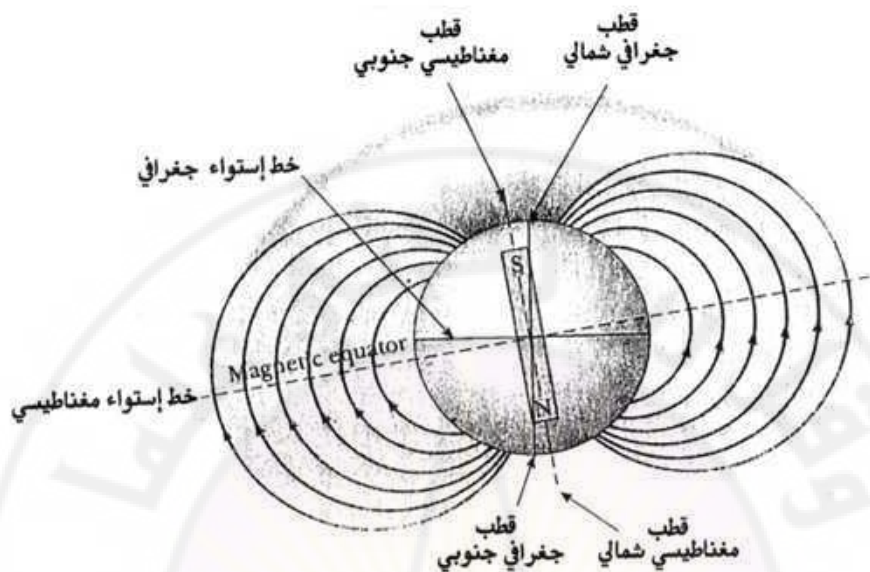
- التعرف على مجس هول Hall probe لقياس الحقل المغناطيسي و استخدامه لمعايرة ملفي هلمهولتز.

٢- التمهيد النظري:

إذا وضعت إبرة بوصلة بحيث تكون حرة في الدوران أفقياً فإننا نجد أن أحد قطبيها يتجه باتجاه قريب من الشمال الجغرافي ويدعى القطب الشمالي N في حين يتجه القطب الآخر باتجاه قريب من الجنوب الجغرافي ويدعى القطب الجنوبي S .

ونظراً لتجاذب الأقطاب المغناطيسية المتباينة و تدافع الأقطاب المتماثلة فإن هذا يشير إلى أن الأرض تسلك و كأن في باطنها مدفون مغناطيس كبير قطبه الشمالي يقع قرب الجنوب الجغرافي و إليه يتجه القطب الجنوبي لإبرة البوصلة و قطبه الجنوبي يقع قرب الشمال الجغرافي و إليه يتجه القطب الشمالي لإبرة البوصلة و هذا ما يوضحه الشكلان (1) و (2) حيث يتبين منهما كذلك أخذ إبرة البوصلة منحى خطوط الحقل المغناطيسي الأرضي الذي لا يكون أفقياً تماماً إلا عند خط الاستواء.

أما في المناطق الأخرى فللحقل المغناطيسي الأرضي مركبتان احدهما أفقية B_H ولأخرى شاقولية B_V .



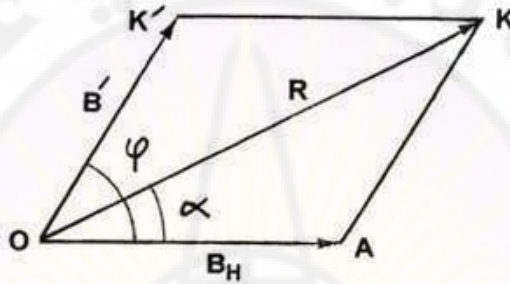
الشكل (١): الأقطاب الجغرافية والمغناطيسية



الشكل (٢): توجّه إبرة البوصلة في الحقل المغناطيسي الأرضي

أ- قياس المركبة الأفقية B_H :

نولد حقلاً خارجياً معلوماً B' يصنع زاوية φ مع اتجاه الشمال الجنوب الذي تشير إليه إبرة البوصلة أي مع B_H فنتوجه إبرة البوصلة لتأخذ منحى المحصلة R كما هو موضح في الشكل (3) و يكون لدينا من المثلث OAK ما يلي :



الشكل (٣): تركيب B_H مع حقل معلوم B'

$$\frac{AK}{\sin \alpha} = \frac{OA}{\sin (\varphi - \alpha)}$$

و ذلك لأن الزاوية $K\hat{O}A = K'\hat{K}O = \alpha$ بالتبادل.

إلا أن: $AK = B'$ و $OA = B_H$ إذن يكون:

$$\frac{B'}{\sin \alpha} = \frac{B_H}{\sin (\varphi - \alpha)}$$

ومنه :

$$B_H = B' \frac{\sin (\varphi - \alpha)}{\sin \alpha} \quad (1)$$

و إذا كانت $\varphi = 90^\circ$ فإن العلاقة تؤول إلى :

$$B_H = B' \cotg \alpha \quad (2)$$

فيكفي معرفة B' و α لاستنتاج B_H .

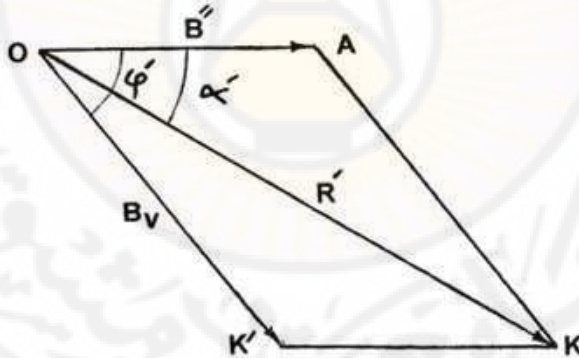
يتم توليد الحقل B' عن طريق استخدام ملفي هلمهولتز و تمرير تيار كهربائي معلوم فيهما. و ترتبط B' بعدد لفات الملفين و بنصف قطرها بالإضافة إلى شدة التيار المار فيهما و هي تتناسب طرماً مع شدة التيار أي:

$$B' = C.I \quad (3)$$

و يمكن إيجاد ثابت التناسب C تجريبياً عن طريق رسم الخط البياني لـ B' بدلالة I . و بقياس شدة التيار التي تجعل إبرة البوصلة تميل بالزاوية α نستنتج B' و من العلاقة (2) نحسب B_H .

ب- قياس المركبة الشاقولية B_V :

و يمكن بأسلوب مماثل قياس المركبة الشاقولية B_V للحقل المغناطيسي الأرضي عن طريق جعل إبرة البوصلة حرة في الدوران حول محور شاقولي في حقل معلوم B'' فعندها يكون:



الشكل (4): قياس B_V عن طريق جمعها مع حقل معلوم B''

$$B_V = B'' \frac{\sin(\phi' - \alpha')}{\sin \alpha'} \quad (4)$$

و بقراءة شدة التيار المار في ملفي هلمهولتز الذي يجعل إبرة البوصلة تنحرف بالزاوية α' نستطيع استنتاج B'' بالتالي B_V أي المركبة الشاقولية للحقل المغناطيسي الأرضي.

و بالطبع تكون الشدة الإجمالية للحقل المغناطيسي الأرضي B معطاة بالعلاقة :

$$B = \sqrt{B_H^2 + B_V^2} \quad (5)$$

٣- الأجهزة والأدوات المستخدمة:

- منبع تغذية مستمر من طراز 13500.93 من صنع شركة فيفي Phywe .
- ملفا هلمهولتز لكل منهما قطبان يشار إليهما ب 1 و 2 .
- معدلة ١٠٠ أوم.
- مقياس أمبير مستمر متعدد المجالات A (0-10) .
- مجس هول لقياس شدة الحقل المغناطيسي للمفي هلمهولتز.
- مقياس رقمي لشدة الحقل المغناطيسي (مللي تسلا) $1 \text{ Tesla} = 10^4 \text{ Gauss}$.
- من طراز 13610.93 من صنع شركة فيفي .
- بوصلة مدرجة قابلة للدوران حول محور أفقي و حول محور شاقولي.
- أسلاك توصيل.
- حوامل متنوعة.

أ- وصف منبع التغذية:

يبين الشكل (5) الواجهة الأمامية لمنبع التغذية المستمر و المتناوب و فيما يلي وظائف

اجزائه:

١- مفتاح التشغيل OFF / ON :

يقع خلف الجهاز مهمته تشغيل الجهاز، و يوجد من الأمام مصباح L يضيء عند تشغيله.

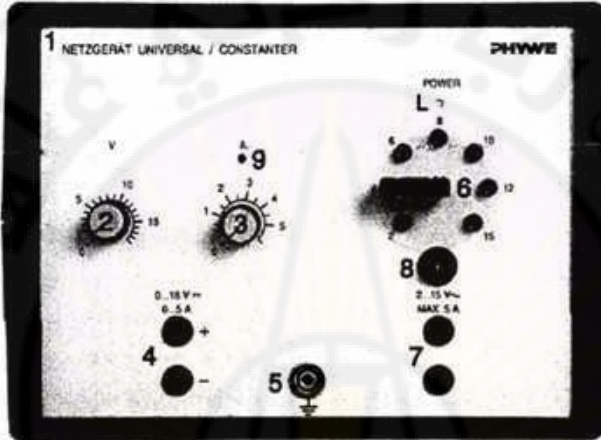
٢- مجزئ كمون:

و هو مفتاح دوار بواسطته نغير فرق الكمون المستمر ما بين $V(0-18)$ و تيار

5A .

٣- مفتاح ناخب للتيار:

و هو مفتاح محدد للتيار و يوضع عادة على 2A و هو التيار الأعظمي الذي تتحمله عناصر الدارة في هذه التجربة.



الشكل (٥): واجهة منبع التغذية

٤- مربطاً خروج التيار المستمر.

٥- مربط وصل أرضي الجهاز.

٦- وصلة مركزية لاختيار الجهد المتناوب المطلوب ويمكن تغييرها ما بين (2) ~15V و تيار 5A .

٧- مربطاً خروج الجهد المتناوب.

٨- قاطعة للحماية بشكل آلي.

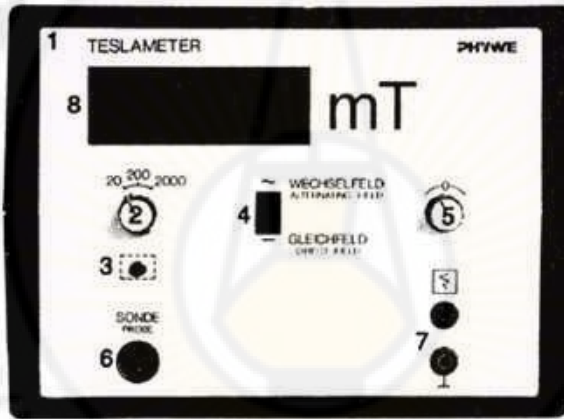
٩- مؤشر للدلالة على الوصول إلى قيمة التيار المطلوبة.

ب- وصف المقياس الرقمي لقياس شدة الحقل المغناطيسي:

يبين الشكل (6) الواجهة الأمامية لمقياس شدة الحقل المغناطيسي و فيما يلي

وظائف أجزائه:

- ١- مفتاح التشغيل OFF / ON :
- و يقع خلف الجهاز مهمته تشغيله.
- ٢- مفتاح ناخب مجال القياس :
- و له ثلاثة أوضاع 20mT , 200mT , 2000mT , بدقة 2% للحقل المستمر و 3% للحقل المتناوب.
- ٣- مفتاح تصفير سريع .



الشكل (٦): واجهة مقياس شدة الحقل المغناطيسي

- ٤- مفتاح ناخب للحقل المغناطيسي :
- و له وضعان: (-) وضع لقياس الحقل المغناطيسي المستمر.
- (~) وضع لقياس الحقل المغناطيسي المتناوب.
- ٥- مفتاح تصفير دقيق.
- ٦- مرتبط مجس هول: لقياس شدة الحقل المغناطيسي.
- ٧- مأخذ للتسجيل.
- ٨- شاشة إظهار.



ج- وصف مقياس الأمبير المستمر متعدد المجالات:

يبين الشكل (7) الواجهة الأمامية لمقياس الأمبير

المستمر متعدد المجالات و يظهر فيه ما يلي:

- ١- زر التشغيل / OFF / ON .
- ٢- زر ناخب التيار AC/DC .
- ٣- مفتاح ناخب مجال القياس:
و يوضع على المجال 10A .
- ٤- الربط الموجب للفولت V والأوم Ω .
- ٥- الربط العام COM السالب للتيار والكمون .
- ٦- الربط الموجب للتيار حتى 200 mA .
- ٧- الربط الموجب للتيار حتى 10A .
- ٨- شاشة إظهار .

الشكل (٧): مقياس AVO الرقمي

د- وصف ملفات هلمهولتز:

يستخدم ملفا هلمهولتز لتوليد حقل مغناطيسي منتظم عن طريق تمرير تيار كهربائي فيهما . ويمكن بالتحكم بشدة التيار الكهربائي تحقيق حقول مغناطيسية مختلفة .

يتألف كل ملف من ملفي هلمهولتز من عدد من اللغات المتراصة ملفوفة على إطار بلاستيكي . يبلغ عدد اللغات في كل من الملفين 154 لفة، و نصف قطر كل منهما $r =$

0.2 m ، و يفصل بينهما مسافة تساوي نصف القطر أي 0.2 m .

لكل ملف مربعين رمز لهما بـ 1 و 2 ، و إذا وصل بين 1 في الملف الأول و 1 في الملف الثاني ودخل التيار إلى 2 في الملف الأول و خرج من 2 في الملف الثاني ، تولد بين الملفين حقل مغناطيسي منتظم B تعطى شدته التي تقاس بوحدة هي الملي تسلا mT بالعلاقة :

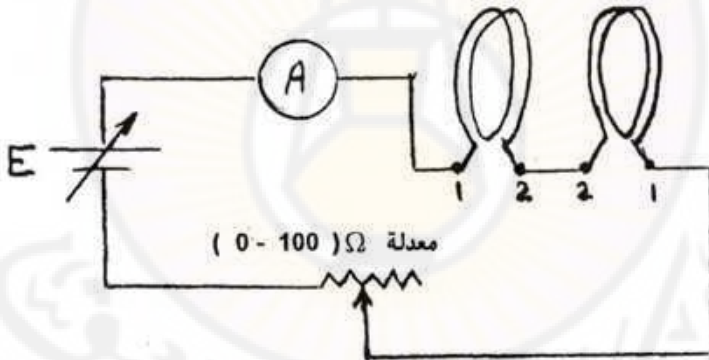
$$B = \frac{32 \cdot \pi \cdot n}{5\sqrt{5}} \cdot \frac{I}{r} \cdot 10^{-7}$$

حيث : $n = 154$ و تمثل عدد اللفات في أحد الملفين ، $r = 0.2 \text{ m}$ و يمثل نصف قطر الملف ، $I \text{ (A)}$ شدة التيار في الملف ويقاس بالأمبير .

٤- طريقة العمل و النتائج :

أ- قياس حقل التحريض من ملفات هلمهولتز :

١- صل ملفي هلمهولتز بمنبع التغذية عن طريق مقياس الأمبير المستمر A ، ومعدلة ، لاحظ وصل المدخلين رقم 2 من ملفي هلمهولتز ببعضهما ، كما هو مبين في الشكل (8) .



الشكل (٨) : الدارة الكهربائية لقياس حقل التحريض المغناطيسي

اجعل محوري الملفين عموديين على اتجاه الشمال الجنوب الذي تشير إليه إبرة البوصلة أي اجعل $\varphi = 90^\circ$.

٢- استخدم مجس هول لقياس شدة الحقل المغناطيسي المتولد عند منتصف المسافة بين ملفي هلمهولتز و على محورها .

٣- صفر قراءة المقياس الرقمي لشدة الحقل المغناطيسي قبل تمرير أي تيار في الملفين .

- ٤- مرر تياراً مستمراً متزايداً في ملفي هلمهولتز، وسجل قيمة الحقل المغناطيسي B' اللذين يولدانه مقدراً بالملي تسلا mT. لاحظ أن $1 \text{ mT} = 10 \text{ Gauss}$.
- ٥- سجل نتائج القياس في الجدول التالي:

رقم التجربة	I (A)	B' (mT)	B' Gauss	$C = \frac{B'}{I}$ Gauss/A
1	0.2			
2	0.4			
3	0.6			
4	0.8			
5	1.0			
6	1.2			
7	1.4			
8	1.6			
9	1.8			
10	2.0			
11	2.2			
12	2.4			
13	2.6			
14	2.8			
15	3.0			
القيمة الوسطى				

- ٦- ارسم على ورقة مليمتريّة لتحوّلات B' (مقدرة بالغاوص Gauss) بدلالة I (مقدرة بالأمبير).

- ٧- استنتج من الخط البياني الميل الفيزيائي وقارنه مع القيمة الوسطية لـ C المحسوبة من الجدول أدناه .

ب- قياس المركبة الأفقية للحقل المغناطيسي الأرضي:

- ٦- اجعل محور ملفي هلمهولتز باتجاه الشمال الجنوب المغناطيس، و ضع إبرة البوصلة في منتصف المسافة بين ملفي هلمهولتز و في وضع أفقي.

- اقرأ التدريج الذي يشير إليه القطب الشمالي مثلاً و ليكن α_0 .
- ٧- مرر تياراً I في ملفي هلمهولتز يجعل إبرة البوصلة تنزاح بمقدار 10 درجات عن وضعها السابق ثم 20 درجة ثم 30 درجة ثم 40 درجة ثم 50 درجة .
- ٨- سجل نتائج القياس في الجدول التالي :

$\alpha =$			$C' = \text{Gauss/A}$		
α_1 المقروءة	$\alpha = \alpha_1 - \alpha_0$ Deg	I (A)	$B' = C.I$ Gauss	$\cotg \alpha$	$B_V = B' \cotg \alpha$
	10				
	20				
	30				
	40				
	50				
القيمة الوسطى					

ج- قياس المركبة الشاقولية للحقل المغناطيسي الأرضي :

- ٩- إذا سمح الوقت فاستخدم أسلوباً مماثلاً لاستنتاج المركبة الشاقولية B_V للحقل المغناطيسي الأرضي، بوضع إبرة البوصلة شاقولياً بحيث تهتز حول محور أفقي في منتصف المسافة بين ملفي هلمهولتز.
- ١٠- ادرس تغيرات منحى إبرة البوصلة بتمرير تيارات كهربائية متزايدة في ملفي هلمهولتز أي توليد الحقل B'' .
- ١١- استنتج شدة الحقل المغناطيسي الأرضي B في مدينة دمشق من العلاقة :

$$B = \sqrt{B_H^2 + B_V^2}$$

- ١٢- إذا علمت أن المركبة الشاقولية B_V للحقل المغناطيسي الأرضي في دمشق هي 0.3 غوس فاحسب B الكلية.

* * *

تجارب في الضوء

الموشور

قياس قرائن الانكسار

قياس البعد المحرقي للعدسات

المجهر

المطياف وشبكة الانعراج

الليزر وانعراج الضوء حول شق وحيد



الموشور

The Prism

١- الغاية من التجربة:

- التحقق من صحة قوانين الموشور.
- دراسة تحولات زاوية الانحراف بدلالة زاوية الورود.
- التعرف على ظاهرة الانحراف الأصغري.
- قياس قرينة انكسار زجاج الموشور.

٢- التمهيد النظري:

- تعريف الموشور:

هو وسط شفاف متجانس ومتماثل المناحي، محصور بين وجهين مستويين غير متوازيين يتقاطعان وفق مستقيم مشترك هو حرف الموشور، والزاوية بين وجهي الموشور هي زاوية رأس الموشور α .

- تعريف زاوية الانحراف D :

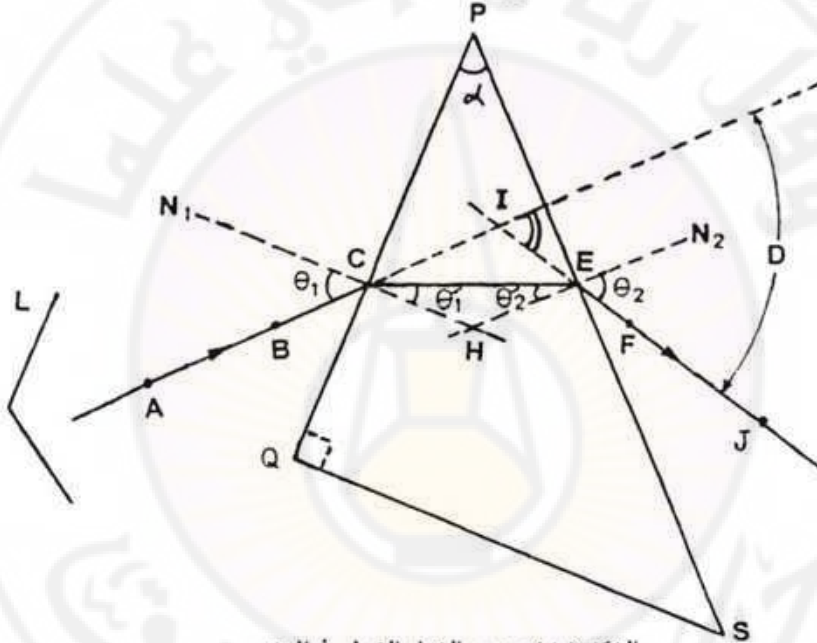
هي الزاوية الحادثة ما بين منحى الورود ومنحى البروز. وإن هذه الزاوية تتغير تغيراً غير خطي مع كل من زاوية الورود θ_1 ، وقرينة انكسار زجاج الموشور n ، وزاوية رأس الموشور α .

- تعريف زاوية الانحراف الأصغري D_m .

هي زاوية الانحراف التي تكون في نهاية صغرى تتساوى عندها زاوية الورود مع زاوية البروز، ويرمز لها بـ D_m .

ليكن لدينا موشور PQS المبين في الشكل (1) زاوية رأسه α وقرينة انكسار زجاجه n . يرد عليه الشعاع الضوئي الذي منحاه وفق AB في النقطة C من الوجه PQ

محدثاً زاوية الورود θ_1 مع الناظم CN_1 في هذه النقطة، فينكسر هذا الشعاع داخل
الموشور وفق المنحى CE، محدثاً زاوية θ'_1 مع الناظم في C ومقترباً منه.
ويتابع الشعاع الضوئي مسيره حتى يرد على الوجه PS في النقطة E محدثاً زاوية
 θ'_2 مع الناظم EN_2 على هذا الوجه، حيث ينكسر ثانية ويبرز من الموشور إلى الهواء
وفق المنحى EFJ محدثاً زاوية θ_2 مع الناظم EN_2 ومبتعداً عنه.



الشكل (١) : مسير الشعاع الضوئي في الموشور

ويعطي تطبيق قانون الانكسار الأساسي في النقطتين C و E على الترتيب :

$$\sin \theta_1 = n \cdot \sin \theta'_1 \quad (1)$$

$$\sin \theta_2 = n \cdot \sin \theta'_2 \quad (2)$$

كما يبرهن بسهولة من الخواص الهندسية في الشكل (1) أن :

$$\alpha = \theta'_1 + \theta'_2 \quad (3)$$

فإذا مدد كل من الشعاع الوارد و الشعاع البارز لوحظ انحراف الشعاع الوارد عن مساره بمقدار الزاوية D ، هي زاوية انحراف الضوء في الموشور. ويبرهن بسهولة من الخواص الهندسية في الشكل (1) أن:

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

ويبرهن على أن لزاوية الانحراف D نهاية صغرى D_m هي زاوية الانحراف الأصغرى وتتحقق عندما تكون $\theta_1 = \theta_2$.

$$\theta_1' = \frac{\alpha}{2} \quad \text{وفي هذه الحالة ينتج من العلاقة (3) أن:}$$

$$\theta_1 = \frac{D_m + \alpha}{2} \quad \text{وينتج من العلاقة (4) أن:}$$

وبالتعويض في العلاقة (1) ينتج أن:

$$n = \frac{\sin \frac{D_m + \alpha}{2}}{\sin \frac{\alpha}{2}} \quad (5)$$

حيث D_m زاوية الانحراف الأصغرى وإن قياس D_m و α يعطي قرينة انكسار زجاج الموشور n .
ملاحظة ١:

يوجد شرطان لبروز الأشعة من الوجه الثاني للموشور:

١- شرط يتعلق بزاوية رأس الموشور α وهو: $\alpha \leq 2\beta$ حيث β الزاوية الحرجة وهي تعطى بالعلاقة: $\sin \beta = \frac{1}{n}$ ، أو بالعلاقة: $\beta = \arcsin \frac{1}{n}$ حيث n قرينة انكسار زجاج الموشور. فإذا كانت $n = 1.5$ كانت $\beta = 42^\circ$. وإذا كانت $\alpha = 45^\circ$ برز الشعاع من الوجه الثاني، وإذا كانت α أكبر من 84° انعكس الشعاع انعكاساً كلياً وبرز من قاعدة الموشور، لذلك يجب أن نستخدم زاوية رأس الموشور α حادة.

٢- شرط يتعلق بزاوية ورود الشعاع على الوجه الأول للموشور θ_1 ، وهو أن تكون هذه الزاوية أكبر من حد معين ، وإلا انكسر الشعاع على الوجه الأول ، ثم انعكس انعكاساً كلياً على الوجه الثاني ، لأن زاوية وروده على هذا الوجه تكون أكبر من الزاوية الحرجة .

$$\sin \theta_1 \geq n \cdot \sin (\alpha - \beta) \quad \text{وهذا الشرط هو:}$$

$$\sin \theta_1 \geq 1.5 \times \sin(45 - 42)^\circ \quad \text{وفي مثالنا السابق يصبح هذا الشرط:}$$

$$\theta_1 \geq 4.5^\circ \quad \text{أي:}$$

ملاحظة ٢:

عندما تزيد زاوية الورود عن 75° تقل شدة الضوء المنكسر إلى حدٍ بعيد ، وعندما تقارب زاوية الورود 90° تكاد شدة الضوء المنكسر أن تنعدم ، وبالتالي يكاد الخيال الحادث بالانكسار أن يغيب مع أنه موجود حتى زاوية 90° تماماً .

٣- الأجهزة والأدوات المستخدمة:

موشور قائم الزاوية ، لوح من الفلين ، مسامير كبس ، دبابيس ، مسطرة ، منقلة ، فرجار ، ورق أبيض للرسم ، مثلث قائم الزاوية شفاف .

٤- مراحل العمل والنتائج:

$$D = \theta_1 + \theta_2 - \alpha \quad \text{أ- التحقق من صحة العلاقة:}$$

١- ثبت ورقة بيضاء على لوح الفلين بأربعة مسامير كبس ، ثم ضع الموشور على هذه الورقة وفي منتصفها بحيث تكون حروفه الثلاثة قائمة عليها ، وارسم على ورقة الرسم أثر وجهيه PQ و PS الذين يحصران بينهما زاوية حادة α هي زاوية رأس الموشور .

٢- اغرس في لوح الفلين دبوسين قائمين في نقطتين متباعدتين مثل A و B كما هو مبين في الشكل (1) تعيينان منحى شعاع الورود على وجه الموشور PQ وبالتالي يكون PS وجه البروز . اجعل إحدى عينيك في مستوي ورقة الرسم وانظر بها إلى وجه البروز

حتى ترى خيالي الدبوسين من خلال الموشور. استعن بلوحة الورق المقوى L واضعاً إياها خلف الدبوسين A و B ثم حرك رأسك في مستوي الورقة حتى ترى خيالي الدبوسين على استقامة واحدة. اغرس عندئذٍ على الاستقامة السابقة دبوسين آخرين الواحد بعد الآخر في نقطتين متباعدتين مثل F و L ، بحيث ترى دبوساً واحداً منهما هو الأقرب إليك يخفي الدبوس المغروس عند L وراءه الدبوس الآخر والخيالين السابقين. فيتعيّن منحى الشعاع البارز بالنقطتين F و L.

٣- انزع الدبابيس والموشور عن الورقة، وارسم بقلم الرصاص المناحي ABC و CE و EFJ والناظمين CN_1 و EN_2 .

مدد ABC و EFJ حتى يتلاقيا في نقطة ا. إن الشعاع ABC يمثل منحى الشعاع الوارد، الذي ينكسر داخل الموشور وفق CE، ويبرز منه منكسراً مرةً أخرى وفق EFJ. وتتعيّن الزوايا $\theta_1, \theta_2, \theta_1', \theta_2'$ مع الناظمين. وتمثل I رأس زاوية الانحراف D'.

٤- أعد العمل مرتين من أجل وضعين آخرين للموشور على ورقة الرسم بحسب الفقرات ١، ٢، ٣.

٥- قس الزوايا المطلوبة $\alpha, \theta_1, \theta_2, D'$ قياساً مباشراً بالمنقلة، ثم احسب المقادير المطلوبة $D, E_1, \epsilon_1, \epsilon_1\%$ لكل تجربة.

٦- سجل نتائج القياس في الجدول أدناه .

٧- قدرّ الارتياب المطلق في القياس المباشر لكل من $\alpha, \theta_1, \theta_2, D'$ ، اعتماداً على المنقلة المستخدمة. ثم قدر الارتياب المطلق في القياس غير المباشر لـ D وليكن ΔD ، ثم الارتياب النسبي $\frac{\Delta D}{D}$ وكذلك الارتياب النسبي المثوي $\frac{\Delta D}{D} \%$ ، ثم قارن الارتياب النسبي المثوي في D بالفرق النسبي $\epsilon_1\%$ لكل تجربة. وتكون التجربة مقبولة إذا كان $\epsilon_1\% \leq \frac{\Delta D}{D}$ ، ومن ثم نحسب $\epsilon_1\%$ للتجارب المقبولة، ونكون بذلك قد تحققنا من

صحة العلاقة (4) وهي : $D = \theta_1 + \theta_2 - \alpha$.

زاوية رأس الموشور : $\alpha = \dots\dots\dots$							
الترتيب ن	الارتياب النسبي المثوي $\epsilon_i \%$	الارتياب النسبي $\epsilon_i = \frac{E_i}{D_i}$	الفروق المطلقة $E_i = D_i' - D_i $	زاوية الانحراف المحسوبة $D = \theta_1 + \theta_2 - \alpha$	زاوية الانحراف المقاسة D'	زاوية البروز θ_2	زاوية الورود θ_1
1							
2							
3							
4							
		$\overline{\epsilon_i} \% =$		القيمة الوسطية للارتياب النسبي المثوي			

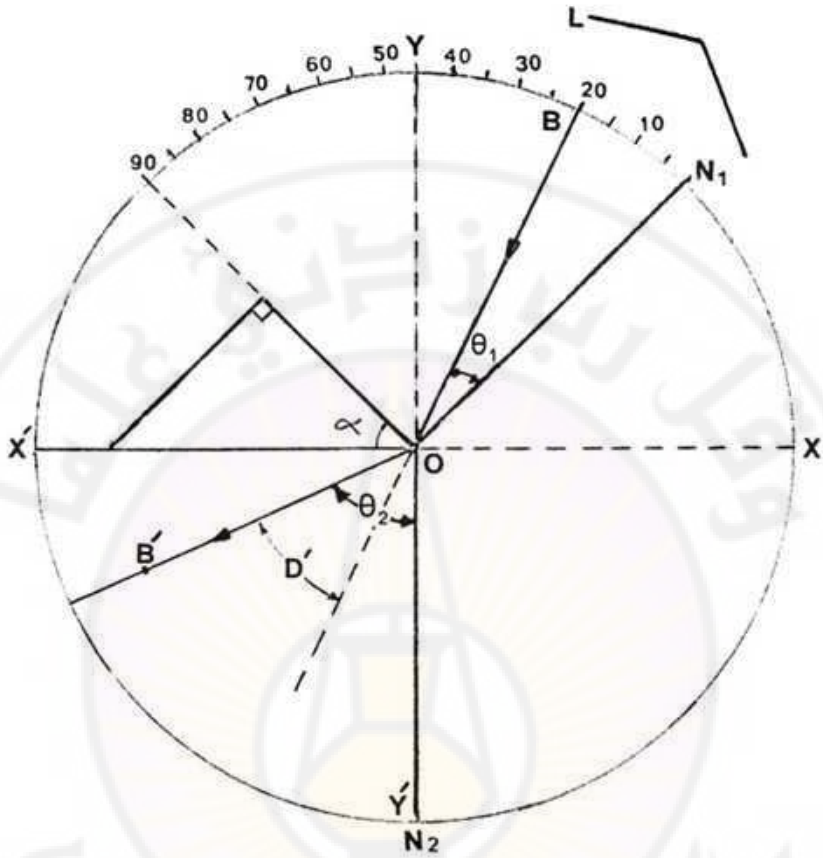
ب- دراسة تغير زاوية الانحراف D مع زاوية الورود θ_1 :

٨- ثبت على لوح الفلين ورقة رسم جديدة بأربعة مسامير كبس ، وارسم في وسطها دائرة مركزها O ونصف قطرها 10 cm. ارسم قطرين متعامدين في هذه الدائرة كما هو مبين في الشكل (7) وهما : $X' O X$ ، $Y' O Y$.

٩- ضع الموشور على ورقة الرسم جاعلاً حروفه قائمة على مستويها ورأس زاويته الحادة α في مركز الدائرة O ، وأحد الوجهين المجاورين لهذه الزاوية وفق OX' ، وهو الذي نتخذه وجهاً لبروز الضوء من الموشور. ثم ارسم أثر الوجه الآخر على الورقة فيكون هو وجه الورود.

ارفع الموشور عن الورقة ، وارسم الناظمين ON_1 ، ON_2 على الوجهين ، وقسم قوس الدائرة متجهاً من N_1 نحو قاعدة الموشور إلى تسعين درجة أقساماً متساوية كل منها 5 درجات كما هو مبين في الشكل (2). ثم أعد الموشور إلى موضعه تماماً من الورقة.

١٠- اغرس دبوساً في التدريجة 20° وليكن موضعه في B. اجعل إحدى عينيك في مستوي ورقة الرسم ضمن الربع $X' O Y'$ ، وحرك رأسك في هذا المستوي محاولاً مشاهدة خيال الدبوس من خلال رأس الموشور. اغرس دبوساً B بحيث يخفي وراءه رأس الموشور



الشكل (٢) : دراسة تغيير زاوية الانحراف D مع زاوية الورود θ_1

والدبوس الموضوع في B فترى خيلاً واضحاً ضمن الربع $X' O Y'$ ، اغرس دبوساً آخر B' بحيث ترى هذا الدبوس الأخير وراءه حرف المؤشور O وخیال الدبوس B الذي كنت تراه. يستحسن أن تكون المسافة OB' كبيرة قدر الإمكان لتحسين الدقة في تحديد منحنى البروز .

١١- كرر العمل السابق بغيرز الدبوس في التدرجات 35,30,25 وعلى التوالي حتى 75° . ميز مواضع الدبابيس B' برموز مثل B'_1, B'_2, B'_3 تقابل رموز الدبابيس B في رسمتك .

١٢- ارفع المؤشور و ارسم على الورقة المليمترية المستقيمت مثل BO و $B'O$ من

أجل كل التدريجات التي اخترتها من 20° حتى 75° أو أكثر إذا أمكن. إن المنحى BO يمثل شعاعاً وارداً، والمنحى OB' يمثل الشعاع البارز المقابل له.

١٣- قس بالمنقلة زاوية البروز θ_2 المقابلة لـ زاوية الورود θ_1 ، وكذلك زاوية الانحراف D' لكل من الوضعيات التي اخترتها من 20° وحتى 75° .

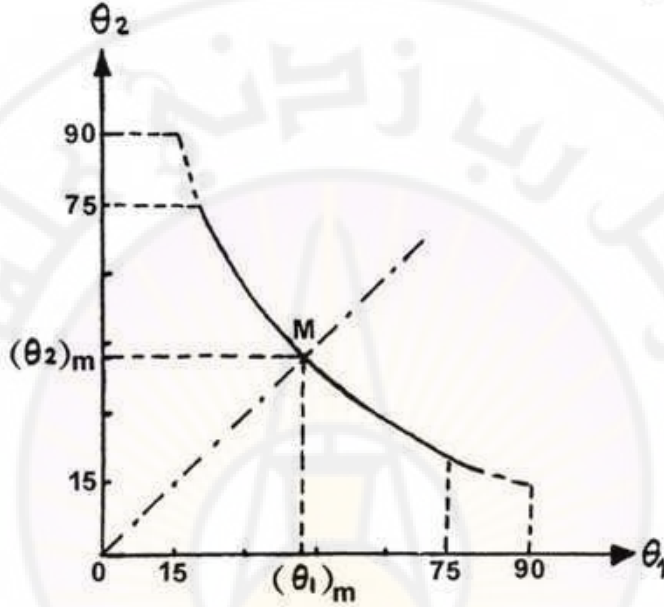
١٤- سجل نتائج القياس في الجدول التالي:

$\alpha =$ زاوية رأس المنشور:						
رقم التجربة	زاوية الورود θ_1	زاوية البروز θ_2	زاوية الانحراف المقاسة D'	زاوية الانحراف المحسوبة $D = \theta_1 + \theta_2 - \alpha$	الفروق المطلقة $E_i = D_i' - D_i $	الاستنتاج
20°						
25°						
30°						
35°						
40°						
45°						
50°						
55°						
60°						
65°						
70°						
75°						

١٥- ارسم على ورقة مليمتريّة المنحني البياني لتحويلات زاوية البروز θ_2 بدلالة زاوية الورود θ_1 ، مستخدماً سلباً واحداً على المحورين الإحداثيين، وسوف تحصل على شكل شبيه بالشكل (8). أوجد بالاستقراء الخارجي من هذا المنحني قيمة θ_1 من أجل $\theta_2 = 90^\circ$ ، وقيمة θ_2 من أجل $\theta_1 = 90^\circ$.

ولما كانت وضعة الانحراف الأصغر توافق المساواة $\theta_1 = \theta_2$ فيمكننا رسم المنصف

الأول OM على الشكل فيقطع المنحني السابق في نقطة M ، واستقراء القيمتين $(\theta_1)_m$ و $(\theta_2)_m$ اللتين تقابلان الانحراف الأصغري في الموشور، سجل إحداثيي M وهما θ_{2m} ، θ_{1m} .



الشكل (٣) : المنحني البياني لتحويلات زاوية البروز θ_2 بدلالة زاوية الورود θ_1

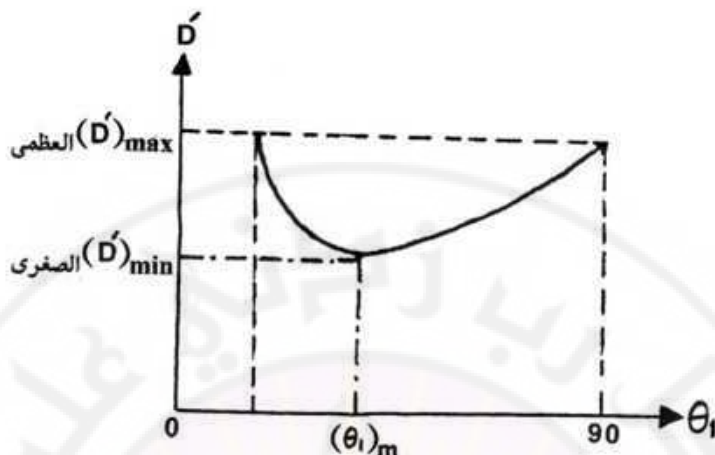
١٦- ارسم على ورقة مليمتريّة أخرى المنحني البياني لتحويلات زاوية الانحراف

المقيسة مباشرة D' بدلالة زاوية الورود θ_1 ، وسوف نحصل على شكل يشبه الشكل (4). أوجد بالاستقراء من هذا المنحني قيمة زاوية الانحراف الأصغر D'_m وقيمة زاوية الورود $(\theta_1)_m$ المقابلة لها .

ج - حساب قرينة انكسار زجاج الموشور :

١٧- احسب قرينة انكسار زجاج الموشور من العلاقة (5) أي :

$$n = \frac{\sin \frac{\alpha + D_m}{2}}{\sin \frac{\alpha}{2}}$$



الشكل (٤) : المنحني البياني لتحويلات زاوية الانحراف D' بدلالة زاوية الورود θ_1

١٨- احسب الارتياحين النسبي والمطلق في n باتباع إحدى طريقتين :

- إما بتطبيق طريقة التفاضل اللغريتمي على العلاقة (5) .

- وإما بافتراض تزايد من مرتبة $\Delta\alpha$ على α ، وتزايد من مرتبة ΔD_m على D_m

وبالتعويض في العلاقة (5) فيكون :

$$n' = \frac{\sin \left(\frac{\alpha + \Delta\alpha + D_m + \Delta D_m}{2} \right)}{\sin \left(\frac{\alpha + \Delta\alpha}{2} \right)}$$

كما يمكن أنه ينتج تزايد n من مرتبة Δn ، فيكون :

$$\Delta n = |n' - n|$$

د- قياس الزاوية الحرجة β :

بعد أن علمت قرينة انكسار زجاج المؤشور n ، يمكن تعيين الزاوية الحرجة β من

$$\beta = \arcsin \frac{1}{n} \quad \text{العلاقة :}$$

أحسب الزاوية الحرجة β .

* * *

قياس قرائن الانكسار

Refractive Index

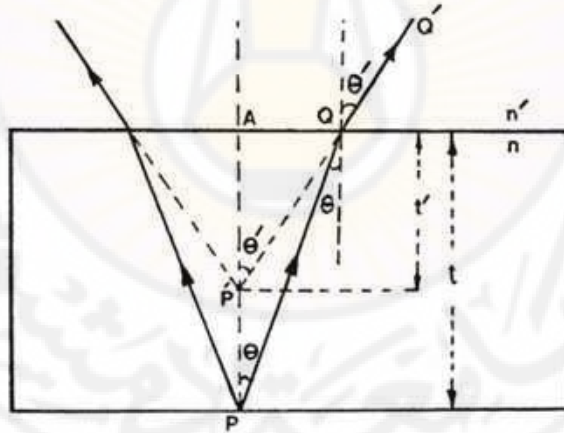
١- الغاية من التجربة:

استخدام المجهر المنزلق لقياس قرينة الانكسار لكل من:

- جسم صلب شفاف (الزجاج).
- جسم سائل (الماء أو سواه).

٢- التمهيد النظري:

لتكن صفيحة شفافة متوازية الوجهين كالمبينة في الشكل (1)، سماكتها $AP = t$ ، وقرينة انكسارها المطلقة n ، يعلوها وسط شفاف قرينة انكساره n' أصغر من n كالهواء. ويتحقق هذا عملياً من أجل صفيحة زجاجية يعلوها الهواء.



الشكل (١): مسير الأشعة الضوئية في صفيحة متوازية الوجهين

لنعتبر شعاعاً ضوئياً مثل PQ، صادراً من النقطة P واقعة على الوجه السفلي للصفيحة، يشكل زاوية θ مع الناظم AP على الوجه السفلي. ينكسر هذا الشعاع لدى وصوله إلى الوجه العلوي من الصفيحة عند Q ويبرز إلى الهواء وفق QQ' بزاوية انكسار θ' وفق قانون سنل - ديكارت في الانكسار:

$$\frac{\sin \theta'}{\sin \theta} = \frac{n}{n'}$$

فإذا اقتصر اعتبارنا على الأشعة الصادرة عن P والتي تقع ضمن مخروط نصف زاوية رأسه θ صغيرة (لا تزيد عن 6 درجات) أمكن اعتبار الكاسر المستوي AQ متصفاً بالنقطية، أي أن جميع الأشعة الصادرة عن النقطة P تبدو بعد الانكسار وكأنها صادرة عن النقطة P' وهي نقطة تقاطع امتداد الأشعة البارزة QQ' مع الناظم AP، و تصبح العلاقة السابقة في هذه الحالة على الشكل:

$$\frac{\sin \theta'}{\sin \theta} = \frac{n}{n'} \approx \frac{\tan \theta'}{\tan \theta} \quad (1)$$

و تكون سماكة الصفيحة الظاهرية التي تبدو للناظر من فوقها هو: $AP' = t'$ ، ونعلم أن سماكة الصفيحة الحقيقية هو $AP = t$. و يتضح بسهولة من الخواص الهندسية في الشكل (1) أن:

$$\frac{\tan \theta'}{\tan \theta} = \frac{AQ/AP'}{AQ/AP} = \frac{AP}{AP'} = \frac{t}{t'}$$

و بالتعويض في العلاقة (1) يكون:

$$\frac{n}{n'} = \frac{t}{t'} \quad (2)$$

وإذا كان الوسط n' هو الهواء، فإن قرينة انكساره المطلقة هي 1.003، ويمكن اعتبارها عملياً مساوية لـ 1 بارتياح مطلق يقل عن 0.003، وهو مقدار من مرتبة الارتياح في القياس بهذه التجربة، فيمكن إهماله إلا في حالة حساب الارتياح، وتؤول العلاقة السابقة إلى:

$$n \approx \frac{t}{t'} \quad (3)$$

أي أننا نستطيع حساب قرينة انكسار مادة الصفيحة بعد قياس كل من سماكتها الحقيقية t وسماكتها الظاهرية t' .

– مبدأ القياس:

توضع الصفیحة متوازية الوجهین علی منضدة أفقیة، وتجعل أنبوبة المجهر قابلة للانزلاق علی طول محور شاقولي ینطبق علی محوره الضوئی كما هو واضح فی الشكل (2) وتكون مسطرة القراءة موازية لمحور المجهر، و یتحرك أمامها مؤشر أفقی متماسك مع المجهر .

ترصد نقطة حقیقیة P واقعة علی سطح المنضدة قبل وضع الصفیحة علیها، ویشاهد خیالها واضحاً فی المجهر بعد الإحكام، و یقرأ التدریج h_1 المقابل لها علی المسطرة، وهو الذی یقع إزاء صفر الوریة .



الشكل (٢): طريقة قياس الانسحابات الشاقولية بالمجهر المنزلق

ثم توضع الصفیحة فوق النقطة السابقة، فیشاهد الناظر بالعين المجردة النقطة P' خیال P الذی تشكله الصفیحة، وهو خیال وهمی . أما إذا نظر إلى خیال من خلال المجهر فی وضعته السابقة فیشاهده مبهم المعالم، وینبغي أن تزلق أنبوبة المجهر نحو

الأعلى حتى يشاهد خيال P' فيه على أوضح صورة . نفرض أن التدرج المقابل على المسطرة إزاء صفر الورنية هو h_2 .

إن الانسحابين PP' و (h_1-h_2) متساويان، ويساوي كل منهما مقدار انسحاب الخيال عن الجسم في الصفيحة المتوازية الوجهين .

ثم ترصد النقطة A الواقعة فوق الصفيحة على الشاقول PP' ، ويضطر الناظر إلى زلق أنبوبة المجهر من جديد نحو الأعلى حتى يتضح خيالها فيه . نفرض أن التدرج المقابل على المسطرة إزاء صفر الورنية هو h_3 . ويكون الانسحابان AP و (h_1-h_3) متساويين و يساوي كل منهما السماكة الحقيقية للصفيحة t .

ويؤول العمل إذن إلى قياس النسبة بين (h_1-h_3) و (h_2-h_3) وهما يساويان على الترتيب السماكة الحقيقية للصفيحة t و سماكتها الظاهرية t' و يكون:

$$n = \frac{t}{t'} = \frac{|h_1 - h_3|}{|h_2 - h_3|} \quad (4)$$

٣- الأجهزة و الأدوات المستخدمة:

المجهر المنزلق، صفيحة زجاجية متوازية الوجهين، حوض زجاجي صغير، ماصة لنقل السائل، سائل (الماء أو سواه)، مسحوق الفلين، قطعة نقود .

- وصف المجهر المنزلق:

يتألف المجهر المنزلق الذي يظهر في الشكل (3) من الأجزاء التالية:

أ- العينية E : وهي جملة العدسات التي يُنظر من خلالها إلى الجسم المراد فحصه، و يرى الناظر في ساحة الرؤية خطين متصالبين يسميان بالمحكمة يمكن جعلهما واضحين تماماً بإدارة العينية باتجاه دوران عقارب الساعة أو في الاتجاه المعاكس له .

ب- الجسمية O : وهي جملة العدسات التي يُوضع الجسم أمامها مستنداً إلى قاعدة متينة يمكن ضبطها بلوالب خاصة حتى تغدو أفقية، و تقع العينية و الجسمية في طرفي

أنبوبة المجهر .



الشكل (٣): المجهر المنزلق

ج- حامل S : له مسنن لا نهائي تنزلق عليه أنبوبة المجهر أمام مسطرة شاقولية
مجهزة بورنية وذلك بتدوير لولب الاحكام K . وهذه المسطرة مدرجة بأنصاف
المليمترات والورنية مقسمة الى خمسين تقسيمة و بالتالي فهي تمكننا من قراءة الواحد
من المائة من المليمتر .

د- حامل S' : تتحرك عليه أنبوبة المجهر على طول مسطرة أفقية مدرجة بأنصاف
المليمترات مجهزة بورنية مقسمة الى خمسين تقسيمة .

ونشير إلى أن كلاً من الورنيتين مجهزة بعدسة مكبرة لتسهيل القراءة .

٤- مراحل العمل والنتائج:

ابتدئ بفحص المجهر المنزلق بدقة وتعرف على أجزائه الرئيسية كلها و كيفية تشغيلها وكيفية القراءة على الورنية . لاحظ أن تقسيمات الورنية الخمسين تنطبق على 49 تقسيمة نصف ميليمترية من المسطرة، وأن تقسيمات الورنية تسمح بقراءة حتى 0.01mm، ويوضح الشكلان (4) و (5) المسطرة المدرجة بأنصاف المليمترات و قسيمات الورنية الخمسين، وكذلك حالات ثلاث من أوضاع الورنية والمسطرة وكيفية قراءتها .

أولاً: قياس قرينة انكسار صفيحة زجاجية:

١- ارسم عدة خطوط دقيقة متقاربة على ورقة بيضاء ملساء، ثم ثبت هذه الورقة تثبيتاً جيداً على قاعدة المجهر الأفقية، بحيث تقع الخطوط المرسومة تحت جسمية المجهر .

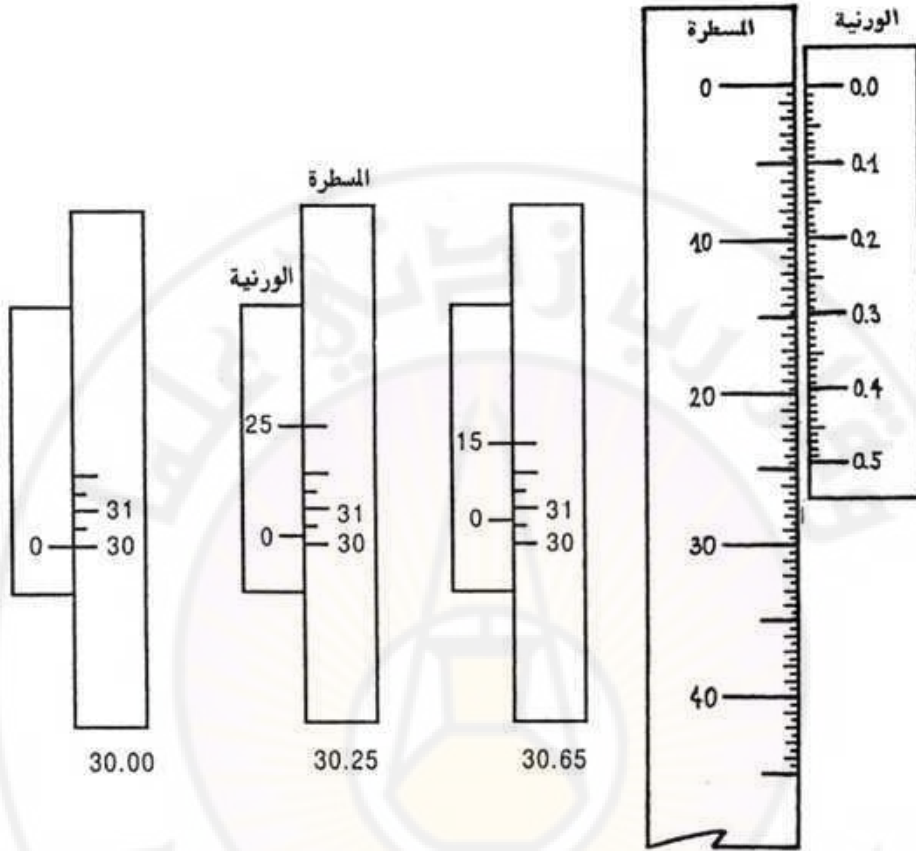
٢- اجعل جسمية المجهر تماس الورقة، ثم انظر من خلال العينية و حرك المجهر شاقولياً نحو الأعلى ببطء حتى ترى خيال إحدى الخطوط واضحاً في حقل الرؤية . سجل قراءة المسطرة و الورنية و لتكن h_1 .

٣- ضع صفيحة الزجاج فوق الخطوط المرسومة على الورقة، فيغدو خيال هذه الخطوط في المجهر غير واضح المعالم، حرك أنبوبة المجهر نحو الأعلى لإحكام الرؤية حتى يعود خيال الخطوط إلى الوضوح التام .

سجل قراءة المسطرة و الورنية في هذه الوضعة الجديدة للمجهر ولتكن h_2 .

٤- ارسم بالحبر علامة صغيرة على الوجه العلوي من الصفيحة الزجاجية دون تحريكها من موضعها، ثم انتظر جفافها، حرك أنبوبة المجهر نحو الأعلى لإحكام الرؤية حتى ترى خيال علامة الحبر في المجهر على أوضح صورة . سجل قراءة المسطرة و الورنية في هذه الوضعة، ولتكن h_3 .

٥- احسب قرينة الانكسار n من العلاقة (4) .



- الشكل (٤): الورنية في المجهر المنزلق (الشكل ٥): الورنية في المجهر المنزلق وكيفية القراءة عليها في حالات ثلاث
- ٦- أعد التجربة مرتين أخريين على الأقل. و ذلك بزلق أنبوبة المجهر بعد فك اللولب الحابس لها على الحلقة الحاملة له في كل مرة، ثم شد اللولب من جديد.
- ٧- سجل نتائج القياس في الجدول أدناه .
- ٨- قارن قيم n التي وجدتتها وإذا كانت متقاربة فاحسب قيمتها الوسطية $\bar{n}$. قدر الارتياح المطلق $|\Delta h|$ في قراءة أحد الارتفاعات h_1, h_2, h_3 ، ملاحظاً أنه قد يكون الارتياح المطلق في تقدير كل منها أكبر من مجرد الارتياح المطلق في قراءتها على المسطرة والورنية . ثم قدر Δh وذلك كما يلي:
- بعد الحصول على الخيال الواضح في المجهر باحكام الرؤية في إحدى تجاربك، إقرأ

الارتفاع الموافق له وليكن h_1 مثلاً .

الارتفاع الموافق له وليكن h_1 مثلاً .					مادة الصفیحة:	
رقم التجربة	h_1 mm	h_2 mm	h_3 mm	$n = \frac{ h_1 - h_3 }{ h_2 - h_3 }$	الانحرافات المطلقة $E_i = \bar{n} - n_i $	الاستنتاج
1						
2						
3						
الوسطي				$\bar{n} =$		

حرك بعد ذلك لولب الاحكام ببطة شديد إلى إحدى جهتي دورانه و لتكن مثلاً الجهة التي تزلق المجهر إلى الأعلى، حتى تلاحظ بنظرك من خلال المجهر أن خيال الجسم المرصود لم يعد اوضح خيال بل انتقص وضوحه بأقل قدر ممكن عما كان عليه . اقرأ الارتفاع الموافق في هذه الحالة وليكن h'_1 .

ثم حرك لولب الاحكام إلى جهة دورانه الأخرى فينزلق المجهر إلى الأسفل حتى تلاحظ أن خيال الجسم المرصود قد انتقص وضوحه من جديد و بأقل قدر ممكن أيضاً . اقرأ الارتفاع الموافق وليكن h''_1 .

قدر الارتفاع المطلق في قياس h_1 من العلاقة :

$$\Delta h_1 = \frac{1}{2} |h'_1 - h''_1| \quad (5)$$

و يمكن التنبؤ بأن تقدير الارتفاع المطلق من أجل h_2, h_3 لن يختلف عما وجد من أجل h_1 .

١٠- احسب الارتفاعين المطلق والنسبي في n لإحدى تجاربك، بطريقة حساب الارتفاع في القياس غير المباشر. يمكن الانطلاق من العلاقة (4) لانجاز هذا الحساب، بيد أنه يفضل الانطلاق من العلاقة (2)، حيث أن الحد $\frac{\Delta n'}{n'} = 0.003$ الذي يظهر فيها قد

لا يكون مهماً أمام سائر الحدود الأخرى من عبارة حساب الارتياح النسبي.

قارن Δn بالانحرافات المطلقة $E_i = |\bar{n} - n_i|$ ، واستنتج من تجاربك تلك التي تحقق الشرط $E_i \geq \Delta n$ ، واستبعد سواها. سجل ذلك في حقل الاستنتاج في جدولك السابق. أعد حساب $\bar{n}$ للتجارب المقبولة وحدها، ثم ضع النتيجة النهائية بالشكل:

$$\boxed{n = \bar{n} \pm \Delta n}$$

ثانياً- قياس قرينة سائل ما:

١- ضع قطعة نقود معدنية في قاع حوض زجاجي وأحكم المجهر بحيث ترى بوضوح حرفاً حاداً في وجهها العلوي . سجل قراءة المسطرة و الورنية الموافقة لهذه الوضعة و لتكن h_1 .

٢- صب السائل برفق في الحوض حتى ارتفاع يقارب 2 سنتيمتر مستخدماً الماصة لئلا تنزلق قطعة النقود عن مكانها. أحكم المجهر من جديد حتى ترى خيال النتوء السابق ذاته على اوضح صورة. سجل قراءة المسطرة والورنية الموافقة لوضعة المجهر، و لتكن h_2 .

٣- ذر قليلاً من مسحوق الفلين الدقيق فوق الماء فتطفو دقائقه على سطح السائل وتسمح بتمييز هذا السطح .

٤- أحكم المجهر على دقائق المسحوق الطافية حتى ترى بعضها في ساحة الرؤية وهي على أوضح صورة، سجل قراءة المسطرة والورنية الموافقة لهذه الوضعة و لتكن h_3 .

٥- احسب قيمة n من العلاقة (4) .

٦- كرر القياس مرتين آخرين و سجل نتائج القياس في جدول مماثل كما سبق.

٧- احسب الارتياحين المطلق و النسبي في n لإحدى تجاربك بطريقة حساب الارتياح في القياس غير المباشر .

٨- ثم ضع النتيجة النهائية بالشكل: $n = (\bar{n} \pm \Delta n)$

* * *

قياس البعد المحرقي للعدسات

Focal Length Of Lenses

١- الغاية من التجربة:

- التعرف على أنواع العدسات وقوانينها الأساسية.
- التعرف على مسار الأشعة الضوئية في العدسات.
- تعيين البعد المحرقي لعدسة مقربة بطريقة الوضعين المتقابلين.
- التحقق من قانون جمع العدسات.
- حساب البعد المحرقي لعدسة مبعدة.

٢- التمهيد النظري:

تعد العدسات بحق أهم العناصر البصرية المستخدمة في الأجهزة الضوئية بالإضافة إلى المواشير والمرايا بأنواعها المختلفة. وهي أحد نوعين رئيسيين: مقربة أو مبعدة.

أ- العدسات المقربة:

وأهم ما يميزها أنها سميكة في المنتصف، رقيقة عند الأطراف، ويبين الشكل (1) أصناف العدسات المقربة وهي: العدسة المحدبة الوجهين، والعدسة المستوية المحدبة، والعدسة الهلالية المقربة.



الهلالية المقربة



المستوية المحدبة



المحدبة الوجهين

الشكل (١) : أصناف العدسات المقربة

ب- العدسات المبعدة:

وأهم ما يميزها أنها رقيقة في المنتصف سميكة عند الأطراف، ويبين الشكل (2) أصناف العدسات المبعدة وهي: العدسة المقعرة الوجهين، والعدسة المستوية المقعرة، والعدسة الهلالية المبعدة.



الشكل (٢) : أصناف العدسات المبعدة.

ج- قوانين العدسات:

١- قانون البعد الجسمي والبعد الخيالي:

وهو من أشهر قوانين العدسات الذي يعطي العلاقة بين البعد الجسمي للعدسة S والبعد الخيالي عنها S' بدلالة البعد المحرق للعدسة f وهو:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{S} + \frac{1}{S'} \quad (1)$$

وتعرف هذه العلاقة بقانون غوص (Gauss) لمعادلة العدسة الرقيقة.

٢- قانون التكبير الخطي:

الذي يعطي النسبة بين طول الخيال Y' وطول الجسم Y بدلالة البعد الجسمي S والبعد الخيالي S' وبالتالي يعطى التكبير m للعدسة بالعلاقة:

$$m = \frac{y'}{y} = -\frac{S'}{S} \quad (2)$$

٣- قانون ضم العدسات:

وهو القانون الذي ينص على أن البعد المحرق f لعدسة مكافئة لجملة عدستين

بعدهما المحرقين f_1 و f_2 تُضمنان إلى بعضهما بعضاً هو :

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

يسمى مقلوب البعد المحرقي عند تقديره بالأمتار استطاعة العدسة ويرمز لها بالرمز P وتقاس بالكسيرة (الديوبتر - Diopter) وعليه يمكننا أن نكتب العلاقة (3) بالشكل التالي :

$$\boxed{P = P_1 + P_2} \quad (4)$$

٤- قانون صانع العدسات :

وهو يعطي البعد المحرقي f للعدسة بدلالة قرينة انكسار الزجاج الذي تصنع منه n وبدلالة نصفي قطري تقعر وجهي العدسة R_1 و R_2 وهو :

$$\boxed{\frac{1}{f} = (n-1) \cdot \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)} \quad (5)$$

وفي حالة تساوي نصفي قطري تقعر وجهي العدسة يكون : $R_1 = R_2 = R$ ومنه نجد بأخذ اصطلاح الإشارة الموضح في الشكل (4) بعين الاعتبار أن :

$$\boxed{\frac{1}{f} = (n-1) \cdot \left(\frac{2}{R} \right)} \quad (6)$$

أما إذا كانت العدسة مستوية محدبة فإن $R_2 = \infty$ ومنه نجد :

$$\boxed{\frac{1}{f} = (n-1) \cdot \left(\frac{1}{R_1} \right)} \quad (7)$$

٥- قانون البعد الجسمي والبعد الخيالي :

يعبر عن هذا القانون بدلالة P و P' حيث : $P = S - f$ و $P' = S' - f$ فيكون :

$$\boxed{P \cdot P' = f^2} \quad (8)$$

وتعرف هذه العلاقة بقانون نيوتن (Newton) لمعادلة العدسة الرقيقة.

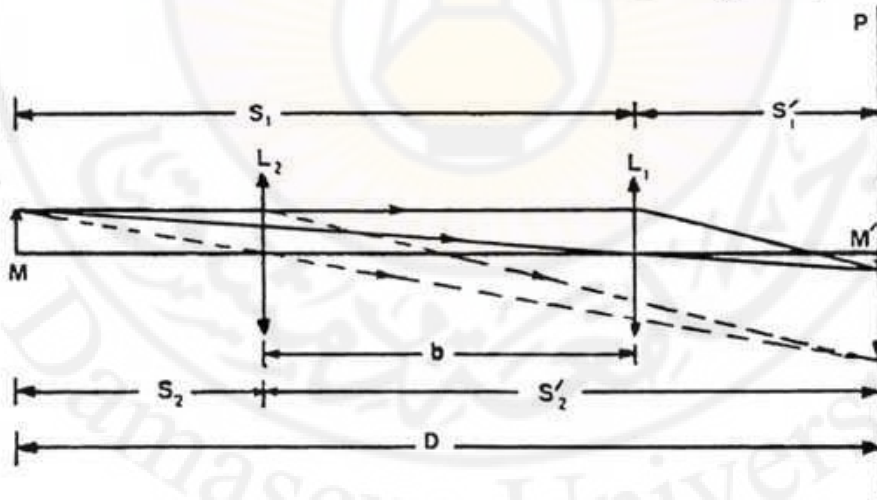
٦- قانون البعد المحرقي للعدسة بطريقتي الوضعين المتقابلين:

وهو قانون بيسل (Bessel) لقياس البعد المحرقي للعدسة الرقيقة، وبموجب هذه الطريقة تُحرَّكُ العدسة المقربة L بين جسم مضيء M وشاشة P تبعد عن الجسم M مسافة أكبر من $4f$ ، وتقاس المسافة بين وضعين يتشكل من أجلهما خيالان حقيقيان للجسم على الشاشة أحدهما أكبر من الجسم والآخر أصغر منه، فإذا فرضنا D البعد بين الجسم المضيء والشاشة، و b البعد بين وضعي العدسة L_1 و L_2 المذكورين، كان البعد المحرقي للعدسة معطى بالعلاقة:

$$f = \frac{D^2 - b^2}{4D} \quad (9)$$

ويكون البرهان على العلاقة (9) كما يلي:

وتنتج العلاقة (9) بالتعويض في العلاقة (1) كلاً من S و S' بدلالة البعد D والبعد b الموضحين في الشكل (3):



الشكل (٣) : الوضعان المتقابلان للعدسة المقربة.

ولیکن S_1 و S_1' بعدي الجسم والخيال عن العدسة L_1 في الوضع الأول، و S_2 و S_2' بعديهما عن العدسة L_2 في الوضع الثاني. ولما كانت النقطتان M و M' مترافقتين

أي أن الواحدة منهما هي خيال الأخرى في العدسة في كل من وضعيها، فإنه يكون بعد العدسة L_1 عن الشاشة P في الوضع الأول S_1' يساوي بعد الجسم M عن العدسة L_2 في الوضع الثاني S_2 أي أن:

$$S_2 = S_1' \quad \text{و} \quad S_1 = S_2'$$

$$S_1 + S_1' = S_2 + S_2' = D \quad \text{ويتبين من الشكل (3) أن :}$$

$$S_1 - S_1' = S_2' - S_2 = b \quad \text{وأن :}$$

$$S_1 = \frac{D+b}{2} \quad \text{وينتج من جمع هاتين المعادلتين طرفاً إلى طرف أن :}$$

$$S_1' = \frac{D-b}{2} \quad \text{كما ينتج من طرحهما أن :}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_1'} \quad \text{وبتطبيق قانون العدسات أي العلاقة (1) وهي :}$$

باعتبار أن كلاً من S_1 و S_1' موجباً إذا كان كل من الجسم والخيال حقيقياً فنجد:

$$\frac{1}{f} = \frac{2}{D+b} + \frac{2}{D-b}$$

ومنه :

$$f = \frac{D^2 - b^2}{4D}$$

وهي نفس العلاقة (9) .

ملاحظة :

لا يمكن للعدسة المقربة L ذات البعد المحرقي f أن تكون للجسم M خيلاً M' على الشاشة P إلا إذا كانت المسافة D أكبر من أربعة أضعاف البعد المحرقي f ، أي :

$$D \geq 4f \quad (10)$$

وتنتج هذه المتراجحة (10) بالتعويض عن S' بالمقدار $D - S$ في قانون العدسات

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{S} + \frac{1}{S'} \quad \text{أي العلاقة (1) :}$$

$$S^2 - DS + Df = 0$$

فنجد:

وجذرا هذه المعادلة هما:

$$S = \frac{D \pm \sqrt{D^2 - 4Df}}{2}$$

أي أن للعدسة وضعين تكوّن فيهما للجسم خيالا حقيقيا، ولا يكون هذان الجذران

حقيقيين إلا إذا كان: $D^2 - 4D.f \geq 0$

$$D \geq 4f$$

أي أن:

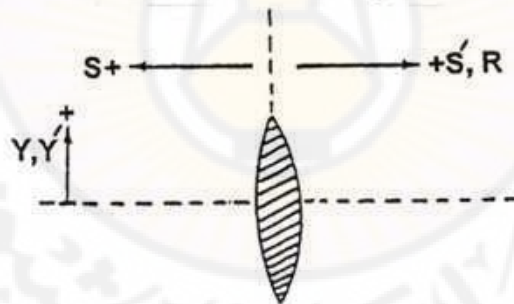
وينطبق وضع العدسة إحداهما على الآخر في حالة المساواة.

٧- اصطلاح الإشارة الخاص بهذه القوانين:

نورد اصطلاح الإشارة حيث تقاس المسافات S و S' و R بدءاً من العدسة،

ويعتبر S موجباً إذا كان الانتقال من العدسة إلى موضع الجسم بعكس إشارة الضوء

الوارد. انظر الشكل (4) الذي يوضح أيضاً الاتجاه الموجب لكل من S' و R و Y و Y' .



الشكل (4): اصطلاح الإشارة في العدسات.

د- مسار الأشعة الضوئية في العدسات:

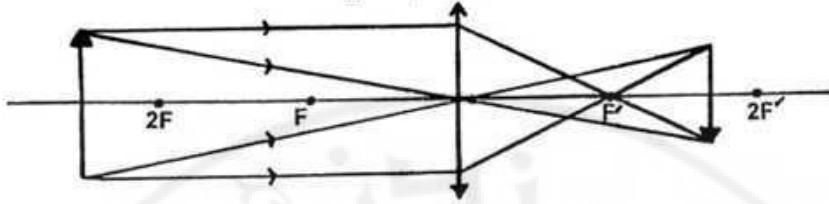
تشكل العدسة المقربة للأجسام الموضوعة أمامها أخيلة حقيقية مقلوبة أصغر من

الجسم أو مساوية له أو أكبر منه، بحسب بعد الجسم عن العدسة كما يوضح الشكل

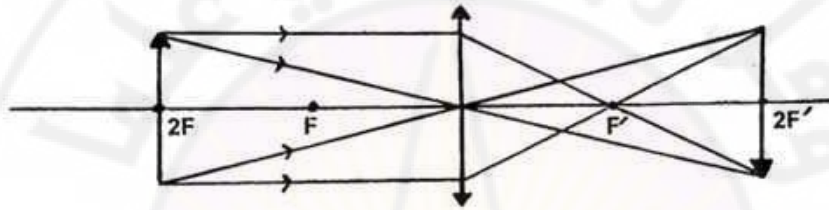
(5) بأجزائه (أ و ب و ج).

فعندما يكون بعد الجسم عن العدسة أكبر من ضعفي البعد المحرق $2f$ أي $(S > 2f)$

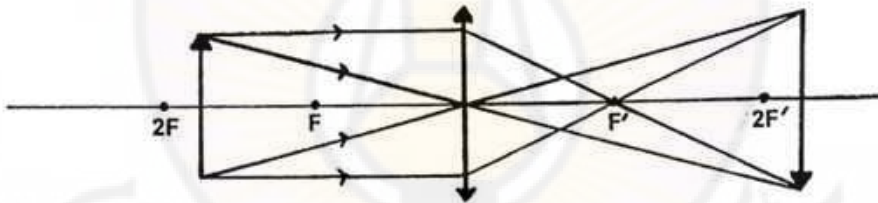
يكون الخيال حقيقياً ومقلوباً وأصغر من الجسم، وهي الحالة (أ) .



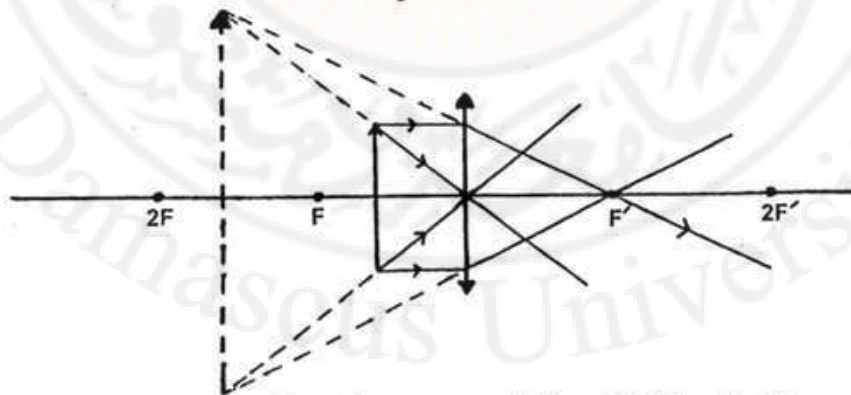
(أ) $S > 2F$ الخيال حقيقي ومقلوب وأصغر من الجسم



(ب) $S = 2F$ الخيال حقيقي ومقلوب ومساو للجسم



(ج) $F < S < 2F$ الخيال حقيقي ومقلوب وأكبر من الجسم



(د) $S < F$ الخيال وهمي وصحيح وأكبر من الجسم

الشكل (هـ) : خيال الجسم في العدسة المقربة في ظروف مختلفة

وعندما يكون بعد الجسم عن العدسة مساوياً ضعف البعد المحرقي $2f$ أي $(S = 2f)$

يكون الخيال حقيقياً ومقلوباً ومساوياً الجسم، وهي الحالة (ب) .

وعندما يكون بعد الجسم عن العدسة أصغر من ضعف البعد المحرقي $2f$ وأكبر من البعد المحرقي f أي $(f < S < 2f)$ يكون الخيال حقيقياً ومقلوباً وأكبر من الجسم، وهي الحالة (ج) .

أما إذا كان بعد الجسم عن العدسة أصغر من البعد المحرقي F أي $(S < F)$ فإن العدسة تشكل له خيلاً صحيحاً كالجسم وأكبر منه ويكون الخيال في هذه الحالة وهمياً، وهي الحالة (د) .

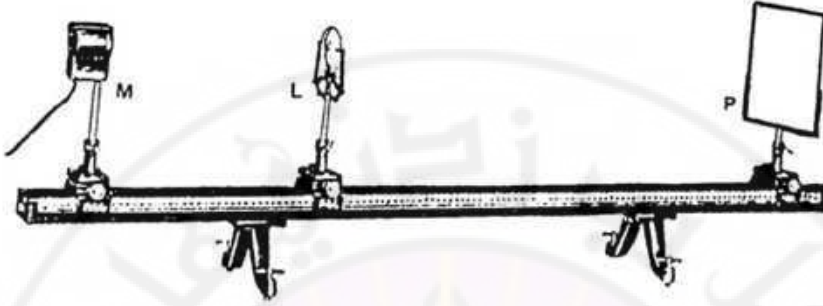
٣- الأجهزة والأدوات المستخدمة:

جسر ضوئي، منبع ضوئي يحمل الجسم بشكل سهم، شاشة، عدسة مقربة بعدها المحرقي معلوم $L = 10 \text{ cm}$ ، عدستان مقربتان L_1 و L_2 البعد المحرقي لكل منهما مجهول ولا يتجاوز 20 cm ، عدسة مبعدة L_3 بعدها المحرقي مجهول وأكبر من 20 cm حوامل منزقة للعدسات والمنبع والشاشة وغيرها، متر معدني.

٤- مراحل العمل والنتائج:

١- اضبط المنبع الضوئي الذي يحمل الجسم بشكل سهم والشاشة والعدسة ذات البعد المحرقي المعلوم $f = 10 \text{ cm}$ على ارتفاع واحد على الجسر الضوئي كما هو مبين في الشكل (6) .

٢- استخدم العدسة ذات البعد المحرقي المعلوم $f = 10 \text{ cm}$ للتحقق من طبيعة الأخيلة التي تشكلها العدسة للجسم في الظروف المختلفة المبينة في الشكل (5)، لاحظ أنه في الحالة الأخيرة (د) يكون الخيال وهمياً وأكبر من الجسم ويتعذر تشكيل خياله على الشاشة.



الشكل (٦): الجسر الضوئي

٣- استخدم طريقة ببس لتحديد البعد المحرقي للعدسة المجهولة f_1 وضعها على حاملها على الجسر الضوئي، وثبت الشاشة P على بعد كبير نسبياً من الجسم M، بحيث إذا وضعت العدسة بينهما أمكن تشكيل خياليين أحدهما مصغر عندما تكون العدسة قريبة من الشاشة P في الوضع L_1 ، والآخر مكبر عندما تكون العدسة قريبة من الجسم M في الوضع L_2 . قس البعد D بين الجسم والشاشة P.

٤- إن b هو البعد بين وضعي العدسة L_1 و L_2 ، ولقياسه ضع العدسة في الوضع L_1 بحيث يتشكل الخيال المصغر على الشاشة، قس بعد العدسة عن الشاشة وليكن A_1 ، ثم ضع العدسة في الوضع L_2 بحيث يتشكل الخيال المكبر، قس بعد العدسة عن الشاشة وليكن A_2 فيكون البعد b هو:

$$b = A_2 - A_1$$

ثم احسب البعد المحرقي للعدسة L_1 من العلاقة (9).

٥- أعد التجربة مرتين من أجل قيمتين مختلفتين للمسافة D واحسب في كل مرة البعد المحرقي للعدسة L_1 .

٦- سجل نتائج القياس في الجدول أدناه.

العدسة المستخدمة : المقربة الأولى f_1							
رقم التجربة	D cm	A ₁ cm	A ₂ cm	b = A ₂ - A ₁ cm	$f_1 = \frac{D^2 - b^2}{4D}$ cm	الانحرافات المطلقة $E_{f_1} = \bar{f}_1 - f_1 $	الاستنتاج
1							
2							
3							
الوسطي $\bar{f}_1$							

٧- احسب الارتياح المطلق Δf_1 المركب في حساب f_1 لإحدى تجاربك باتباع طريقة التفاضل اللغريتمي.

أوجد قيمتي الارتياح المطلق ΔA_1 و ΔA_2 وذلك بتحديد مجال حركة العدسة L الذي لا يؤثر على وضوح الخيال في نظرك، فيكون الارتياح المطلق مساوياً نصف المجال.

٨- قارن الانحرافات المطلقة E_{f_1} في الجدول بالارتياح المطلق Δf_1 وتكون التجربة صحيحة أو مقبولة إذا كان كل فرق أصغر من الارتياح المطلق Δf_1 ، وإن حدث العكس فاستبعد التجربة غير المقبولة.

٩- احسب القيمة الوسطى $\bar{f}_1$ للتجارب المقبولة أو الصحيحة، وضع النتيجة النهائية بالشكل:

$$f_1 = (\bar{f}_1 \pm \Delta f_1) \quad (12)$$

ثم احسب الارتياح النسبي المئوي: $\varepsilon_1 \% = \frac{\Delta f_1}{\bar{f}_1} \times 100\%$

١٠- أجر ثلاث تجارب مستخدماً العدسة المقربة الثانية L₂ وأوجد بعدها المحرقي f₂ والارتياح المركب بالطريقة السابقة وسجل النتائج في جدول مماثل كالسابق.

١١- ضم العدسة المقربة L₁ إلى العدسة المقربة L₂ واحسب البعد المحرقي f لجملة

العدستين ، وذلك باتباع الطريقة السابقة ، سجل النتائج في جدول مماثل كالسابق. أعد التجربة مرتين من أجل قيمتين مختلفتين للمسافة D ، ثم تحقق من صحة قانون جمع

العدسات الرقيقة وهو القانون:

$$P = P_1 + P_2 \quad \text{أو} \quad \frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$

حيث : $P = \frac{1}{f(m)}$ استطاعة العدسة وتقدر بالكسيرة (الديوبتر) ثم احسب استطاعة العدسات L_1 ، L_2 ، L_3 .

١٢- أوجد البعد المحرقي للعدسة المبعدة f_3 وذلك بضمها إلى عدسة مقربة سواء f_1 أو f_2 التي حسبت بعدها المحرقي. ثم احسب البعد المحرقي لجملة العدستين f . ثم طبق قانون جمع العدسات واحسب البعد المحرقي للعدسة المبعدة f_3 وهو سالب

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_3} \quad \text{كما يلي:}$$

ومنه نكتب:

$$\frac{1}{f_3} = \frac{1}{f} - \frac{1}{f_1} \quad (13)$$

$$f_3 = \frac{f_1 \cdot f}{f_1 - f}$$

وللسهولة نكتب:

١٣- أعد التجربة مرتين من أجل قيمتين مختلفتين للمسافة D ، واحسب في كل مرة البعد المحرقي للعدسة L_3 وسجل النتائج في جدول مماثل كالسابق.

١٤- أحسب الارتياح النسبي للبعد المحرقي للعدسة المبعدة f_3 بطريقة حساب الارتياح في القياس غير المباشر، مستخدماً طريقة التفاضل اللغريتمي للعلاقة (13) .

* * *

المجهر

The Microscope

١- الغاية من التجربة:

- التعرف على مبدأ عمل المجهر والتدرب على إستعماله وإحكامه.
- استخدام المجهر في إجراء التجارب الكيفية والكمية.
- التعرف على بعض مزايا المجهر من قوة التكبير، والتكبير الكلي، والمقدرة الفاصلة.

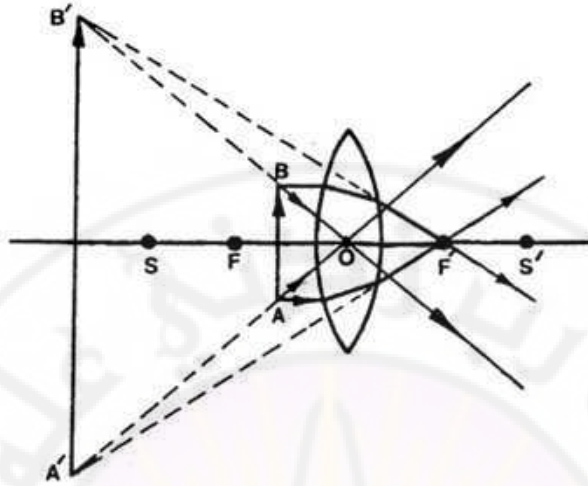
٢- التمهيد النظري:

عكف الانسان منذ القديم على دراسة المحيط الذي يعيش فيه بغية الاستفادة مما ينفعه وتجنب ما يضره. وكان يحد من قدرة الانسان على الحركة في هذا المضمار ضيق المجال الذي تستطيع حواسه أن تشعر به أو تراه.

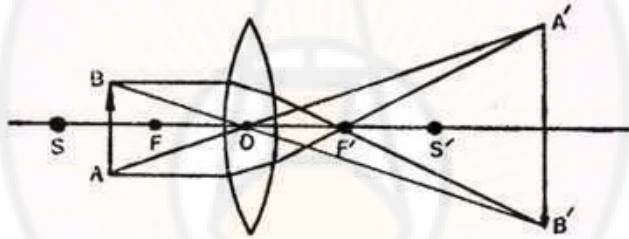
وجاء المجهر ليوسع هذا المجال، فتمكن الانسان بواسطته من اكتشاف الجراثيم وطرائق الوقاية منها، ثم تمكن من تسخير المجهر لأغراض الكشف عن المعادن فصنع المجهر الاستقطابي.

يتألف المجهر في أبسط أشكاله من عدسة محدبة الوجهين ذات بعد محرق صغير. فإذا وضع الجسم المراد فحصه بين العدسة ومحرقها، تشكل له خيال وهمي مكبر وصحيح، و يبين الشكل (1) سير الأشعة في هذه الحالة. أن F و F' في هذه الشكل هما محرقا العدسة، و AB هو الجسم المفحوص، و $A'B'$ هو الخيال النهائي للجسم كما يبدو للناظر.

أما إذا وضع الجسم بعد محرق العدسة F ، بمسافة أكبر من F و أصغر من $2F$ ، فيتشكل للجسم خيال حقيقي مكبر و مقلوب، كما هو واضح في الشكل (2) الذي يبين مسير الأشعة في هذه الحالة.



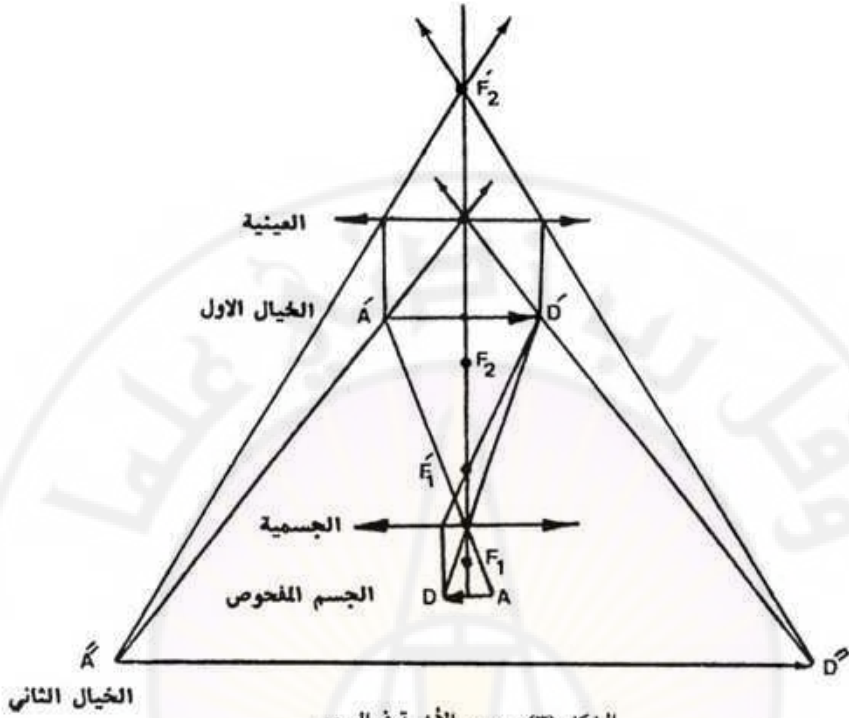
الشكل (١): العدسة محدبة الوجهين و الخيال الذي تشكله لجسم واقع بين العدسة و محرقها



الشكل (٢): العدسة المحدبة الوجهين و الخيال الذي تشكله لجسم واقع بعد المحرقي

يتألف المجهر بشكله البدائي من عدستين الأولى عدسة جسمية ذات بعد محرقي صغير يمكن تغيير بعدها عن الجسم المفحوص AD ، ويجعل الجسم عادة على بعد أكبر من البعد المحرقي للعدسة الجسمية بقليل، فيتشكل بذلك خيال حقيقي مقلوب ومكبر له $A'D'$.

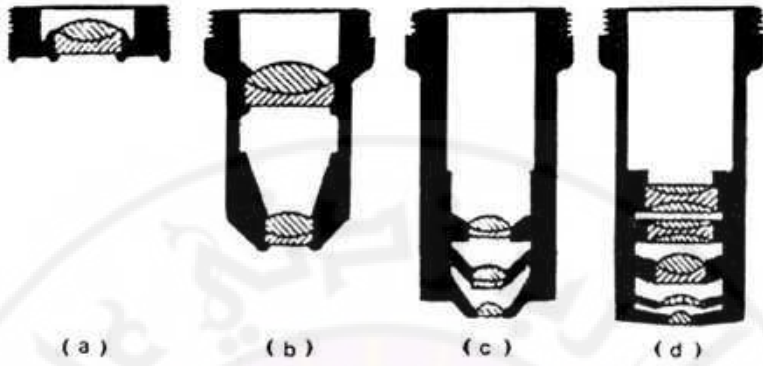
فإذا جُعل هذا الخيال بين عدسة أخرى و محرقها، شكلت هذه العدسة له خيالاً وهمياً مكبراً من جديد. تسمى العدسة الثانية بالعدسة العينية، وتُجعل بحيث يقع الخيال $A'D'$ الناشئ عن الجسمية بين العدسة العينية و محرقها الجسمي، فتعطي له خيالاً وهمياً مكبراً وصحيحاً $A''D''$ ، وبين الشكل (3) رسماً توضيحياً لمسير الأشعة في المجهر مركب من عدستين جسمية وعينية.



لا يختلف المجهر بشكله الحديث عن المجهر البدائي المشروح أعلاه إلا في أمرين اثنين هما:

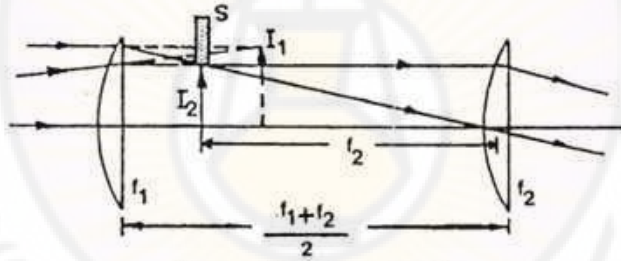
١- يتعلق بالعدسة الجسمية إذ تُجعل مجموعة العدسات تجنباً لعيوب العدسات البسيطة، كما هو مبين في الشكل (4) تفصيل هذه العدسات في حالة جسيمات مختلفة التكبير.

٢- يتعلق بالعدسة العينية التي تُجعل بشكل زوج من العدسات كما هو مبين في الشكل (5). مسار الأشعة في هذه الحالة. وقد تزود بعض العينات بوسيلة لحمل صفيحة زجاجية عليها تقسيمات دقيقة كالصفيحة S الظاهرة في الشكل، توضع في مستوي الخيال I_2 الناتج عن العدسة الجسمية، فيرى خيال كل من التدريجات ولجسم المخصوص بآن واحد في العينية. تدعى هذه العينية بالعينية المكرومترية، أو (عينية هويغنز).



- a- جسيمة تكبيرها $\times 3$ وبعدها المحرقي 58 ملليمترًا
b- جسيمة تكبيرها $\times 10$ وبعدها المحرقي 16 ملليمترًا
c- جسيمة تكبيرها $\times 40$ وبعدها المحرقي 4 ملليمترًا
d- جسيمة تكبيرها $\times 80$ وبعدها المحرقي 2 ملليمترًا

الشكل (٤): تركيب جسيمة المجهر:



الشكل (٥): العينية الميكرومترية

وأخيراً لا بد أن ننوه عن بعض مزايا المجهر:

١- قوة تكبير الجسمية g :

يبين الشكل (3) أن طول الجسم AD ، وأن طول الخيال $A'D'$ فيكون قوة تكبير

الجسمية g

$$g = \frac{A'D'}{AD}$$

تعطى بالعلاقة:

٢- التكبير الكلي في المجهر G :

من الشكل (3) بما إن طول الجسم AD ، وأن طول الخيال النهائي $A''D''$

فتكون علاقة التكبير الكلي في المجهر بالشكل:

$$G = \frac{A''D''}{AD}$$

و ينتج من ذلك أن التكبير الكلي هو: جداء قوة تكبير العينية g_1 في قوة تكبير الجسمية g_2 و منه نكتب:

$$G = g_1 \times g_2$$

٣- المقدرة الفاصلة في المجهر ϵ :

تُعرف المقدرة الفاصلة في المجهر بأنها أصغر مسافة يمكن للمجهر أن يميزها دون التباس و تعطى بالعلاقة التالية:

$$\epsilon = \frac{0.61 \times \lambda}{n \times \sin v}$$

حيث λ : طول موجة الضوء المستخدم و تساوي في حالة الضوء الأبيض:

$$\lambda = 0.55 \mu = 0.55 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

n : قرينة الوسط الفاصل بين الجسم المفحوص والعدسة الجسمية، فإذا كان الوسط الهواء كانت $n=1$.

$\sin v$: الفتحة العددية للعدسة الجسمية المستخدمة وتكون قيمتها مدونة على نفس العدسة.

واضح من العلاقة السابقة إذا استخدم زيت الأرز فوق المحضر المدروس يزيد من n وبالتالي يخفض المقدرة الفاصلة للمجهر، أي ينقص أصغر مسافة يمكن للمجهر أن يميزها.

٣- الأجهزة والأدوات المستخدمة:

مجهر مجهز بمصباح إنارة ذو عينية ميكرومترية تكبيرها X15 تحمل مسطرة مدرجة إلى n تقسيمة كبيرة متساوية، عينية تكبيرها X5، عينية تكبيرها X10، جسيمات تكبيرها X10، X40، X100، زجاجة فحص تحمل مسطرة دقيقة (مشارية) تحوي

تقسيمات كل تقسيمة فيها تساوي 0.01mm مغطاة بساترة، محضر نباتي مغطى بساترة أو (دائرة متكاملة مكشوفة)، زجاجة فحص مثبت عليها سلك معدني، زجاجة فحص مثبت عليها شعرة، دوار لولبية.

- وصف المجهر:

يبين الشكل (6) رسماً تخطيطياً لأجزاء المجهر و يرى فيه ما يلي:

أ- المرآة M:

أحد وجهيها مستو و الآخر مقعر، و تستعمل لعكس النور الوارد عليها إلى الجسم المراد فحصه. يستعمل الوجه المستوي من المرآة إذا كان المجهر مجهزاً بمكثف ضوئي. و قد تستبدل المرآة في بعض المجاهر بمنبع ضوئي يعمل على الكهرباء يثبت مكان المرآة كما هو الحال بالنسبة للمجهر المستخدمة في هذه التجربة.

ب- المكثف الضوئي C:

وظيفته تجميع الضوء بالشدة الكافية على الجسم المفحوص حتى ترى تفاصيله بوضوح، ويجهز المكثف عادة بلولب لتحريكه، و بحظار لتضييق الحزمة الضوئية النافذة منه أو توسيعها.

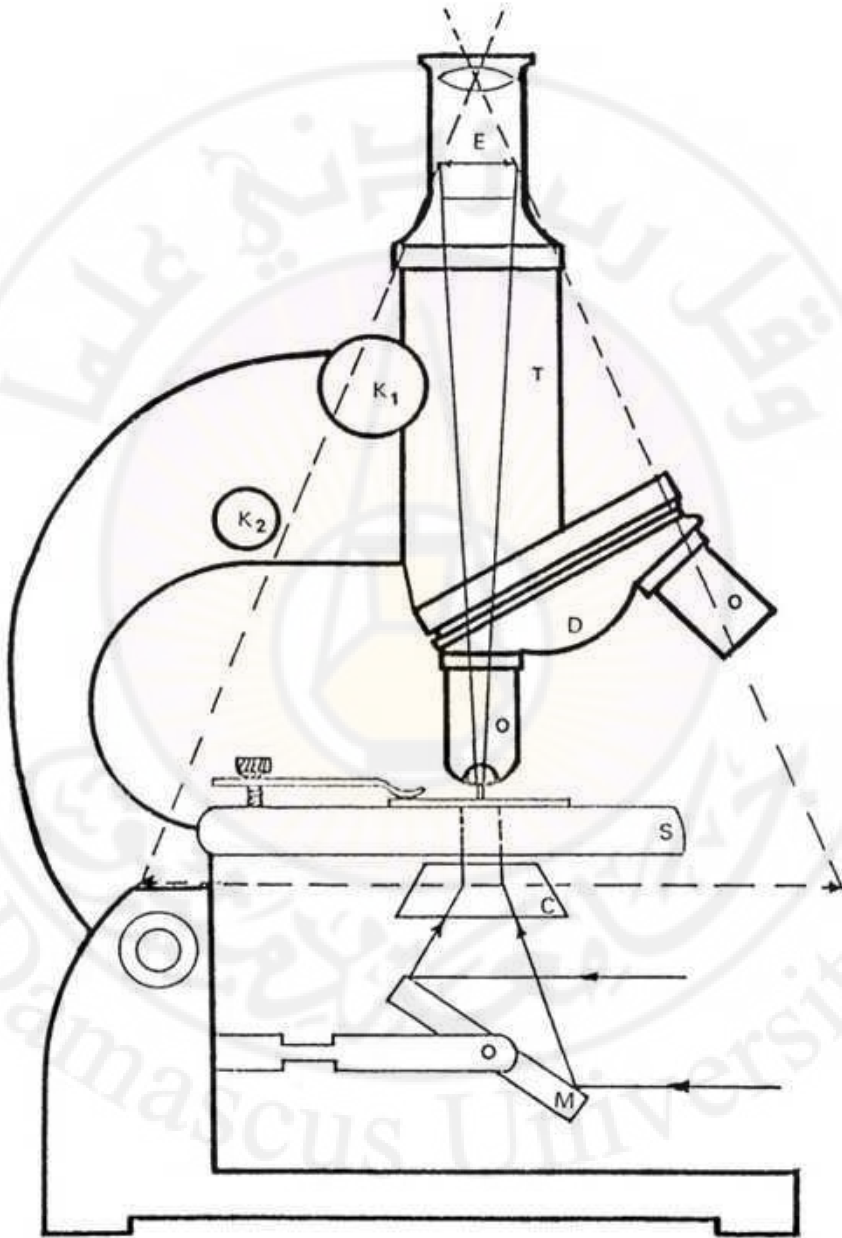
ج- منصة المجهر S:

ويوضع عليها الجسم المطلوب فحصه على زجاجة فحص ينفذ النور عن طريق فتحة في المنصة. و يثبت الجسم على المنصة بمقابض خاصة، كما يجهز المجهر بوسيلة لتحريك الجسم أفقياً بين الأمام اليمين واليسرة تحت جسمية المجهر. و يمكن قراءة مقدار كل من هذين الانتقالين على مسطرة و ورنية مثبتتين على المنصة.

د- جسمية المجهر O:

وهي عبارة عن جملة عدسات تثبت في أنبوب واحد كما ذكر أعلاه. ويجهز المجهر الحديث بأكثر من جسمية مثبتة على قرص دوار D، ويمكن جعل أي من هذه

الجسيمات فوق الجسم المراد فحصه بعملية تدوير بسيطة للقرص .



الشكل (٦): المجهر وأجزأؤه

هـ- عينية المجهر E:

و هي إما أن تكون عينية ميكرومترية أو عينية عادية ، ويجهز المجهر عادة بأكثر من عينية واحدة، ويمكن تغيير العينية بسهولة برفعها من أنبوب المجهر الموجودة فيه.

ز- أنبوب المجهر T:

يجهز المجهر عادة بلوالب تمكنا من رفع أو خفض أنبوب المجهر الحامل للعدستين الجسمية والعينية و ذلك بواسطة لولبين إحداها لولب الاحكام السريع K_1 ، والثاني لولب الاحكام البطيء K_2 ، كما هو واضح في الشكل (6)، وقد يتوضح هذان اللولبان في بعض المجاهر على محور واحد بحيث أحدهما محيطي وآخر مركزي.

٤- مراحل العمل والنتائج:

تأكد قبل كل شيء، من أنك تجيد معرفة وظائف مختلف اللولب المثبتة على المجهر، وهي لولب تحريك المكثف الضوئي، لولبا تحريك زجاجة الفحص، لولب الإحكام السريع، لولب الإحكام البطيء، تدرب على كيفية تغيير العدسة الجسمية عن طريق إدارة القرص الحامل لها D.

ونبين فيما يلي مراحل العمل باختلاف الغاية التي يراد استخدام المجهر من أجلها:

أولاً- التجارب الكيفية على المجهر:

١- ضع المحضر النباتي أو الدارة المتكاملة المكشوفة على منصة المجهر واضبط وضعه بلولبي التحريك حتى يصبح الجسم المراد فحصه في مركز فتحة المنصة وتحت جسيمة المجهر.

٢- أشعل مصباح المجهر، وحرك جملة المكثف حتى تحصل على إنارة جيدة للجسم، اضبط فتحة الحظار إذا لزم الأمر . وإذا كان الجسم المفحوص كتيماً للضوء

فاستخدم إنارة خارجية لإضاءته.

٣- اجعل العدسة الجسمية ذات التكبير X10 فوق الجسم المراد فحصه ، دور لولب الإحكام السريع حتى تقترب العدسة أكثر ما يمكن من ذلك الجسم دون أن تمسه.

٤- انظر الآن من خلال العينية X5 ودور لولب الإحكام السريع ببطء بحيث يتحرك أنبوب المجهر نحو الأعلى حتى ترى خيلاً مكبراً للجسم المفحوص. تسمى هذه الطريقة طريقة الإحكام نحو الأعلى . ارسم في دفترك شكلاً تقريبياً لما تراه.

٥- استبدل العينية بأخرى X10 ثم X15 ، هل ترى الخيال أكثر تكبيراً ؟ ماذا يمكنك أن تقول عن حقل الرؤيا، أي عن المساحة المكشوفة من الجسم المدروس. هل هي أكبر أم أصغر من الحالة السابقة؟

٦- أعد العينية العادية X5 ثم اجعل العدسة الجسمية X40 تجاه الجسم المفحوص و قرب العدسة من الجسم حتى تكاد تمسه .

٧- حاول أن تحصل على خيال الجسم مكبراً من جديد مستخدماً طريقة الإحكام نحو الأعلى و لولب الإحكام البطيء، وذلك لئلا ينكسر الجسم المفحوص. ارسم في دفترك شكلاً تقريبياً لما تراه، وسجل ملاحظاتك وبخاصة ما يتعلق بمقدار التكبير ومساحة الحقل المكشوف من الجسم المرئي في العينية .

ثالثاً- التجارب الكمية على المجهر:

نستطيع أن نستخدم المجهر للقيام بتجارب كمية، منها أبعاد الأجسام الصغيرة كالجراثيم، أو لفحص المقاطع النباتية أو الحيوانية وغيرها. وسوف نستخدم المجهر لقياس قطر سلك معدني مثبت على زجاجة فحص وقطر شعرة أيضاً، ونتحقق من نتيجة القياس باستخدام الدوارة اللولبية .

من أجل ذلك نتبع الخطوات التالية:

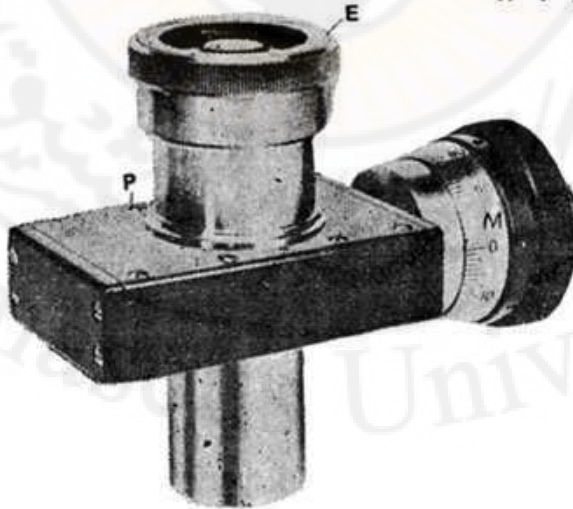
١- ضع زجاجة المسطرة الدقيقة (المعشارية) على منصة المجهر . أحكم وضع

الزجاجة حتى تصبح المسطرة الدقيقة فوق فتحة المنصة تماماً .

٢- اجعل العدسة الجسمية X10 فوق زجاجة المسطرة الدقيقة، وضع العينية الميكرومترية في مكانها أعلى المجهر . انظر في العينية ولاحظ أنها مقسمة إلى (n=8) تقسيمة كبيرة أو (n=10)، إن العينية المذكورة لها لولب متصل بها فإذا أدير هذا اللولب يتحرك الخطان المتصالبان، وكلما دار اللولب دورة كاملة انتقل الخطان المتصالبان مسافة تقسيمة كبيرة واحدة من تقسيمات العينية.

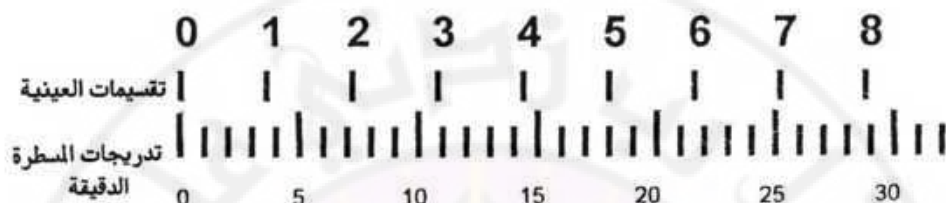
ولما كان قرص اللولب الدوار الذي يدير الخطين مقسماً إلى مئة تقسيمة، فإن باستطاعتنا أن نقيس بفضل 0.01 من التقسيمة الكبيرة التي تبدو في العينية، كما هو مبين في الشكل (7)، وقد أُشير في هذا الشكل إلى جملة عدستي العينية بالرمز E، وإلى مكان الصفيحة الزجاجية التي تحمل الخطين المتصالبين بـ P، وإلى قرص اللولب الدوار بـ M.

٣- حاول أن تشكل خيلاً واضحاً لتقسيمات زجاجة المسطرة الدقيقة (العشارية) وذلك بطريقة الإحكام نحو الأعلى، أي بتقريب الجسيمة حتى تكاد تمس زجاجة المسطرة الدقيقة ثم رفعها ببطء.



الشكل (٧): العدسة العينية الميكرومترية و قرص اللولب المتصل بها

٤- دور العينية الكرومترية حتى تصبح تقسيماتها موازية لتقسيمات المسطرة الدقيقة (المعشارية)، ثم استخدم لولبي تحريك المنصة حتى تجعل بداية تقسيمات المسطرة الدقيقة منطبقة على بداية تقسيمات العينية الكرومترية، كما هو مبين في الشكل (8) .



الشكل (٨): تحقيق التوازي بين تقسيمات العينية الكرومترية وتقسيمات المسطرة الدقيقة

٥- أوجد عدد التقسيمات الصغيرة a من المسطرة الدقيقة (المعشارية) والتي تعادل كل منها 0.01 mm التي تغطي كامل تدريجات المسطرة العينية الميكرومترية. و لما كانت كل تقسيمة صغيرة من المسطرة الدقيقة تساوي 0.01 mm ، فإنه يمكن استنتاج طول تدرج العينية الكرومترية كاملاً وهو $(0.01 a) \text{ mm}$ ومنه يكون طول التقسيمة الكبيرة الواحدة من العينية وليكن U مقداراً بالمليمتر هو:

$$U = \left(\frac{1}{n} \times 0.01 \times a \right) \text{ mm}$$

أما الارتفاع المطلق في تعيين a هو ربع التقسيمة من كل طرف فيكون $\Delta a = 0.5$ من التقسيمة الصغيرة الواحدة من تقسيمات المسطرة الدقيقة، أما الارتفاع المطلق في U هو:

$$\Delta U = \frac{\Delta a}{8} \times 0.01 = 0.6 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

٦- ضع الآن الزجاج الحاملة للسلك المعدني مكان زجاجة المسطرة الدقيقة. ثم شك خيلاً واضحاً للسلك، أدر العينية في مكانها حتى تصبح مسطرتها عمودية على السلك .

أوجد عدد التقسيمات التي يغطيها خيال قطر السلك بوحدة هي طول التقسيمة

الكبيرة من العينية المكرمتية و اجزائها وذلك بإدارة لولب قرص العينية لحساب الأجزاء
كما سبق، وليكن هذا العدد b .

٧- أعد قياس قطر السلك في مواضع مختلفة منه لا تقل عن خمس مرات وخذ
وسطي هذه التقسيمات و لتكن $\bar{b}$.

٨- رتب النتائج في الجدول أدناه.

٩- استنتج قطر السلك x من علاقة التناسب التالية:

$$x = \left(\frac{1}{n} \times 0.01a \times b \right) \text{ mm} \quad (1)$$

و لما كانت $n=8$ للعينية التي لدينا يكون:

$$x = \left(\frac{1}{8} \times 0.01a \times \bar{b} \right) \text{ mm}$$

و يمكن حساب قطر السلك من العلاقة:

$$x = \bar{b}.u \text{ mm}$$

قارن النتيجة بما تجده باستخدام الدائرة اللولبية. هل تجد تطابقاً بين النتيجةين.

a = تقسيمة		U = mm
رقم التجربة	b_i	Δb_i
1		
2		
3		
4		
5		
القيمة الوسطية	$\bar{b} =$	$\Delta \bar{b}$

١٠- احسب الارتياحين المطلق والنسبي في x بطريقة تقدير الارتياح في القياس غير

المباشر وقدم النتيجة النهائية بالشكل:

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

و كذلك يمكن أن تقارن وسطي الفروق السابقة Δb و بين الارتياح المطلق في المسطرة العينية و هي نصف التقسيمة الصغيرة منها أي 0.06 من الواحدة U . نعتبر أن الارتياح المطلق Δb هو أكبر من هذين المقدارين.

١١- أعد المراحل السابقة لقياس قطر الشعرة في عدة مواضع على أن لا تقل عن خمس تجارب و سجل النتائج في جدول مماثل.

١٢- احسب التكبير الكلي في المجهر المستخدم من معرفتك لتكبير العدستين العينية و الجسمية.

١٣- احسب المقدرة الفاصلة للمجهر ϵ بعد معرفتك الفتحة العددية للعدسة الجسمية و المدونة عليها، و بافتراض الوسط الفاصل بين العينية والجسمية هو الهواء تعطى طول موجة الضوء المستخدم $\lambda = 0.55 \mu$

* * *

المطياف وشبكة الانعراج

Spectroscope & Diffraction Grating

١- الغاية من التجربة:

- التعرف على المطياف واستخدامه لأغراض التحليل الطيفي.
- قياس الأطوال الموجية للخطوط الطيفية العائدة لمصباح زئبق.

٢- التمهيد النظري:

تبين الأشكال (1) (2) (3) مقطعاً في المطياف الذي يستخدم لتحليل الضوء الصادرة عن المصادر الضوئية كمصباح الزئبق مثلاً. وهو يتألف من جزأين أساسيين هما المجمّع collimator والمنظار Telescope. في إحدى نهايتي المجمّع شق slit يمكن التحكم بعرضه، وفي الطرف الآخر منه عدسة. فإذا كان الشق في محرق العدسة وأنير بمنبع ضوئي فإن العدسة تولد حزمة ضوئية متوازية. ترد الحزمة المتوازية على شبكة انعراج مؤلفة من عدد من الحزوز يفصل بين كل حزين منها مسافة d .

تحلل شبكة الانعراج الضوء الوارد عليها بشكل ناظمي وترى الخطوط الطيفية العائدة للمنبع الضوئي المدروس من خلال النظارة إلى يمين الاتجاه الذي وردت منه الحزمة على الشبكة وكذلك إلى يسار ذلك الاتجاه ويسمى الطيف الناتج طيف المرتبة الأولى وذلك لأن الطيف نفسه يتكرر ولكن بشدة أضعف إذا تابعنا تدوير النظارة إلى اليمين أو إلى اليسار. إن قياس الزوايا التي تنحرف بها الخطوط الطيفية عن الاتجاه الذي وردت منه الحزمة على الشبكة يسمح بقياس طول موجة الخط الذي نرصده في المنظار وذلك من خلال العلاقة:

$$\sin \theta_m = m \frac{\lambda}{d} \quad (1)$$

حيث تمثل: m رتبة الطيف.

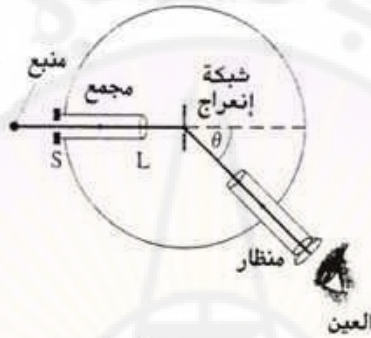
λ طول موجة الخط المرصود .

θ_m الزاوية التي يصنعها الخط مع اتجاه الضوء الوارد على الشبكة.

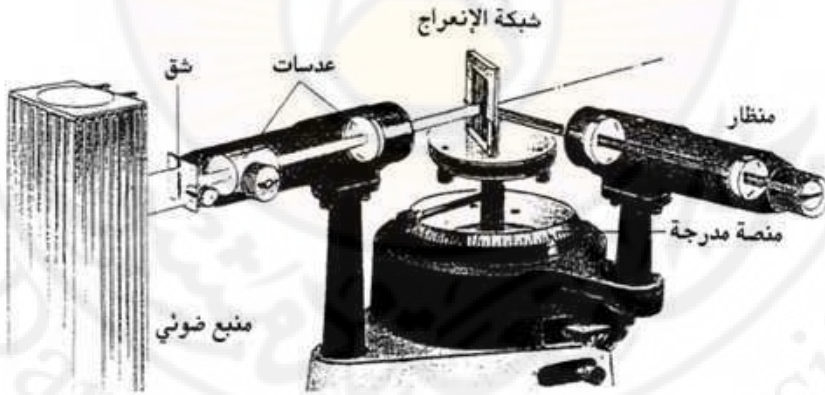
ومنه نجد:

$$\lambda = \frac{d \sin \theta_m}{m}$$

(2)



الشكل رقم (١): المطياف وأجزائه



الشكل رقم (٢): منظر عام للمطياف وأجزائه

ويبين الشكل (4) كيف تتقوى الموجات الصادرة من حزم شبكة الانعراج إلى يمين الشبكة وأنه يكفي لذلك أن يكون فرق المسير $d \sin \theta$ مساوياً عدداً صحيحاً من طول الموجة λ ومن هنا نشأت العلاقة (1) أعلاه .

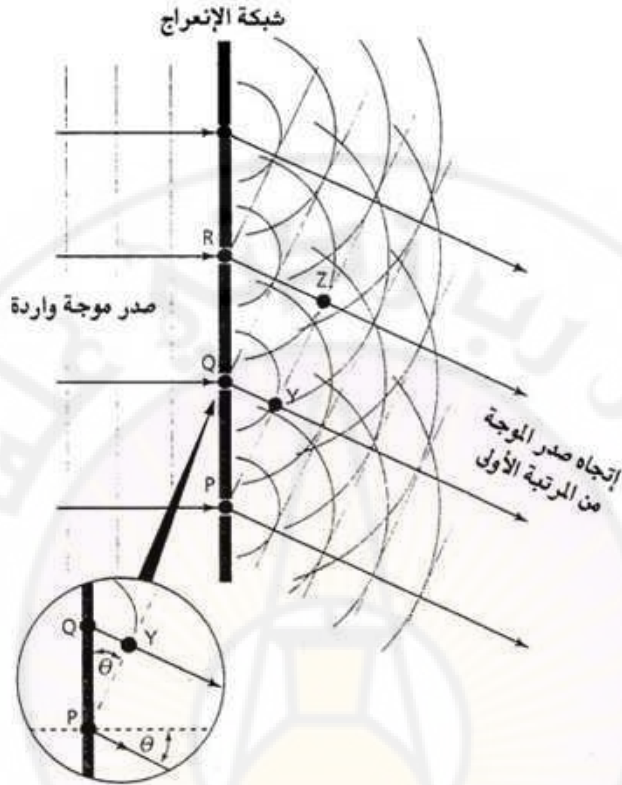


الشكل رقم (٣): مقطع عرضاني في المطياف وأجزائه

ونورد في الجدول التالي الأطوال الموجية للخطوط الصادرة عن مصباح الزئبق

وصفاتها:

لون الخط الطيفي	شدة الإضاءة	طول الموجة مقدراً بالنانو متر (nm)
بنفسجي 1	ضعيفة	404.5
بنفسجي 2	ضعيفة جداً	407.8
أزرق	شديدة	435.8
أخضر مزرق	ضعيفة جداً	491.6
أخضر مصفر	شديدة	546.1
أصفر 1	شديدة	577.0
أصفر 2	شديدة	479.1



الشكل (٤): تشكل صدر الموجة من المرتبة الأولى

مع ملاحظة ما يعادل النانو متر من المتر والمليمتر:

$$1\text{nm} = 10^{-9}\text{m} = 10^{-6}\text{mm} \quad (3)$$

فإذا ما علمت d ، تفيد العلاقة (1) في قياس الأطوال الموجية للأضواء البسيطة التي تتركب منها الأضواء المركبة، وهي أطوال مميزة للعنصر المدروس. وعلى هذا الأساس تستخدم أجهزة التحليل الطيفي للكشف عن العناصر من خلال دراسة أطيافها.

٣- الأجهزة والأدوات المستخدمة:

- مطياف (Spectroscope).
- شبكة انعراج (Diffraction Grating).

- مصباح زئبق .

- منبع تغذية لتشغيل مصباح الزئبق.

- حامل لمصباح الزئبق.

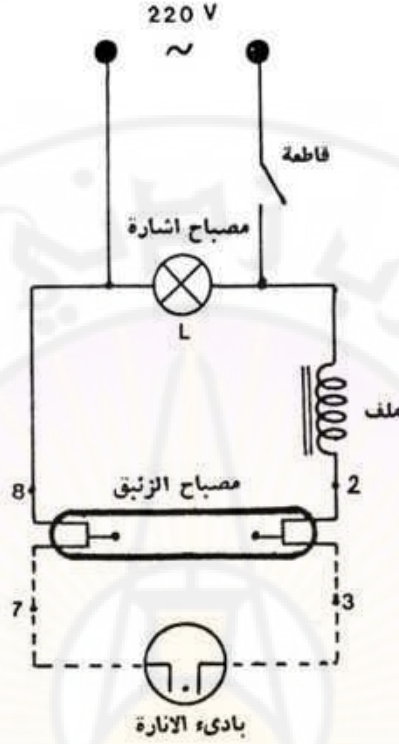
أ- وصف شبكة الانعراج:

تتألف شبكة الانعراج من صفيحة عاتمة رقيقة تحتوي على شقوق أو حزوز متقاربة منفذة للضوء. ويبلغ عدد هذه الحزوز في شبكتنا 570 حزاً في المليمتر الواحد، بمعنى أن المسافة d بين مركز شق ومركز الشق الذي يليه تساوي $\frac{1}{570}$ من المليمتر. وتقوم شبكة الانعراج بتبديد الضوء الوارد عليها فتفعل بهذا فعل الموشور من حيث تحليل الضوء المركب إلى الأضواء البسيطة التي يتركب منها.

ب- وصف مصباح الزئبق ومنبع تغذيته:

تظهر في الشكل (5) دارة منبع التغذية وكيفية وصلة بمصباح الزئبق . ولدى إغلاق القاطعة يضيء مصباح الإشارة ويمر التيار عبر الملف إلى سلك التسخين الأيمن في مصباح الزئبق ثم يعود إلى بادئ الإنارة (Starter) ومنه إلى سلك التسخين الأيسر فمأخذ تيار المدينة .

فبإغلاق القاطعة يطبق فرق الكمون مقداره ٢٢٠ فولطاً بين طرفي بادئ الإنارة الذي يحوي على الأرغون، فتحصل حادثة انفراغ فيه ويسخن تماس بادئ الإنارة فتغلق دارته ويمر التيار عبر سللي تسخين مصباح الزئبق فيتبخر الزئبق، ثم لا يلبث أن يبرد تماس بادئ الإنارة فيقطع الدارة ويتولد فرق كمون عال من انقطاع التيار في الملف يساعد في قذف مصباح الزئبق، وعندها يمر التيار عبر مصباح الزئبق ويبطل عمل بادئ الإنارة. ويثبت مصباح الزئبق على قاعدة فيها تسعة دبابيس ولا يستخدم من هذه الدبابيس إلا ذات الأرقام 2, 3, 7, 8 أما باقي الدبابيس فتفيد في تثبيت المصباح تثبيتاً جيداً على قاعدته .



الشكل (٥): منبع تغذية مصباح الزئبق

٤- مراحل العمل والنتائج:

١- انظر من خلال النظارة إلى جسم بعيد، وازلق العينية ضمن أنبوب النظارة باستخدام اللولب الخاص بذلك حتى ترى خيال الجسم البعيد في أوضح صورة. نقول عندها إن النظارة أحكمت على اللانهاية. فإذا وردتها حزمة متوازية تجمعت هذه الحزمة في محرقها حيث يتوضع خطان متصالبان يساعدان في تركيز النظارة على خط طيفي محدد تمهيداً لقياس الزاوية θ العائدة له .

٢- انظر إلى شق المجمع من خلال النظارة . ازلق الأنبوب الحامل للشق ضمن المجمع حتى ترى خيلاً واضحاً له في النظارة فيكون بذلك قد أخذ موضعه في محرق

عدسة المجمع. ثبت الأنبوب الحامل للشق في هذا الموضع باستخدام اللولب المعد لذلك.

٣- شغل المنبع المغذي لمصباح الزئبق. واجعل المصباح أمام شق المجمع. اختر عرضاً مناسباً للشق وراقبه من خلال النظارة. اضبط وضع المصباح بحيث يبدو الشق في أشد إضاءة له. أدر النظارة بحيث ينطبق تصالب الخطين على الشق. سجل الزاوية θ_0 التي تقرأها على قرص المطياف والورنية المرتبطة به (يمكنك جعل $\theta_0 = 0$ إذا أردت) لاحظ أن قرص المطياف مقسم إلى درجات وأنصاف الدرجات وأن الورنية التي تتحرك حول القرص هي بحيث تعطي الدقائق وهي مقسمة إلى 30 جزءاً. ونميز في قراءتها حالات ثلاث:

أ- صفر الورنية منطبق تماماً على تدريج من تدريجات القرص: في هذه الحالة يكفي قراءة تدريجات القرص وحسب مثلاً $20^\circ 0'$ كما هو واضح في الشكل (6 - أ).

ب- صفر الورنية يقع بين خط يمثل درجة معينة وبين خط يمثل نصف درجة: في هذه الحالة نسجل الدرجة التي تسبق صفر الورنية ونقدر المسافة الفاصلة بين موضع صفر الورنية والخط الذي يسبقه على القرص فإذا كان قريباً من النصف بحثنا عن محاذاة خط الورنية رقم 15 أو جواره مع خط من خطوط القرص، فإذا كان الخط المحاذي 24 مثلاً وكانت الدرجة التي تسبق صفر الورنية 20° كانت القراءة المقابلة: $20^\circ 24'$ كما هو واضح في الشكل (6 - ب).

ج- صفر الورنية يقع بين خط يمثل نصف درجة وخط يمثل درجة. في هذه الحالة نسجل قراءة القرص التي تسبق الصفر ولتكن $20^\circ 30'$ مثلاً ونضيف لها الجزء الفاصل بين خط نصف الدرجة وصفر الورنية الذي نقدره أولاً ونبحث عن محاذاة خط من خطوط الورنية مع خط من خطوط القرص فإذا كان تقديرنا مثلاً هو نصف المسافة بحثنا حول التدريج 15 على الورنية عن محاذاة خط من خطوط الورنية مع خط من خطوط القرص. فإذا حاذى الخط 15 من الورنية مثلاً خط القرص كانت قراءتنا:

$$20^{\circ} 30' + 15' = 20^{\circ} 45'$$

كما هو واضح في الشكل (6 - ج) . وتظهر في الشكل (6) أدناه هذه الأوضاع

الثلاث :



الشكل (٦) : قراءة الورنية والقرص

٤- أدر النظارة يميناً وراقب الخطوط الطيفية من المرتبة الأولى $m = +1$ ، تابع التدوير يميناً وراقب الخطوط الطيفية من المرتبة الثانية $m = +2$ ، لاحظ أن شدة إضاءة هذه الخطوط أضعف من سابقتها .

٥- أدر النظارة يساراً وراقب الخطوط الطيفية من المرتبة الأولى $m = -1$ ، تابع التدوير يساراً وراقب الخطوط الطيفية من المرتبة الثانية $m = -2$ ، لاحظ هنا أيضاً أن شدة إضاءة هذه الخطوط أضعف من سابقتها .

٦- عد إلى طيف المرتبة الأولى على اليمين وسجل في الجدول أدناه لون كل خط طيفي وحدد موقعه الزاوي تمهيداً لحساب طول موجته من العلاقة (2) .

٧- سجل نتائج القياس في الجدول أدناه، ودون ملاحظاتك حول شدة كل خط من الخطوط .

٨- قارن نتائجك بالقيم المسجلة في التمهيد النظري وفسر أي خلاف فيما بينها.

٩- استخدم جدولاً مماثلاً لطيف المرتبة الثانية $m=2$ ، لاحظ هنا أن قانون حساب طول

الموجة هو:

$$\lambda = \frac{d \sin \theta_m}{2}$$

ثم سجل النتائج في الجدول .

$\theta_0 =$		$m = 1$		$d = \frac{1}{570} \times 10^6 \text{ nm}$	
لون الخط الطيفي	شدة الإضاءة	θ_i	$\theta = \theta_i - \theta_0 $	$\sin \theta$	$\lambda = d \sin \theta$
بنفسجي 1	ضعيفة				
بنفسجي 2	ضعيفة جداً				
أزرق	شديدة				
أخضر مزرق	ضعيفة جداً				
أخضر مصفر	شديدة				
أصفر 1	شديدة				
أصفر 2	شديدة				

١٠- لاحظ أنه يمكنك ضبط θ_0 كي تكون مساوية للصفر، حاول ذلك؟

* * *

الليزر و إنعراج الضوء حول شق وحيد

Laser & Single – Slit Diffraction

١- الغاية من التجربة:

- التعرف على صفات الليزر.
- استخدام ضوء الليزر لتوليد أهداب الانعراج حول شق ضيق.
- الإفادة من ظواهر الانعراج حول شق لقياس طول موجة ضوء.
- الإفادة من ظواهر الانعراج حول حاجز لقياس قطر شعرة أو سلك.

٢- المبدأ النظري:

تشترك كلمة ليزر من الجملة التالية باللغة الانكليزية التي اختيرت منها الأحرف الأولى لتشكيل كلمة Laser و هذه الجملة هي:

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

يحدث في المصادر الليزرية تضخيم للإشعاع بالإفادة من طريقة الإصدار المحثوث للضوء . و يتصف ضوء الليزر الناتج بصفات هامة هي:

أ- وحدانية اللون monochromatic

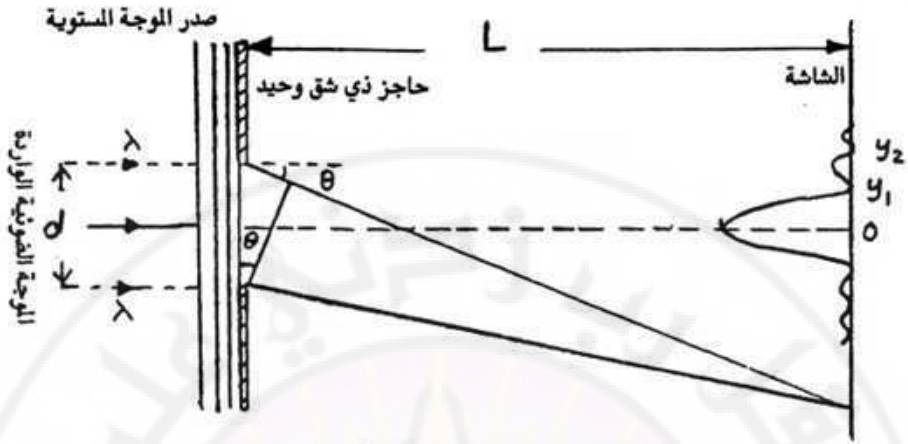
ب- الشدة العالية high intensity

ج- الترابط coherence

وتجعل هذه الصفات مجتمعة دراسة حوادث التداخل Interference والانعراج Diffraction مخبرياً أمراً ميسوراً.

نفترض أن حزمة ليزرية طول موجة ضوئها λ ترد ناظماً على شق عرضه d كما هو مبين في الشكل (1) .

سننظر في ما يحدث لهذه الحزمة عند حاجز يبعد مسافة L عن مستوي الشق .



الشكل (١): إنعراج حزمة حول شق وحيد

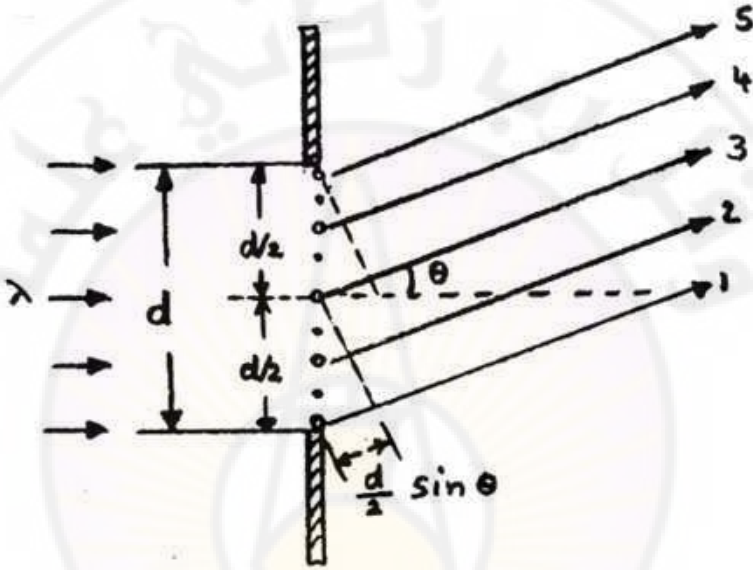
لننظر في الموجات الصادرة من أجزاء الشق المختلفة، فحسب مبدأ هويغنز Huygens' principle فإن كل جزء من الشق يعد منبعاً لموجات ثانوية تنتشر خلف الشق و بالتالي فإن الضوء الصادر من أي جزء منه يمكن أن يتداخل مع الضوء الصادر من أجزائه الأخرى و تعتمد الشدة التي نلاحظها على الشاشة في الاتجاه θ الذي ننظر منه.

من المناسب لإبراز ظواهر الإنعراج أن ننظر إلى الشق على أنه مؤلف من نصفين بحسب الشكل (2).

فالموجات التي تصدر من جميع نقاط الشق سواء من النصف العلوي أو من النصف السفلي تكون متفقة في الطور أصلاً لأنها واقعة على صدر موجة الليزر المستوية . لننظر في الموجات الصادرة بالاتجاهين 1 و 3 أي من الجزء الذي يلي مباشرة أسفل الشق ومن الجزء الواقع فوق منتصف الشق مباشرة .

إن ثمة فرق مسير بين هذين الشعاعين اللذين سيلتقيان عند الشاشة البعيدة، و يساوي فرق المسير هذا كما هو واضح من الشكل $\Delta = \frac{d}{2} \sin \theta$ حيث ترمز d إلى عرض الشق . و كذلك فرق المسير بين الشعاعين 2 و 4 ... و إذا كان فرق المسير هذا يساوي π

أو 180° فإن تلاقى الموجتين يقود إلى تداخل هدام بينهما وبالتالي يكون موضع التلاقي عند الشاشة موضع هدب مظلم. وينطبق هذا الكلام على كل شعاعين صادريين عن الشق الذي تفصل بينهما مسافة تساوي $\frac{d}{2}$.



الشكل (٢): استنتاج العلاقة الأساسية لإنعراج الضوء حول شق وحيد

وهكذا فإن الموجات الصادرة من الجزء العلوي للشق تتداخل تداخلاً هداماً مع الموجات الصادرة عن نصفه السفلي عندما يكون:

$$\frac{d}{2} \sin \theta = \frac{\lambda}{2}$$

$$\sin \theta = \frac{\lambda}{d} \quad \text{أو} \quad \text{عندما يكون:}$$

و إذا جزأنا الشق إلى أربعة أجزاء بدلاً من جزأين فإننا نجد بأسلوب مماثل أنه يحصل لدينا تداخل هدام على الشاشة عندما يكون:

$$\sin \theta = \frac{2\lambda}{d}$$

و إذا جزأنا الشق إلى ستة أجزاء فإنّ التداخل الهدام على الشاشة يحصل عندما يكون:

$$\sin \theta = \frac{3 \lambda}{d}$$

و في الحالة العامة نكتب أنّ شرط التداخل الهدام على الشاشة هو أن يكون:

$$\sin \theta = n \frac{\lambda}{d} \quad (1)$$

و إذا لاحظنا أنّ θ عادة تكون صغيرة و بالتالي يمكننا إلباس جيبها بظلها و إذا فرضنا y بعد موضع الهدب المظلم عند النقطة O الظاهرة في الشكل (1) أمكننا أن نكتب:

$$\sin \theta \approx \tan \theta = \frac{y}{L} = n \frac{\lambda}{d}$$

و أخيراً نجد مواضع الأهداب المظلمة على الشاشة من العلاقة:

$$y = n \frac{L}{d} \lambda \quad (n = \pm 1, \pm 2, \dots) \quad (2)$$

فإذا علمت L و λ أمكننا استنتاج d عرض الشق، و إذا علمت L و d أمكننا استنتاج λ و هذا ما سنفعله تجريبياً.

٣- الأجهزة و الأدوات المستخدمة:

- شريحة زجاجية تحمل شريطاً معتماً عرضه $d=0.2 \text{ mm}$ و شعرة و سلك رفيع.
- منبع ليزر هليوم نيون استطاعته 1 mW و طول موجته $\lambda=632.8 \text{ nm}$ ، من صنع شركة فيفي طراز 13662.93.
- جسر ضوئي، حوامل متنوعة، شاشة، متر معدني .

- وصف جهاز الليزر:

يتألف جهاز الليزر من أنبوب تفريغ مملوء بغازي الهليوم والنيون بنسبة محددة تحت ضغط منخفض . ويسد الأنبوب من طرفيه بنافذين زجاجيتين مائلتين بزاوية بروستر ليكون الشعاع البارز مستقطباً خطياً . والأنبوب موضوع بين مرآتين الأولى محدبة

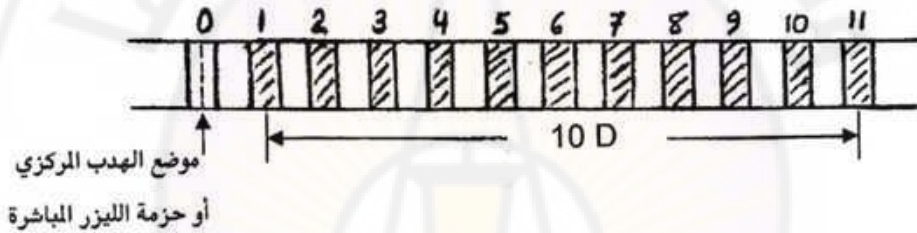
يتصف ضوء الليزر بالشدة العالية وبالاتسار دون تباعد يذكر مما يجعله أداة مخبرية جيدة للكثير من التجارب في الضوء.

أما استطاعة الشعاع البارز من جهاز الليزر هي 1mW ، فيصدر عنه بشكل متواصل و هو أحمر اللون .

٤- مراحل العمل والنتائج:

أ- قياس طول موجة ضوء الليزر:

بالعودة إلى العلاقة (2) يمكننا أن نكتب بإبدال n ب 1 ثم ب 11 مايلي :



الشكل (٣): توزيع الأهداب المضيئة و المظلمة بدءً من الهدب المركزي

$$y_{11} = 11 \frac{L}{d} \lambda$$

$$y_1 = 1 \frac{L}{d} \lambda$$

$$y_{11} - y_1 = 10 \frac{L}{d} \lambda$$

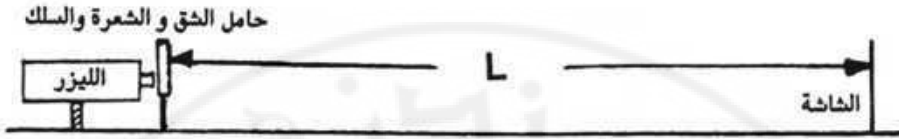
و منه :

$$\lambda = \frac{d}{10L} (y_{11} - y_1) \quad (3)$$

فيمكننا قياس λ عن طريق العلاقة (3) بقياس المسافة الفاصلة بين مركزي الهدبين المظلمين الأول والحادي عشر، بحسب الشكل (3). ومن ثم نطبق العلاقة (3) .

١- شغل جهاز الليزر واحذر أن تنظر في الحزمة الضوئية الصادرة عنه لأن في ذلك

خطراً على العين. حدد موضع سقوط البقعة الضوئية على شاشة تبعد مسافة تقارب $L=1000\text{mm}$ عن مصدر الضوء، كما مبين في الشكل (4).



الشكل (4): الترتيب التجريبي للأجهزة

- ٢- ضع الإطار الحامل للحاجز الذي يأخذ شكل شق مستطيل وحيد عرضه $d=0.2\text{mm}$ بحيث يعترض مسير الحزمة الليزرية.
- ٣- لاحظ تشكل أهداب الإنعراج على الشاشة.
- ٤- ثبت ورقة مليمترية على الشاشة وضع علامة عند مراكز الأهداب المظلمة بقلم رصاص.
- ٥- أطفئ جهاز الليزر وقس البعد الهديبي من قياس المسافة التي تحصر أحد عشر هدباً مظلماً وذلك من العلاقة (3).
- ٦- أعد التجربة بأخذك L مساوية 800mm ثم 1100mm ، واجعل الشق في طريق حزمة الليزر قريباً منه.
- ٧- قس طول الموجة لشعاع الليزر المستخدم وذلك من العلاقة (3) التي يمكن كتابتهما بالشكل:

$$\lambda = \frac{D.d}{L} \quad (4)$$

- ٨- سجل نتائج القياس في الجدول أدناه.
- ٩- قارن قيمة λ التي تجدها مع قيمتها المعطاة لضوء ليزر الهليوم نيون الأحمر.
- ١٠- احسب طول الموجة لشعاع الليزر الوسطي $\bar{\lambda}$ ، و الارتياب المطلق فيه $|\Delta\lambda|$ ثم قدم النتيجة بالصيغة

$$\lambda = (\bar{\lambda} \pm \Delta\lambda) \text{ mm} \quad (5)$$

لاحظ تجانس الواحدات و أن: $1\text{mm} = 10^3 \mu\text{m} = 10^7 \text{\AA}$
 وكذلك: أنغستروم $1\text{nm} = 10^{-9} \text{m} = 10 \text{\AA}$

عرض الشق				حساب طول موجة شعاع الليزر		
L (mm)	y_{11}	y_1	$n=10$	$D = \frac{y_{11} - y_1}{n}$ (mm)	$\lambda = \frac{D \cdot d}{L}$ (mm)	$ \Delta\lambda $ (mm)
800						
1000						
1100						
الوسطي						

ملاحظات:

- ١- يمكننا عد أحد عشر هدباً مضيئاً بدلاً من أحد عشر هدباً مظلماً نظراً لتساوي أبعاد الأهداب المضيئة و أبعاد الأهداب المظلمة.
- ٢- تبقى العلاقة (3) صحيحة إذا حلّ محل الشق حاجز كتيم له نفس العرض.
- ٣- إذا تعذر رؤية أحد عشر هدباً مضيئاً على الشاشة فيمكن الإكتفاء بعدد أقل. فإذا أمكن مثلاً رؤية ستة أهداب فقط الأول حتى السادس آلت العلاقة (3) إلى:

$$\lambda = \frac{d}{5L} (y_6 - y_1) \quad (6)$$

ب- قياس قطر شعرة أو سلك:

يمكننا كتابة العلاقة (3) بالشكل:

$$d = 10 \frac{L}{(y_{11} - y_1)} \lambda \quad (7)$$

أو:

$$d = \frac{L \lambda}{D}$$

حيث: $D = \frac{y_{11} - y_1}{n}$ ، $n=10$

وبالتالي يمكننا استنتاج قطر السلك أو الشعرة التي تعترض طريق حزمة الليزر من العلاقة (7) .

١- اجعل المسافة L مساوية 800 ثم 1000 ثم 1100 ملمترًا وادرس أهداب الإنعراج على الشاشة باستخدام ورقة مليمتريّة و وضع آثار الأهداب عليها في كل مرة.

٢- سجل نتائج القياس في الجدول أدناه .

٣- قارن نتيجتك بما تعلمه حول قطر الشعرة من قياستك باستخدام الدوّارة اللولبية .

٤- احسب الارتياحين المطلق و النسبي المرتكبين في قطر الشعرة .

٥- أعد التجربة على قياس قطر سلك ورتب النتائج في جدول مماثل، واحسب الارتياح المرتكب في قطر السلك بطريقة حساب الارتياح في القياس غير المباشر .

$\lambda = 632.8\text{nm} = 632.8 \times 10^{-6}\text{mm}$					قياس قطر سلك أو شعرة	
L (mm)	y_{11}	y_1	n=10	$D = \frac{y_{11} - y_1}{n}$ (mm)	$d = \frac{L\lambda}{D}$ (mm)	$ \Delta d $ (mm)
800						
1000						
1100						
الوسطي						

٦- قارن نتائج قياسك لقطر السلك مع القياس المباشر له باستخدام الدوّارة اللولبية .

* * *



تجارب في الفيزياء الحديثة

الخلايا الشمسية

راسم الاهتزاز المهبطي

منحنيات ليساجو

الثنائي نصف الناقل

الترانزستور

النشاط الإشعاعي

الخلايا الشمسية

Solar cells

١- الغاية من التجربة:

- التعرف على الخلايا الشمسية ومبدأ عملها وطريقة تجميعها لتكوين اللوحات الشمسية.

- التعرف على المميزات الطيفية للخلايا الشمسية.

- التعرف على طرق الاستثمار العملية للوحات الشمسية.

- دراسة مميزات الجهد والتيار في ظروف الإنارة المختلفة للخلايا الشمسية.

٢- التمهيد النظري:

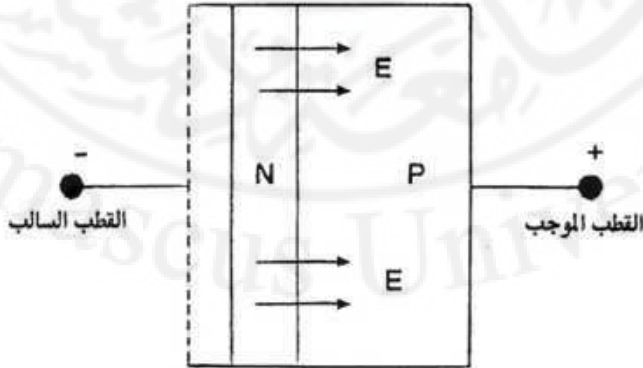
أ- بنية الخلية الشمسية:

تتألف الخلية الشمسية كما هو واضح في الشكل (1) من ثلاثة أجزاء هي:

١- قاعدة من السليكون نوع P تبلغ سماكتها بضع مئات من الميكرونات تؤلف القطب الموجب للخلية.

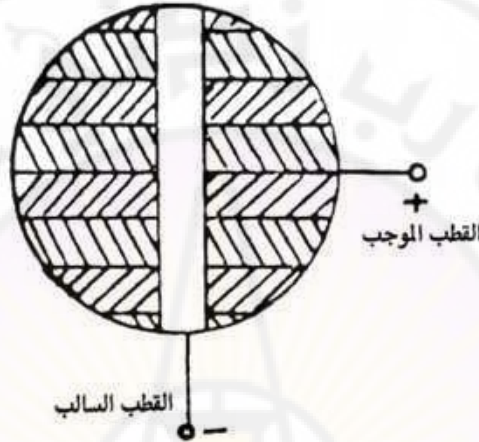
٢- طبقة رقيقة من السليكون نوع N لا تزيد سماكتها عن بضع ميكرونات.

٣- شبكة معدنية مترسبة على طبقة السليكون نوع N وهي بمثابة القطب السالب للخلية.



الشكل (١): مقطع في خلية شمسية

وغالباً ما تأخذ الخلية الشمسية شكلاً دائرياً، ويظهر في الشكل (2) مشهد أمامي لخلية شمسية تبدو بوضوح الشبكة المعدنية المترسبة عليها والتي تؤلف قطبها السالب.

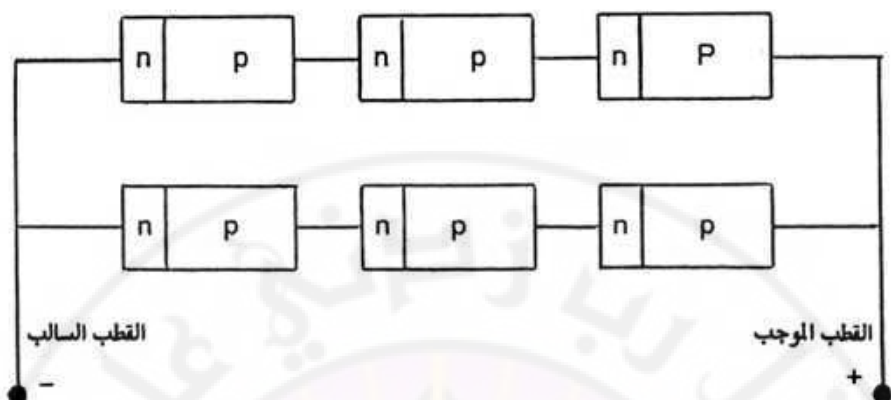


الشكل (٢): منظر أمامي لخلية شمسية تظهر فيه الشبكة المعدنية

ب- كيف تحوّل الخلية الشمسية ضوء الشمس مباشرة إلى كهرباء:

ترد الفوتونات الضوئية على سطح الخلية فتخترق طبقة السليكون الرقيقة نوع N وتبلغ منطقة الوصلة بين طبقة السليكون نوع P والسليكون نوع N وهناك تحرر أزواج الإلكترونات وثقوب (Holes). وتسلك الثقوب سلوك شحنة موجبة فتتحرك باتجاه الحقل الكهربائي الداخلي E ، (انظر التمهيد النظري لتجربة الثنائي نصف الناقل) أما الإلكترونات فتتحرك باتجاه معاكس نحو الشبكة المعدنية حيث تقوم بتجميعها وتميرها في الدارة الخارجية . وتزداد شدة التيار بازدياد شدة الضوء الوارد على الخلية.

ويمكن جمع الخلايا مع بعضها على التسلسل لتعطي جهداً كهربائياً عالياً ، كما يمكن جمع الخلايا على التفرع لتوليد تيار كهربائي عال بدرجة كافية . وغالباً ما تُستخدم الطريقتان معاً على النحو المبين في الشكل (3) وتؤلف المجموعة عندها لوحة شمسية (Solar panel).



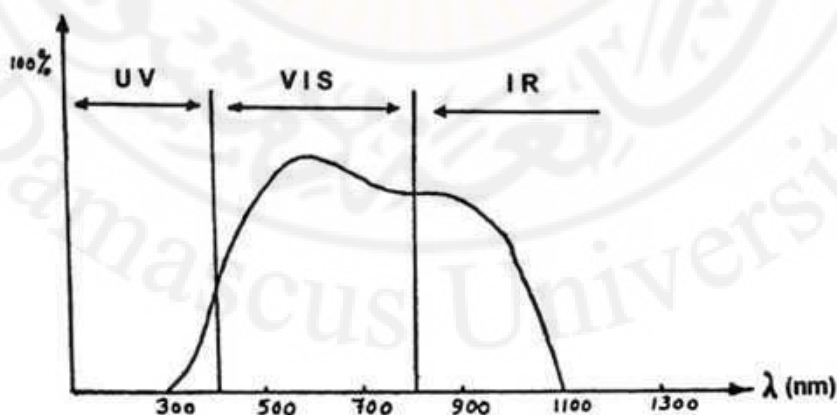
الشكل (٣): تجميع الخلايا على التسلسل وعلى التفرع

ج- مميزات الخلية أو اللوحة الشمسية:

١- المميزات الطيفية:

وهي تبين استجابة الخلية أو اللوحة للضوء الوارد أي التيار المتولد بدلالة طول موجة الضوء الوارد . وتستجيب اللوحة للضوء بين طولي الموجة (300 - 1100) nm ويمتد هذا الضوء في المنطقة فوق البنفسجية ومنطقة الضوء المرئي ومنطقة الأشعة تحت الحمراء . وتكون الاستجابة أعظمه في منطقة الضوء المرئي كما هو مبين في الشكل (4).

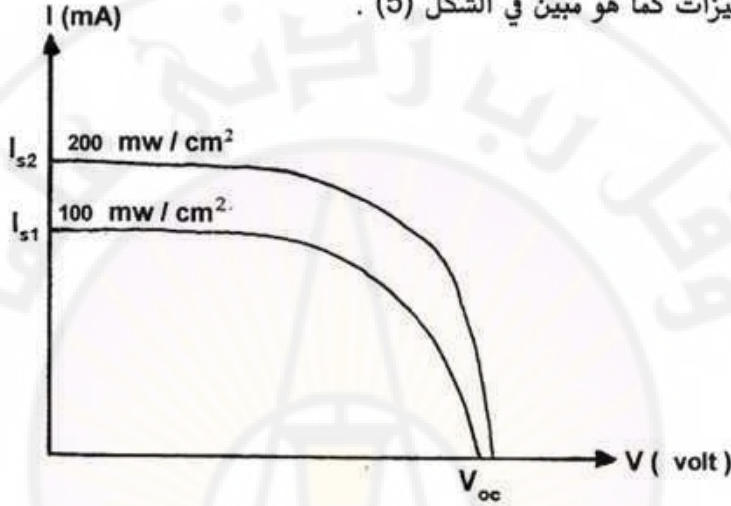
الإستجابة النسبية



الشكل (٤): المميزات الطيفية للخلية أو اللوحة الشمسية

٢- مميزات الجهد والتيار :

تعطي هذه المميزات تيار الخلية أو اللوحة الشمسية بدلالة الجهد بين طرفيها وبدلالة شدة ضوء الشمس الوارد عليها مقدراً بالمللي واط على السنتيمتر مربع . إن المظهر العام لهذه المميزات كما هو مبين في الشكل (5) .



الشكل (٥): المظهر العام لمميزات الجهد والتيار

تسمى نقطة تقاطع المنحني مع محور التيار تيار الدارة المقصورة ويرمز له عادة بـ I_s اختصاراً من (short circuit) ، أما نقطة تقاطع المنحني مع محور الجهد فيسمى جهد الدارة المفتوحة ويرمز له عادة بالرمز V_{oc} اختصاراً من (open circuit)، ويلاحظ أن I_s أشد تغيراً من V_{oc} بتغير شدة الإضاءة .

د- أنواع الخلايا أو اللوحات الشمسية:

و للخلايا الشمسية ثلاثة أنواع هي:

١- الخلايا الشمسية للتطبيقات الأرضية و يمكن استخدام بعضها مع تجهيزات

لتركيز الطاقة الشمسية و أهم ما يميزها العامل (دولار / واط) .

٢- الخلايا الشمسية للتطبيقات الفضائية و أهم ما يميزها ارتفاع قيمة الإستطاعة

بالنسبة لكل من وحدة المساحة و وزن الخلية أي (w/cm^2) أو (w/g) .

٣- الخلايا الشمسية ككواشف ضوئية و تستخدم في قارئات البطاقات او الشرائط المثقبة في الحاسبات الإلكترونية، و في مقياس شدة الضوء، و في غير ذلك.

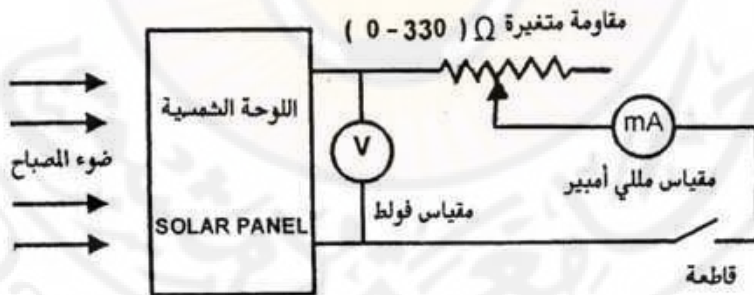
٣- الأجهزة والأدوات المستخدمة:

لوحة شمسية مؤلفة من أربع خلايا ، مقياس فولط مستمر رقمي، مقياس مللي أمبير مستمر، معدلة مدرجة بالأوم ($0-330\Omega$) ، مصباح إنارة مركب على حامل ، منبع تغذية للمصباح ، أسلاك توصيل ، مسطرة طول متر أو متر معدني .

٤- طريقة العمل والنتائج:

١- اجعل المصباح الكهربائي على بعد 80 cm من اللوحة الشمسية، صل مقياس الفولط بين طرفيها و اقرأ V_{oc} .

٢- صل الدارة المبينة في الشكل (6) ، اجعل قيمة R مساوية للصفر . سلط ضوء المصباح على اللوحة و راقب شدة تيار الدارة المقصورة I_s بعد غلق الدارة .



الشكل (٦): الدارة الكهربائية لدراسة مميزات الجهد والتيار للوحة الشمسية

٣- غير قيمة المقاومة R من المعدلة المدرجة بالأومات وراقب قراءة مقياس المللي أمبير (mA) ومقياس الفولط (V)، أعد التجربة بما لا يقل عن عشرة مرات، ثم احسب الجداء $P=I.V$ مقدراً الإستطاعة بالمللي واط في كل مرة .

٤- سجل نتائج القياس في جدول كالتالي:

بعد المصباح عن اللوحة $L = \dots\dots\dots m$				
رقم التجربة	$R (\Omega)$	$I (mA)$	$V (volt)$	$P = I.V$ mW
1	0			
2	20			
3	40			
4	60			
5	80			
6	100			
7	140			
8	180			
9	220			
10	260			
11	300			
12	330			

٥- يمثل الجداء $P = I.V$ الاستطاعة المبذورة في المقاومة R بشكل حراري .

ادرس كيف تتغير هذه الاستطاعة بتغير R وذلك برسم الخط البياني على ورقة مليمتريّة لتحوّلات P بدلالة R . ما هي أعلى استطاعة P_{max} يمكن أن تقدمها الخلية في ظروف الإنارة السائدة ، و ما هو التيار المقابل I_{max} ؟

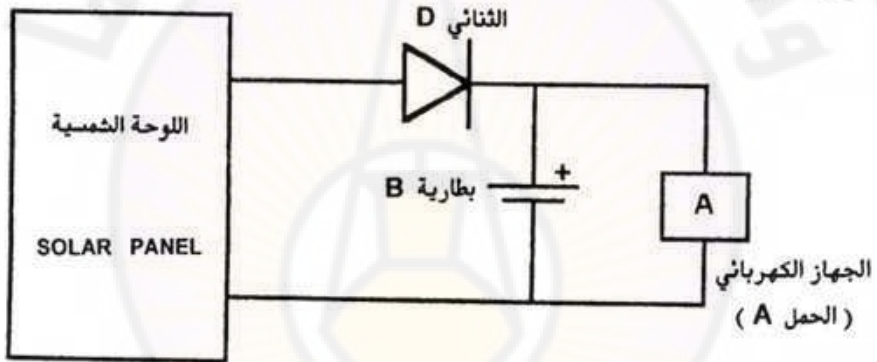
٦- ارسم على ورقة مليمتريّة لتحوّلات I بدلالة V في ظروف الإنارة السائدة ووضح I_a أي نقطة التقاطع مع محور I ، و V_{oc} أي نقطة التقاطع مع محور V .

٧- قرب المصباح إلى نصف المسافة السابقة $L = 40cm$ عن اللوحة فتحصل على تيار

آخر I_s يقابل إضاءة أشد، أعد الطلبات السابقة من (1 - 6) و سجل النتائج في جدول مماثل، ثم ارسم المنحني البياني لتحويلات I بدلالة V .

٥- طرق استثمار اللوحات الشمسية:

١- تستخدم اللوحات الشمسية مع بطاريات قابلة للشحن B بحيث تقوم اللوحات بشحن هذه البطاريات وتقوم البطاريات بدورها بتقديم الطاقة الكهربائية بجهد ثابت للجهاز الكهربائي A الموصول بها. والترتيب المستخدم في هذه الحالة هو كما مبين في الشكل (7).



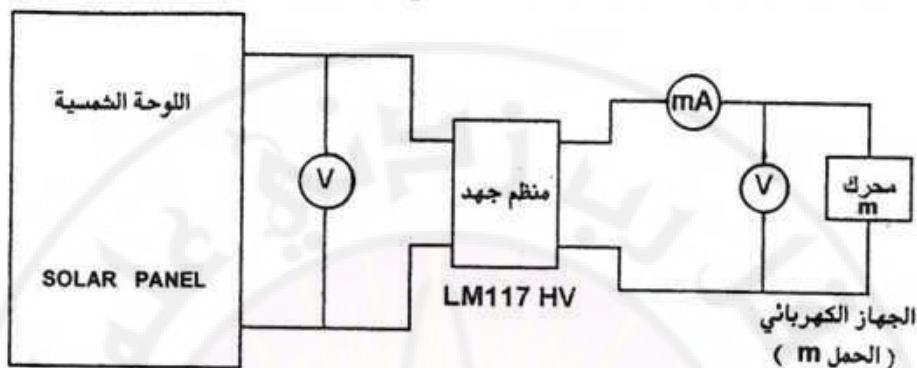
الشكل (٧): استثمار اللوحات الشمسية باستخدام بطاريات قابلة للشحن

أما وظيفة الثنائي نصف الناقل D هو السماح للتيار بأن يمر باتجاه واحد بحيث يؤدي إلى شحن البطاريات ويمنع تفريغها في اللوحة.

٢- كما يمكن باستخدام دائرة إلكترونية ملائمة توليد جهد ثابت عند مخرجها عندما يتغير الجهد عند مدخله ضمن حدود واسعة. وعندها يغذى الجهاز بالجهد الثابت الذي تعطيه الدارة الإلكترونية. ويكون عندها الترتيب كما هو مبين بالشكل (8) وتسمى الدارة الإلكترونية دائرة منظم جهد.

لاحظ كيف يبقى خرج منظم الجهد ثابتاً وسرعة دوران المحرك ثابتة بالرغم من تغير شدة الإنارة الواردة على اللوحة الشمسية.

٣- وقد شاع مؤخراً استخدام دارات متكاملة (IC) قابلة للتغيير بحيث تعطي عند خرجها (V_{out}) جهداً ثابتاً يمكن ضبطه عند أي قيمة بين 1.2V و 25V شريطة أن

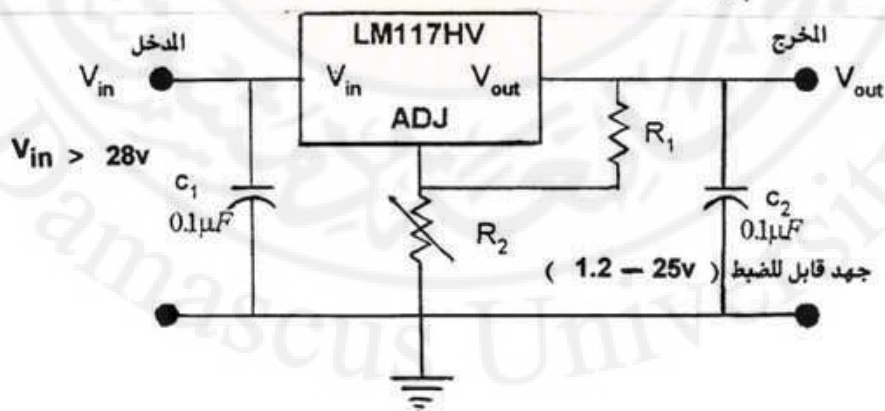


الشكل (٨): استثمار اللوحات الشمسية باستخدام منظم جهد

يكون جهد الدخل (V_{in}) أكبر من 28V . ويبين الشكل (9) مخططاً رمزياً لدارة متكاملة من هذا النوع طراز LM 117 HV صنع شركة National Semiconductor . ويوضح المخطط أن:

$$V_{out} = 1.25 \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

فبتغيير النسبة $\frac{R_2}{R_1}$ يمكن الحصول على أية قيمة لـ V_{out} بين 1.2 V و 25V



الشكل (٩) : مخطط كهربائي رمزي لدارة تنظيم جهد تكاملية (IC)

* * *

راسم الاهتزاز المهبطي

Cathode Ray Oscilloscope

١- الغاية من التجربة :

- التعرف على بنية راسم الاهتزاز المهبطي و مبدأ عمله والتدرب على استعماله .
- استخدام الراسم لقياس فروق الكمون المستمرة D C والمتناوبة A C .
- استخدام الراسم لقياس الزمن .

٢- المبدأ النظري :

يُعد راسم الاهتزاز المهبطي من أهم الأجهزة المساعدة في تصميم الدارات الالكترونية ومتابعة الإشارة فيها وبيان أشكالها وقياس سعاتها وأدوارها، كما يفيد في تحديد الأعطال في الأجهزة الالكترونية على اختلاف أنواعها.

ويعتمد عمل الراسم بشكل رئيسي على حركة الالكترونات في الحقول الكهربائية التي تتولد داخل أنبوب الأشعة المهبطية بفضل فروق الكمون المطبقة عليها .

- بنية الراسم :

يتألف راسم الاهتزاز المهبطي من الأجزاء الرئيسية التالية :

أ - أنبوب الأشعة المهبطية :

و هو أنبوب مفرغ من الهواء بضغط حوالي 10^{-6} mmHg , تظهر أجزاؤه في الشكل (1) ، تقع في أحد طرفيه :

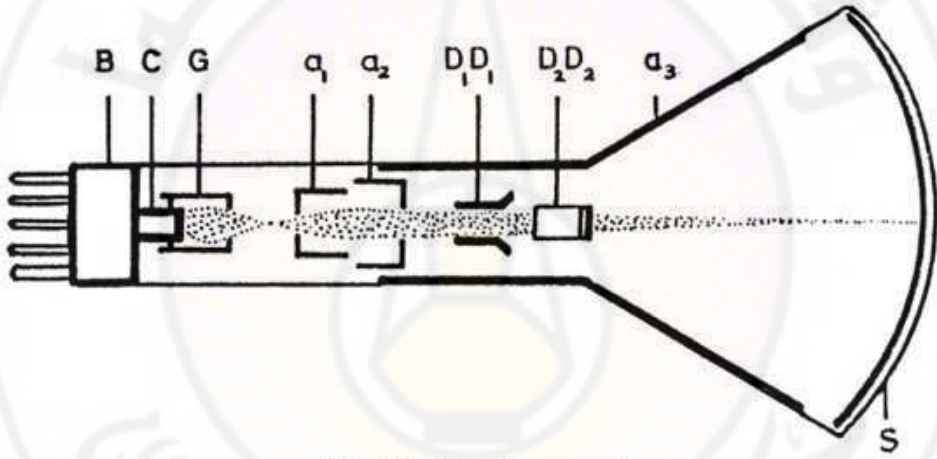
- شاشة S : مطلية من الداخل بمادة كيميائية ملائمة تصدر ضوءاً مرئياً لدى اصطدام الالكترونات بها، و يختلف لون الضوء الصادر من أنبوب لآخر بحسب نوع المادة الكيميائية المستخدمة كطلاء للشاشة من الداخل . وفي الطرف الآخر :

- قاعدة B : تبرز منها مجموعة دبابيس تتصل بعناصر الأنابيب المختلفة مهمتها

وصل الأنبوب بالدارات الكهربائية الخارجية، و الموضحة فيما يلي :

- المهبط C :

الذي يصدر سيلاً من الالكترونات عن طريق تسخينه بالطريقة غير المباشرة بواسطة سلك التسخين F (الفتيل) Filament وهو من التنغستين، يقع ضمن المهبط يتوهج لدى مرور التيار الكهربائي فيه، ولا يظهر الفتيل في الشكل لإحاطة المهبط به إحاطة تامة . ويعتبر المهبط المصدر الحقيقي للأشعة المهبطية .



الشكل (١): أنبوب الأشعة المهبطية

- الشبكة الحاكمة G :

وهي على شكل أسطوانة مزودة بفتحة أو ثقب تدعى أسطوانة فهنلت wehnelt ، وتتصل بكمون كهربائي سالب قابل للتغيير، و تتحكم الأسطوانة بشدة الالكترونات الخارجة من فتحتها و بالتالي في شدة الأثر الذي تتركه حزمة الالكترونات على الشاشة S ، وذلك باستخدام مفتاح شدة الإنارة Intensity .

- مصعد الإحكام a1 :

وهو على هيئة أسطوانة مفتوحة الطرفين، يتصل بكمون كهربائي موجب قابل للتغيير، يساعد على جعل حزمة الالكترونات دقيقة وسريعة ومتقاربة لتتابع المسير إلى

باقي أجزاء الأنبوب .

يشكل هذا المصعد a_1 مع مصعد التسريع a_2 عدسة الكترونية يمكن التحكم في بعدها المحرقي، و من ثم في حجم البقعة المضيئة على الشاشة وذلك باستخدام مفتاح الإحكام Foucs المتصل بالمصعد a_1 .

- مصعد التسريع a_2 :

وهو على هيئة أسطوانة مفتوحة الطرفين، يتصل بكمون كهربائي عال موجب، مما يسرع حزمة الالكترونات الصادرة عن المهبط حتى تكتسب سرعة عظمى عند خروجها منه بحيث تتجمع الالكترونات حتى تشكل حزمة متقاربة يكون أثرها على الشاشة أصغر ما يمكن .

- مصعد a_3 :

يأخذ شكل طبقة مترسبة من الكربون، و يتصل بنفس الكمون الكهربائي لـ a_2 ، ومهمته تسهيل طريق عودة الالكترونات المرتدة عن الشاشة S إلى الدارة الكهربائية لأن تجميعها قرب الشاشة يؤدي إلى إعاقة سير الالكترونات الجديدة نظراً لتدافع الشحنات المتماثلة .

- لوحا الانحراف الشاقولي D_1 ، D'_1 :

وهما لوحان أفقيان متوازيان ويعملان على تحريك حزمة الالكترونات شاقولياً إلى الأعلى وإلى الأسفل إذا طبق عليهما فرق كمون كهربائي مناسب من خارج الأنبوب .

- لوحا الانحراف الأفقي D_2 ، D'_2 :

وهما لوحان شاقوليان متوازيان ، ويعملان على تحريك حزمة الالكترونات أفقياً أي إلى اليمين وإلى اليسار إذا طبق عليهما فرق كمون مناسب من خارج الأنبوب .
و تسمى عادة جملة سلك التسخين F والمهبط C والشبكة الحاكمة G ومصعد الإحكام a_1 ومصعد التسريع a_2 باسم المدفع الالكتروني (electron gun) وذلك لأن

هدفها جميعاً هو إصدار سيل من الالكترونات بسرعة عالية على شكل حزمة دقيقة لتدخل منطقة لوجي الانحراف الشاقولي D_1 ، D'_1 ومنطقة لوجي الانحراف الأفقي D_2 ، D'_2 .

ب- مضخم الانحراف الشاقولي:

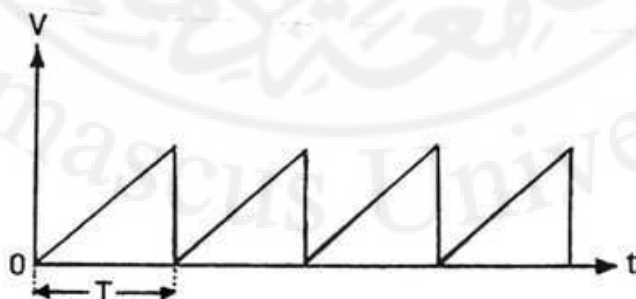
تشير الدراسة النظرية إلى أن مقدار انزياح حزمة الالكترونات بفعل فرق الكمون V المطبق على لوجي الانحراف الشاقولي يتناسب طردياً مع هذا الفرق للكمون، الأمر الذي يسمح باستخدام الراسم لقياس القوى المحركة الكهربائية بعد تدريجه تدريجاً مناسباً. و يظهر هذا التدريج على مفتاح الحساسية الشاقولية (7) المبين في الشكل (3).

ج- مضخم الانحراف الأفقي:

و هو يشبه في عمله مضخم الانحراف الشاقولي و يعمل عند تطبيق إشارة خارجية على لوجي الانحراف الأفقي.

د- مولد قاعدة الزمن:

يستخدم الراسم بحيث يتصل لوحا الانحراف الأفقي بفرق كمون يتولد داخل الراسم و يتغير مع الزمن. وفق منحنٍ بياني على شكل أسنان المنشار كما في الشكل (2) يؤدي تطبيق هذا الفرق الكموني على لوجي الانحراف الأفقي إلى تحريك حزمة الالكترونات من أقصى يسار الشاشة إلى أقصى يمينها بسرعة منتظمة ثم إعادة هذه الحزمة إلى أقصى اليسار خلال فترة تكاد أن تساوي الصفر . ويجري التحكم بسرعة هذه



الشكل (٢): المنحنى البياني لأسنان المنشار

الحركة عادة بمفتاح يسمى مفتاح قاعدة الزمن وهو المفتاح (14) في الشكل (3)
وعليه . فيمكن استخدام الراسم لقياس الزمن .

هـ- قسم التغذية:

و هو القسم الذي يحول تيار المدينة المتناوب إلى مايلزم من تيارات مستمرة عالية أو
منخفضة ليغذي جميع دارات راسم الاهتزاز المهبطي بما فيها أنبوب الأشعة المهبطية.

٣ - الأجهزة والأدوات المستخدمة:

- راسم الاهتزاز المهبطي من طراز CS-4125 من صنع شركة Feedback .
- منبع تغذية مستمر ومتناوب من طراز 13501.93 من صنع شركة Phywe.
- مقياس فولط رقمي (مستمر ومتناوب) من طراز 07134.00 من صنع شركة Phywe
- أسلاك توصيل .

- وصف راسم الاهتزاز المهبطي :

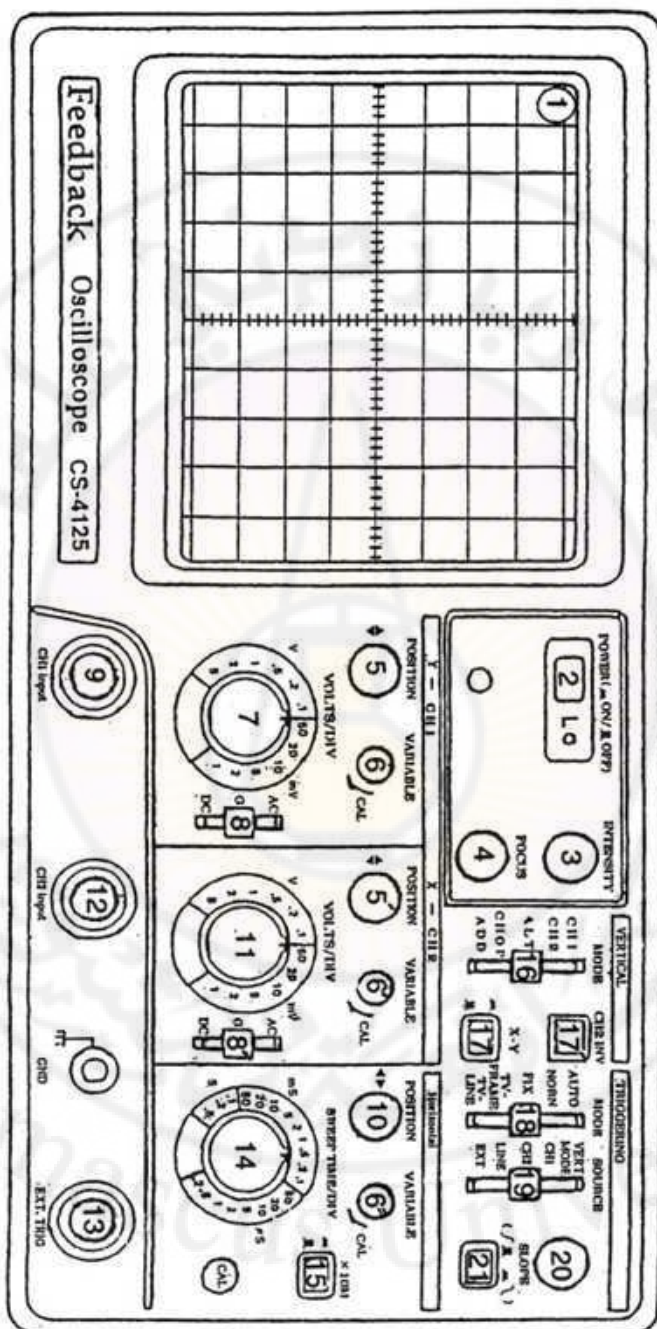
يبين الشكل (3) الواجهة الأمامية لراسم الاهتزاز المهبطي طراز CS-4125 وهو
ذو قناتين CH1 و CH2، وقد أشير إلى كل من أجزائه الهامة برقم وفيما يلي شرح لأهم
الأجزاء فيه :

١- شاشة الراسم :

وتظهر عليها رسومات الإشارات المطبقة على الراسم ، ويوجد أمام الشاشة صفوحة
شفافة عليها شبكة مربعات مدرجة بتدرجات رئيسية وأجزائها تستعمل كسلم تدرج
بغية تقدير الانحراف الحاصل على المحورين ، بحيث تسهل عملية القياس .

٢- مفتاح التشغيل :

ويتم به تشغيل الجهاز لدى الضغط عليه و يضيء المصباح المثبت بجانبه L صغير
إلى اليسار ابان التشغيل بلون أخضر.



الشكل (٣): واجهة راسم الاهتزاز المهبطي

٤- مفتاح شدة الإنارة :

و به نتحكم بشدة الأثر المتشكل على شاشة الراسم Intensity .

٤- مفتاح الإحكام :

وهو مفتاح لتركيز حزمة الالكترونات على الشاشة Focus , و يساعد في جعل دقة الأثر المتشكل على شاشة الراسم ، في أوضح صورة عن طريق عدسات كهراكدية داخل الجهاز .

٥- مفتاح الإزاحة الشاقولية :

يساعد هذا المفتاح في إزاحة الأثر المتشكل على شاشة الراسم إلى الأسفل أو إلى الأعلى، أي وفق المحور الشاقولي Y , والعائد إلى القناة الأولى CH1 أو Y .
ثمة مفتاح (5') لضبط الوضع الشاقولي العائد إلى القناة الثانية CH2 .

٦- مفتاح دوار للمعايرة:

يوضع هذا المفتاح على أقصى اليمين على الوضع cal, وكذلك المفتاحين (6') و (6'').

٧- مفتاح الحساسية الشاقولية:

وهو مدرج بتدرجات ذات مجالين، يبدأ أولهما الأيمن بالتدرجة 1mv/div وينتهي بالتدرجة 50mv/div، وأما المجال الثاني فيبدأ بالتدرجة 0.1v/div وينتهي بالتدرجة 5v/div .

وتفيد هذه التدرجات في استخدام الراسم كمقياس للفولط . إذ يكفي قراءة عدد التدرجات الرئيسية وأجزائها التي تحرف حزمة الالكترونات بالاتجاه الشاقولي على شاشة الراسم، و ضرب ذلك بالقراءة التي يشير إليها المفتاح (7) لنحصل على فرق كمون الإشارة المطبقة، علماً بأنَّ المجال بين تدرجتين على شاشة الراسم مقسم إلى خمس تقسيمات تعادل كل تقسيمة 0.2 من المجال بين التدرجتين.

تجدر الإشارة هنا إلى أنَّ هذه القراءة لا تكون صحيحة إلا إذا وضع المفتاح الدوار

للمعايرة (6) في أقصى وضع له إلى اليمين باتجاه cal .

٨- مفتاح طبيعة الإشارة:

وهو مفتاح له ثلاث وضعات عليها الكتابات (DC-GND-AC) ففي الـ DC الـ AC يمكن دراسة الجهود والإشارات المتناوبة، وفي الـ GND يتم وصل مدخل المضخم الشاقولي بالأرض، أما الـ DC فتستخدم لدراسة الجهود والإشارات المستمرة. ثمة مفتاح (8') مماثل له نفس الوظائف خاص بالقناة الثانية CH2 أو X .

٩- مربوط الدخول الشاقولي:

و هو مدخل القناة الأولى CH1 أو Y ، و يمكن عن طريقه إدخال إشارة خارجية على لوحى الانحراف الشاقولي في الراسم، و لهذا المربط قطب محوري مركزي يتصل بمربط الدخول الشاقولي، و الآخر محيطي يتصل بهيكل الجهاز و هو بمثابة المربط الأرضي له.

١٠- مفتاح الإزاحة الأفقية:

يساعد هذا المفتاح في إزاحة الأثر المتشكل على شاشة الراسم إلى اليمين أو إلى اليسار ، أي وفق المحور الأفقي X، وهو مشترك بين القناتين CH1 و CH2 .

١١- مفتاح الحساسية الأفقية:

و هو مدرج بتدرجات ماثلة لمفتاح الحساسية الشاقولية (7) من حيث العمل والتدريج . و يفيد في استخدام الراسم كمقياس فولط. ولاتكون القراءة صحيحة إلا إذا وضع المفتاح الدوار للمعايرة (6') في أقصى وضع إلى اليمين باتجاه cal .

١٢- مربوط الدخول الأفقي:

و هو مماثل لمربط الدخول الشاقولي من حيث التركيب و يمكن إدخال الإشارات الخارجية على لوحى الانحراف الأفقي في الراسم ولهذا المربط قطب محوري مركزي

وآخر محيطي. و هو مدخل القناة الثانية CH2 أو x .

١٣- مربوط قذح خارجي :

و قد كتب عليه EXT. TRIG .

١٤- مفتاح قاعدة الزمن :

وهو مدرج بتدرجات ذات ثلاثة مجالات . يبدأ أولها $2\mu s/div$. و ينتهي بالتدرجة $50\mu s/div$ ، وأما الثاني فيبدأ بالتدرجة $0.1ms/div$ ، وينتهي بالتدرجة $50ms/div$ ، وأما الثالث فيبدأ بالتدرجة $0.1s/div$ ، وينتهي بالتدرجة $0.5s/div$.

و يفيد هذا المفتاح في اختيار سرعة حزمة الالكترونات في المنحى الأفقي على شاشة الراسم ، و بالتالي يمكن استخدام الراسم كمقياس للزمن.

اذ يكفي قراءة عدد التدرجات الرئيسية و أجزائها التي تحرف حزمة الالكترونات بالاتجاه الأفقي على شاشة الراسم، و ضرب ذلك بالقراءة التي يشير إليها المفتاح (14) لنحصل على زمن انتقال الالكترونات أفقياً على الشاشة.

تجدر الإشارة هنا إلى أن هذه القراءة لا تكون صحيحة إلا إذا وضع المفتاح الدوار للمعايرة (6'') في أقصى وضع له إلى اليمين باتجاه cal.

١٥- مفتاح مضاعف :

وهو مفتاح ضرب معدل المسح ب 10 وله وضعان ON يكون فيه المفتاح فعالاً وتضرب عندها قراءة مفتاح الزمن (14) ب 10 ، و وضع آخر غير فعال هو Off .

١٦- مفتاح الانتقاء :

و هو مفتاح انتقاء نظام العمل و له خمسة أوضاع هي :

CH1 : يسمح بإدخال الإشارة إلى القناة الأولى.

CH2 : يسمح بإدخال الإشارة إلى القناة الثانية.

ALT: يعرض الإشارتين المطبقتين على القناتين بالتناوب بمعدل يرتبط بوضع مفتاح قاعدة الزمن (14).

CHOP: يعرض الإشارتين المطبقتين على القناتين بالتناوب بمعدل ثابت يرتبط بوضع مفتاح قاعدة الزمن (14).

ADD: يجمع الإشارتين المطبقتين على القناتين.

١٧- مفتاح نخب الإشارة الأفقية:

و هو المفتاح الذي كتب عليه من أعلاه (X - Y) و له وضعان: ON / OFF .
ففي الوضع الأول off تطبق على لוחي الانحراف الأفقي في الراسم إشارة داخلية تجعل حزمة الالكترونات تمسح الشاشة من اليسار إلى اليمين ثم تعود بسرعة إلى اليسار و تكرر العمل باستمرار وبسرعة تتعلق بوضع مفتاح قاعدة الزمن (14) ، و يمكن مراقبة ذلك بسهولة إذا وضع مفتاح الزمن على وضع 0.5 s/div حيث تكون الحركة بطيئة .
أما الوضع الثاني ON فيسمح بتطبيق إشارة خارجية على لוחي الانحراف الأفقي، أي عن طريق مدخل القناة الثانية CH2 أو X أي المدخل رقم (12) .
ثمة مفتاح (17') ، هو عاكس للإشارة و خاص بالقناة الثانية CH2 .

١٨- مفتاح التوافق:

يساعد هذا المفتاح في تحقيق التوافق بين الإشارة الخارجية المطبقة على المحور Y و الإشارة الداخلية المطبقة على المحور X التي تحرف الحزمة الالكترونية أفقياً و لهذا المفتاح عدة أوضاع أهمها:
الوضع auto الذي يحقق التوافق بشكل آلي.

١٩- مفتاح التثبيت:

و هو مفتاح له عدة أوضاع أهمها وضع LINE يساعد في تثبيت الشكل على شاشة الراسم.

٢٠- مفتاح السوية:

يساعد مفتاح السوية LEVEL في اختيار نقطة بدء الشكل على الشاشة.

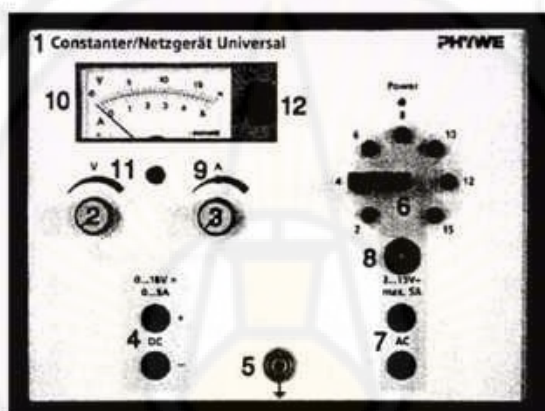
٢١- مفتاح قلب الإشارة:

وهو مفتاح قلب الإشارة على الشاشة.

- وصف منبع التغذية:

يبين الشكل (4) الواجهة الأمامية لمنبع التغذية المستمر والمتناوب وفيما يلي وظائف

أجزائه:



الشكل (4): واجهة منبع التغذية

١- مفتاح التشغيل ON/OFF :

يقع خلف الجهاز مهمته تشغيل الجهاز، ويوجد من الأمام مصباح L يضيء

عند تشغيله.

٢- مجزئ كمون:

وهو مفتاح دوار بواسطته نغير فرق الكمون المستمر ما بين $V(0-18)$.

٣- مفتاح ضبط التيار المرغوب $A(0-5)$.

٤- مربط خروج التيار المستمر.

٥- مربط وصل أرضي الجهاز.

٦- وصله مركزية لاختيار الجهد المتناوب المطلوب ويمكن تغييرها ما بين $V \sim (2-15)$.

٧- مربطاً خروج الجهد المتناوب .

٨- قاطعة للحماية بشكل آلي .

٩- مؤشر للدلالة على الوصل إلى قيمة التيار المطلوبة.

١٠- ميناء مقياس الفولط المستمر مدرجة $V (0-18)$ و كذلك هي مقياس الأمبير المستمر مدرجة $A (0-5)$.

١١- مفتاح التصغير .

١٢- مفتاح له وضعان، وضع من أجل الكمون المستمر V ، و وضع من أجل التيار المستمر A .

٤- مراحل العمل والنتائج:

أولاً- قياس القوى المحركة الكهربائية المستمرة:

١- صل الراسم بماخذ تيار المدينة، و اجعل مفتاح نخب الإشارة الأفقية (17) على الوضعة ON. فتتفصل قاعدة الزمن عن لوحى الانحراف الأفقي .

٢- شغل الراسم من مفتاح التشغيل (2) فيضيء المصباح المجاور L . انتظر قليلاً حتى تظهر البقعة المضيئة على شاشة الراسم، استخدم مفتاح الإزاحة الشاقولية (5) ومفتاح الإزاحة الأفقية (10) إذا لزم الأمر لجعل البقعة في منتصف الشاشة.

٣- اضبط شدة إنارة البقعة بمفتاح شدة الإنارة (3) حتى تحصل على أضعف إنارة تبقي البقعة مرئية معها.

٤- استخدم مفتاح الإحكام (4) لجعل البقعة في أوضح صورها.

٥- ضع مفتاح طبيعة الإشارة على الوضعة DC.

٦- اجعل مفتاح الحساسية الشاقولية (7) على الوضعة $0.5v/div$ مثلاً.

- واجعل المفتاح الدوار للمعايرة (6) على أقصى وضع له على اليمين.
- ٧- طبق على مربط الدخول الشاقولي للرسم (9) كموناً مستمراً من منبع التغذية المستمرة، و ذلك بتحريك مفتاح ضبط الجهد المستمر. لاحظ انحراف البقعة على الشاشة وليكن y_1 تقسيمة من الشاشة قدر هذا الانحراف بالتقسيمات الصحيحة وأجزائها مستعينا بالتدرجات الجزئية الظاهرة على محوري الشاشة.
- بادل وصل مربطي منبع التغذية أحدهما بالآخر، هل تنعكس جهة انحراف البقعة على الشاشة؟ و هل يبقى مقدار انحراف البقعة و عن وضعة السكون و ليكن y_2 تقسيمة مساوياً المقدار السابق y_1 ؟
- استنتج من وسطي الانحرافين ومن قراءة مفتاح الحساسية الشاقولية n القوة المحركة الكهربائية للكمون المطبق المستمر و ليكن E .
- قارن هذه النتيجة مع القيمة التي يشير إليها مقياس الفولط المستمر لدى وصله بمربطي منبع التغذية و ليكن E' وسجل النتائج في الجدول.
- ٨- أعد العمل نفسه بأخذ كمونات متزايدة من منبع التغذية تسبب انحرافاً متزايداً على الشاشة، واستخدم وضعات أخرى لمفتاح الحساسية الشاقولية (7) إذا لزم الأمر كي تبقى البقعة مرئية بعد انحرافها على الشاشة و سجل النتائج في الجدول.
- ٩- رتب نتائج القياس في جدول كالتالي:

الكمون من منبع التغذية V	قراءة مفتاح الحساسية n v/div	الانحراف الشاقولي (تقسمة)			الكمون $E = n\bar{y}$ V	قراءة مقياس الفولط الرقمي E' V	الارتياح المطلق $\Delta E = E - E' $ V	الارتياح النسبي النسبي $r\% = \frac{\Delta E}{E} \times 100\%$
		y_1	y_2	الوسطي $\bar{y}$				
1								
2								
3								
4								
5								

١٠- احسب الارتياب المطلق ΔE في قياس E، وكذلك الارتياب النسبي المئوي %r .

١١- أعد العمل الوارد في الفقرات السابقة مستخدماً مربطي الدخول الأفقي (12) ومفتاح الحساسية الأفقي (11) . وسجل نتائجك في جدول مناسب .
ثانياً- قياس القوى المحركة الكهربائية المتناوبة:

١- ضع مفتاح طبيعة الإشارة (8) على الوضعة AC ، ويصبح الراسم جاهزاً لاستقبال الكمون المتناوب على مربطي الانحراف الشاقولي (9) .

٢- اجعل مفتاح الحساسية الشاقولية (7) على الوضعة 5v/div .

٣- طبق على مربط الدخول الشاقولي للرأس (9) كموناً متناوباً من منبع التغذية المتناوبة، بعد جعل ناخب الكمون على الوضعة 2V، لاحظ تشكل خط شاقولي على شاشة الراسم. فسر سبب ظهور هذا الخط ؟ بادل وصل السلكين الواصلين من منبع التغذية المتناوبة بمربطي الدخول الشاقولي للرأس أحدهما بالآخر، هل ترى تغيراً في شكل الخط الناتج ؟

٤- قس عدد التقسيمات التي يغطيها الخط و ليكن γ ، واستخدم قراءة مفتاح الحساسية الشاقولية (n) لحساب مايمثله هذا الخط من فرق كمون كهربائي، وذلك بضرب طول الخط γ بقراءة مفتاح الحساسية الشاقولية (n) يمثل هذا العدد الناتج ضعفي فرق الكمون الأعظمي V_0 للكمون الناتج من منبع التغذية المتناوبة .

٥- قس بمقياس الفولط المتناوب الرقمي فرق الكمون بين مربطي خروج الكمون من منبع التغذية، يمثل هذا القياس فرق الكمون المنتج الذي يرمز له بـ V_{eff} .

٦- قارن فرق الكمون المنتج V_{eff} بفرق الكمون الأعظمي V_0 الذي وجدته في الفقرة السابقة (4) . تحقق من أن:

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

٧- أعد التجربة من أجل قيم أخرى للكمون المتناوب بحسب الجدول.

٨- رتب نتائج القياس في جدول كالتالي:

الكمون من منبع التغذية v	قراءة مفتاح الحاسبة n v/div	طول الخط على الشاشة y v/div	الكمون $V_o = n \frac{y}{2}$ v	قراءة مقياس الفولط الرقمي V_{eff}	الكمون الأعظمي $V_o = V_{eff} \sqrt{2}$	الارتباب المطلق ΔV_o	الارتباب النسبي النسبي r%
2							
4							
6							
8							
10							

٩- احسب الارتباب المطلق ΔV_o في قياس V_o ، وكذلك الارتباب النسبي النسبي.

١٠- أعد مراحل العمل الواردة في الفقرات السابقة مستخدماً مربطي الدخول

الأفقي للرأس (12)، بعد أن تجعل مفتاح الحساسية الأفقية على الـ 5/div، فتجد خطأ أفقياً، احسب من طوله وقراءة المفتاح (11) التوتر الكهربائي الأعظمي و المنتج، هل يحصل أي تغيير إذا بادلت وصل السلكين الواصلين إلى مربطي الدخول الأفقي للرأس، سجل نتائج القياس في جدول مماثل .

ثالثاً- قياس الزمن:

١- اجعل مفتاح نخب الإشارة الأفقية (17) على الـ (x-y) . وأدر مفتاح

قاعدة الزمن (14) إلى الـ 0.5s/div فترى بقعة الالكترونات تنطلق من أقصى يسار الشاشة إلى أقصى اليمين بسرعة منتظمة ثم تعود فجأة لتظهر من جديد من أقصى اليسار. تستغرق البقعة في هذه الحالة زمناً مقداره 0.5 كي تقطع مسافة التقسيم الواحدة الأفقية على الشاشة.

٢- أدر مفتاح قاعدة الزمن (14) إلى الأوضاع المجاورة بالتتالي و راقب في كل مرة ازدياد سرعة حركة بقعة الالكترونات على الشاشة. فسر سبب ظهور خط على الشاشة عندما يصبح مفتاح قاعدة الزمن (14) على الوضعة $2m\ s/div$.

٣- ضع مفتاح الحساسية الشاقولية (7) على الوضعة $5v/div$. ثم طبق على مرتبط الدخول الشاقولي (9) كمون متناوب من منبع التغذية بعد أن تجعل مفتاح طبيعة الإشارة (8) على الوضعة AC، وضع مفتاح قاعدة الزمن (14) على الوضعة $2ms/div$ ، لاحظ ظهور منحنى جيبي وحيد يغطي كامل الشاشة.

٤- قس عدد التقسيمات الأفقية X التي يغطيها دور كامل من المنحنى الجيبي. احسب من جداء هذا العدد X بقراءة مفتاح قاعدة الزمن t، يمثل هذا الجداء X.t دور التيار المتناوب T مقدراً بالمللي ثانية وإذا قدرنا الدور بالثانية يكون لدينا:

$$T = \frac{X.t}{1000}$$

٥- استنتج تواتر التيار المتناوب f من العلاقة:

$$f = \frac{1}{T}$$

محسوباً بالهرتز، و تحقق أنه قريباً من 50 هرتز.

٦- اجعل مفتاح قاعدة الزمن (14) على الوضعة $5\ ms/div$. احسب دور التيار المتناوب T و تواتره f من معرفة زمن دورين كاملين بالطريقة السابقة ذاتها.

٧- ثم اجعل مفتاح قاعدة الزمن (14) على الوضعة $10\ ms/div$ واحسب دور التيار المتناوب T و تواتره f من معرفة زمن خمسة أدوار كاملة.

و إذا رمزنا إلى عدد الأدوار n الكاملة من المنحنى الجيبي على الشاشة، و X عدد التقسيمات التي يغطيها هذا العدد n من الأدوار الكاملة و T دور التيار المتناوب

يكون لدينا من العلاقة السابقة زمن الدور الواحد مقدراً بالثانية هو:

$$T = \frac{x.t}{1000 n}$$

٨- رتب نتائج القياس في جدول كالتالي:

رقم التجربة	عدد الأدوار n	قراءة مفتاح قاعدة الزمن t ms/div	عدد التقسيمات الأفقية x	الجداء x.t m s	الدور الواحد $T = \frac{x.t}{1000 n}$ s	التواتر $f = \frac{1}{T}$ Hz	Δf Hz
1							
2							
3							
الوسطي							

* * *

توليد منحنيات ليساجو

Lissajous' Figures

١- الغاية من التجربة:

- التعرف على كيفية تشكيل منحنيات ليساجو.

- استخدام منحنيات ليساجو لمعايرة هزازة.

٢- التمهيد النظري:

إذا طبقت اهتزازة جيبية سعتها العظمى x_0 وتواترها f على صفيحتي الانحراف الأفقي في راسم إشارة فإنه يرسم خط أفقي على شاشة الراسم وذلك بسبب خضوع حزمة الالكترونات إلى حقل متناوب تواتره f . ويتحدد موضع البقعة الضوئية على الشاشة بدلالة الزمن وفقاً للعلاقة:

$$x = x_0 \sin (2 \pi f.t) \quad (1)$$

وإذا طبقت اهتزازة جيبية سعتها العظمى y_0 و تواترها f كذلك على صفيحتي الانحراف الشاقولي خضعت البقعة الضوئية على شاشة الراسم لحقل متناوب يجعل موضعها على الشاشة بدلالة الزمن يتحدد بالعلاقة:

$$y = y_0 \sin (2 \pi f.t) \quad (2)$$

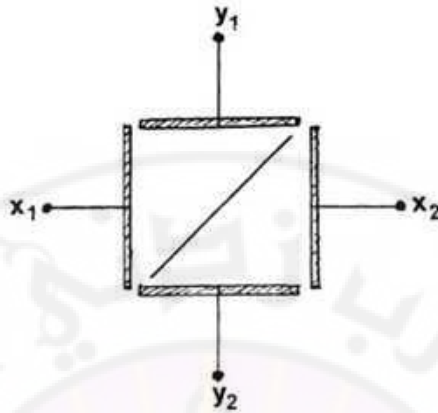
وإذا طبقت الإشارتان معاً ارتسم على الشاشة خط مستقيم كالمبين في الشكل (1) نحصل على معادله بحذف t بين المعادلتين (1) و (2) و تكون معادله هي:

$$\frac{y}{x} = \frac{y_0}{x_0}$$

أو:

$$y = \left(\frac{y_0}{x_0} \right) x \quad (3)$$

و تمثل y_0/x_0 ميل المستقيم المرسوم على الشاشة .



الشكل (١): منحني ليساجو في حالة تساوي التواترين وانعدام فرق الطور بين الإشارتين أي $\varphi=0$

و إذا فرضنا أنّ هناك فرق صفحة φ بين الإشارتين بحيث تكون y معطاة

بالمعادلة :

$$y = y_o \sin (2 \pi f.t + \varphi) \quad (4)$$

و كانت $\varphi = \frac{\pi}{2}$ فإنّ y تصبح :

$$y = y_o \sin \left(2 \pi f.t + \frac{\pi}{2} \right)$$

$$y = y_o \cos (2 \pi f.t) \quad (5)$$

ويمكننا حذف t بين المعادلتين (1) و (5) بسهولة بان نكتب :

$$\left(\frac{x}{x_o} \right)^2 = \sin^2 2 \pi f.t$$

$$\left(\frac{y}{y_o} \right)^2 = \cos^2 2 \pi f.t$$

و بالجمع يكون :

$$\left(\frac{x}{x_o} \right)^2 + \left(\frac{y}{y_o} \right)^2 = 1$$

و هي معادلة قطع ناقص طول أحد محوريه $2x_o$ و الآخر $2y_o$ و إذا كان $x_o = y_o$

فإن القطع يؤول إلى دائرة.

و إذا بلغت ϕ القيمة π فإن معادلة y تصبح:

$$y = y_o \sin (2 \pi f.t + \pi)$$

$$\boxed{y = -y_o \sin (2 \pi f.t)} \quad (6)$$

و يؤدي حذف t بين المعادلتين (1) و (6) إلى المعادلة:

$$\frac{y}{x} = -\frac{y_o}{x_o}$$

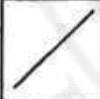
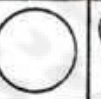
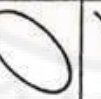
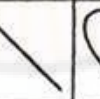
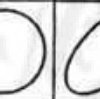
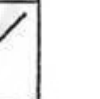
أو:

$$\boxed{y = -\left(\frac{y_o}{x_o}\right)x} \quad (7)$$

و هي معادلة مستقيم ميله سالب مناظر للمستقيم الممثل بالمعادلة (3).

و إذا تغير ϕ باستمرار بين القيمة صفر و 2π و إذا كانت $y_o = x_o$ ارتسمت على

شاشة الراسم منحنيات كالمبينة في الشكل (2).

0	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{3\pi}{4}$	π	$\frac{5\pi}{4}$	$\frac{3\pi}{2}$	$\frac{7\pi}{4}$	2π
								

الشكل (٢): منحنيات ليساجو في حالة تساوي التواترين و السعة من أجل قيم مختلفة لفرق الطور

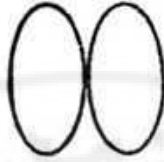
أما إذا كان تواتر الإشارة المطبقة على المحور y مساوياً ضعف تواتر الإشارة المطبقة على

المحور x أي إذا كان:

$$\boxed{\frac{f_y}{f_x} = 2} \quad (8)$$

فإن y تبلغ قيمتها العظمى مرتين في الوقت الذي تنجز فيه الإشارة على x دورة كاملة

ونحصل على شاشة الراسم على شكل كالمبين في الشكل (3):

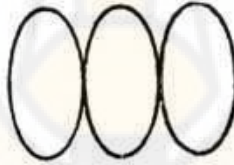


الشكل (3): منحنيات ليساجو في حالة تواتر الإشارة الشاقولية تساوي ضعف تواتر الإشارة الأفقية

و إذا كانت النسبة مساوية 3 مثلاً، أي أن تواتر الإشارة المطبقة على المحور y مساوياً لثلاثة أمثال الإشارة المطبقة على المحور x يكون:

$$\frac{f_y}{f_x} = 3 \quad (9)$$

و ذلك لأن y تبلغ قيمتها العملى ثلاث مرات في الوقت الذي تنجز فيه الإشارة على x دورة كاملة، و يظهر على شاشة الراسم عندها الشكل (4):



الشكل (4): منحنيات ليساجو في حالة تواتر الإشارة الشاقولية تساوي ثلاثة أمثال تواتر الإشارة الأفقية

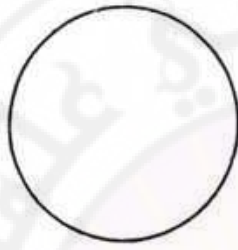
و بصورة عامة نكتب:

$$\frac{f_y}{f_x} = \frac{n_x}{n_y} \quad (10)$$

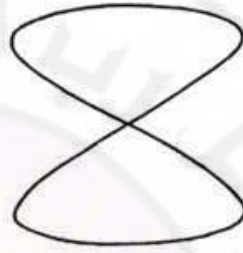
حيث تمثل n_x عدد نقاط تماس خط مرسوم مواز للمحور x مع المنحنيات المرسومة على الشاشة و n_y تمثل عدد نقاط تماس خط مرسوم مواز للمحور y مع المنحنيات المرسومة على الشاشة . و نكتب المعادلة السابقة (10) بالشكل التالي:

$$f_y = f_x \frac{n_x}{n_y} \quad (11)$$

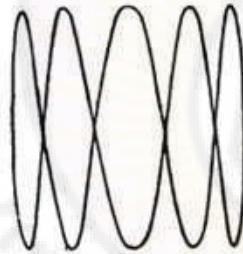
وهي معادلة تصلح في جميع الأحوال وتفيدنا في قياس تواتر اهتزازة كهربائية أو معايرتها
 إذا علمنا تواتر اهتزازة أخرى كأن تكون الاهتزازة الأخرى هي تيار المدينة المتناوب ذو
 تواتر 50 هرتز . يبين الشكل (5) منحنيات ليساجو في ظروف مختلفة للنسبة $\frac{f_y}{f_x}$.



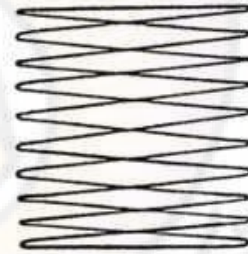
(a)



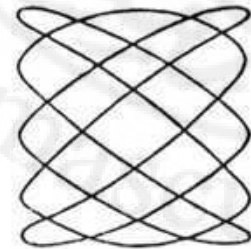
(b)



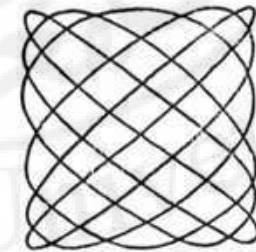
(c)



(d)



(e)



(f)

الشكل (5): نماذج من منحنيات ليساجو

وهي كما يلي:

$$a = \frac{f_y}{f_x} = \frac{1}{1} , \quad b = \frac{f_y}{f_x} = \frac{1}{2} , \quad c = \frac{f_y}{f_x} = \frac{5}{1}$$

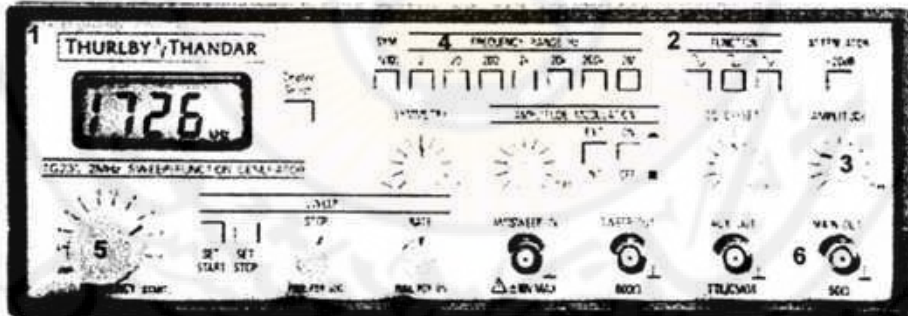
$$d = \frac{f_y}{f_x} = \frac{1}{10} , \quad e = \frac{f_y}{f_x} = \frac{3}{5} , \quad f = \frac{f_y}{f_x} = \frac{5}{6}$$

٣- الأجهزة و الأدوات المستخدمة:

هزازة كهربائية من طراز TG230 من صنع شركة T T i ، راسم الإهتزاز المهبطي ،
محولة خافضة للجهد ، أسلاك توصيل .

- وصف الهزازة الكهربائية:

يبين الشكل (6) الواجهة الأمامية للهزازة الكهربائية و فيما يلي شرح لأهم الأجزاء فيها:



الشكل (٦): واجهة الهزازة الكهربائية

١- زر التشغيل:

و يقع خلف جهاز الهزازة .

٢- أزرار تحديد نوع الاهتزاز:

و قد كتب في أعلاها كلمة Function ، و قد رسم تجاه كل زر شكل الاهتزاز

الناتج عند ضغطه و هي اهتزازات ، جيبيه ، تربيعية ، مثلثية .

٣- مفتاح سعة الاهتزاز:

وقد كتب عليه Amplitude وهو يسمح بتغيير سعة الاهتزاز بين الصفر و 10

فولط.

٤- أزرار التواتر : Frequency Range :

وتفيد في تحديد قيمة التواتر الصادر عن الهزازة بدءاً من 2 Hz وحتى 2MHz ، و تظهر قيمة التواتر المأخوذ من الهزازة على الشاشة رقمياً.

٥- مفتاح التواتر:

و هو مفتاح دوار يساعد في تغيير التواتر بين قيمته الدنيا و قيمته العليا لكل حالة من أزرار التواتر (4) .

٦- مخرج الهزازة:

و قد كتب تجاهه Main out.

٤- طريقة العمل و النتائج:

١- شغل راسم الاهتزاز المهبطي ، وانتظر قليلاً وراقب ظهور بقعة ضوئية على شاشة الراسم. استعن بمفتاح شدة الإنارة (Intensity) لضبط شدة إنارة البقعة، استخدم مفتاحي الإزاحة الأفقية والإزاحة الشاقولية لجعل البقعة الضوئية في مركز الشاشة . استخدم مفتاح الاحكام (Focus) لضبط البقعة حتى تصبح بوضوح تام وصغيرة بقدر الإمكان .

٢- صل مخرجي المحولة الخافضة التي تعطي اهتزازاً جيبياً يفرض أن تواتره f يساوي 50Hz إلى مدخل لوحى الانحراف الأفقي (12) لاحظ تشكل خط أفقي على شاشة الراسم .

يمكنك تغيير طول هذا الخط بمفتاح الحساسية (11) للقناة الثانية CH2 . الذي

يوضع على الوضعة 0.5v/div .

٣- شغل الهزازة وصل مخرجها (6) إلى مدخل لوحى الانحراف الشاقولي (9) فى القناة الأولى CH1 فى راسم الإشارة، وكذلك يوضع مفتاح الحساسية الشاقولية (7) على الوضعة 5v/div .

اختر من الهزازة اهتزازة جيبيية تواترها 50 Hz ، واضبط الجهد الماخوذ منها من مفتاح سعة الاهتزاز (3) حتى تحصل على خط شاقولي على شاشة الراسم.

٤- لاحظ تشكل منحنيات ليساجو على النحو المبين فى الشكل (2) عند تطبيق المرحلتين ٢، ٣ معاً على الراسم. كيف تفسر تغير الشكل الظاهر على الشاشة؟

٥- غير التواتر الماخوذ من الهزازة إلى قيم حول القراءات $f_y = 100\text{Hz}$ ، 200 ، 250 ، $f_y = 500\text{Hz}$ ، لاحظ هذه المرة هل يتفق ما تلاحظه مع الشكلين (3) و (4) من أجل التواترين 100Hz و 150Hz .

٦- اجعل التواتر $f_y = 25\text{Hz}$ وارسم الشكل الناتج على الشاشة فى دفترك.

٧- رتب نتائج القياس فى الجدول التالى:

رقم التجربة	n_x	n_y	$\frac{n_x}{n_y}$	$f_y = 50 \frac{n_x}{n_y}$	f'_y	$\Delta f_y = f_y - f'_y $	$r\% = \frac{\Delta f_y}{f_y} \times 100\%$
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

٨- ارسم على ورقة مليمتريّة الخط البياني لقراءات الهزازة f'_y بدلالة القيم المحسوبة f_y من العلاقة (11)، حيث f_x تساوي 50Hz وهوتواتر تيار المدينة، إن هذا المنحني هو منحني معايرة الهزازة .

٩- احسب الارتياب المطلق في التواتر الذي تشير إليه الهزازة Δf_y و هو من مرتبة الفروق $|f_y - f'_y|$ ، وكذلك الارتياب النسبي المئوي في هذا التواتر أي $r\% = \frac{\Delta f_y}{f_y} \times 100\%$ هو من مرتبة الفروق النسبية المئوية $\frac{f_y - f'_y}{f_y} \times 100\%$.

١٠- حقق تجريبياً الأشكال الأخرى الظاهرة في الشكل (5) وأوجد باستخدام العلاقة (11) شروط تشكيلها مع ملاحظة أن $f_x = 50\text{Hz}$ دوماً، حاول تشكيلها على شاشة الراسم، سجل النتائج الخاصة بهذه الأشكال. أي سجل قيم f_y, f_x, n_x, n_y .

١١- ضع زر نوع الاهتزاز (2) على وضعة الاهتزاز التريبيعي، ولاحظ شكل المنحني على شاشة الراسم عندما يكون الاهتزاز المأخوذ من الهزازة مساوياً 50Hz، هل تجد قطعاً ناقصاً من جديد ؟ فسر ماتجده .

* * *

الثنائي نصف الناقل

The semiconductor Diode

١- الغاية من التجربة:

- التعرف على بنية الثنائي نصف الناقل وخصائصه ، وكيفية عمله .
- رسم منحنياته المميزة .
- استخدام الثنائي نصف الناقل في تقويم التيار المتناوب .

٢- التمهيد النظري:

تتميز المواد نصف الناقلة بمقاومة نوعية تأخذ قيماً في المجال من 10^{-4} إلى 10^3 أوم $\times$ م ، بينما تقع قيمة المقاومة النوعية للمواد العازلة في المجال 10^3 إلى 10^{18} أوم $\times$ م ، وتصغر هذه القيمة في المواد الناقلة الى رتبة 10^{-8} أوم $\times$ م أو أقل منها.

وفي حين أن المواد الناقلة تزداد مقاومتها R خطياً بتزايد درجة الحرارة حسب

العلاقة التالية :

$$R = R_0(1 + \alpha t) \quad (1)$$

حيث : α عامل المقاومة الحراري وهو يساوي $\frac{1}{273}$ ، t درجة الحرارة المئوية ،

R_0 المقاومة في درجة الصفر المئوية .

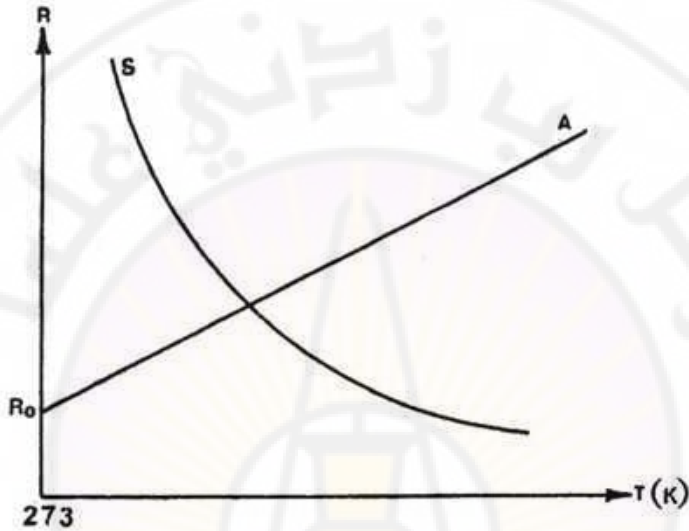
إن من أهم خصائص المادة نصف الناقلة تناقص مقاومتها الكهربائية بازدياد درجة الحرارة وذلك في مجال واسع من درجات الحرارة . وعندما تكون المادة نصف الناقلة نقية ، تأخذ العلاقة المعبرة عن ذلك شكل التابع الأسّي التالي :

$$R = a.e^{\frac{b}{T}} \quad (2)$$

حيث T درجة الحرارة المطلقة و a ، b ، ثابتتان خاصتان بالمادة نصف الناقلة .

انظر الشكل (1) حيث نرمز بـ A إلى المنحني في حالة المادة الناقلة و بـ S إلى المنحني في حالة المادة نصف الناقلة .

إن المادة الأساسية المستخدمة حالياً في صناعة الثنائي نصف الناقل وكذلك الترانزستور هي السليكون ، وقد كان الجرمانيوم مستخدماً على نطاق واسع سابقاً إلا أنه بدأ استخدامه يتلاشى بسرعة.



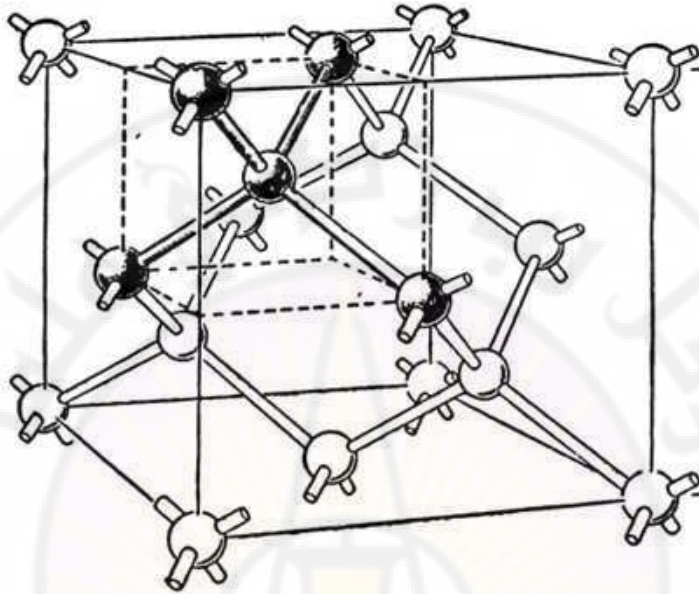
الشكل (١): العلاقة بين المقاومة ودرجة الحرارة في حالتي الناقل ونصف الناقل

أولاً- البنية البلورية للسليكون :

تتألف ذرة السليكون من نواة يدور حولها 14 إلكترونًا موزعة على ثلاثة مدارات ، إلكترونان في المدار k ، وثمانية في المدار L ، وأربعة في المدار M وتدعى هذه الأخيرة الإلكترونات التكافؤ . وتتجمع ذرات السليكون في الحالة الصلبة بحيث تشكل تركيباً بلورياً منسقاً على النحو المبين في الشكل (2) . تصبح كل ذرة من السليكون في حالة الاستقرار بجعل عدد الإلكترونات في مدارها الخارجي ثمانية ولذلك فهي تتربط مع كل ذرة من الذرات الأربع المجاورة بواسطة إلكترونين تقدم الذرة المذكورة أحدهما وتقدم الآخر إحدى الذرات الأربع .

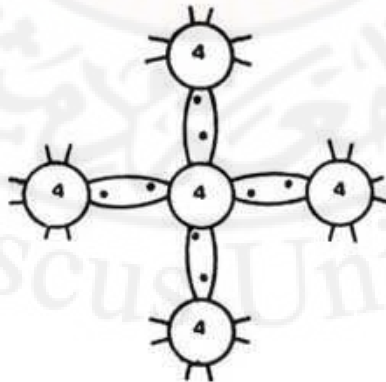
ونمثل ذلك في المستوي على النحو المبين في الشكل (3) . فنرمز بدائرة ضمنها الرقم 4 إلى نواة ذرة السليكون ومعها الإلكترونات التي تدور حولها باستثناء الإلكترونات التكافؤ

الأربعة التي تقوم بعملية ربط الذرة بجوارها .



الشكل (٢): ارتباط الذرات في البنية البلورية للسليكون

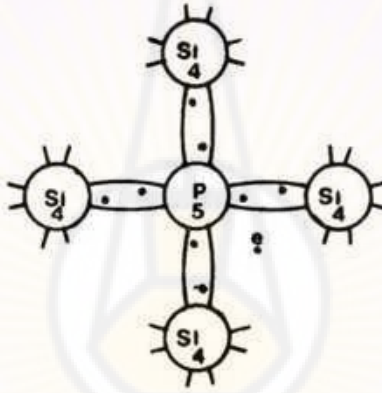
وفي درجة الصفر المطلق (-273°C) مثوية ، تكون كافة الكتلونات ذرات السليكون مستقرة في مداراتها ، ولا يوجد أي منها حراً خارج مداره. وبالتالي يكون السليكون في



الشكل (٣): تمثيل ارتباط ذرات السليكون في المستوي

هذه الدرجة مادة عازلة . وبتطبيق طاقة حرارية أو ضوئية متزايدة القيمة على بلورة السليكون ، تبدأ الذرات بالاهتزاز وتحرر بعض الإلكترونات من مداراتها الخارجية مشكلة الكترولونات حرة تزيد من ناقلية السليكون ، وتنخفض بالتالي مقاومته . إلا أنه مع ذلك تبقى مقاومته عالية نسبياً.

ولتخفيض مقاومة السليكون إلي أقل من ذلك، نلجأ عادة إلى معالجته بمادة شائبة خماسية التكافؤ كالفسفور أو ثلاثية التكافؤ كالبور، ويبين الشكلان (4) و (5) النوعين الحاصلين :



الشكل (4) : المخطط النظري لترباط الفوسفور مع السليكون

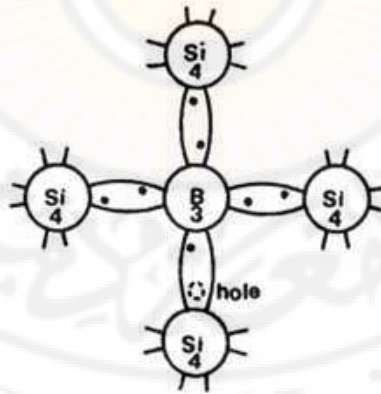
أ- السليكون N أو السليكون السالب :

ونحصل عليه بإضافة ذرات من عنصر خماسي التكافؤ كالفسفور مثلاً ، فينتج بذلك نوع من السليكون المشوب . يتشكل البناء البلوري هنا، كما هو مبين في الشكل (4) ، من ترباط ذرة الفسفور مع أربع ذرات من السليكون بواسطة أربعة الكترولونات من ذرة الفسفور وأربعة الكترولونات يُؤخذ كل منها من إحدى ذرات السليكون الأربع المشار إليها بالرمز Si . ويفيض إلكترون واحد من كل ذرة شائبة يبقى ارتباطه ضعيفاً بذرة الفسفور . وقد وجد أن تطبيق طاقة قليلة جداً في هذه الحالة كافٍ لجعل الإلكترون الخامس من ذرة الفسفور يترك مداره ويصبح إلكترون حراً .

ونحصل بذلك على عدد كبير من الإلكترونات الحرة تجعل السليكون السالب ذا ناقلية كبيرة. وتتحرك هذه الإلكترونات بسهولة بفعل حقل كهربائي مطبق على البلورة . وقد مثلنا الإلكترون الحر في الشكل (4) بدائرة سوداء صغيرة تحت الحرف e .

ب- السليكون P أو السليكون الموجب:

ونحصل عليه بإضافة ذرات من عنصر ثلاثي التكافؤ كالبور مثلاً ، فينتج بذلك نوع من السليكون المشوب . يتشكل البناء البلوري هنا، كما هو مبين في الشكل (5) ، من ترابط ذرة البور مع ثلاث ذرات من السليكون . أما ذرة السليكون الرابعة والتي لا تجد من تشاركه في أحد الكترونات ، فتسلك سلوك شحنة موجبة تتوق إلى التفاف الكترون حر، وهي بذلك تشجع على انتقال التيار في المادة . ونقول اصطلاحاً إنه يرافق كل ذرة شائبة ثلاثية التكافؤ ثقب موجب (positive hole) . وتتحرك الثقوب هذه لدى تطبيق حقل كهربائي عبر البلورة وهي تُسهم بذلك في تحسين ناقلية المادة نصف الناقلة للتيار الكهربائي.



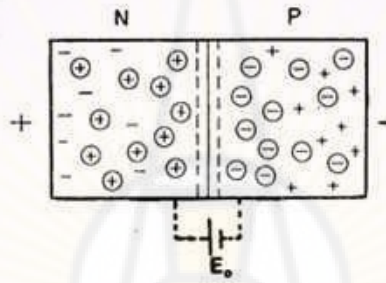
الشكل (٥): المخطط النظري لترابط البور مع السليكون

ثانياً- الثنائي نصف الناقل أو الوصلة P - N :

يتم وصل قطعة من السليكون P مع قطعة من السليكون N بطريقة معينة وذلك

لتشكيل الثنائي نصف الناقل، انظر الشكل (6) . ونحصل بهذه الطريقة على الثنائي نصف الناقل الاتصالي (Junction diode) ويتميز هذا النوع من الثنائيات بمقدرته على إمرار تيار شديد نسبياً فيه .

ونشير أن هناك نوع آخر من الثنائيات يعرف باسم الثنائي نصف الناقل ذي نقطة التماس (Point contact diode) أو النقطي، ويتم فيه الاتصال بين سطح متسع ورأس دقيق . ويفيد في الحصول على تيارات ضعيفة نسبياً من مرتبة بضعة مللي أمبيرات، وقد قلّ استعماله . ونكتفي بشرح نصف الناقل الاتصالي .



الشكل (٦) : الثنائي نصف الناقل الاتصالي أو الوصلة P - N

يؤدي وصل القطعتين P و N إلى انتقال الإلكترونات الحرة الموجودة في السليكون N، إلى السليكون P لكي تتحد مع الثقوب موجبة الشحنة الموجودة في P . يعني هذا تكون شحنة سالبة في P وشحنة موجبة في N، مما يؤدي إلى حصول فرق كمون بين طرفي منطقة الاتصال يسمى فرق كمون التماس، وهو يكافئ نابعة وهمية E_0 . وتكون القطعة P سالبة بالنسبة للقطعة N .

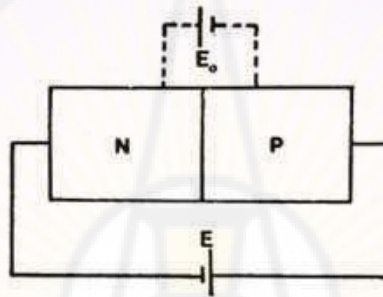
لدى تطبيق فرق كمون خارجي على طرفي الثنائي نصف الناقل، تختلف ناقليته باختلاف طريقة الوصل ، ولدينا احدى الطريقتين التاليتين:

١- طريقة الوصل المباشر :

يوصل طرفا الثنائي نصف الناقل إلى قطبي منبع تغذية خارجي على نحو تنقص

معه سلبية الجزء السالب P، وكذلك تنقص ايجابية الجزء الموجب N، أي إن القطب الموجب لمنبع التغذية يتصل مع الجزء P، ويتصل القطب السالب مع N كما في الشكل (7).

يؤدي هذا الى زيادة حركة انتقال الالكترونات من N الى P وازدياد حركة الثقوب من P الى N، وبالتالي الى سهولة سريان التيار الذي يولده فرق الكمون الخارجي في الدارة. يعني هذا أن الثنائي نصف الناقل يعمل في هذه الحالة عمل الصمام الثنائي في حالة التوصيل أو النقل.



الشكل (٧): الوصل المباشر

تسمى نسبة فرق الكمون الخارجي المطبق على الثنائي نصف الناقل الى التيار الذي يمر فيه: المقاومة المباشرة للثنائي نصف الناقل ونكتب العلاقة:

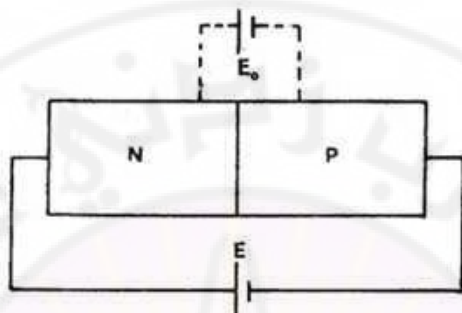
$$R_f = \frac{V_f}{I_f} \quad (3)$$

٢- طريقة الوصل العكسي:

يوصل طرفا الثنائي نصف الناقل الى قطبي فرق الكمون الخارجي على نحو معاكس لحالة الوصل المباشر كما في الشكل (8).

ويؤدي الوصل هنا الى ازدياد سلبية الجزء P وكذلك الى ازدياد ايجابية الجزء N، وبالتالي الى منع انتقال الالكترونات من N الى P ومنع انتقال الثقوب من P الى N، أي منع سريان التيار الذي يولده فرق الكمون الخارجي في الدارة. ولكن بعض الالكترونات

والثقوب ذات الطاقة العالية تبقى قادرة على الانتقال مشكلة ما يعرف باسم التيار العكسي . يعمل الثنائي نصف الناقل في هذه الحالة عمل الصمام الثنائي في حالة القطع أو الايقاف .



الشكل (٨): الوصل العكسي

تسمى نسبة فرق الكمون الخارجي المطبق على الثنائي نصف الناقل الى التيار العكسي الذي يمر فيه : المقاومة العكسية للثنائي نصف الناقل ونكتب :

$$R_r = \frac{V_r}{I_r} \quad (4)$$

ثالثاً- المنحني المميز للثنائي نصف الناقل :

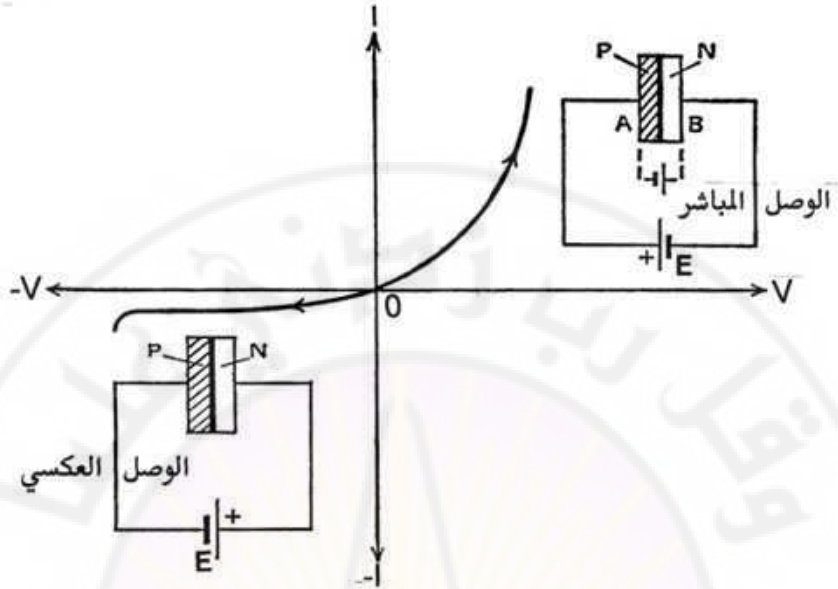
إن أهم منحني مميز للثنائي نصف الناقل هو المنحني البياني لشدة التيار الذي يمر فيه I بدلالة التوتر المطبق عليه ، وذلك في حالتي الوصل المباشر والوصل العكسي ، انظر الشكل (٩). أي تحديد التابع I في الحالتين التاليتين :

أ- حالة الوصل المباشر حيث يكون التابع :

$$I_f = f(V_f) \quad (5)$$

ب- حالة الوصل العكسي حيث يكون التابع :

$$I_r = f(V_r) \quad (6)$$



الشكل (٩): المنحني المميز للثنائي نصف الناقل

٣- الأجهزة والأدوات المستخدمة:

ثنائي نصف ناقل اتصالي من السليكون طراز HC300 أو BA100 ، منبع تغذية للتوتر المستمر (30 - 0) فولط ، دائرة الوصل المباشر ، دائرة الوصل العكسي ، مقاومة حماية 50 أوم ، مقياس مللي أمبيرر مجاله (0 - 50) ، مقياس ميكرو أمبيرر مجاله (0-50) ، مقياس فولط مستمر رقمي ، أسلاك توصيل .

٤- مراحل العمل والنتائج:

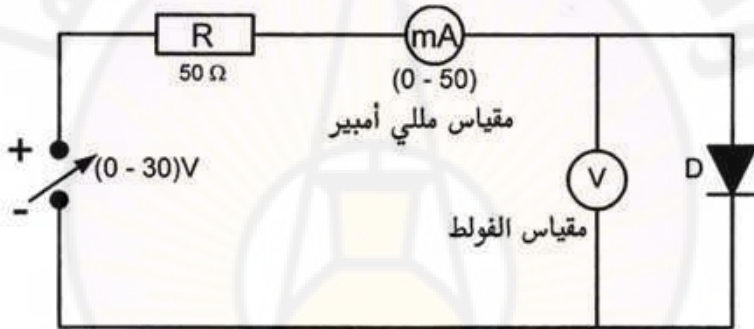
أ- إذا وصل الثنائي نصف الناقل بطريقة الوصل المباشر ، فإنه يمر تيار لابأس به . وإذا أردنا أن نجعل هذا التيار أصغرياً لدى فحص الثنائي نصف الناقل ، وجب وصل مجزئ للكمون على التسلسل مع مقاومة ثابتة للحد من شدة التيار .

ولذا نصل منبع التغذية بمقاومة على التسلسل مع مجزئ الكمون ، وهذا ما يحد من التوتر المطبق على الثنائي وبالتالي من التيار الذي يمر فيه .

ب- أما إذا وصل الثنائي بطريقة الوصل العكسي ، فإن مقاومته تكون عالية ، ولكي نحصل على تيار عكسي محسوس ، لا بد من تطبيق توتر عال عليه . ولذا نحذف المقاومة التسلسلية عندما نفحص الثنائي في هذه الحالة .

أ- دراسة الثنائي في حالة الوصل المباشر :

١- ركب الدارة المبينة في الشكل (10) مستخدماً الثنائي الاتصالي طراز HC 300 وذلك باستخدام مقياس مللي أمبير (0-50) على التسلسل مع الثنائي نصف الناقل ومقياس فولت الرقمي على التفرع معه كما في الشكل .



الشكل (١٠): دارة الثنائي نصف الناقل الاتصالي في حالة الوصل المباشر

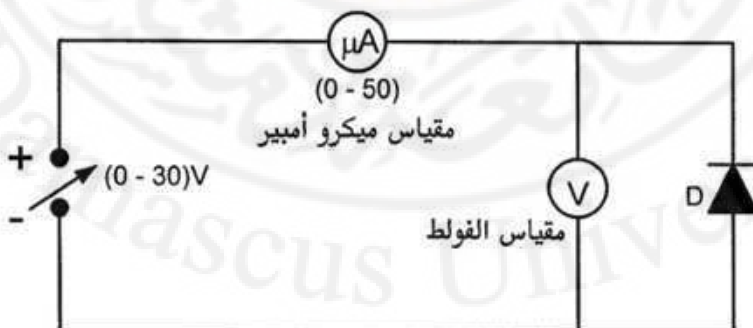
- ٢- اعرض وصل الدارة على الاستاذ المشرف قبل وصلها بمنبع التغذية ..
- ٣- صل الدارة بمنبع التغذية وزد تدريجياً التوتر المستمر من منبع التغذية حتى تحصل على التيارات المبينة في الجدول التالي ، سجل قيم التوتر V_f المقابلة لها .
- ٤- سجل نتائج القياس في الجدول أدناه .
- لاحظ أنه لا يجوز أن تتجاوز شدة التيار I_f الحد المسجل في الجدول أثناء القياس .
- ٥- احسب مقاومة الثنائي في حالة الوصل المباشر R_f لكل حالة ، وسجل هذه القيم في الجدول ذاته .

٦ - ارسم على ورقة مليمتريّة الخط البياني لتحويلات I_f بدلالة V_f من قيم الجدول السابق ، وهو منحني يبين سلوك الثنائي في حالة الوصل المباشر .

I_f (mA)	V_f (V)	$R = \frac{V_f}{I_f}$ (Ω)
0		
0.2		
0.4		
0.6		
0.8		
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
15		
20		
25		

ب- دراسة الثنائي في حالة الوصل العكسي:

١- ركب الدارة المبينة في الشكل (11) مستخدماً الثنائي نصف الناقل ذاته ، وذلك



الشكل (١١): دارة الثنائي نصف الناقل في حالة الوصل العكسي

باستخدام مقياس المكرو أمبير (0 - 50) على التسلسل مع الثنائي نصف الناقل، ومقياس الفولت الرقمي على التفرع كما في الشكل .

٢- اعرض وصل الدارة على الاستاذ المشرف قبل وصلها بمنبع التغذية المستمر .

٣- صل الدارة بمنبع التغذية ، وزد تدريجياً التوتر المستمر من نبع التغذية حتى تحصل على الكمونات المبينة في الجدول ، وسجل التوتر العكسي V_r وقيم التيار العكسي المقابلة I_r .

٤- سجل نتائج القياس في الجدول التالي :

$V_r(v)$	$I_r(\mu A)$	$R = \frac{V_r}{I_r} (\Omega)$
0		
5		
10		
15		
20		
25		
30		

٥- احسب مقاومة الثنائي في حالة الوصل العكسي R_r وسجلها في الجدول .

٦- ارسم على ورقة مليمتريّة (السابقة) الخط البياني لتحويلات I_r بدلالة V_r ، من

قيم الجدول السابق وهو منحني يبين سلوك الثنائي في حالة الوصل العكسي .

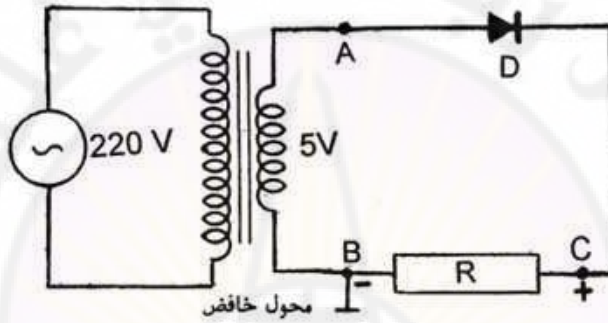
ج- تطبيقات الثنائي نصف الناقل :

يمكن استخدام الثنائي نصف الناقل لتقويم التيار المتناوب أي تحويله من

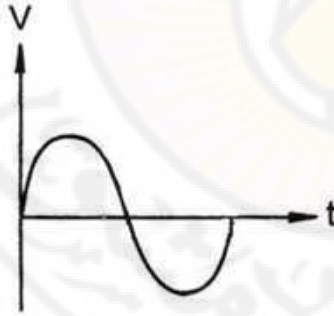
متناوب إلى مستمر وذلك في حالتين.

١- حالة تقويم نصف موجة:

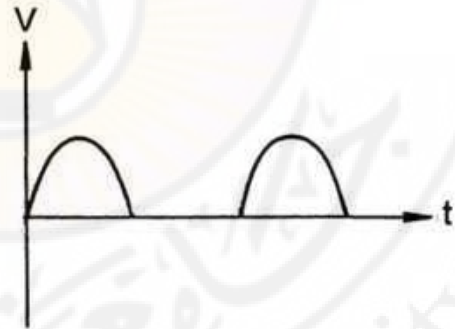
- ١- صل الدارة المبينة بالشكل (12)، استخدم راسم الاهتزاز المهبطي لظهار شكل الإشارة بين طرفي المحول A و B.
- ٢- لاحظ شكل الإشارة بين طرفي المقاومة R بعد التقويم بالثنائي D، قارن مع الرسم المبين أدناه .



لشكل (١٢): دارة تقويم نصف موجة



الإشارة بين طرفي المحول



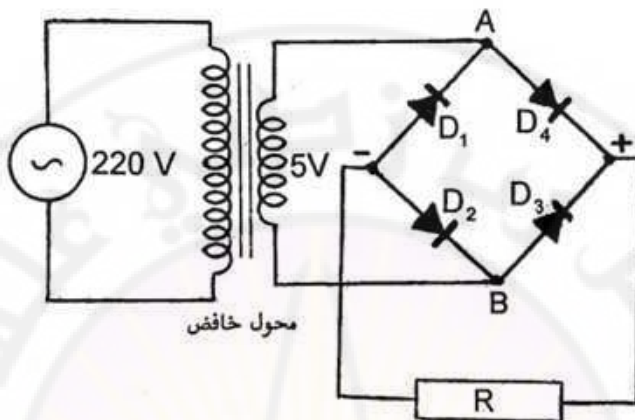
الإشارة بين طرفي R

٢- حالة تقويم موجة كاملة:

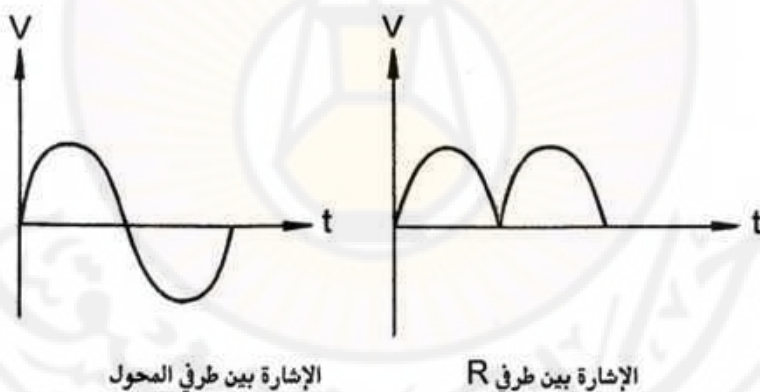
يمكن استخدام الثنائي نصف الناقل في تقويم التيار المتناوب في حالة الموجة الكاملة باستخدام أربع ثنائيات كما هو مبين في الشكل (13) .

- ١- استخدم راسم اهتزاز مهبطي ذي قناتين بالإضافة إلى جسر تقويم كالمبين في

الشكل (13)، لاحظ الإشارة بين طرفي المحول (5V) على احدى القناتين . ثم لاحظ شكل الإشارة بين طرفي المقاومة R على القناة الأخرى . قارن مع الرسم المبين أدناه .



الشكل (١٣): دائرة جسر التقويم



الإشارة بين طرفي المحول

الإشارة بين طرفي R

٢- لاحظ إنه عندما يكون الطرف A موجباً فإن التيار يمر عبر D_1 ثم R ثم D_3 ويعود الى المحول الخافض. وعندما يكون الطرف A سالباً عندها يمر التيار عبر D_2 ثم R ثم D_4 ويعود الى المحول الخافض. وفي كلتا الحالتين يمر التيار عبر المقاومة R من اليسار إلى اليمين بمعنى أن التيار غدا مستمراً و فرق الكمون بين طرفي المقاومة R مستمر ولذا وضعت إشارة (+) على الطرف اليساري (-) على الطرف اليميني.

* * *

الترانزستور

The Transistor

١- الغاية من التجربة:

- التعرف على بنية الترانزستور وأنواعه، وطرق توصيله.
- رسم المنحنيات المميزة التي تظهر خصائصه المختلفة.
- قياس عامل تضخيمه.

٢- التمهيد النظري:

في عام ١٩٤٨، أعلن عالمان هما J.Bardeen و W.H.Brattain ابتكار الترانزستور، وقد اشتقا هذا الاسم من عبارة resistance transformer وهي تعني محولة المقاومة. وقد كان الترانزستور الأول من النوع النقطي (point transistor) وهو نوع قل استخدامه الآن وحل محله الترانزستور الاتصالي (Junction transistor). إن باستطاعتنا تضخيم الإشارات الكهربائية الضعيفة بفضل الترانزستور، على نحو ما تفعل الصمامات. إلا أن الترانزستور يعمل وفق مبدأ مختلف تماماً عن مبدأ عمل الصمامات.

أولاً: مقارنة الترانزستور بالصمام الثلاثي المسرى:

من المفيد أن نقارن بين الترانزستور والصمام الثلاثي المسرى قبل الشروع بشرح بنية الترانزستور كي نتبين مزاياه الأساسية:

١- إن الترانزستور أصغر من الصمام بصورة عامة، ولذا يمكن صناعة الأجهزة الترانزستورية بأحجام أصغر من أحجام الأجهزة التي تستخدم فيها الصمامات.

٢- إن عمل الصمامات يعتمد على التحكم في تدفق الإلكترونات، ويتم توليد هذه الإلكترونات بتسخين فتيل الصمام. أما الترانزستور فلا يحتاج إلى تسخين لكي يقوم بعمله، وبالتالي فلا حاجة لصرف طاقة كهربائية تتحول إلى طاقة حرارية. كما أن

استهلاك الترانزستور للطاقة الكهربائية هو أقل من استهلاك الصمامات لها، ويمكننا هذا من تشغيل الأجهزة الترانزستورية على بطاريات صغيرة وبالتالي من تصغير حجمها. ٣- إن الجهود الكهربائية اللازمة لتشغيل الأجهزة الترانزستورية هي أقل بكثير من مقابلاتها في الأجهزة الصمامية وبالتالي فليس هناك خطر للتكهرب في هذه الأجهزة.

٤- تتميز الأجهزة الترانزستورية بالعمر الطويل، وهو عامل هام جداً خاصة في الآلات الحاسبة التي قد تحتاج إلى آلاف الصمامات كي تقوم بعملها خير قيام.

٥- إذا تعرض الصمام إلى الارتجاج الشديد، تتزحزح العناصر المولدة له ويؤدي هذا إلى خلل في عمل الصمام ويعرف هذا باسم الميكروفونية (Microphony). ويظهر الخلل على نحو تشويه شديد للصوت أو على نحو زعيق مرافق للصوت. ولا يحدث ما يقابل ذلك في الأجهزة الترانزستورية لتماسك العناصر المولدة للترانزستور تماسكاً جيداً.

٦- لا يعطي الترانزستور قدر التضخيم الذي ينتج بالصمام، وعادة ما يعوض عن هذا باستخدام عدد أكبر من الترانزستورات في الأجهزة الإلكترونية.

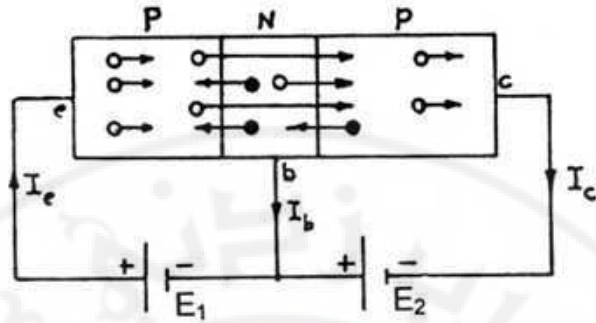
وتصح هذه المقارنة أيضاً في حالة الثنائي نصف الناقل الذي ورد في التجربة السابقة إذا ما قورن بالصمام الثنائي المساري من حيث المزايا.

ثانياً: بنية الترانزستور:

يتألف الترانزستور من ثلاث طبقات من السليكون السا لب n والسليكون الموجب p . ويمكن أن تكون هذه الطبقات الثلاث بأحد ترتيبين هما $p-n-p$ أو $n-p-n$.

١- الترانزستور من النوع $p-n-p$:

توضع في هذا النوع طبقة من السليكون n بين طبقتين من السليكون p . ويتصل بكل طبقة سلك يبرز إلى خارج الترانزستور. ويسمى أحد هذه الأسلاك الباعث (emitter) ونرمز له بالرمز e ، ويسمى الآخر القاعدة (base) ونرمز له بالرمز b ، أما الثالث فيسمى المجمع (collector) ونرمز له بالرمز c . ويبين الشكل (1) الترانزستور من النوع $p-n-p$.



الشكل (١): تمثيل توضيحي يبين آلية عمل الترانزستور من النوع p- n- p

تقوم آلية عمل الترانزستور من هذا النوع، على وصله بمنبعي تغذية خارجيين E_1 و E_2 على النحو المبين في الشكل. إن طريقة وصل E_1 بالباعث والقاعدة تجعل الثنائي p - n الأيسر موصولاً وصلاً مباشراً ولذا تسري الثقوب (المثلة بدوائر فارغة في الشكل) من القطعة p في اتجاه القاعدة، مؤلفة تيار الباعث I_e . يتفرع جزء من هذا التيار في القاعدة إلى دارة E_1 مؤلفاً التيار I_b وذلك بفعل اكتساب بعض الثقوب حاجتها من الإلكترونات لدى اجتيازها للطبقة n، ويعتبر هذا الجزء ضائعاً من التيار I_e . هذا الجزء صغير جداً بسبب رقة الطبقة n، ولا يمثل غالباً إلا 2% من التيار I_e . أما باقي التيار فيسري إلى المجمع حيث تقوم البطارية E_2 بجمعه وإمراره في الدارة الخارجية مشكلاً تيار المجمع I_c ، ويكون:

$$I_c = \alpha \cdot I_e$$

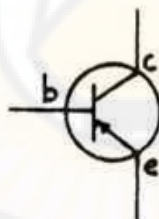
حيث يكون $\alpha = 0.98$ في الغالب. ويكفي لتجميع معظم الثقوب أن تكون E_2 من مرتبة 0.5 فولط، ولا تؤدي زيادة E_2 إلا زيادة ضئيلة في I_c . وعليه فإن مقاومة المجمع عالية جداً وقد تصل إلى 2 ميغا أوم. فيمكن إذن وضع مقاومة عالية في دارة المجمع دون تغيير قيمة I_c تغييراً يذكر. ومن جهة أخرى، فإن الباعث يجذب الإلكترونات (المثلة بدوائر مملوءة في الشكل) باستمرار، من الطبقة p اليمنى نحوه، في الوقت الذي يدفع الثقوب بعيداً عنه في اتجاه الطبقة n. يعني هذا مرور الشحنات الموجبة باستمرار في

الاتجاه المباشر للثنائي المتشكل من الباعث والقاعدة. ولا تزيد مقاومة الثنائي في الاتجاه المباشر عن 50 أوماً، وبالتالي، يكفي جهد صغير لـ E_1 لكي يمر تيار كبير نسبياً. فإذا تغير الجهد بين الباعث والقاعدة، رافقه تغير في تيار الباعث.

ولما كان تيار المجمع I_c لا يختلف عن I_e إلا بمقدار ضئيل يمكن إهماله، وهو يتغير بالنحو ذاته الذي يتغير به تيار الباعث، فإنه يحدث تغيرات كبيرة في الجهد بين طرفي مقاومة عالية توضع في دائرة المجمع. نحصل إذن على تغيرات ملموسة في الجهد بين طرفي المقاومة العالية التي نضعها في دائرة المجمع على الرغم من عدم وجود فرق ملحوظ بين تيار المجمع وتيار الباعث. ويمكننا القول أن التضخيم الذي يحصل بهذه الطريقة هو تضخيم تم بفعل اختلاف مقاومة المجمع اختلافاً كبيراً عن مقاومة الباعث، ومن هنا جاءت تسمية الترانزستور.

يمثل الترانزستور من هذا النوع رمزياً بالشكل (2)، حيث يشير السهم إلى اتجاه

حركة الثقوب.



الشكل (٢): التمثيل الرمزي للترانزستور من النوع $p - n - p$

ب- الترانزستور من النوع $n - p - n$:

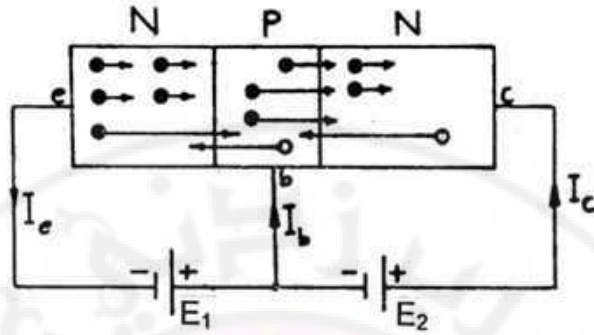
توضع في هذا النوع طبقة من السليكون p بين طبقتين من السليكون n ، ويبين

الشكل (3) الترانزستور من النوع $n - p - n$.

يختلف هذا النوع عن سابقه بأن تيار الثقوب يسري هنا في اتجاه معاكس لاتجاهه

في النوع السابق. فبينما يسري تيار الثقوب في النوع $p - n - p$ ، من الباعث إلى القاعدة،

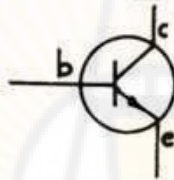
نجد أنه في هذا النوع يسري من القاعدة إلى الباعث كما هو مبين في الشكل.



الشكل (٣): تمثيل توضيحي يبين آلية عمل الترانزستور من النوع $n - p - n$

يمثل الترانزستور من هذا النوع رمزياً بالشكل (4) حيث يشير السهم إلى اتجاه حركة

الثقوب.



الشكل (4): التمثيل الرمزي للترانزستور من النوع $n - p - n$

ثالثاً- طرائق وصل الترانزستور في الدارات الكهربائية:

إن الشكل الذي شرحنا بموجبه عمل الترانزستور ليس إلا إحدى طرائق ثلاث يمكن أن توصل وفقها عناصر الترانزستور الثلاثة، الباعث والقاعدة والمجمع. وهذه الطرائق هي:

١- طريقة القاعدة المشتركة Common base:

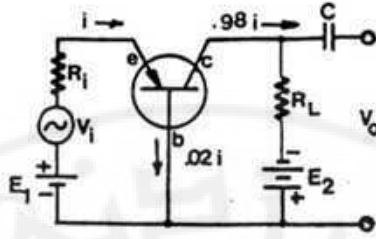
وتكون فيها القاعدة مشتركة بين دارتي الدخول والخروج كما هو مبين في

الشكل (5).

تتألف دارة القاعدة المشتركة من دارتين . الأولى دارة الدخول وفيها ممانعة

الدخول R_1 التي تكون صغيرة نسبياً: $R_1 = 50\Omega$ ، والتوتر المتناوب لإشارة

الدخول V_1 ، ومنبع التغذية E_1 . أما دارة الخروج ففيها ممانعة الحمولة R_L وتكون



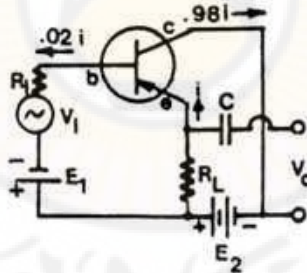
الشكل (٥): وصل الترانزستور بطريقة القاعدة المشتركة

كبيرة القيمة وتصل إلى $1M\Omega$ وتساوي غالباً $200k\Omega$ ، والتوتر المتناوب لإشارة الخروج V_o ، ومنبع تغذية E_2 . ويمكن حساب عامل تضخيم كل من التيار، والكمون، والاستطاعة . تستخدم طريقة القاعدة المشتركة في التضخيم .

٢- طريقة المجمع المشترك Common collector :

ويكون فيها المجمع مشتركاً بين دارتي الدخل والخروج كما هو مبين في

الشكل (6) .



الشكل (٦): وصل الترانزستور بطريقة المجمع المشترك

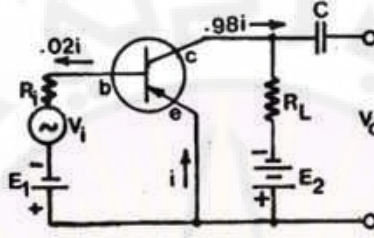
تتألف دائرة المجمع المشترك من دارتين. الأولى دائرة الدخل وفيها معانعة الدخل R_1 التي تكون قيمتها عالية وتعطى $R_1 > 20k\Omega$ ، والتوتر المتناوب لإشارة الدخل V_i ، ومنبع التغذية E_1 . أما دائرة الخروج ففيها معانعة الحمل R_L وتكون صغيرة نسبياً تتراوح من عشرات أوم إلى حوالي $1k\Omega$ ، والتوتر المتناوب لإشارة الخروج V_o ، ومنبع تغذية E_2 . ويمكن حساب عامل تضخيم كل من التيار، والكمون، والاستطاعة .

تستخدم طريقة المجمع المشترك لتوفيق الممانعة بين دارتين.

٣- طريقة الباعث المشترك Common emitter :

ويكون فيها الباعث مشتركاً بين دارتي الدخول والخروج، كما هو مبين في

الشكل (7) .



الشكل (٧) : وصل الترانزستور بطريقة الباعث المشترك

تتألف دائرة الباعث المشترك من دارتين . الأولى دائرة الدخول وفيها ممانعة الدخول R_i التي تكون قيمتها متوسطة نسبياً وتتراوح في المجال من 400 إلى 2000 أوم، والتوتر المتناوب لإشارة الدخول V_i ، ومنبع تغذية E_1 . أما دائرة الخروج ففيها ممانعة الحمولة R_L وتكون كبيرة تتراوح قيمتها في المجال من 50 إلى 500 كيلو أوم، والتوتر المتناوب لإشارة الخروج V_o ، ومنبع تغذية E_2 . ويمكن حساب عامل تضخيم كل من التيار، وفرق الكمون، والاستطاعة كما يلي:

أ- عامل تضخيم التيار:

ويرمز له بـ β ويعرف بأنه نسبة تغير تيار المجمع I_c إلى تغير تيار القاعدة I_b عندما يكون فرق كمون المجمع V_c ثابتاً فيكون:

$$\beta = \left(\frac{\Delta I_c}{\Delta I_b} \right)_{V_c = C}$$

ويكون عامل التضخيم β كبيراً في هذه الحالة وقيمته حوالي $\beta = 50$.

ب- عامل تضخيم الكمون:

ويرمز له G_v ، ويعرف بأنه نسبة فرق كمون الخروج V_o بين طرفي مقاومة الحمولة R_L في دائرة المجمع إلى فرق كمون الدخول V_i في دائرة القاعدة والباعث، فيكون:

$$G_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{\Delta I_c \cdot R_L}{\Delta I_b \cdot R_i} = \beta \frac{R_L}{R_i}$$

ويكون التضخيم في فرق الكمون كبيراً .

ج- عامل تضخيم الاستطاعة:

ويرمز له بـ G_p ، ويعرف بأنه نسبة استطاعة الخروج P_o إلى استطاعة الدخول P_i ، فيكون:

$$G_p = \frac{P_o}{P_i} = \frac{\Delta I_c^2 \cdot R_L}{\Delta I_b^2 \cdot R_i} = \beta^2 \frac{R_L}{R_i}$$

ويكون تضخيم الاستطاعة ذا قيمة كبيرة . تستخدم طريقة الباعث المشترك في التضخيم وهي أكثر الطرائق الثلاث انتشاراً وسوف نستخدمها في تجربتنا .

رابعاً- مميزات الترانزستور في حالة الباعث المشترك:

يوجد للترانزستور مميزان:

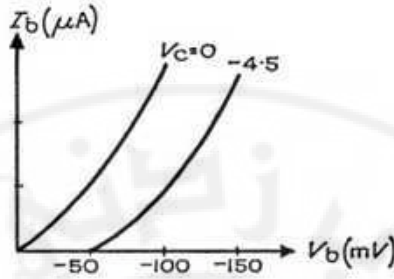
أ - مميز الدخول:

وهو يبين تابعة تيار القاعدة I_b (تيار الدخول) للجهد المطبق بين القاعدة والباعث V_b (جهد الدخول)، مع بقاء الجهد المطبق بين المجمع والباعث V_c (جهد الخروج)، ثابتاً، ويعبر عن ذلك رياضياً بالعلاقة:

$$I_b = f(V_b)_{V_c=C}$$

وبتغيير قيم V_c نحصل على أسرة منحنيات تشكل مجموعة مميزات الدخول، ويبين

الشكل (8) منحنيان من المنحنيات المميزة لدارة الدخول.



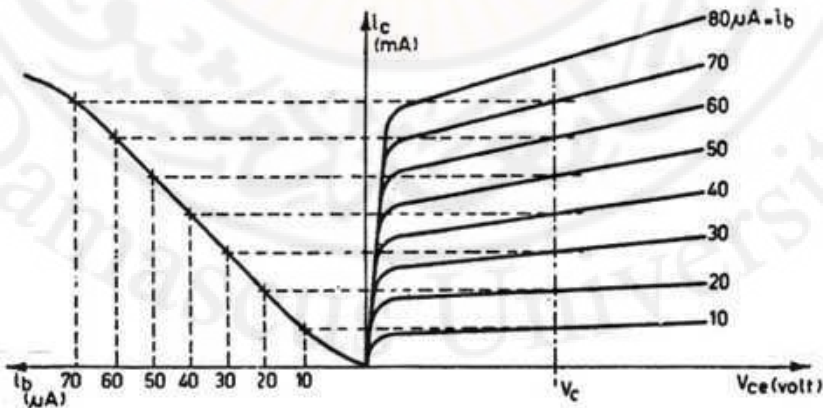
الشكل (٨): أسرة المنحنيات المميزة لدارة الدخول في ترانزستور نموذجي في حالة الباعث المشترك

ب- مميز الخروج:

وهو يبين تابعة تيار المجمع I_c (تيار الخروج) للجهد المطبق بين المجمع والباعث V_c مع بقاء تيار القاعدة I_b ثابتاً، ويعبر عن ذلك رياضياً بالعلاقة:

$$I_c = f(V_c)_{I_b = C}$$

وبتغيير قيم I_b الناتجة عن تغيير قيم V_b نحصل على أسرة منحنيات تشكل مجموعة مميزات الخروج. ويبين الشكل (9) أسرة المنحنيات المميزة لترانزستور نموذجي والتي سوف نسعى للحصول على ما يماثلها بالنسبة للترانزستور المدروس.



الشكل (٩): أسرة المنحنيات المميزة لترانزستور نموذجي في حالة الباعث المشترك

وفي دراستنا للمنحنيات المميزة للترانزستور، سنلجأ إلى استخدام الدارة المبينة في الشكل (11) حيث الباعث مشترك بين دارتي الدخول والخروج .

وسنبين المراحل التي تؤدي إلى رسم منحنيات كتلك الظاهرة في الشكل (9)، وترمز I_c ، في هذا الشكل إلى تيار المجمع، و V_{ce} إلى الجهد المطبق بين المجمع والباعث، وترمز I_b ، إلى تيار القاعدة .

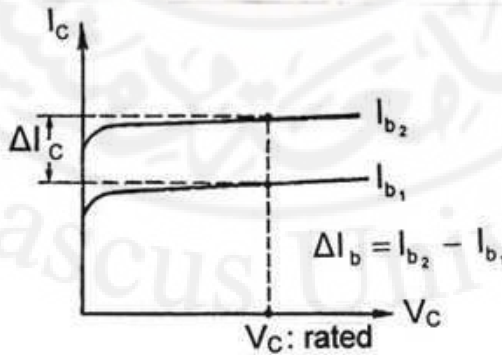
يمكن من هذه المنحنيات استنتاج عامل تضخيم التيار β للترانزستور:

- عامل تضخيم التيار β :

وهو بالتعريف نسبة تغير تيار الخروج إلى تيار الدخول مع بقاء جهد الخروج ثابتاً ويعبر عن ذلك رياضياً بالعلاقة:

$$\beta = \left(\frac{\Delta I_c}{\Delta I_b} \right)_{V_{ce}=C}$$

ويمكن حساب عامل التضخيم β كما هو مبين في الشكل (10) وذلك من أسرة المنحنيات I_c بدلالة V_{ce} أي $I_c = f(V_{ce})$ ، ويتم ذلك بأخذ قيمتين لتيار القاعدة I_{b1} وقيمتي تيار المجمع I_c ، المقابلتين من أجل فرق جهد ثابت V_{ce} أي أننا نحسب:



الشكل (١٠): كيفية حساب عامل تضخيم التيار

$$\Delta I_b = I_{b_2} - I_{b_1}$$

$$\Delta I_c = I_{c_2} - I_{c_1}$$

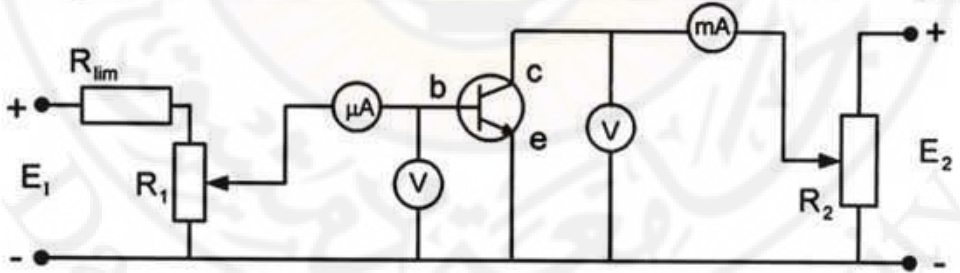
ثم تؤخذ النسبة ونحسب β من العلاقة السابقة.

٣- الأجهزة والأدوات المستخدمة:

ترانزستور n - p - n من أحد الأنواع التالية: BC 168, BC 148, BC 108 ؛
منبع تغذية E_1 متغير (0 - 2) فولت لتغذية القاعدة b، منبع E_2 (0 - 6) فولت لتغذية
المجمع c، مقياس فولط رقمي مستمر يقيس جهد الدخول؛ مقياس فولط رقمي مستمر
لقياس جهد الخروج؛ مقياس ميكرو أمبير مجاله $(0 - 500)\mu A$ لقياس I_b ، مقياس مللي
أمبير مجاله $(0 - 10) mA$ لقياس I_c ، مقاومة ثابتة $R_{lim} = 250\Omega$ ، أسلاك توصيل .

٤- مراحل العمل والنتائج:

من أجل دراسة مميزات الترانزستور، صل الدارة المبينة في الشكل (11)،
وأعرض هذا الوصل على الأستاذ المشرف ليتحقق من سلامته وذلك قبل وصل دارة
وحدتي التغذية E_1 و E_2 .



الشكل (١١): الدارة المستخدمة لرسم المنحنيات المميزة للترانزستور

أ - دراسة مميزات الخروج: $I_c = f(V_{ce})_{I_b=C}$

١- ضع مؤشر E_2 ، وكذلك مؤشر E_1 ، على وضعيتي الصفر وذلك لضمان سلامة
الترانزستور من التيارات الشديدة .

٢- غير E_1 حتى يشير مقياس الميكرو أمبير الذي يقيس I_b إلى القيمة $40\mu A$.

٣- غير E_2 وشكل جدولاً بقراءات V_{ce} على مقياس الفولط الموصل بين المجمع والباعث والقراءات المقابلة لـ I_c التي تقرأها على مقياس الملي أمبير الموصل في دائرة المجمع.

٤- أعد المرحلة (٢) من أجل قيم أخرى لـ I_b هي: $60, 80, 100 \mu A$.

٥- سجل نتائج القياس في الجدول التالي:

$I_b = 40 \mu A$		$I_b = 60 \mu A$		$I_b = 80 \mu A$		$I_b = 100 \mu A$	
V_{ce} V	I_c mA	V_{ce} V	I_c mA	V_{ce} V	I_c mA	V_{ce} V	I_c mA
0.0							
0.5							
1.0							
1.5							
2.0							
2.5							
3.0							
3.5							
4.0							
4.5							
5.0							

٦- ارسم أسرة المنحنيات المميزة لـ I_c بدلالة V_{ce} وذلك من أجل قيم I_b ، الثابتة وهي: $40, 60, 80, 100 \mu A$.

٧- أوجد عامل تضخيم التيار β المعروف بالعلاقة: $\beta = \left(\frac{\Delta I_c}{\Delta I_b} \right)_{V_{ce}=C}$ اختر

V_{ce} تساوي 3 فولط .

٨- استنتج من أسرة المنحنيات I_C بدلالة V_{CE} الخط البياني لتحويلات I_C بدلالة I_B وذلك من أجل V_{CE} مساوية 3 V، وذلك على النحو المبين في الشكل (9).

ب- دراسة مميزات الدخول $(V_B)_{V_{CE}=C}$: $I_B = f(V_B)$

١- ضع مؤشر E_2 على وضعة الصفر وكذلك E_1 ، وذلك لضمان سلامة الترانزستور من التيارات الشديدة.

٢- غير مؤشر E_2 حتى يشير مقياس الفولط في دائرة الخروج إلى الجهد $V_C = V_2$.

٣- غير مؤشر E_1 وشكل جدولاً بقراءات مقياس الفولط V_B في دائرة الدخول، وكذلك القراءات المقابلة لـ I_B ، على مقياس المكرو أمبير في دائرة القاعدة .

٤- أعد المرحلة (3) من أجل قراءات أخرى لـ V_C هي 3 و 5 فولط ثم قراءة V_B و I_B .

٥- سجل النتائج في كل مرة في الجدول التالي :

$V_C = 2 V$		$V_C = 3 V$		$V_C = 5 V$	
$V_B (V)$	$I_B (\mu A)$	$V_B (V)$	$I_B (\mu A)$	$V_B (V)$	$I_B (\mu A)$
0.0					
0.1					
0.2					
0.3					
0.4					
0.5					
0.6					
0.7					
0.8					
0.9					
1.0					

٦- ارسم على ورقة مليمتريّة المنحنيات المميزة التي تظهر تحولات I_B ، بدلالة V_B

٦- ارسم على ورقة مليمتريّة المنحنيات المميّزة التي تظهر تحولات I_b ، بدلالة V_b من أجل جهد ثابت لـ V_{ce} ، وذلك من القيم التي سجلتها في الجدول وهي (2,3,5) فولط .

٧- أوجد عامل تضخيم β العائد للترانزستور المستخدم والمعرف بالعلاقة:
$$\beta = \left(\frac{\Delta I_c}{\Delta I_b} \right)_{V_{ce}=C}$$

اختر V_{ce} تساوي 3 فولط وقارن مع ما تجده من المنحنيات المميّزة للخروج ومع ما يعطيه الصانع من معلومات .

* * *

النشاط الإشعاعي

Radioactivity

١- الغاية من التجربة :

- التعرف على ظاهرة النشاط الإشعاعي و على بعض المنابع المشعة.
- التعرف على أنواع و خصائص الإشعاعات النووية.
- استخدام عداد غايغر-مولر لكشف الإشعاعات النووية.
- دراسة تأثير سماكة المادة الماصة على شدة الإشعاع.
- دراسة تأثير بعد المنبع على شدة الإشعاع.

٢- التمهيد النظري :

يعود الفضل في اكتشاف النشاط الإشعاعي إلى العالم الفرنسي هنري بكريل (Henri Becquerel) في آذار عام ١٨٩٦، فقد وجد أنّ أملاح اليورانيوم المعزولة عن كل منبع ضوئي تترك أثراً في ألواح التصوير القريبة منها تماماً، كما تفعل الأشعة السينية (أشعة رورتنجن).

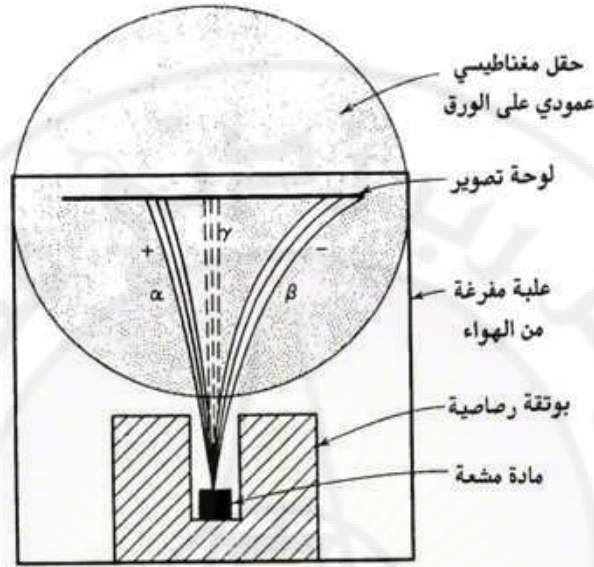
وتبين له أنّ هذه الإشعاعات لا علاقة لها بالضوء، ودرجة الحرارة، والضغط الجوي، والحقول الكهربائية والمغناطيسية، والتركيب الكيميائي، وجميع العوامل الفيزيائية، فهي ملازمة للمادة فحسب.

إنّ ظاهرة النشاط الإشعاعي تعود إلى عدم استقرار النواة في ذرات المادة وخاصة تلك التي تحوي عدداً كبيراً من البروتونات والنيوترونات، أو تحوي فائضاً منها، فهي تصدر عنها بشكل تلقائي.

وتختلف هذه الإشعاعات في قدرتها على تأيين الغازات واختراق المواد المختلفة، وأنّها لها سلوكاً مختلفاً تحت تأثير الحقل المغناطيسي كما هو مبين في الشكل (1).

تنتشر الإشعاعات في حالة انعدام الحقل المغناطيسي وفق خطوط مستقيمة في جميع

الاتجاهات الأمر الذي يجعل شدتها تتناقص عكساً مع مربع البعد عن المنبع.



الشكل (١): سلوك الإشعاعات المختلفة بوجود حقل مغناطيسي

أ- التعرف على أنواع وخصائص الإشعاعات النووية:

و قد تم تمييز أربع أنواع من الإشعاعات التي تصدر عن المواد النشطة إشعاعياً هي:

١- إشعاعات α (Alpha):

هي عبارة عن نوى ذرة الهليوم التي تتألف من بروتونين ونيوترونين فهي إذن تحمل شحنتين موجبتين.

و هي تتميز بأنها سهلة الإمتصاص في المادة نظراً لشدة تشتتها فهي تتوقف لدى اجتياز سماكة 0.07m من الهواء، و تمتص تماماً لدى اجتياز سماكة 0.10m من الهواء، و كذلك فهي تأين الغازات بشكل كبير.

٢- إشعاعات β^- (Beta):

و هي عبارة عن الكترونات سالبة، تصدر غالباً عن النوى التي يزيد عدد نوترونها

عن عدد بروتوناتها.

و هي تتميز بأنها تملك قدرة على اختراق الأجسام، إذ يكفي لامتناصها لدى اجتيازها صفيحة من الألمنيوم سماكتها 0.003m.

٣- إشعاعات β^+ (Beta) :

و هي عبارة عن بوزيترونات أي الكترونات موجبة تصدر غالباً عن النوى التي يزيد عدد بروتوناتها عن عدد نوتروناتها.

و هي تتميز بأنها أقل قدرة على تأين الغازات، ويمكن امتصاصها لدى اجتيازها صفيحة من الألمنيوم سماكتها 0.005m.

٤- إشعاعات γ (Gama) :

و هي عبارة عن فوتونات أي إشعاعات كهرومغناطيسية ليس لها كتلة ولا شحنة. و تتميز بأن لها قدرة كبيرة على اختراق المادة، فهي تستطيع اختراق صفيحة من الفولاذ سماكتها 0.02 m. ولها قدرة ضعيفة على تأين الغازات.

ب- تأثير سماكة المادة الماصة على شدة الإشعاع:

تدل الدراسة النظرية أن أشد الإشعاعات نفوذاً من المادة هي إشعاعات γ و يليها في ذلك إشعاعات β ثم α .

وتشير التجارب إلى أن الشدة النافذة من المادة الماصة تتناقص أسياً مع سماكة المادة، ويمكن التعبير عن ذلك وفق العلاقة التالية :

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu x} \quad (1)$$

حيث x : سماكة المادة الماصة الموضوعة أمام إشعاعات γ .

I_0 : شدة إشعاعات γ قبل دخول المادة الماصة.

I : شدة الإشعاعات النافذة من المادة الماصة.

μ : عامل امتصاص المادة و واحدته مقلوب الطول.

و بأخذ لغريتم الطبيعي لطرفي العلاقة (1) نجدك

$$\boxed{\ln I = \ln I_0 - \mu \cdot x} \quad (2)$$

$$\ln \frac{I}{I_0} = -\mu \cdot x \quad \text{و تكتب بالشكل:}$$

و تدل العلاقة (2) على أن الخط البياني المرسوم على ورقة نصف لغريتمية لتحويلات I بدلالة x هو خط مستقيم ميله $(-\mu)$ ، وأن I_0 نقطة تقاطع المستقيم مع المحور الشاقولي.

أما إذا رمزنا إلى $X_{\frac{1}{2}}$ إلى سماكة المادة التي تخفض الإشعاع إلى النصف أي تجعل: $\frac{I}{I_0} = \frac{1}{2}$ فإنه يكون:

$$\boxed{\frac{I}{I_0} = \frac{1}{2} = e^{-\mu x}}$$

ومنه ينتج:

$$\boxed{X_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\mu}}$$

وبالتالي نجد:

$$\boxed{X_{\frac{1}{2}} = \frac{0.693}{\mu}} \quad (3)$$

نسمي $X_{\frac{1}{2}}$ الثخن النصفوي للمادة الماصة.

ج- تأثير بعد المنبع على شدة الإشعاع:

تشير التجارب إلى أن شدة إشعاعات γ بجوار منبع صغير تتناسب عكساً مع مربع المسافة الفاصلة بين المنبع و فتحة العداد، ويمكن التعبير عن ذلك وفق العلاقة التالية:

$$\boxed{I = C \frac{1}{x^2}} \quad (4)$$

حيث: I شدة الإشعاعات المتناسبة مع البعد.

X: بعد المنبع عن نافذة العداد.

C: ثابت التناسب.

ويمكن كتابة العلاقة (4) بالشكل: $I \cdot x^2 = C$

وبأخذ لغيرتم الطرفين نجد:

$$\boxed{\text{Log } I + 2 \text{ Log } x = k} \quad (5)$$

و نجد من العلاقة (5) على أن الخط البياني المرسوم على ورقة لغيرتمية لتحويلات I بدلالة x هو مستقيم ميله (2).

و يمكن رسم الخط البياني للعلاقة (4) على ورقة مليمترية لتحويلات I بدلالة $\frac{1}{x^2}$ ، أيضاً هو مستقيم ميله (2).

٣- الأدوات و الأجهزة المستخدمة:

- مرقم غايغر- مولل طراز 13606.99 من شركة فيفي ، ومعه أنبوب غايغر- موللر .

- صندوق وقاية يسمى برج الرصاص .

- قاعدة تحوي شقوق معدة لحمل الرف حامل المنبع و الرف حامل ألواح السماكة.

- ألواح من الألمنيوم والرصاص والحديد و النحاس مختلفة السماكة.

- عداد ثوان عادي أو كهربائي، ملقط لنقل المصادر المشعة ، قدم قنوية أو دوارة لولبية.

- منابع مشعة بشدة 5 ميكرو كوري ، نورد فيما يلي أهم مزاياها والإشعاعات التي

تصدر عنها:

نوع الإشعاع	المنبع	الاسم
α	Am^{241}	أمريكيوم
β	Sr^{90}	سترونسيوم
γ	Co^{60}	كوبالت
α, β, γ	Ra^{226}	راديوم

- وصف عداد النبض و ملحقاته :

يبين الشكل (2) الواجهة الأمامية لعداد غايغر- مولر (G-M) ويظهر فيه مايلي :

- ١- مفتاح التشغيل: ويقع خلف الجهاز.
- ٢- زر بدء العمل أو الإيقاف عن العد.
- ٣- زر كتب عليه Reset.
- ٤- مفتاح مدرج بالثواني وأضعافها من أجل عدد النبضات في الثانية، أو 10 ثواني أو 60 ثانية وهكذا، ويظهر هذا العد على الشاشة، أو بسماعة من مكبر صوتي جانبي.
- ٥- مدخل كابل أنبوب عداد غايغر مولر .
- ٦- شاشة إظهار لقراءة عدد النبضات .



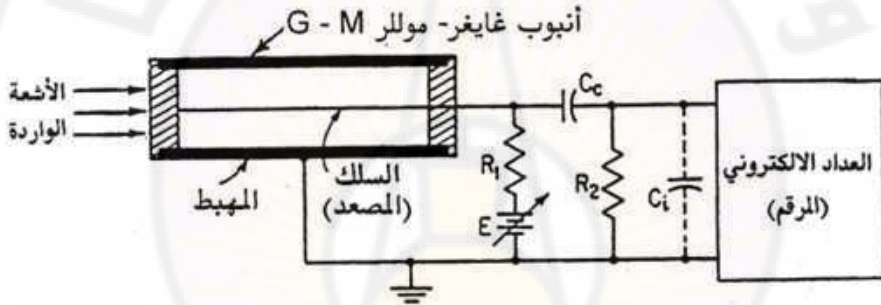
الشكل (٢): الواجهة الأمامية للمرقم

- وصف أنبوب غايغر- مولر:

يبين الشكل (3) أنبوب عداد غايغر مولر ودارته الكهربائية، وهو يتألف من سلك التنغستين مشدود على استقامة محور اسطوانة معدنية أو زجاجية مطلية من الداخل بمادة ناقلة، وينتهي أحد طرفي الأسطوانة بنافذة مغلقة بصفيحة من الميكا تسمح

بمرور الجسيمات والإشعاعات النووية.

يملاً داخل الأسطوانة عادة غاز خامل كالأرغون Ar مع قليل من غاز عضوي كالإثيلين وذلك تحت ضغط منخفض يساوي عشر الضغط الجوي. يوصل السلك المركزي للعداد وهو المصعد بالكومون المناسب عن طريق مقاومة R كبيرة من رتبة $10^9 \Omega$ موصولة على التسلسل لحماية الأنبوب أثناء مرور التيار فيه بالمرقم. و توصل الأسطوانة بالكومون السالب من المرقم. فإذا ورد شعاع ما حدث تأين للغاز في الأنبوب ومرت نبضة تيار يتم تضخيمها وتسجيلها في عداد الكتروني (المرقم).



الشكل (٣): دائرة أنبوب عداد غايغر-مولر

٤- طريقة العمل و النتائج:

أولاً- دراسة تأثير سماكة المادة على امتصاص الإشعاعات:

١- شغل المرقم، ثم ضع المفتاح رقم (4) على 60 ثانية، ثم سجل عدد النبضات في الدقيقة على شاشة المرقم للخلفية الإشعاعية الكونية (background) ثلاث مرات I_1 ، I_2 ، I_3 ، ثم احسب وسطي القيم الثلاث I .

٢- استخرج المنبع المشع Sr^{90} من البوتقة الرصاصية المحفوظ فيها، وثبته على الحامل المخصص لذلك.

٣- قرب المنبع من أنبوب غايغر - مولر تاركاً بعض المسافة لإدخال ألواح الامتصاص بينهما، ثم سجل شدة الاشعاع ثلاث مرات واحسب القيمة الوسطى I_0 .

- ٤- أدخل لوحاً واحداً من المادة الماصة من الألمنيوم أو الرصاص وقس سماكته x بالمليمتر التي تعترض سير الإشعاعات في كل مرة ، ثم سجل القراءة I_1 من الشاشة في الجدول ، أعد القياس مرتين وسجل I_2 ، I_3 ثم احسب وسطي القيم الثلاث I .
- ٥- أعد المرحلة (4) من أجل زيادة السماكة بإدخال لوح آخر وهكذا لإدخال جميع الألواح و سجل نتائجك من الشاشة في الجدول ثلاث مرات واحسب الوسطي .
- ٦- احسب صافي العد الإشعاعي $I - I_0$ المقابل لكل سماكة x للعادة الماصة.
- ٧- سجل نتائج القياس في جدول كالتالي :

نوع المادة الماصة						عدد النبضات في الدقيقة c/min $I_0 =$				
رقم التجربة	السماكة x (mm)	عدد النبضات في الدقيقة I (C/min)				العد الصافي I	$\frac{I_0}{I}$	$\ln \frac{I_0}{I}$	$\ln \frac{I_0}{x}$	$ \Delta $
		I_1	I_2	I_3	I					
1										
2										
3										
4										
5										
6										
						$\frac{I_0}{\text{الوسطي}}$				

- ٨- ماذا يمثل وسطي العمود $\ln \frac{I_0}{x}$ ؟ ما هي واحدته؟
- ٩- ارسم على ورقة نصف لغريتمية الخط البياني لتحويلات I بدلالة x واستنتج μ عامل الامتصاص من ميل المنحني الناتج ، وأن الميل يعطى من العلاقة :

$$\mu = \frac{\ln I_2 - \ln I_1}{x_2 - x_1} = \frac{\ln \left(\frac{I_2}{I_1} \right)}{x_2 - x_1}$$

- ١٠- أوجد الثخن النصفى لمادة الامتصاص من العلاقة (3) .
- ١١- أوجد الثخن النصفى من الخط البياني الذي يجعل عدد النبضات مساوياً للنصف.

ثانياً- دراسة تأثير بعد المنبع على شدة الإشعاع:

- ١- ارفع الألواح، شغل المرقم، ثم سجل شدة الأشعاع ثلاثة مرات وأحسب القيمة الوسطى I_0 ، ثم أرفع المنبع المشع وسجل عدد النبضات من شاشة المرقم للخليفة الإشعاعية الكونية (background) ثلاث مرات I_1 ، I_2 ، I_3 ثم أحسب وسطي القيم الثلاث I' .
- ٢- ضع المنبع المشع على بعد X من نافذة العداد وسجل عدد النبضات من شاشة المرقم ثلاث مرات I'_1 ، I'_2 ، I'_3 ثم احسب وسطي القيم الثلاث I' .
- ٣- احسب العد الصافي الإشعاعي $I - I' = I$ المقابل لكل بعد X .
- ٤- كرر العمل من أجل أبعاد مختلفة ثلاث مرات واحسب وسطي القيم الثلاث، ثم احسب في كل مرة عدد النبضات الصافية لكل بعد X .
- ٥- سجل النتائج في جدول كالتالي :

عدد النبضات في الدقيقة $I_0 = \dots\dots\dots$ C/min									
رقم التجربة	المسافة x (Cm)	عدد النبضات في الدقيقة I' (C/min)				العدد الصافي I	X^2	$\frac{1}{X^2}$	$ \Delta I = \sqrt{I}$
		I'_1	I'_2	I'_3	I'				
1									
2									
3									
4									
5									
6									

- ٦- ارسم على ورقة مليمتريية الخط البياني لتحويلات I بدلالة $\frac{1}{X^2}$. هل يمكن تمرير خط مستقيم من النقاط السابقة؟ ماذا تستنتج؟ ، ثم احسب ميله وعين معادلته .
- ٧- ارسم على ورقة لغريتمية الخط البياني لتحويلات I بدلالة X ، ثم احسب ميله الهندسي وعين معادلته .

* * *

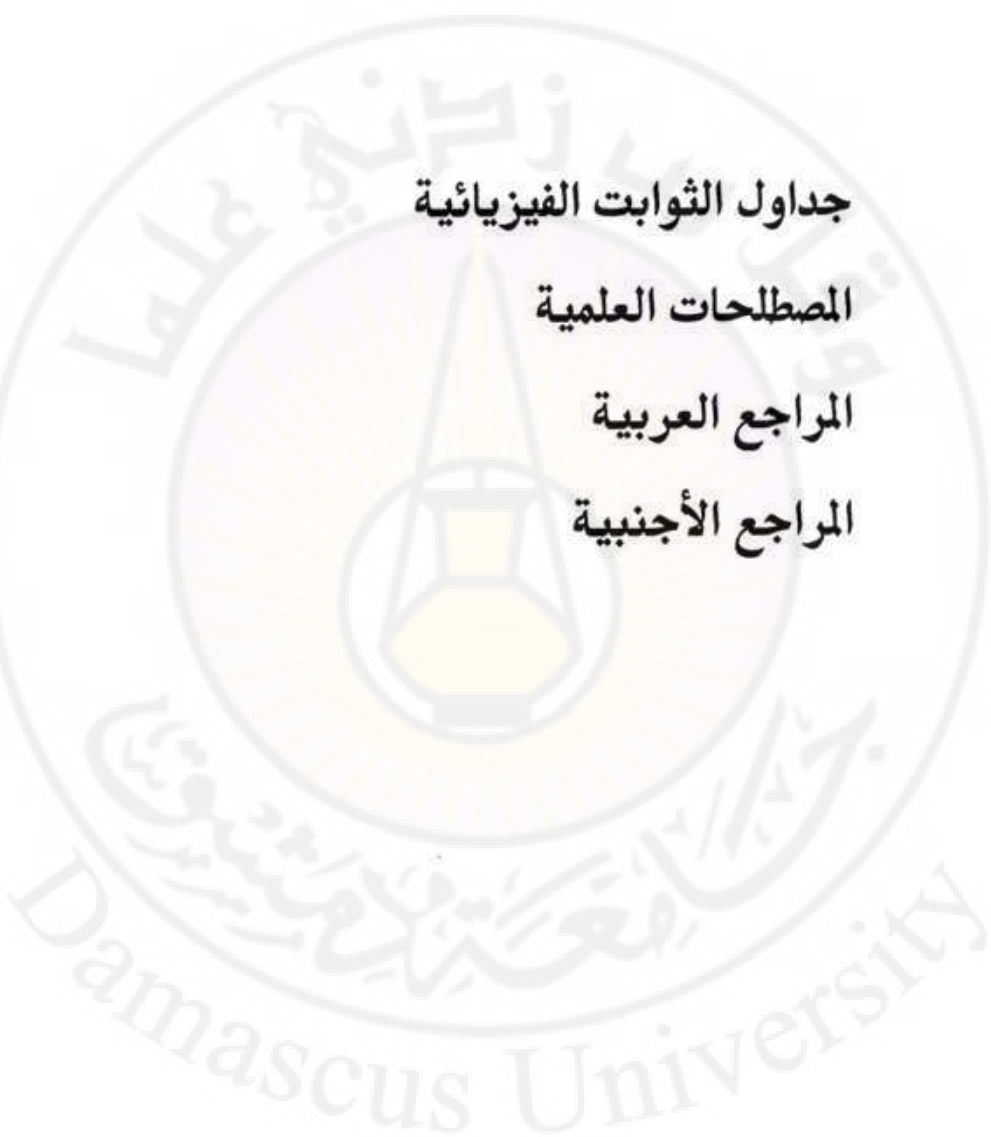
الملحق

جداول الثوابت الفيزيائية

المصطلحات العلمية

المراجع العربية

المراجع الأجنبية





جداول الثوابت الفيزيائية

- ١- جدول الثوابت الكونية وبعض المقادير الفيزيائية الأساسية .
- ٢- جدول الكتل الحجمية للأجسام الصلبة .
- ٣- جدول الكتل الحجمية لبعض السوائل والغازات .
- ٤- جدول التوتر السطحي لبعض السوائل .
- ٥- جدول قرائن الانكسار عند خط الصوديوم D .
- ٦- جدول الحرارة النوعية .
- ٧- جدول سرعة الصوت في أوساط مختلفة .
- ٨- جدول المقاومة النوعية .
- ٩- جدول الثوابت العددية .
- ١٠- جدول أطوال الأمواج للخطوط الطيفية المرئية لبعض العناصر .



١- جدول الثوابت الكونية وبعض المقادير الفيزيائية الأساسية:

اسم الثابت	واحداته	رمزه	قيمتة العددية في الجملة الدولية
ثابت بلانك	جول × ثانية	h	$6.63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$
ثابت بولتزمان	جول/كلفن	k	$1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
ثابت التجاذب الكوني	نيوتن × متر ^٢ / كغ ^٢	G	$6.67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$
نايت الغازات المثالية	جول × مول ^{-١} × كلفن ^{-١}	R	$8.31 \text{ J.mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
سرعة الضوء في الخلاء	متر/ثانية	C	$3 \times 10^8 \text{ m/s}$
عدد أفوكادرو	مول ^{-١}	N ₀	$6.023 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
شحنة الالكترون	كولون	e	$1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$
كتلة الالكترون	كغ	m _e	$9.109 \times 10^{-31} \text{ kg}$
كتلة البروتون	كغ	m _p	$1.672 \times 10^{-27} \text{ kg}$
نسبة شحنة الالكترون إلى كتلته	كولون/كغ	e/m _e	$1.76 \times 10^{11} \text{ c/kg}$
نفوذية الخلاء		μ ₀	$4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$
سماحية الخلاء	فاراد/متر	ε ₀	$8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$
سرعة الصوت في الهواء	متر/ثا	v	331.4 m/s

٢- جدول الكتل الحجمية للأجسام الصلبة في الدرجة 20° :

المادة المعادن النقية	الكتلة الحجمية $Kg/m^3 \times 10^{-3}$	المادة الخلاطة المعدنية	الكتلة الحجمية $Kg/m^3 \times 10^{-3}$
الألمنيوم	2.70	البرونز	8.8
البلاتين	21.45	الصُفر	8.7
البوتاسيوم	0.86	الفولاذ	7.8
الحديد النقي	7.88	الكونستانتان	8.88
الذهب	19.3	خليطة وود	9.5
الرصاص	11.34	مواد مختلفة	
الزئبق الصلب $0^{\circ}C - 39$	14.19	الباغة	1.15
الفحم	2.22	شمع البارافين	0.9
الفضة	10.5	خشب السنديان	0.8-0.6
الكالسيوم	1.54	الزجاج	2.8 – 2.4
الماس	3.514	الجليد $0^{\circ}C$	0.917
النحاس	8.89	الفلين	0.26 – 0.22
التوتياء	7.15		

٣- جدول الكتل الحجمية لبعض السوائل والغازات :

الغازات : في الشرطين النظاميين		السوائل : في درجة الحرارة 15°	
الكتلة الحجمية $Kg/m^3 \times 10^{-6}$	المادة	الكتلة الحجمية $Kg/m^3 \times 10^{-6}$	المادة
1.429	الأوكسجين	0.792	الأسيتون
1.977	ثاني أوكسيد الفحم	0.736	الأيتر
0.0899	الهيدرجين	1.0304	حمض الكبريت
1.2928	الهواء	13.6	الزئبق
0.1785	هيليوم	0.68	الغازولين
1.251	آزوت	0.810	غول الميتل
		0.791	غول الايتل
		1.26	الجليسرين 0 °C
		1.000	الماء 4°
		0.998	الماء 20°
		1.025	ماء البحر
		1.60	رابع كلور الفحم

٤- جدول التوتر السطحي لبعض السوائل في الدرجة 20 ° :

المادة	التوتر السطحي نيوتن/م $\times 10^{-3}$	المادة	التوتر السطحي نيوتن/م $\times 10^{-3}$
الجليسرين	64	الماء 0 C °	75.6
الغول الاتيلي	22.3	الماء 5 C °	74.9
الزئبق	475	الماء 15 C °	73.5
زيت الزيتون	33	الماء 25 C °	71.9
الإيثير	16	الماء 50 C °	67.9
محلول الصابون	تقريباً 25	الماء 100 C °	58.8

٥- جدول قرائن الانكسار لبعض المواد عند خط الصوديوم D ذي طول
الموجة 5893 A :

المادة	قرينة الانكسار	المادة	قرينة الانكسار
الكحول الاتيلي	1.367	الماء	1.33
رابع كلور الفحم	1.464	الماء المالح	1.34-1.38
الجليسرين	1.47	الزجاج التاجي الثقيل	1.59
الانيلين	1.586	الزجاج التاجي الخفيف	1.578
بلسم كندا	1.53	الزجاج الفلنت الثقيل	1.646
الزجاج التاجي	1.52	الزجاج الفلنت	1.90
الكوارتز	1.46	الزجاج التاجي الخفيف	1.51

٦- جدول الحرارة النوعية لبعض المواد:

المادة	الحرارة النوعية cal/g°C	المادة	الحرارة النوعية cal/g°C
السيلكون	0.168	الألمنيوم	0.22
الزجاج التاجي	0.161	التوتياء	0.092
الحجر	0.23 – 0.18	الحديد	0.115
الجليد (0°)	0.50	الرصاص	0.031
الصُفر	0.093	النحاس	0.093
الفولاذ	0.107	النيكل	0.105
الفضة	0.056	الزئبق	0.033
الجرمانيوم	0.077	القصدير	0.054

٧- جدول سرعة الصوت في أوساط مختلفة في الدرجة 0° :

نوع الوسط	سرعة الصوت m/sec	سرعة الصوت ft/sec
الهواء	331.5	1087
الهيدروجين	1270	4167
ثاني أكسيد الفحم	258	846
الماء	1450	4754
النحاس الأصفر	3500	11500
الحديد	5100	16730

٨- جدول المقاومة النوعية للأجسام الصلبة في الدرجة 20 ° :

المادة	المقاومة النوعية $\rho(\Omega.m) \times 10^{-8}$	المادة	المقاومة النوعية $\rho(\Omega.m) \times 10^{-8}$
الألمنيوم	2.6	الرصاص	22.1
النحاس الأحمر	1.72	الموليدنيوم	5.7
الحديد	9.8	النحاس	1.5
الزئبق	95.8	الحديد	8.7
النيكل	6.93	الكونستانتان	48
الفضة	1.6	نيكل - كروم	103
القصدير	11.5	المانغتين	44
التوتياء	5.75	سبيكة الفضة الألمانية	33

٩- جدول الثوابت العددية :

$\text{\AA} = 10^{-7} \text{ mm}$ أنغستروم	$\pi = 3.142$
$m\mu = 10^{-6} \text{ mm}$ مللي مكرون	$\pi^2 = 9.870$
$\mu = 10^{-3} \text{ mm}$ مكرون	$\sqrt{2} = 1.414$
$1 \text{ mm} = 10^3 \mu\text{m} = 10^7 \text{\AA}$	$(1) = 57^\circ 29'$ راديان
$1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m} = 10 \text{\AA}$	راديان $(1^\circ) = 0.017$ درجة
$g = 9.79 \text{ m/s}^2$	$e = 2.7183$ العدد النبري
$j = 4.185 \text{ J/cal}$	$\frac{1}{e} = 0.367$
$C = 2.99 \times 10^8 \text{ m/s}$	$\log_{10} e = 0.4343$
$\sqrt{3} = 1.732$	$\text{Ln } 2 = 0.693$
$\sqrt{10} = 3.162$	$\text{Ln } 10 = 2.303$

١٠- جدول بأطوال أمواج خطوط الطيف المرئية لبعض العناصر
مقدرة بالانغستروم (Å):

أنبوب بخار الزئبق		أنبوب غاز الهليوم		أنبوب غاز النيون	
اللون	طول الموجة	اللون	طول الموجة	اللون	طول الموجة
أحمر	6908	أحمر ضعيف	7065	أحمر ١	6507
أحمر برتقالي	6254	أحمر ش	6678	أحمر ٢	6402
3 أصفر ١ ش	5790	أصفر ش	5876	أحمر ٣	6383
أصفر ٢ ش	5769	أخضر أزرق	5016	أحمر ٤	6305
أخضر مصفر، ش	5461	أزرق مخضر	4922	أحمر ٥	6267
أزرق أخضر ١	4960	أزرق ١	4713	أحمر ٦	6217
أزرق أخضر ٢	4916	أزرق ٢	4471	برتقالي ١	6182
أزرق ١ م	4358	أزرق نيلى	4387	برتقالي ٢	6164
أزرق ٢ م	4347	بنفسجي ١	4121	برتقالي ٣	6143
أزرق ٣ م	4339	بنفسجي ٢	4026	برتقالي ٤	6129
بنفسجي ١	4078	بنفسجي ٣	3889	برتقالي ٥	6096
بنفسجي ٢	4049	أنبوب غاز الهيدروجين		برتقالي ٦	6075
أنبوب بخار الكاديوم		اللون	طول الموجة	برتقالي ٧	6030
اللون	طول الموجة	أحمر	6563	برتقالي ٨	5976
أحمر ش	6438	أزرق	4861	برتقالي ٩	5940
أخضر ١	5379	أزرق نيلى	4340	أصفر ١	5882
أخضر ٢	5338	بنفسجي ١	4102	أصفر ٢	5853
أزرق مخضر ش	5086	بنفسجي ٢	5970	أصفر ٣	5765
أزرق ش	4800				
أزرق نيلى	4678				
بنفسجي	4413				
م : ترمز إلى الألوان المتراصة		ش : ترمز إلى الإضاءة الشديدة			

المصطلحات العلمية

A

Action	فعل
Accuracy	دقة
Average Value	القيمة الوسطية
Analytical Balance	ميزان حساس
Accidental Error	الإرتياب الطارئ
Absolute Error	إرتياب مطلق
Alternating Current	تيار متناوب
Ammeter	مقياس أمبير
Apparatus	جهاز
Agate	عقيق
Anode	مصعد
Anode Resistance	مقاومة المصعد
Atomic Weight	الوزن الذري
Axis	محور
Absorptiom Of Radiation	امتصاص الاشعاع
Angular Acceleration	تسارع زاوي
Analyzer	محلل
Amplitude	سعة
Adjustment	إحكام - ضبط
Area	مساحة
Atom	ذرة
Angle Of Incidence	زاوية الورود
Angle Of Refraction	زاوية الإتكسار
Absolute Temperature	درجة الحرارة المطلقة
Absolute Zero	درجة الصفر المطلق
Amplification Factor	عامل التضخيم

Amplifier
Atomspher

مضخم
ضغط جوي

B

Balance
Base
Beaker
Beam
Beam Of Light
Black Body
Bouyancy
Brownian Movement
Bright
Biconcave Lens
Biconvex Lens
Burner
Bar
Barrier
Barometre
Bridge
Bridge rectifier
Boiling point

ميزان
قاعدة
دورق
حزمة
حزمة ضوئية
الجسم الأسود
دافعة
الحركة البراونية
لامع
عدسة مقعرة الوجهين
عدسة محدبة الوجهين
موقد
قضيب
حاجز
مقياس ضغط جوي
جسر
المقوم الجسري
نقطة الغليان

C

Cycle
Curvature
Collector
Cathode
Capacity
Calorie
Calorimeter

دورة
إنحناء
مجمع
مهبط
سعة
حريرة
مسعر

Coarse adjustment	لولب الإحكام السريع
Conduction	توصيل
Conduction Of Heat	توصيل الحرارة
Circuit Diagram	مخطط الدارة
Current	تيار
Current Intensity	شدة التيار
Collimator	المجمع
Copper	نحاس
Conductivity	ناقلية
Counter	عداد
Capillary Tube	أنبوب شعري
Calibration	معايرة
Clock	ساعة
Coefficient	معامل
Capacitance	سعة مكثفة
Capacitor	مكثفة
Capacitive Reactance	ممانعة سعوية
Critical Angle	زاوية حرجة
Crystal Lattice	التركيب الشبكي للبلورة
Cursor	محكمة
Coil	وشيعة ، ملف
Codilintions	شروط
Cooling	تبريد
Constant	ثابت
Cathetometer	مقياس الارتفاع
Control Grid	الشبكة الحاكمة

D

Diode	ثنائي
Density	كثافة
Desiccator	مجفف
Diffraction Grating	شبكة إنعراج

Direct Current	تيار مستمر
Dissipation	تبديد
Detection	كشف
Diffraction	إنعراج - حيود
Displacement	إنزياح
Deflection	إنحراف
Degree	درجة
Distance	مسافة
Detector	كاشف
Diagram	رسم بياني - مخطط
Diameter	قطر
Dielectric	عازل
Dynamics	تحريك
Direction	إتجاه
Doner	معطي
Diffusion of Light	إنتشار الضوء
Dissolution	إنحلال

E

Electromotive Force	قوة محرّكة كهربائية
Energy	طاقة
Error	خطأ - إرتياب
Elastic	مرن
Elastic Limit	حد المرونة
Earth magnetic field	الحقل المغناطيسي الأرضي
Electric charge	شحنة كهربائية
Electric current	تيار كهربائي
Electric lamp	مصباح كهربائي
Electric oven	فرن كهربائي
Electrochemical equivalent	المكافئ الكهركيميائي
Electrical conductivity	الناقلية الكهربائية
Electrical conductor	موصل كهربائي

Electrode	مسرى
Electron	الكثرون
Emitter	باعت
Extrapolation	إستقراء خارجي
Eyeglasses	نظارات
Eyepiece	عدسة عينية
Electric fields	الحقول الكهربائية
Emissivity	الإصدارية
Emission of radiation	إصدار الإشعاع
Experiment	تجربة
Electrolysis	التحليل بالكهرباء
Evaporation	تبخير
Effect	تأثير
Electromagnetic Field	حقل التحريض المغناطيسي
Equilibrium	توازن
Elongation	إستطالة
Emission	إصدار
Ebullition	غليان
Expansion	تمدد

F

Filament	فتيل
Force	قوة
Field	حقل
Frequency	تواتر - تردد
Function	تابع
Farad	فاراد - وحدة السعة الكهربائية
Fine Adjustment Knob	لولب الإحكام البطيء
Friction	احتكاك
Freezing Point	نقطة التجمد
Fusion	إنصهار
Focal length of lenses	البعد المحرقى للعدسات

Flux
Fringes
Focal

تدفق
أهداب
محرق

G

Galvanometer
Grid
Gas
Generator
Graph
Gravity
Gradient
Glossary

مقياس غلفاني
شبكة
غاز
مولد
خط بياني ، مخطط
الجاذبية ، الثقالة
تدرج
مصطلحات

H

Harmonic
Hexode
Hearing Aides
Horizontal
Heat
High
Heat transfer
Henry
Hock's law
Humidity
Heat equilibrium
Heat radiation

توافقي
صمام سداسي
مساعداة السمع
أفقي
حرارة
عالي
انتقال الحرارة
هنري : وحدة التحريض الذاتي
قانون هوك
رطوبة
توازن حراري
الإشعاع الحراري

I

Infrared radiation = I R

Impedance

International Unit

Intensity

Index Of Refraction

Ice

Inductive Reactance

Incidence Angle

Image

Insulator

Interpolation

Inter fringe

Indicator

Interference

Impurity

الأشعة تحت الحمراء

ممانعة

واحدات دولية

شدة

قرينة الإنكسار

جليد

ممانعة حثية

زاوية الورود

خيال

عازل

إستقراء داخلي

المبدأ الهديبي

دليل

تداخل

شوائب

J

Joule

Joule' s law

Junction Diode

Jacket

جول - وحدة قياس للطاقة

قانون جول

الثنائي الإتصالي

غلاف

K

Kelvin

Kinetic Energy

كلفن

طاقة حركية

L

Law

Limit

Linear

قانون

حد

خطي

Latent Heat	حرارة كامنة
Length	طول
Light	ضوء
Lines Of Force	خطوط القوة
Log - Log Paper	ورق لغريتمي
Lens	عدسة
Latent heat of fusion	حرارة الإنصهار الكامنة
Latent Heat Of Steam	الحرارة الكامنة للبخار
Latent heat of sublimation	حرارة التصعيد
Latent Heat Of Vaporization	حرارة التبخر الكامنة
Liquid	سائل
Load Impedance	ممانعة الحمل
Luminous Flux	الفيض الضوئي
Localized Fringes	أهداب مستقرة

M

Micrometer screw	دوارة لولبية
Measurement	قياس
Mechanical equivalent of heat	المكافئ الميكانيكي للحرارة
Magnet	مغناطيس
Magnetic field	حقل مغناطيسي
Magnetic field strength	شدة الحقل المغناطيسي
Magnetic - coil	وشيعة التحريض
Magnetic lines of force	خطوط القوة المغناطيسية
Magnetism	المغناطيسية
Mass	كتلة
Mass number	العدد الكتلي
Mass of the electron	كتلة الإلكترون
Material	مادة
Mean	متوسط
Mean life	الحياة الوسطى
Microscope	مجهر

Mirror	مرآة
Motion	حركة
Minimun deviation	إنحراف أصغري
Medium	وسط
Meter	مقياس
Minus pole	قطب سالب
Maximum	نهاية عظمى
Minimum	نهاية صغرى
Method Of Least Squares	طريقة أصغر المربعات
MULTI - Stage Amplifier	مضخم متعدد المراحل
Modulation	تعديل
Mulual Characteristics	الخواص المتبادلة

N

Negative	سالب
Negative electrode	مسرى سالب
Negatiive pole	قطب سالب
Number	عدد
Nose piece	حامل الجسيمات
Needle Magnetic	إبرة مغناطيسية
Numerical value	قيمة عددية
Nuclear Rector	مفاعل نووي

O

Observer	مراقب
Objective	العدسة الجسمية
Oersted	أورستد : وحدة شدة الحقل المغناطيسي
Ohm	أوم : وحدة المقاومة الكهربائية
Ohm-s law	قانون أوم
Ohmic resistance	مقاومة أومية
Ohmmeter	مقياس أوم

Optics	علم الضوء
Optical instruments	الأجهزة الضوئية
Optical axes	المحور الضوئي
Order	مرتبة
Opaque	عاتم
Object point	نقطة جسمية
Oscillator	هزازة
Oscilloscope	راسم الاهتزاز المهربطي
Orthogonal	متعامد
Operating Point	نقطة التشغيل
Optical Path Difference	فرق المسير الضوئي
Oscillation	الاهتزاز

P

Pendulum	نواس
Pole	قطب
positive pole	قطب موجب
Potential	كمون
Potentiometer	مقياس كمون
Power	استطاعة
Probability	احتمال
Proportional	متناسب
Parallel	موازي
Parallel plate capacitor	مكثفة مستوية
Parameter	وسيط
Period	دور
Permeability	نفوذية
Phase	طور
Permittivity	سماحية
Phase difference	فرق طور
Point charge	شحنة نقطية
Prism	موشور

Pentode	صمام خماسي
Phenomenon	ظاهرة
Practical Physics	الفيزياء العملية
Pressure	ضغط
Pulse	نبضة
Pole	قطب
Partical	جسيم

Quantity	كمية
Quality factor	معامل جودة
Quartz Crystal	بللورة كورتز
Quality	خاصية
Quoted error	الإرتياب المحسوب
Quantum mechanics	ميكانيك الكم
Quantum Physics	فيزياء الكم
Quasi-	شبه

Resistance	مقاومة
Resistivity	مقاومة نوعية
Rectifier	مقوم
Resonance	تجاوب
Radiation	اشعاع
Radiant	مشع
Radiant energy	طاقة مشعة
Radiation counter	عداد الاشعاع
Rider	راكب
Range fiinder	قانس مسافة
Refractive index	قرينة انكسار
Radius	نصف قطر

Ray	شعاع
Ratio	نسبة
Real Image	خيال حقيقي
Radioactive substance	مادة مشعة
Reflection	انعكاس
Refraction	انكسار
Rheostat	معدلة
Rate	معدل
Rubber tubing	أنابيب مطاطية

S

Semiconductor diode	ثنائي نصف ناقل
Source Source of light	منبع ضوئي
Solution	محلول
Specific heat	حرارة نوعية
Spring	نابض
Steam generator	مولد بخار
Stirrer	مخلط
Stop clock	عداد ثواني
Surface	سطح
Scale	سلم تدريج
Simple harmonic motion	حركة اهتزازية توافقية
Solid	جسم صلب
Slide	منزلة
Saturation	اشباع
Stage	منصة
Stress	اجهاد
Surface tension	توتر سطحي
Systematic error	خطأ نظامي
Spherometer	مقياس كرة
Solar cell	خلية شمسية
Spectroscope	مطياف

Spectrum	طيف
Semi-Log paper	ورق نصف لغريتمي
Slit	شق
Strain	إنفعال
Standrad clock	ساعة معيارية
Sinsitivity	الحساسية
Spectral lines	خطوط طيفية
Stability	إستقرار
Signal	إشارة
Spindle	عمود الدوران
Slope	الميل
Static	ساكن
Source	منبع
System	جملة
Standard	نظامي , معياري
Suitability	صلاحية
S . I units	النظام الدولي للوحدات
Screan grid	الشبكة المساعدة
Suppressor grid	الشبكة المانعة

T

Time	زمن
Temperature	درجة حرارة
Thermometer	مقياس حرارة
Tetrode	صمام رباعي المسرى
Thermal capacity	سعة حرارية
Thermal conductivity	ناقلية حرارية
Thermal equilibrium	توازن حراري
Transistor	ترانزستور
Transformer	محولة
Thermistor	ترمسثور
Thermocouple	مزدوجة كهحرارية

Thermopile	بيل كهحراري
Triode	صمام ثلاثي المسرى
Terrestrial - magnetism	المغناطيسية الأرضية
Thermal expansion	تمدد حراري
Thermic scales	السلالم الحرارية
Thickness	سمائة - ثخانة
Total	كلي
Total reflection	انعكاس كلي
Transition	إنقال

U

Uniform field	حقل منتظم
Unit	واحدة
Ultraviolet	فوق بنفسجي
Unstable	غير مستقر , قلق
Uniform circular motion	حركة دائرية منتظمة
Undamped oscillation	إهتزازة غير متخامدة
Unpolarized	ضوء غير مستقطب
Ultra short waves	الأمواج المتناهية في القصر

V

Vertical	شاقولي
Volume	حجم
Velocity	سرعة
Vapor	بخار
Variac	محول متغير
Vernier	فرنسية
Vernier caliper	قدم قنوية
VTVM	مقياس فولط صمامي
Viscosity	لزوجة

Valence	تكافؤ
Vectr	شعاع
Velocity of light	سرعة الضوء
Variance	تباين - إختلاف
Vibration	إهتزاز
Voltmeter	مقياس كمون
Valve	صمام

W

Wire	سلك
Work	عمل
Wheatstone Bridge	جسر وطسطن
Wave	موجة
Width	عرض
Water equivalent	مكافئ مائي
Weight	وزن
Wave front	صدر موجة
Wedge	وتد
Wave length	الطول الموجي
Work function	تابع العمل
Weber	ويبر
Wireless	لاسلكي
Wide	عريض
West	غرب
Watch	ساعة
Wax	شمع
Watt	واط
Weighting of results	موازنة النتائج

X

X

رقم عشرة في الأرقام الرومانية

X - ray
X - ray tube
X - unit

الأشعة السينية
أنبوب الأشعة السينية
وحدة سينية

Y

Yield
Yield limit
Young
Year
Yard
Yellow

المرونة
حد المرونة
عامل يانغ
سنة
يارد
أصفر

Z

Zero error
Zone
Zinc
Zincous
Zero point energy
Zener diode

الإرتياب الصفري
منطقة
توتياء
القطب الموجب للبطارية
الصفري المطلق
ثنائي زينر

أولاً- المراجع العربية:

- ١- الفيزياء العملية (١٩٦٥) الأستاذ مأمون الكنانى
- ٢- الفيزياء العملية (١٩٧٦) د. أحمد حصري أ. وليد عبد الحق
- ٣- تجارب في الفيزياء (١٩٧٢) د. طاهر تربدار د. مصطفى حمو ليلا
- ٤- القياسات الفيزيائية (١٩٧٥) د. مكى الحسنى
- ٥- الفيزياء الحديثة للجامعات (١٩٧٥) د. عبد الرزاق قدورة أ. وجيه السمان
- ٦- الفيزياء العملية (١٩٨٣) د. أحمد حصري
- ٧- فن الترانزستور (١٩٧١) أ. لبيب بيضون أ. عماد قدسي أ. عمر طه
- ٨- الترانستور وتطبيقاته (١٩٧٢) أ. صفوح موصلى أ. مصطفى حامد
- ٩- أساسيات الفيزياء (١٩٨٦) د. رشدي حديدي
- ١٠- الفيزياء العملية (١٩٨٦) صلاح الدين الأشرم
- ١١- الفيزياء العملية (١٩٩٥) د. أحمد شوقي عمار
- كلية الزراعة د. الياس أبو عسلى د. عبد الحميد الحسن
- كلية الزراعة د. عمر طه أ. محمد ياسين زياد
- كلية الزراعة د. أحمد حصري د. إحسان موصلى
- كلية الزراعة أ. عمر طه



ثانياً- المراجع الأجنبية:

- 1- Laboratory Guide for Physics
Physics Science Study committee
D. C. Heath company
- 2- Electronics for Scientists
Malmstadt, Enke Toren
Benjamin
- 3- The Transistor
Theory and Applications
Philips, Electron Tube Division
- 4- Principles of Atomic Physics & Electronics
M. Nelkon
Heinemann
- 5- Laboratory Manual of Physics
F. Tyler Edward
Arnold Publisher Ltd.
- 6- The Physics of Experimental Method
H. Braddick
Chapman & Hall Ltd.
- 7- Handbook of Elementary Physics
N. Koshkin & M. Shirkevich
Foreign Languages Publishing House.
Moscow
- 8- Experimental College Physics
White & Manning
Mc Graw Hill Co.

١- اللجنة العلمية:

الأستاذ الدكتور أحمد حصري

الأستاذ الدكتور محمد قعقع

الأستاذ الدكتور فوزي عوض

٢- المدقق اللغوي:

الأستاذ الدكتور مظهر مكية

حقوق الطبع والترجمة والنشر محفوظة لديرية الكتب والمطبوعات