





المسبة: الأولى

القسم: العلوم الأساسية

الاختصاص: جميع الأقسام

مدرسة الفيزياء جامعة دمشق

كلية العلوم - قسم الميكانيكية والكهربائية

الفيزياء العملية

المشرفون

عماد أسعد

أستاذ مساعد في قسم العلوم الأساسية

مؤسسة الأملين

مديرة أعمال في قسم العلوم الأساسية

المشرفون

ياسم القزويني

أستاذ في قسم العلوم الأساسية

المشرفون

معتز محمود

مدرس في قسم العلوم الأساسية

جامعة دمشق

١٩	١ - قياس المقادير الفيزيائية
١٩	١ - المقدار الفيزيائي ومبدأ القياس
١٩	٢ - أنواع المقادير الفيزيائية
١	٣ - وحدات القياس ومجلها
٢٥	٤ - مضاعفات الوحدات الأصلية وأجزاؤها
٢٦	٥ - تصنيف القياسات
٢٦	أ - القياس المباشر
٢٦	ب - القياس غير المباشر
٢٧	II - الارتياح في القياس
٢٧	١ - الارتياح النظامي
٢٧	٢ - الارتياح الطارئ
٣٩	III - التقريب في الحساب وقواعده
٣١	١ - مفهوم الرقم الموثوق و الرقم المعنوي
٣٢	٢ - قواعد تقريب الأعداد
٣٤	٣ - تقريب الأعداد عند إجراء العمليات الحسابية
٣٩	IV - قواعد حساب الارتياح
٣٦	١ - تقدير الارتياح الطارئ في القياس المباشر:
٣٧	أ - القيمة الوسطية
٣٨	ب - الارتياح المطلق
٣٩	ج - تقدير الارتياح في أجهزة القياس
٣٩	د - تقدير الارتياح في الحملة الدولية
٤٠	هـ - تقدير الارتياح في الثوابت الفيزيائية
٤٢	و - الارتياح النسبي
٤٣	ز - ترتيب نتائج القياس

٤٥	٢ - تقدير الارتياح في القياس غير المباشر
٤٦	أ - الحالة الأولى: حالة استقلال قياسات المتحولات
٤٧	١ - حالة المجموع الجبري
٤٨	٢ - حالة لوغاريتم مقدار
٤٩	٣ - حالة انحدار
٥٠	٤ - حالة القسمة
٥١	٥ - حالة التوابع المثلثية
٥٢	٦ - حالة التابع الأسّي
٥٤	٧ - حالة خليط من العمليات
٥٦	ب - الحالة الثانية: حالة الترابط في قياسات بعض المتحولات
٥٧	٣ - تقدير الارتياح لدى التحقق من صحة القوانين
٥٨	١ - الصيغة الأولى
٥٩	٢ - الصيغة الثانية
٦١	V -- التمثيل البياني واستخلاص النتائج منه
٦١	١ - التمثيل البياني
٦٢	٢ -- فوائد التمثيل البياني
٦٣	٣ - أنواع الخطوط البيانية
٦٤	٤ - رسم الخطوط البيانية
٦٥	٥ - قواعد رسم الخطوط البيانية
٦٧	٦ - تمثيل الارتياح بيانياً
٦٨	٧ - استخلاص النتائج البيانية
٦٩	أ - الملف الفيزيائي
٧٠	ب - الملف الهندسي
٧١	٨ - رد المسحقات المختلفة إلى مستقيم
٧٢	أ - تغيير المتحول
٧٣	ب - الورق اللغاريتمي

٧٤	جـ - الورق نصف اللغاريتمي
٧٥	٩ - رسم أفضل المستقيمات (بطريقة أصغر المربعات)
٧٩	VI - - - - - تارين ومسائل
٧٩	أ - عن الحساب التقريبي
٨٠	ب - على حساب الارتياح المباشر وغير المباشر
٨١	ج - على الرسم البياني
٨٢	١ - على الورق الملمتي
٨٣	٢ - على الورق اللوغاريتمي
٨٤	٣ - على الورق نصف اللغاريتمي
٨٧	أولاً: التجارب الأساسية
٨٩	١ - تحليل النتائج التحريبية
٩٩	٢ - قياس الأطوال
١٠٥	٣ - الدارات والمقاييس الكهربائية
١١١	٤ - قياسات أساسية باستخدام راسم الاهتزاز المهيطي
١١٩	ثانياً: تجاربه في الضوء الهندسي والفيزيائي
١٢١	١ - الصفيفة ذات الوجهين المستويين والمتوازيين
١٢٧	٢ - المرشحات
١٣٣	٣ - قياس البعد الخرق للعدسات
١٣٩	٤ - أهداف الانعراج الناتجة من فتحة مستطيلة وشرجة أرسلت
١٤٥	٥ - تعيين ثابت بلانك
١٥١	٦ - الانكسار المضاعف والاستقطاب في بلورة الكالسيت
١٥٧	٧ - الصفيفتان ربع الموجية ونصف الموجية
١٦٥	٨ - تعيين سرعة الضوء في الهواء
١٧٥	٩ - مقياس مايكلسون التداخلي

١٨١	١٠-تشكيل هولوجرام الضوء الأبيض المنعكس تدخل الضوء
١٩٣	١١-تدخل الضوء
١٩٩	١٢-لغات نيوتن
٢٠٥	حول كير
٢١٣	١٤-قانون مالوس
٢١٩	١٥-علاقة الإنارة بالبعد عن المنبع
٢٢٧	١٦-تبهر كومبتون للأشعة السينية
٢٣٥	١٧- : تجارب في الميكانيك والاهتزازات
٢٤٧	١ - النواس البسيط
٢٥٤	٢ - تجربة ميلد
٢٥٤	٣ - تجربة هوك
٢٦١	٤ - انعكاس الأمواج المستوية فوق الصوتية على سطح مستوي
٢٦٧	١٨- : تجارب في الحرارة والترموديناميك والكهرباء
٢٦٩	١ - تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية
٢٧٣	٢ - الحرارة النوعية لجسم صلب
٢٧٩	٣ - جسر وضغط
٢٨٧	١٩- : تجارب في أضافات المواد والالكترونيات
٢٩٥	١ - قياس التوتر بواسطة منحنيات (أ) ليساجر
	رسم الاهتزاز المهيكل
	٢ - دراسة الوصلة الثنائية $P - N$ نصف موصلة
٣٠٧	٣ - استخدام الوصلة الثنائية $P - N$ في تقويم التيار المتردد
٣١١	٤ - الناقل الفائق وتعيين درجة حرارة الانتقال

٣١٩	سادساً : تجارب في الطاقات المتجددة
٣٢١	١ - لاقط الأشعة الشمسية
٣٢٧	٢ - المنحنيات المميزة للخلايا الشمسية
٣٣٣	سابعاً : تجارب في الفيزياء النووية
٣٣٧	١ - امتصاص أشعة غاما
٣٤١	٢ - قانون التربيع العكسي
٣٤٧	الملحقات
٣٥٩	المصطلحات
٣٦٧	المراجع

المقدمة

تطور مخبر الفيزياء في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية منذ إنشاء قسم العلوم الأساسية فيها، حيث زود المخبر شيئاً فشيئاً بالأدوات والأجهزة اللازمة لتجارب ذات مستوى أعلى، وعمدات تجارب السنوات الأولى بما يتناسب مع الاختصاصات الثمانية التي أحدثت مؤخراً في الكلية، وقمنا بتأليف مقرر الفيزياء ١ و ٢ لكافة الاختصاصات، بعد مناقشات مع كافة رؤساء الأقسام وحاجة الطلاب في كل قسم من المواد والمواضيع الفيزيائية النظرية والعملية التي تُستخدم وتُفقد قسمهم.

بناءً على ذلك، طورنا مخبر الفيزياء، بتزويده بمجموعة من التجارب العملية الحديثة، وأدخلنا الحاسوب لأول مرة في بعض هذه التجارب.

تختلف تجارب الفيزياء باختلاف الكلية التي يدرس فيها الطالب، ونظراً لوجود المخبر في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، ذات الاختصاصات الثمانية، ولخدمة طلابها فقط، قمنا بتزويد المخبر بحوالي عشرين تجربة إضافية حديثة، تتناسب مع اختصاصاتهم، بعد معاناة استمرت ثلاث سنوات مع قسم العقود في جامعة دمشق، حيث تم شراء التجارب عن طريق المناقصة، وقمنا باستخدام جزء كبير من هذه التجارب في الفصلين الأول والثاني للعام الدراسي ٢٠٠٧ - ٢٠٠٨ ويتم استخدام بقية التجارب في العام الدراسي القادم.

إن الفوائد التي يمكن أن يجنيها الطالب المهندس، مهما كان اختصاصه، من الفيزياء العملية، تتوقف على مدى اهتمامه وسعيه لفهم الظواهر الفيزيائية المدروسة وتغيراتها وأنواع العوامل المؤثرة عليها، مما يكسبه الخبرة العملية من جراء استخدام طائفة كبيرة من الأدوات والأجهزة الحديثة.

لتحقيق أفضل النتائج والفوائد العلمية، بدأنا هذا الكتاب بمقدمة رياضية وفيزيائية عامة، تضم ما يحتاجه الطالب المهندس من المعلومات العامة النظرية والتطبيقية في تجارب الفيزياء العملية وتشمل:

- ١ - توجيهات وإرشادات عامة للطلاب .
- ٢ - قياس المقادير الفيزيائية وطرائق حساب الأخطاء.
- ٣ - التمثيل البياني وكيفية استخلاص النتائج النظرية منه.

ثم صنفنا التجارب العملية إلى:

١ - تجارب أساسية

٢ - تجارب في الضوء الهندسي والفيزيائي

٣ - تجارب في الميكانيك والاهتزازات

٤ - تجارب في الحرارة والكهرباء

٥ - تجارب في أنصاف النواقل والإلكترونيات

٦ - تجارب في الطاقات المتجددة

٧ - تجارب في الفيزياء النووية

حاولنا قدر المستطاع تغطية المنهاج النظري المقرر في الفيزياء، بتجارب فيزيائية هندسية تناسب مع الطالب المهندس في هذه الكلية مهما كان اختصاصه، كما حاولنا عرض التجارب بإيجاز والمسور بشكل مركز على أسس العمل النظرية وشرح مفصل للخطوات العملية الرئيسية وتركنا الجزئيات للطالب كي يتفاعل مع التجربة ويكسب ثقة علمية وعملية لا بد من تزويده بها.

وقد بذلنا ما بوسعنا من جهد ووقت لكي تكون محتويات هذا الكتاب من العبارات والجداول والرسوم والأشكال..... الخ. واضحة جلية. وإننا نرجو أن نكون قد وفقنا في ذلك وأملنا كبير في أن زملاءنا أعضاء الهيئة التعليمية والمهتمين في مجال الفيزياء العملية لن يدخروا وسعاً في إرشادنا إلى ما يمكن أن يكتشفوه من مساوئ وأخطاء في هذا الكتاب، مهما كان نوعها كي ونصححها في الطبعة القادمة.

المؤلفون

* * *

توجيهات وإرشادات عامة للطلاب

إن لعملي الفيزياء في كنية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، أهدافاً كثيرة لعل أهمها، مساعدة الطالب على استيعاب الأفكار الفيزيائية الأساسية وربطها بالمفاهيم الهندسية، وإكسابه المهارة والخبرة اللتين لا بد منهما للمهندس الناجح، مما يساعده على القيام مستقلاً بنفسه بالأعمال الهندسية المختلفة، سواء في عمله الخاص أو العام في المستقبل.

إن ذلك كله لا يمكن أن يكتسبه الطالب، إلا إذا أبدى العناية الكافية ونظر إلى التجربة التي يجريها نظرة جديدة، ونحمل فيما يلي بعض التوجيهات والنصائح التي تساعد الطالب على أن يقوم بتجربته بحير قيام.

أولاً: قبل دخول الطالب إلى المختبر

- ١ - اقرأ التجربة المقررة قراءة كافية واكتب ملخصاً، في دفتر الفيزياء العملي، عن المبدأ النظري لها وطريقة العمل فيها بأسلوبك الخاص، ولا تنقل ذلك نقلاً من الكتاب.
- ٢ - ادرس الدارات الكهربائية الضرورية، إن وجدت، وكذلك الجداول المبينة في شرح التجربة والتي ستحتاج إليها النتائج التجريبية.
- ٣ - أحضر معك أوراق لوغاريتمية أو نصف لوغاريتمية، في حال الضرورة، ولا تنسى جلب الآلة الحاسبة العلمية ومسطرة وقلم الرصاص. لا يسمح للطالب بدخول المختبر إلا إذا حقق البنود السابقة.

ثانياً: عند دخولك المختبر

- ١ - توجه إلى مكان تجربتك المقررة وتفقد الأجهزة والأدوات وتأكد من مطابقتها لما هو محدد في وصف التجربة. أبلغ المشرف عن أي نقص أو عطب تشاهده فيها.
- ٢ - تعرف على الأجهزة والأدوات، وطريقة تركيبها وعملها وربطها على الطاولة بالطريقة التي تسمح لك بالعمل بسهولة ويسر.

٣ - - قم بتوصيل الدارات الكهربائية أو وصل أجزاء الأجهزة، إن كانت التجربة تقتضي ذلك، رلا
تصل التيار الكهربائي أو تبدأ بتشغيل الجهاز، الذي قست بتوصيل أجزائه، إلا بعد مراقبة الأستاذ
المشرف.

ثالثاً: أثناء وجودك في المختبر وتنفيذك للتجربة

١ - - وجه انتباهك كاملاً، لتجربتك المقررة، ولا تحاول إجراء تجارب لم تطلب، مثلاً، ولا تتحدث
مع زملائك الآخرين الموجودين في التجارب المجاورة.

٢ - - قم بإجراء القياسات المطلوبة بأقصى دقة ممكنة وبناية تامة، وكن حريصاً على استعمال
الأجهزة والأدوات المخبرية، لتضمن الحصول على نتائج جيدة.

٣ - - أعد القياس بواحدة عدة مرات لتتأكد من صحتها وأخذ القيمة الوسطية، وتؤكد من تقارب
نتائج القياسات المتكررة، وإذا شذت أو اختلفت، إحدى القياسات التجريبية، انبحث عن السبب في
الانحرافات أولاً ثم في الإجراء التجريبي ثانياً، ويجب أن تكتب، نتيجة القياس دائماً بالشكل
 $X \pm \Delta X$ ، ويشع ذلك بوحدة الأعداد المقاس X ، لأنه لا معنى لأي مقدار دون واحدة قياس،
لذلك على الطالب أن يدرس، دراسة جيدة، ما كتب في أول فصول هذا الكتاب.

٤ - - دون نتائج القياسات التجريبية في جداولها الخاصة ولا تفس أن تجري، التلة والأمانة فيس
تحصل عليه من نتائج القياس، فالقياسات الدقيقة هي الأساس في الوصول إلى النتائج الصحيحة

٥ - - احسب كافة الإرتيافات، وارسم جميع الخطوط البيانية المطلوبة في التجربة، بحيث تلتك كاملاً
التجربة، ولا يجوز أن يجعل جهاز الحسابات إلى بعد الانتهاء وقت الجلسة.

رابعاً: بعد انتهاء التجربة وقبل مغادرة المختبر

١ - - أطلع الأستاذ المشرف على النتائج التجريبية التي حصلت عليها ليضع ملاحظاتاً وتوقعاته
عليها.

٢ - - افصل كافة الأجهزة والأدوات عن منبع التيار الكهربائي وأعد ترتيبها بالشكل التي كانت
عليه قبل بدء التجربة، وتؤكد من سلامتها وأطلب من المشرف المختبر استعمالها، وإذا لم يفعل
الطالب ذلك فإنه يغرّم بقيمة كل نقص أو عطب يكتشف في الجلسة المخبرية التالية.

٣ - قبل مغادرتك التجربة، تأكد من نظافة الطاولة وتجهيزاتها وتحفيف المياه، في
فالنظافة والترتيب في المحبر هما المرأة عنهما في منزل.

٤ - تنتهي كل جلسة عملي قبل ربع ساعة من بداية الجلسة القادمة.





الباب الأول

القياس والارتياب

* * *



١- قياس المقادير الفيزيائية

١- المقدار الفيزيائي ومبدأ القياس:

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

لا تعرف الظاهرة الفيزيائية جيداً ما لم يعبر عنها بقيم عددية. والفيزياء علم كمي إذ يعبر عن نواتج التجارب الفيزيائية بمجموعة قسيم عددية، ومن ثم نستخلص القوانين الفيزيائية التي يتوصل إليها التجريب، وتكتب بشكل قوانين وعلاقات رياضية تربط بين القيم العددية للمقادير الفيزيائية.

وما يستهدفه علم الفيزياء جعل كل مقدار فيزيائي قابلاً للقياس التجريبي، وذلك لايجاد علاقات الكمية التي تصف الظواهر الفيزيائية، وهذا ما يجعل القياس ومعالجة نتائجه ركناً أساسياً للفيزياء العملية.

٢- أنواع المقادير الفيزيائية:

أولاً- المقدار الفيزيائي القابل للقياس:

١- تعريفه: هو المقدار الذي يحقق الشرطين التاليين:

أ - تعريف تساوي مقدارين من النوع نفسه.

ب - تعريف حاصل جمعهما.

إن تعريف التساوي والجمع يسمح بدوره بتعريف نسبة مقدارين من نوعه، ويكون المقداران الفيزيائيان متساويين إذا كانت نسبتهما تساوي الواحد.

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

فيذا رمزنا إلى المقدار المجهول المراد قياسه بـ X وإلى واحدة القياس المتفق عليها بـ U تنشأ 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.

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

فإذا كان: 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 صغرنا 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 للتجميع:

وهي المقادير القابلة للتعين فهي تحقق فقط الشرط الأول أي التساوي بين مقدارين مسن نوعه، ولا تحقق الشرط الثاني أي حاصل جمعهما. ومن الأمثلة على هذه المقادير: درجة الحرارة والكتلة الحجمية وعامل التمدد الحراري وقرينة الانكسار... إلخ.

جـ - المقادير وحيدة العين:

وهذه المقادير تُرَدُّ مرة واحدة في الفيزياء المعروفة وهي الثوابت الكونية أو الثوابت البُعديّة. 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 دميماً. فإذا نسبت إليها قيم عددية تكون هذه القيم من قبيل مقارنة المقدار بمقدار آخر من نوعه من حيث أيهما أشدّ حملاً لصفة المقدار. ولا وليس ثمة وسيلة لتعريف نسبة مقدارين من نوع واحد.

ومن الأمثلة على هذه المقادير غير القابلة للقياس: 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 يَحُزُّ الأذى منه قساوة، ويحزّه الأشد منه قساوة. وتنسب لها أرقام من 10 إلى 1. فتقارن سائر المعادن الأخرى بهذا السلم. كما تقدر القساوة لدى العاملين في علم المعادن بآثر الضغط لجسم قاسٍ معيّن (كرة) في المادة المدروسة.

٣ - وحدات القياس وجمعها:

تربط القوانين الفيزيائية بين المقادير المختلفة القابلة للقياس، ولذا يجب اختيار واحدة للقياس لكل مقدار، لذلك نميز في الفيزياء بين الوحدات الأساسية والوحدات الممتمة والوحدات المشتقة. فبعد تحديد الوحدات الأساسية والممتمة، تعرّف كل واحدة مشتقة بعلاقة تربطها بالوحدات الأساسية والممتمة، وبما سبق تعريفه من الوحدات المشتقة. تؤلف مجموعة الوحدات المعرفة المرتبطة بعضها ببعض بعلاقات التعريف جملة 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 تكونون واحدة أخرى من الجملة. وأما جملة مؤلفة، أي أن معادلات الكهرباء والمغناطيسية تأتلف بها دون تعقيد حسابي.

١- الجملة الدولية (S.I):

فيما يلي جدول بواحدات الجملة الدولية:

أ - الواحدات الأساسية			
المقدار	واحدة القياس	الرمز المختصر	
١ - الطول	المتر	m	
٢ - الكتلة	الكيلو غرام	kg	
٣ - الزمن	الثانية	s	
٤ - شدة التيار	الأمبير	A	
٥ - درجة الحرارة الترموديناميكية	درجة كلفن	K	
٦ - شدة الضوء	الشمعة	cd	
٧ - كمية المادة	المول	mol	
ب - الواحدتان المتمتان			
المقدار	واحدة القياس	الرمز المختصر	
١ - الزاوية المسطحة	الراديان	rad	

٢ - الزاوية المحسنة	الستيراديان	sr
---------------------	-------------	----

جسد - أهم الوحدات المشتقة

المقدار	وحدة القياس	الرمز المختصر
١ - المساحة	المتر المربع	m^2
٢ - الحجم	المتر المكعب	m^3
٣ - التردد	الهرتز	Hz
٤ - الكثلة النوعية	الكيلو غرام المتر المكعب	kg/m^3
٥ - السرعة	المتر على الثانية	m/s
٦ - السرعة الزاوية	الراديان على الثانية	rad/s
٧ - التسارع	المتر على مربع الثانية	m/s^2
٨ - التسارع الزاوي	الراديان على مربع الثانية	rad/s^2
٩ - القوة	النيتون	N
١٠ - الضغط	النيتون على المتر المربع (باسكال)	N/m^2
١١ - الفروجة الديناميكية	النيتون × ثانية على متر مربع	$N.s/m^2$
١٢ - الفروجة الحركية	المتر المربع على الثانية	m^2/s
١٣ - العمل، القدرة	الجول	J
١٤ - الاستطاعة	الواط	W
١٥ - كمية الكهرباء	الكولون	C
١٦ - فرق الكمون، القوة المحركة	الفولط	V
١٧ - شدة الحقن الكهربائي	الفولط على المتر	V/m
١٨ - المقاومة الكهربائية	الأوم	Ω
١٩ - السعة الكهربائية	الفاراد	F

wb	الويبر	٢٠- تدفق التحريض المغناطيسي
H	المجري	٢١- عامل التحريض المغناطيسي
T	التسلا (ويبر / م ^٢)	٢٢- التحريض المغناطيسي
A.turn/m	الأمبير × لفّة على متر	٢٣- شدة الحقل المغناطيسي
A.turn	الأمبير × لفّة	٢٤- القوة الحركية المغناطيسية
Lm	اللومن	٢٥- التدفق الضوئي
cd/ m ² (nt)	الشمعة على المتر المربع (نيت)	٢٦- اللمعان
Lx	اللوكس	٢٧- الإضاءة

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

٢- الجملة السفينة (C.G.S):

بعض وحدات الجملة السفينة:

المقدار	واحدة القياس	الرمز المختصر	التعادل بين الجملتين الدولية والسفينة
١- الطول	السنتمتر	cm	م = 10 ^٢ سم
٢- الكتلة	الغرام	g	كغ = 10 ^٣ غ
٣- الزمن	الثانية	s	ثانية = ثا
٤- المساحة	السنتمتر المربع	Cm ²	م ^٢ = 10 ^٤ سم ^٢
٥- الحجم	السنتمتر المكعب	Cm ³	م ^٣ = 10 ^٦ سم ^٣
٦- السرعة	السنتمتر في الثانية	Cm/s	م/ثا = 10 ^٢ سم/ثا
٧- التسارع	السنتمتر في مربع الثانية	Cm/s ²	م/ثا ^٢ = 10 ^٢ سم/ثا ^٢
٨- القوة	الداينة	dyne	ن = 10 ^٥ دينة

٩- العمل	الارعة	erg	ج = 10^7 ارعة
١٠- الاستطاعة	الارعة في الثانية	erg/s	ج/ثا = 10^7 ارعة/ثا
١١- الضغط	باري	barye	ن/م ^٢ = 10 باري
١٢- تدفق التحريض	مكسويل	Maxwell	و = 10^8 مكسويل
١٣- التحريض المغنطيسي	غاوص	Gauss	و/م ^٢ = 10^4 غاوص

٤- مضاعفات الوحدات الأساسية 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 مضاعفات الوحدة الأصلية أو عن أجزائها، فيسبق اسم الوحدة بمسابقة تفيد إحدى قوى العشرة الموجبة أو السالبة، حسب الحاجة.

نبين فيما يلي قوى العشرة الشهيرة المجاز استعمالها مع رموزها الإلزامية:

الاسم	الرمز	القيمة
اكرا	exa	E
بيتا	Peta	Pe
تيرا	tera	T
جيجا	giga	G
ميغا	mega	M
كيلو	kilo	k
هكتو	hecto	h
ديكا	deca	da
ديسي	deci	d
سنتي	centi	c

10^{-3}	m	milli	ملي
10^{-6}	μ	micro	ميكرو
10^{-9}	n	nano	نانو
10^{-12}	p	pico	بيكو
10^{-15}	a	femto	فيمتو
10^{-18}	a	atto	آتو

فنقول مثلاً:

جهداً متر أي 10^9 متراً
وميكرومتر أي 10^6 متراً

ونانو أسير أي 10^{-9} أسيراً
وبيكو فاراد أي 10^{-12} فاراداً... إلخ.
ومن هنا ج الجلملة الدولية يقال أيضاً:

كيلو طن أي 10^3 طناً

ويكون الرمز المختصر للمليمتر هو ((mm)) وللكيلو متر هو ((km)) 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 شدة التيار الكهربائي بمعرفة شدة التيار والزمن، وقياس السرعة بمعرفة المسافة والزمن، وقياس القدرة الحركية بمعرفة السرعة والكتلة... إلخ.

١١ - الارتياح في القياس

نطلق كلمة ارتياح على الجزء المشترك بصحته من نتائج القياس. وقد كنا نطلق عليه في السابق كلمة ((خطأ)) بيد أننا لا نستحسن هذه الكلمة الأخيرة في هذا المعنى لأن المقصود من الجزء من المقدار المقيس الذي يشوبه رتب في صحته، وليس هو عدداً معين وقع فعلاً، وليس كذلك نعرف أنه خطأ وقع لأمكن تصويبه ونفيه، كما سترى في صدد بعض الفئات من الأخطاء التي يصح فيها هذا الاسم، كأخطاء السهر 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 استعملنا أخطاء السهر أو الأخطاء مثل: استخدام وحدات غير متجانسة في القسائم الواحدة، وأخطاء القراءة والتسجيل، وأخطاء الحساب، التي ينبغي على المختبر أن يعرض على احتياجه، فيمكن تصنيف الارتياحات الأخرى التي تصادفها في الفيزياء العملية في صنفين رئيسيين هما:

٩ - 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 عناصر الجهاز أو أداة القياس، وبعضها الآخر إلى العناصر الشخصية أي المختبر الذي يجري القياس، وقد يعود بعضها الآخر إلى الوسط الخارجي الذي يتم فيه القياس. ويمكننا تصنيف هذه الارتياحات أو الأخطاء التي يجب على المختبر التراجع أن يتجنب الوقوع فيها إلى ثلاثة عناصر رئيسية هي:

١ - عنصر الجهاز:

فقد يكون مصدر الارتياح تدريجاً خاطئاً للجهاز أو خطأ في صفه. ومن الأمثلة على ذلك أن يستعمل المختبر بعض الأجهزة كالمقياس فولط أو مقياس أمبير دون ضبط مؤشره على الصفر قبل استعماله، أو يستعمل مقياساً للأطول مجهزاً بورق 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 يتعدى إعادة ضبط بعض الأجهزة لكثرة استعمالها. ومع ذلك فاجترّب الناجح يمكن أن يستمر باستخدام جهاز كهذا ويعالج الفرق على أنه خطأ نظامي يضيفه أو يطرحه من قراءته على الجهاز، كما في المثال التالي:

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

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

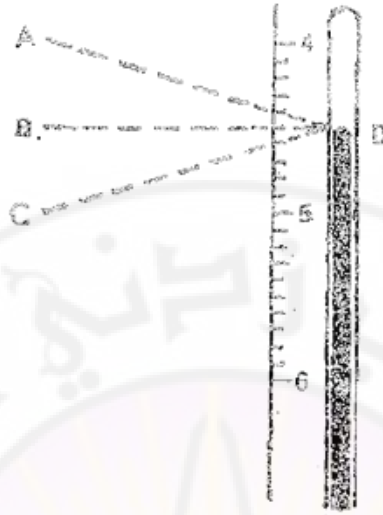
كما على الجترّب أن يختار الجهاز أو الأداة المناسبة ذات الحساسية العالية للقياس الدقيق المطلوب فلا يصح مثلاً اختيار المسطرة لقياس قطر سلك دقيق لا يتجاوز قطره أدنى من أصغر تقسيمة على المسطرة.

وكذلك استعمال مقياس حرارة مدرج بالدرجات لقياس أجزاء الدرجات، فهو لا يستجيب لتغيرات أجزاء درجة الحرارة من مرتبة بضعة أجزاء من مئة من الدرجة. كما نشير إلى أن استخدام الميزان العادي قد لا يؤدي إضافة كتلة صغيرة إلى اختلال وضعة توازنه بسبب الاحتكاك وقلة حساسيته.

٢ - العنصر الشخصي:

وبعد إلى عوامل ذاتية تنتاب الجترّب 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 سبقها.

وقد يعود هذا العنصر إلى تعب الجترّب نفسه، أو إلى اختلاف القراءة بسبب موضع عينه غسير 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 عكس التدريج المراد قراءتها على المسطرة المدرجة.



الشكل (١) : خطأ القراءة بالمثل

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 تحرك الرأس إلى أحد الجانبين. نسمي هذا التغير في الموضع الناشئ عن الحركة الجانبية للعين باسم Parallax أي اختلاف القراءة بسبب الموضع.

يمكننا التقليل من الأخطاء في القراءة بسبب الموضع بتقريب المسافة بين المسطرة المدرجة والمقدار المتيسر كأن نوضع بعواره مباشرة. كالمسطرة في مقياس الحرارة العشري المدرج بسأجزاء الدرجة (0.1 من الدرجة) الملائقة للمود الزئبقي.

٣ - العنصر الخارجي:

وهو يعود إلى ظروف خارجية كالرياح، ودرجة الحرارة، والرطوبة والاهتزاز.

وكمثال على ذلك، نذكر تمديد سلم القياس بفعل درجة الحرارة مما يؤدي إلى قراءات أقل من الحقيقية. فإذا حاولنا قراءة جهاز يتأثر بالرياح في الهواء 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.

وحيث يكشف مصادر الارتياح النظامي وقدره، يمكن اعتباره خطأ قد وقع، وقد يتكرر وقوعه، ونخرج عن صفته ارتيافاً.

وإذا تعذر تجنب وقوع الخطأ النظامي، من جراء بنية أداة القياس أو لأسباب أخرى، وحسب تقدير هذا الخطأ عندياً وتصحيح نتائج القياس وفقه.

٢ - الارتياح الطارئ:

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

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.

§§ - التقريب في الحساب وقواعده

- مفهوم الرقم الموثوق والرقم المعنوي:

ليس ثمة قياس فيزيائي يخلو من الارتياح، مهما كان دقيقاً، وإن إلتقان الجهاز المستخدمة في القياس وكفاءة المتراب، يحددان مدى جودة القياس وقرب النتيجة من الحقيقة. فحتى لو استخدمنا أدق الأجهزة وطالبنا من أمهر المختبرين إجراء القياس فإن تقدير أجزاء التقسيمات يدخل الرتب إلى قراءتنا أو إلى «لغة الجهاز».

تتطلب قياسات المقادير الفيزيائية بوجه عام كالطول والكتلة والزمن، قراءة سلم أو تدريج معين. وهناك طبعا حد من الصغر لا يمكن تجاوزه نظراً لسمك خطوط التدريج، إذ لا يمكن أن تكون مماكة هذه الخطوط معلومة. فمن إذن لا بد أن نواجه في كل سلم قياس مرتبة عديدة معينة لا نستطيع تحديد الرقم الدال على ناتج القياس فيها تحديداً موثقاً، فتأخره تقديراً، وهذا المرتبة هي المرتبة المشكوك فيها، والرقم الواقع فيها يكون مشبوهاً بشيء من الارتياح فيه.

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

ونسعى 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 رقمين معنويان وفي العدد 0.031 رقمين معنويين أيضاً. ونسمح إلى أن تفسير موضع الفاصلة بسبب تحويل الوحدات مثلاً لا يغير من عدد الأرقام المعنوية في نتائج القياس، فنكتب مثلاً:

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

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

ملاحظة ٩:

قد تصادف في بعض الحالات علاقات تحوي أعداداً ثابتة 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 2π .

ملاحظة ٢:

ترد في القوانين الفيزيائية ثوابت عديدة مثل π و e (أساس اللوغاريتمات الطبيعية)، أو ثوابت فيزيائية مثل g (تسارع النجالة 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 الارتياح فيه مهماً إزاء الارتياحات في باقي المقادير الواردة في القانون.

٢ - قواعد تقريب الأعداد:

قد نحتاج إلى الامتناع عن بعض الأرقام الدالة على المراتب الصغيرة في ناتج القياس عند إجراء الحسابات. نسمي هذه العملية بعملية تقريب العدد الممثل للنقياس، وهي كناية عن الإبقاء على بعض المراتب العشرية وإهمال ما يليها إلى اليمين سواء أكان قبل الفاصلة أو بعدها. هذه 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:

مثال:

$$87.249 \approx 87.2 \quad \text{التقريب لجزء عشري}$$

$$14213 \approx 14200 \quad \text{التقريب لمرتبة المئات}$$

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 أصفراً، يضاف واحد إلى الرقم الذي يقع في المرتبة المذكورة، وتكمل كل الأرقام الواقعة إلى يمينه.

أمثلة:

جزء مئوي $6.84 \approx 6.8367$

جزء عشري $36.3 \approx 36.2503$

لمرتبة المئات $67300 \approx 67263$

لمرتبة الألوف $13000 \approx 12520$

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:

جزء عشري $43.2 \approx 43.25$

جزء عشري $64.4 \approx 64.35$

لمرتبة الآحاد $1246 \approx 1245.5$

لمرتبة العشرات $1420 \approx 1415$

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 الضرب اللازمة لحساب المساحة متذكرين أن أية عملية تجريها على رقم مشبوه تعطي أرقاماً مشبوهة فنجد:

(7) 10.7

(5) 3.5

$$\begin{array}{r} (5) \quad (3) \quad (8) \quad (5) \\ 5 \quad 3 \quad 8 \quad (5) \\ 3 \quad 2 \quad 3 \quad (1) \end{array}$$

(5) (3) (3) (2) 8 3

ولما كان التعبير السليم عند ناتج القياس هو أن يُحتفظ بالأرقام الموثوقة مع رقم مشبوه واحد فقط، فإننا نكتب النتيجة السابقة بالشكل 38.2 سم²، وهي تتألف من ثلاثة أرقام معنوية. ويتضح من ذلك أن إهمال بعض الأرقام في ناتج الحساب لا يؤدي إلى ضياع في الدقة. وسنوضح الآن قواعد تقريب الأعداد عند إجراء العمليات الحسابية عليها.

يلاحظ الطالب في كل قواعد العمليات الواردة فيما يلي، وجوب التقريب على مسرطين: الأولى تقريب الأعداد المعطاة قبل إجراء العمليات، والثانية تقريب ناتج العملية.

١ - حالة الجمع والطرح:

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

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

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

$$77.3 + 5.76 + 0.56 = 83.62$$

ويتقرب 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 الأرتياب فيه من مرتبة المئات فنقرب الأعداد الأخرى إلى حيزه من آلاف 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:

$$= 7.95 \times 10^4$$

٣ - حالة الضرب والقسمة:

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

يكفي عند إجراء عملية القسمة بعدد من الأرقام المعنوية يزيد واحداً عن عددتها في أنسلي
للمعدين 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 عددتها في العدد المعطى.

مثال:

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

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

٤ - حالة الجذر التربيعي:

يكفي في الجواب بعدد من الأرقام المعنوية يساوي عددتها في العدد المعطى، ويقتضي نسبة
الاكتفاء لتقريب الجذر بعدد من الأرقام المعنوية يزيد واحداً عن عددتها في العدد المعطى، ثم يقرب
آخرها.

مثال ١:

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

مثال ٢:

$$\sqrt{2.76} = 1.658312 \approx 1.66$$

٥ - حالة اللوغاريتم:

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

مثال:

$$\log 4789 = 3.68025 \approx 3.68$$

٦ - قواعد حساب الأرتياب

تختلف طريقة تقدير الأرتياب الطارئ الكلي بحسب نوعي القياس مباشرة أو غير مباشر.

٩ - تقدير الأرتياب الطارئ في القياس المباشر:

أ - القيمة الوسطية:

نفرض أن القياس المباشر للمقدار الفيزيائي a أعطى النتائج التالية لدى تكراره n مرة:

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

نعرف، القيمة الوسطية للمقدار المقيس a بأنها المقدار $\bar{a}$ المتعلق 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 - الأرتياب المطلق:

نعرف الأرتياب المطلق التعميري $|\Delta a_i|$ الواقع في إحدى نواتج القياس a_i بالعلاقة:

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

كما نعرف الأرتياب المطلق الوسطي في قياس a بمجموعة من التجارب التي عددها n بأنه المقدار:

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

ونكتب باختصار:

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

يمثل $\overline{\Delta a}$ بالطبع وسطى الأرتيابات المطلقة باعتبار أن القيمة الوسطية $\bar{a}$ هي أقرب القياسات إلى القيمة الحقيقية a .

وتتبع نظرية غاوس Gauss في تحديد الأرتيابات الطارئة، وهي نظرية احتمالية واسمها ومتناسقة فيود الوقائع التجريبية صحتها، وما تقره هذه النظرية المبدأين التاليين:

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

٢ - الأرتيابات المتساوية في القيمة المطلقة والمتعاكسة في الإشارة لها الاحتمال نفسه.

ونشر اعتماداً على المبدأ الأول: تكون الأرتيابات الكبيرة في قيمتها قليلة الاحتمال في وقوعها، وتبقى الأرتيابات الصغيرة. أما المبدأ الثاني: فيجد إذا كان عدد القياسات كبيراً جداً فسيُن

احتمال ارتكاب الارتياب المطلق في جهة الزيادة يساوي احتمال ارتكابه في جهة النقصان وبالتالي:

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

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

ملاحظة هامة:

إذا أدت ا. اب الارتياب المطلق الوسطي إلى قيمة Δa أصغر من قيمة الارتياب المطلق في الجهاز المستخدم للقياس، وجب الاستعاضة عن Δa بالمسدد المساوي إلى الارتياب 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 الارتياب المطلق الوسطي $\Delta \bar{a}$ أو الارتياب المطلق في الجهاز، أيهما أكبر. وحسب تعريف القيمة المطلقة يمكن أن نكتب العلاقة السابقة بالشكل:

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

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

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

جـ - تقدير الارتياب المطلق في أجهزة القياس:

١ - - - - - ارتياب القراءة وارتياب الحساسية:

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

بيد أن دقة سلم التدرج محدودة أيضاً بمكتم صنع الجهاز ذاته، تبعاً لمدى حساسيته للظاهرة الفيزيائية التي تؤثر فيه. وهذا هو العامل الخامس في تحديد دقة الجهاز، أو أن قراءة التدرجات أو أجزائها الدقيقة هو أمر يمكن التصرف به إلى حد بعيد بوسائل تضخيم حركه المؤشر بالطرائق الفوتوية، 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 قراءة ΔL إلى تغير مقداره ΔX في المقدار

$$\delta = \frac{\Delta L}{\Delta X} \quad \text{المقياس أي:}$$

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

مثال ٩:

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

مثال ٢:

إذا كان تمدد الكحول داخل مقياس الحرارة 2 مليمتراً لكل درجة مئوية وحساسيته كانت حساسيته هي 2 مليمتراً لكل درجة.

مثال ٣:

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

تصنع أجهزة القياس عادة بحيث يكون الارتباب المطلق الناشئ عن قراءتنا أصغر من الارتباب المطلق الناشئ عن حساسية الجهاز للظاهرة المؤثر فيه، ويشتد عدم تحقيق هذا الشرط عيباً في تصميم الجهاز.

٣ - صنف الدقة - وتقدير الارتباب.

يوصف الارتباب المطلق في قراءات الجهاز، الناشئ عن حساسيته للظاهرة المؤثرة فيه بعيبه يسمى صنف الدقة (رتبة الرتب) يشاهد مكتوباً على ميناء الجهاز. فإذا كان صنف الدقة في أحد الأجهزة هي ٢٧، وكانت قيمة كامل سلم القراءة 100 واحدة فإن الارتباب المطلق في القياس يكون:

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

وذلك في أي موضع من سلم القراءة.

مثال:

إذا كان صنف الدقة (رتبة الريب) لقياس 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 الارتياح) مكتوباً على ميناء الجهاز أو في نشرته الصادرة عن مصنعه، فنضطر إلى تقدير أصغر جزء من التقسيمة الواحدة قابل للتمييز بدقة كافية ونعتبره اتفاقاً على أنه الارتياح المطلق في القياس المباشر، وذلك تخميناً لا يقيناً. وقد يكون هذا الجزء عشر أصغر تقسيمة من سلم القراءة أو خمسها، أو نصفها أو كلها أحياناً.

2- تقدير الارتياح في الجملة التجريبية:

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

من هذه التجارب تلك التي ينبغي فيها تعيين موضع التوازن الكهربائي (انعدام التيار أو فسوق الكهون في مقياس صفرى)، 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 الارتياح 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 المُجَرَّب أو قدرة تمييزها.

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

لتقدير الارتياح المطلق في القياس المباشر في هذه الحالات، نعود إلى الطريقة التالية:
يُعين موضع التوازن أو الوضوح المنشود، ويسجل القياس المباشر عنده مقروءاً على «سلسلة»
وليكن هو العدد a_1 الممثل بالنقطة A_1 على محور القراءة في الشكل (2) المرفق.

ثم يُعتمد إلى تخفيض المقدار الفيزيائي الذي يدرس تأثيره، رويداً رويداً وبأقل قدر ممكن كسل مرة، حتى يحكم المجرب بحواسه بأن التوازن قد احتل (إبرة المقياس لم تعد 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

$$a_1 \text{ الممثل بالنقطة } A_1 \quad A_1 \quad A \quad A_2$$

الشكل (٢) : تقدير الارتياح في الجملة التجريبية

إن تغيير المقدار الفيزيائي للمؤثر 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 يُعتمد إلى زيادة المقدار الفيزيائي للمؤثر حتى يبدأ نقض التوازن أو إفساد وضوح الخيال الضوئي في الاتجاه الآخر، وتسجل القراءة مرة أخرى، وتكون a_2 المثلة بالنقطة A_2 .

ليس من الضروري قط أن يكون الموضع A منتصف القطعة A_1A_2 وذلك من حصره مما يشوب القياسات الثلاثة a_1 و a_2 من ارتياحات طارئة.

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

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

هـ - تقامير الارتياح المعلق في الثوابت الفيزيائية:

سبق التنويه بأن لثوابت 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 المعلق 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 أعطى 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 النهائية

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

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 بأداة القياس نفسها، فوجدنا النتيجة النهائية

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

إن الارتياح المطلق في قياس القطر هو $\Delta d = 1 \text{ mm}$ لكنت 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 :

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

فالتقاس 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 :

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

فالتقاس 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 القياس	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	$\bar{a}$	$\Delta \bar{a}$	$\bar{b}$	$\Delta \bar{b}$
النتيجة النهائية	a = ($\bar{a} \pm \Delta \bar{a}$)		b = ($\bar{b} \pm \Delta \bar{b}$)	
الارتياح النسبي المئوي	$r\% = \frac{\Delta \bar{a}}{\bar{a}} \times 100\% = \dots\%$		$r\% = \frac{\Delta \bar{b}}{\bar{b}} \times 100\% = \dots\%$	

ملاحظة هامة:

بعد حساب القيمة العددية للارتياح المطلق $\Delta \bar{a}$ ، 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 مؤثرة. وبالتالي تقرب القيمة الوسطية $\bar{a}$ إلى مثل مرتبة $\Delta \bar{a}$.

مثال:

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

ملاحظة:

وجدنا بالحساب أن الارتياح المطلق الوسطي $\Delta \bar{L} = 0.02 \text{ cm}$ 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 $\Delta \bar{L}$. أما إذا وجدنا العكس، فنضع قيمة ارتياح الجهاز في النتيجة النهائية، فيكون الارتياح المطلق هو: $\Delta \bar{L} = 0.01 \text{ cm}$.

الارتفاع المطلق	الطول	رقم التجربة
$\Delta L(\text{cm})$	$L(\text{cm})$	
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
	$r\% = \frac{0.02 \times 100}{14.25} \% = \frac{2}{14.25} \% = 0.1\%$	الارتفاع النسبي النسبي

٢ - تقدير الارتفاع الطولي في القياس غير المباشر:

بحسب الارتفاع المطلق والارتفاع النسبي في القياس غير المباشر بتطبيق قواعد - انه اضطرر للتعرف في الرياضيات ومن ثم يستبدل برمز التفاضل Δ ورمز الجذر:

أ- الحالة الأولى: حالة استقلال قياس المتحولات:

يكون فيها قياس المتحولات مستقلاً عن قياس المتحولات الأخرى أي أن الارتفاع المطلق في أحد المتحولات ليس له أي أثر على الارتفاع المطلق في أي متحول آخر، أو أي ارتباط به .
١ - حالة المجموع الجبري:

نعرف المقدار $X = a + b + c$ ونفرض أننا حصلنا بالقياس المباشر على القسوم الوسطية لحدوده $\bar{a}, \bar{b}, \bar{c}$ وعلى الارتفاع المطلق لكل منها $\Delta a, \Delta b, \Delta c$ فنحن : القسمة الوسطية المقبولة للمقدار X هي:
$$\bar{X} = \bar{a} + \bar{b} + \bar{c}$$

ويكون الحد الأعلى للارتفاع 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:

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

والارتياح النسبي المموي فيعطى:

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

٢ - حالة لوغاريتم 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:

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

ويكون الارتياح النسبي:

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

٣ - حالة الجداء:

ليكن المقدار $X = a \cdot b$ وقد حصلنا بالقياس المباشر على القيمة الوسطية لكسل مسن

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 نحصل: $dX = a \cdot db + b \cdot da$

ويعطى الحد الأعلى للارتياح المطلق ΔX بالعلاقة:

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

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

ويُحسب الرتبة النسبية:

والرتبة النسبية المئوية:

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

٢ - حالة الضرب اللغاريتمي: يُعبر عن لوغاريتم طرفي العلاقة: $X = a \cdot b$ فنجد:

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

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

وبالتفاضل يتبع:

ومنه نجد:

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

- أي أن الرتبة النسبية في جداء عاملين يساوي مجموع الرتبتين النسبيتين فيهما.

- أما الرتبة المطلقة فيحسب بالعلاقة:

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

إن تفضيل إحدى الطريقتين على الأخرى يتوقف على مدى سهولة الحسابات العددية المترتبة

عليها. وترجع 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 $\Delta \bar{a}$ ، $\Delta \bar{b}$ وتكون القيمة الوسطية للمقدار X : $\bar{X} = \frac{\bar{a}}{\bar{b}}$

أ - نطبق طريقة التفاضل العادي:

$$dX = \frac{da.b - db.a}{b^2} \quad \text{وبالتفاضل للمقدار } X \text{ نجد:}$$

ويكون الارتياح المطلق:

$$\Delta \bar{X} = \frac{\Delta \bar{a}.b + \Delta \bar{b}.a}{b^2}$$

ويكون الارتياح النسبي:

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

ب - نطبق طريقة التفاضل اللوغاريتمي:

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

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

ويعطى الحد الأعلى للارتياح النسبي في حالة القسمة:

ويكون الارتياح المطلق:

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

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

٥ - حالة التربيع المثلثية:

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

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

ويكون الارتياح المطلق:

$$\Delta y = |\cos \theta| \cdot \Delta \theta$$

ومنه نجد الارتياب النسبي:

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

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

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

ويكون الارتياب المطلق:

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

ويكون الارتياب النسبي:

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

ج - حالة التابع ظل: ليكن التابع: $y = \tan \theta$ بالتفاضل نجد:

$$dy = (1 + \tan^2 \theta) \cdot d\theta$$

ويكون الارتياب المطلق:

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

ومنه نجد الارتياب النسبي:

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

٤ - حالة التابع الأسّي: ليكن التابع: $y = e^{nX}$

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

$$\frac{dy}{y} = n \cdot dX$$

ويكون الارتياب النسبي:

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

$$\overline{\Delta y} = y \cdot n \cdot \overline{\Delta X}$$

ويكون الارتياب 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 خلط من العمليات:

كثيراً ما ترد مقادير تحوي عمليات مختلطة وفي هذه الحالة ترجع قطعاً طريقة التفاضل اللوغاريتمي، فيحسب الارتياح النسبي أولاً، ومن ثم يحسب الارتياح المطلق ثانياً.
مثال ٩:

$$X = \frac{(a+b) \cdot c^4}{3f}$$

ليكن المقدار:

حيث f, c, b, a مقادير يمكن قياسها مباشرة، وقيمتها الوسطية هي $\bar{f}, \bar{c}, \bar{b}, \bar{a}$ وارتياحاتها المطلقة هي: $\overline{\Delta f}, \overline{\Delta c}, \overline{\Delta b}, \overline{\Delta a}$ على الترتيب.

نأخذ لوغاريتم الطرفين:

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

بالتفاضل نجد:

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

فيكون الارتياح النسبي:

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

ومنه الارتياح المطلق:

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

مثال ٢:

$$X = \frac{(a+b) \cdot c^3 \cdot \sin^2 \theta}{4 \cdot \sqrt{e}}$$

ليكن المقدار:

حيث θ, e, c, b, a مقادير يمكن قياسها مباشرة وقيمتها الوسطية هي: $\bar{\theta}, \bar{e}, \bar{c}, \bar{b}, \bar{a}$ وارتياحاتها المطلقة هي: $\overline{\Delta \theta}, \overline{\Delta e}, \overline{\Delta c}, \overline{\Delta b}, \overline{\Delta a}$ على الترتيب.

نأخذ لوغاريتم الطرفين فنجد:

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

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 سواء 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 اللوغاريتمي 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، السعي نوضحها في المثال التالي:

مثال:

$$X = \frac{a-b}{a} \quad \text{ليكن المقدار:}$$

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

فأخذ التفاضل اللوغاريتمي 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 للارتياب 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 نعمل على 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 يوضح الارتياب النسبي بدون مسوغ، وهذا ما يؤكد اتباع طريقة فصل أمثال حدود التفاضل.

ومن الأمثلة التي تُردُّ في الفيزياء العملية التي نطبق عليها طريقة فصل الأمثال في حساب الارتياب هي: قانون قياس البعد المحرق للعدسات، وكذلك قانون قرينة الانكسار... إلخ.

٣ - تقدير الارتياب لدى التحقق من صحة القوانين:

كثيراً ما يطلب منا التحقق عددياً من صحة إحدى العلاقات المعروفة، ويغلب أن تُردِّد العلاقة إلى إحدى صيغتين:

$$u = f(x, y, \dots) \quad 1 - \text{الصيغة الأولى:}$$

$$f(x_1, y_1, \dots) = C \quad (C \text{ ثابت}) \quad 2 - \text{الصيغة الثانية:}$$

$$1 - \text{الصيغة الأولى:}$$

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

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

يتم التحقق العددي من صحة العلاقة إذا كانت على هذه الصيغة، بقياس قسم بمجموعة المتحولات في تجربة مناسبة، وتعويض قيمها من ثم في صيغة العلاقة.

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

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

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

تقدر قيم الارتبايات المطلقة الواقعة في المتحولات وفق معطيات التجربة واتكن:
 $\Delta x, \Delta y, \Delta u, \dots$ على الترتيب، ثم نحسب عددياً ارتباياتها النسبية الموافقة لها:
 $\frac{\Delta u}{u}, \dots, \frac{\Delta y}{y}, \frac{\Delta x}{x}$ ونعوض في عبارة الارتبايات النسبي، فتتوفر لدينا عندئذٍ قيمة عددية للارتبايات النسبي في كل من الطرفين. نسمي الطرف الذي يكون الارتبايات النسبي فيه أكبر وكذلك يكون الارتبايات المطلق فيه أكبر، بالطرف الملحوظ لدينا لغابتنا المشودة.

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

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

نُعرف 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 نحسب الانحرافات المطلقة $E_i = |f_i - f'_i|$ من أجل كل تجربة i ، وهي تمثل الانحرافات قيم الطرفين عن التساوي المفترض فيما بينهما، في التجارب المكررة.

نقارن هذه الانحرافات بالارتياب المطلق في الطرف الملحوظ Δf الذي حسبناه سابقاً. تعتبر كل تجربة في جملة التجارب n مقبولة إذا كان الانحراف E_i لها لا يتجاوز الارتياب المطلق Δf . أما في الحالة المخالفة، فتعتبر التجربة i شاذة وتُحذف. أي أن كل تجربة لا بد لها أن تحقق الشرط التالي لكي تكون مقبولة: $E_i \leq \Delta f$

ثم نحسب 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 الارتياب النسبي المئوي الذي يشوب صحة العلاقة في تحققنا، مبنية على التجارب المقبولة.

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

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

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 المخرب قد اكتفى بقياس مقاومتين مجهولتين r_1 و r_2 ، وأنه وبعد (بطريقة جسر وطسطن) 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 وطسطن 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 $r_1 = r_1 + r_2$ Ω	$r_1 = R$ Ω	الانحرافات المطلقة $E_i = r_i - r_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			$\varepsilon = \frac{\bar{E}}{\bar{r}} = \frac{0.15}{43.0} = 0.0036$			
الارتياح النسبي المتساوي في صحة العلاقة			$\varepsilon \% = 0.35 \% \approx 0.4 \%$			

ثم نقاضل العلاقة، ونلاحظ لا حاجة إلى التفاضل اللوغاريتمي، لأن العلاقة هي من نوع المجموع الجبري فتكتفي بالتفاضل العادي للسهولة . فنجد الارتياح المطلقة 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 الأكبر

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

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

نعيد حساب القيمة الوسطى، فنحسب وسطى 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 المتوي: $\varepsilon \% = 0.35 \% \approx 0.4 \%$

وهو كناية عن الارتياح النسبي المتوي 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

$f(X_i, y_i, \dots)$ 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 السيتي عددها f ، نعتمد إلى تقدير الارتياح في صحتها كما يلي:

نفاضل عبارة الطرف العام من علاقتنا تفاضلاً لوغاريتمياً 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 ΔX ، Δy ، . . . ثم نحسب عددياً الارتياحات النسبية الموافقة لها: $\frac{\Delta y}{y}$ ، $\frac{\Delta x}{x}$ ،

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

تحتسب 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 وتُهمَل. أي أن كسل 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: $\bar{E} = \frac{\bar{E}}{f}$ ، 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 توخياً للوضوح والسهولة:

رقم التجربة	القيمة العددية للطرف العام f_i	الانحرافات المطلقة $E_i = \bar{f} - f_i $	الاستنتاج
-------------	----------------------------------	--	-----------

1			التجربة مقبولة
2			(أو غير مقبولة)
...			بالمقارنة مع
n			Δf
الوسيطي	$\bar{f} =$	$\bar{E} =$	
الانحراف النسبي		$\varepsilon = \frac{\bar{E}}{\bar{f}} =$	
الترتيب النسبي المتوي 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 المسار فيه. و R مقاوم الكهربائية.

نفرض أن المخرَّب قد وجد القيم العددية التالية بالقياس المباشر في دارته (تجربة قسانون 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
الوسيطي			2.36	0.02	
الانحراف النسبي			$\varepsilon = \frac{0.02}{2.36} = 0.0084 = 0.008$		
الترتيب النسبي المتوي في صحة العلاقة			$\varepsilon \% = 0.8\%$		

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

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

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

ثم نقاظم الطرف العام للعلاقة تفاضلاً لورغاريتمياً فيكون:

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

ونحسب الارتباط النسبي لإحدى تجاربنا.

في تجربة كهذه حيث تزايد قيم المتحولين في حين أن الارتباط المطلق فيهما ثابت، يتناقص الارتباط النسبي مع ازدياد قيم المتحولين. لذلك سوف نختار التجربة ذات القسم الوسطي للمتحولين فيكون الارتباط النسبي فيها وسطياً أيضاً.

لهذا السبب سوف نختار التجربة الثانية لحساب الارتباط النسبي، ويفتينا هذا عن حساب الارتباط النسبي لكل تجربة وعن اعتبار الارتباط 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 الارتباط النسبي نحسب الارتباط المطلق في الطرف العام فيكون:

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

وعقارنة الانحرافات المطلقة $\bar{E}$ للتجارب المختلفة مع الارتباط المطلق Δf المحسوب آنفاً، نجد أن التجارب الثلاث مقبولة كلها، لأن الشرط التالي $\Delta f \geq \bar{E}$ محقق فيها جميعاً. ثم نحسب وسطلي 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 الارتباط النسبي المئوي في صيغة العلاقة وفق تجربتنا، وقد أثبتنا هذه النتائج في أسفل الجدول السابق.

٧ - التمثيل البياني واستخلاص النتائج منه

تتم القوانين الفيزيائية عن علاقات بين المتغيرات الفيزيائية ويمكن التعبير عن هذه القوانين إما بالكلام، أو بالعلاقات الرياضية، أو بالتمثيل البياني. فإذا رغبت في إجراء حساب ما كانت العلاقة الرياضية هي أفضل الأساليب الثلاثة، بيد أن لتمثيل بياني أهمية خاصة لا تضاهيه في خصوصيتها أية وسيلة تعبيرية أخرى.

١ - التمثيل البياني:

يؤدي القياس الذي يجريه في عملي الفيزياء في الحالة السابقة إلى الحصول على قيم عديدة للمتغير الفيزيائية المتحولة والناشئة، بيد أن أفضل البياني أفضل من الحصول القيم العددية، فهو يعطي صورة حية يستشعر منها الناظر عبارة كيفية تغير المتغيرات الفيزيائية بعضها مع بعض. هدف الطريقة التجريبية إلى تعيين مجموعة من القيم على محورين أحدهما يسمى بالمتحول الأساسي على محور السينات X ، أو محور الفواصل، والقيم التي يأخذها المتحول الآخر يسمى الناتج ويكون محور الordinates Y ، أو محور الترتيب.

٢ - فوائد التمثيل البياني:

نذكر من فوائد التمثيل البياني التباينة ما يلي:

أ- سرعة تلخيص القياس واكتشاف حالات الشذوذ فيها، وهي حالات من القيد أن يسأل الطالب تفسير مثلثتها ومعرفة جرمها، وأما كان الشذوذ التعريفي في بعض الأحيان اكتشافاً علمياً ذا أهمية بالغة، ومع أن ما قد يحصل من قيم شاذة في قياساتنا الفيزيائية لن يكون مسبباً عسفاً القبول في الأرجح، فإنه مواتع للطلاب، استبعاد النتائج غير المشروطة أو تحصيلها.

ب- لعل أهم فائدة أخرى من الرسم البياني في عملي الفيزياء هي الكشف عن ملاحظة الملاحظة الفيزيائية على أوضح ما يتصوره نتائج القياس. أي اكتشاف قانون الظاهرة (أو النطاق من صحتها إذا كان معدلياً لها).

ج- إيجاد قيمة لأحد المتغيرين الفيزيائية، المعرفين من أجل قيمة مختارة للآخر غير بالردة 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 لتحديد بمسقط هذا للعمود 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

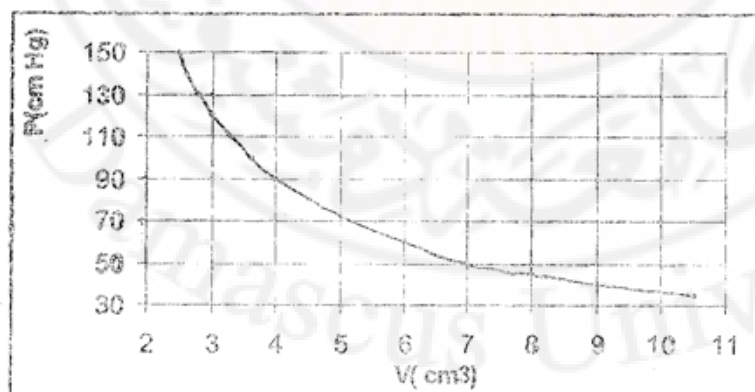
وتكون فيه القيمة المعلومة لأحد المتغيرين واقعة خارج مجال القيم الحاصلة بالقياس.

٣ – أنواع الخطوط البيانية:

هناك أنواع متعددة من الخطوط البيانية أهمها:

أ – المنحني التجريبي:

وهو نوع نرممه لبيان العلاقة الكائنة بين مقدارين أحدهما متحول والآخر تسابع كمسا في الشكل (3) الذي يمثل تحولات الضغط P بدلالة الحجم V في غاز مثالي وبدرجة حرارة ثابتة. فنحن النقاط التجريبية ونمرر منها أو بمحاورها خطاً انسيابياً. ونفهم ضمناً أنّ النقاط التجريبية التي لاتقع على الخط قد وقع فيها خطأ تجريبي أو عدم دقة، وأما البعيدة عنه بهذا كبيراً فهي نقاط شاذة.



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

ب - المنحني النظري:

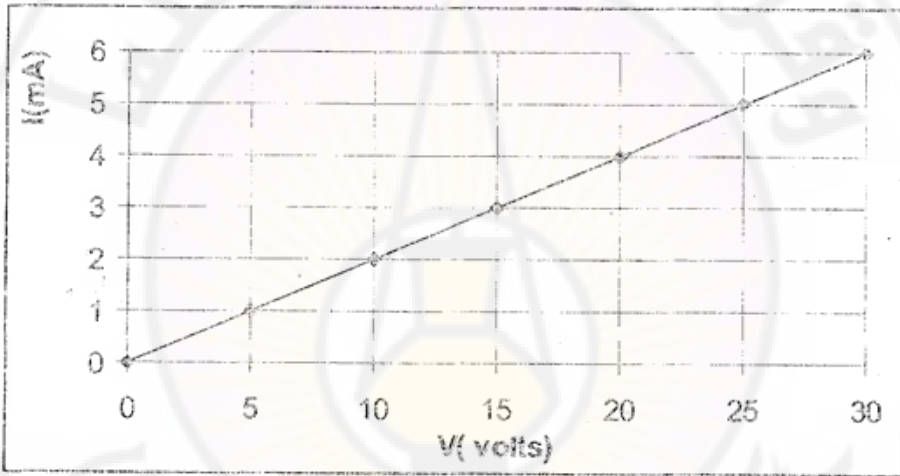
وهو خط بياني يعبر عن علاقة نظرية. فقد حصلنا على الترتيب في الشكل (4) من التبديل في

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 جيئية أو قطعاً زائدة.

ولا معنى إذاً لوضع نقاط على الخط المرسوم، وكثيراً ما يرسم هذا المنحني إلى جانب المنحني التجريبي لبيان مدى ابتعاد النتائج التجريبية عنه.



الشكل (4): المنحني البياني لتحويلات شدة التيار I بدلالة فرق الكمون V

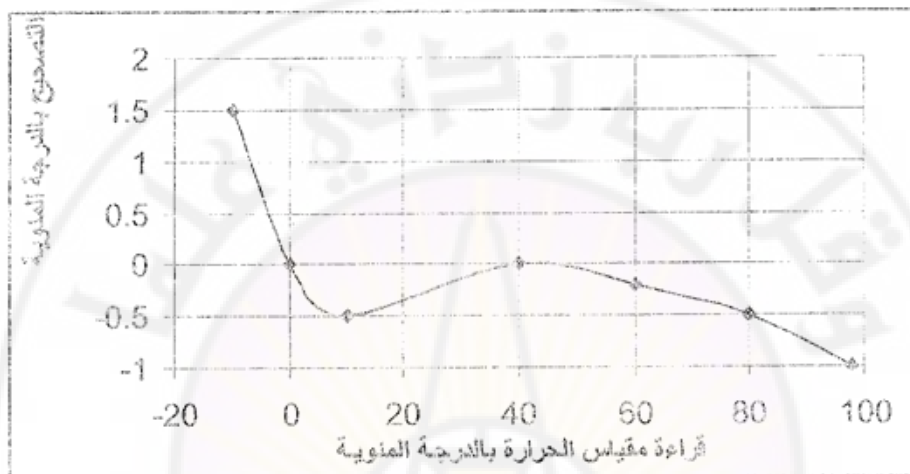
ج - منحني المعايرة:

وهو سجل بياني لقيم نلاحظها في نقاط متعددة. فإذا وجدنا بنتيجة معايرة مقياس حرارة

عادي بمقياس حرارة عياري النتائج التالية:

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

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 الاستغيرات الحقيقية التي تجري في مقياس الحرارة غير معلومة، وقد تكون غير منتظمة. ويستخدم هذا النوع من الخطوط البيانية عادة لأغراض إحصائية وللمعايرة الأجهزة.



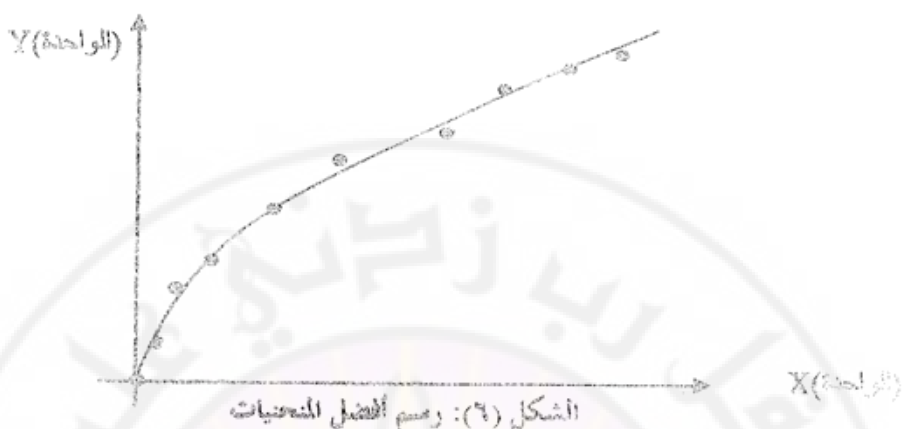
الشكل (5): منحنى المعايرة

٤ - رسم الخطوط البيانية:

يتطلب تحقيق أعظم الفائدة من الخطوط البيانية بذل جهود حمة لدى رسمها، ويجب أن يكون شكل المنحنى 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 المنحنى اللتين هما 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 باللدونة تأخذ شكل الانحناء الذي يعطى لها وتبقى عليه حتى يغير شكلها إلى سواء. وهي مفيدة جداً في رسم المنحنيات البيانية بصورة انسيابية على النحو الذي وصفناه. كما ينبغي للطلاب أن يتدرب على رسم المنحنيات الانسيابية باليد مباشرة وبالقلم الرصاص.



٥ - قرا، وحد، وسم الخطوط البيانية:

١- في حالة تمثيل النتائج على الورق المليمثري، يختص المحور الأفقي (محور القواسم) أو محور السينات) بالمتحول X والمحور العمودي عليه (محور الترتيب أو العينات) للنتائج 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 وحزبية 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.

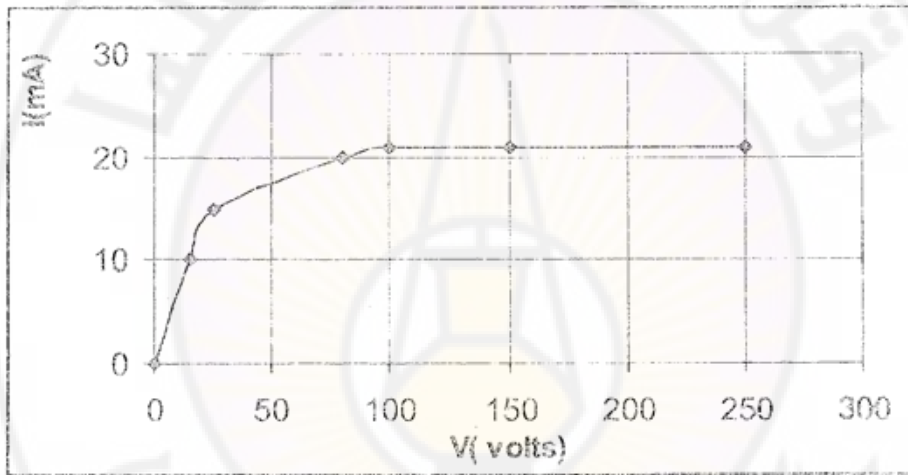
٣- ليس من الضروري أن يبدأ تدرج أي من المحورين بالصفر، وذلك كي يشغل المنحني أكبر مساحة ممكنة من ورقة الرسم.

٤- يجب السعي قدر الإمكان أن تكون أصغر تقسيمه 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 تدرجات 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).

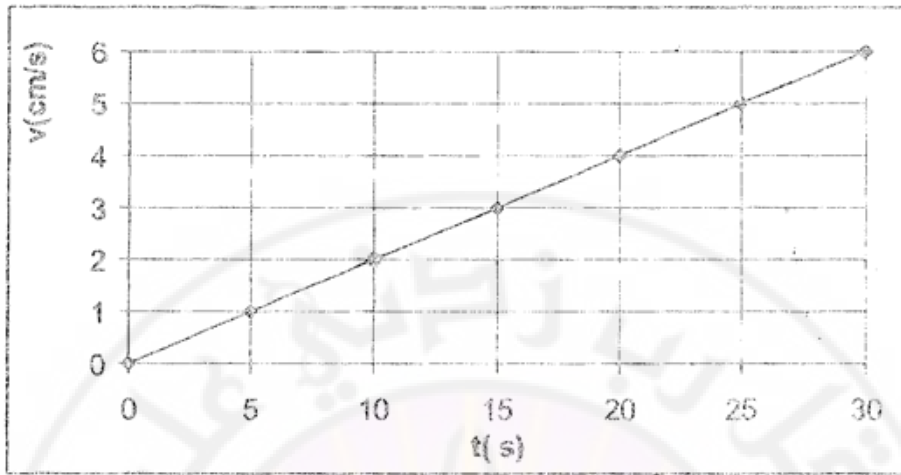
ولا تلتصق إلى تجزئة التقسيمة الأساسية الواحدة إلى ثلاثة أقسام أو سبعة أو تسعة لصعوبة تقدير قراءتها.

٦- إذا كانت القيم التي تمثلها على أحد المحورين أو على كليهما صغيرة للمقايسة 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 المصنوع

١- يمكن تمييز كل نقطة تجريبية بدائرة صغيرة. وإذا رسمت أكثر من خط بياني على مساحة الورقة ذاتها، فيمكنك استخدام رموز أخرى لتمييز النقاط التجريبية المتعلقة بمسألة الخطوط، كالمربعات الصغيرة، أو إشارة +، أو إشارة X.



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

٧ - بعد هذا التقسيم للمحورين يستعمل عليهما القيم الرئيسية، ثم تمثل النقاط التجريبية في ضوئها.

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

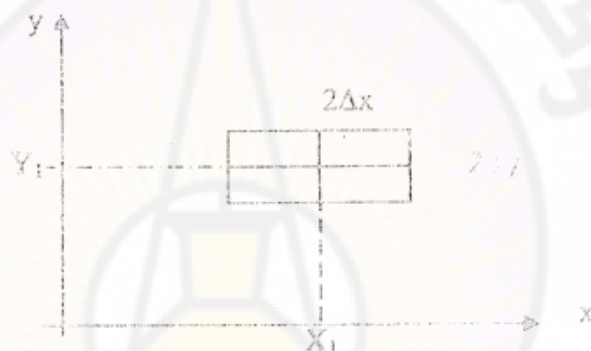
٩ - ارسم خطوط منقطة في حالة تعدد الخط البياني وذلك من أجل الاستقراء الخارجي.

٦ - تمثيل الارتياح بيانياً:

عما أن تعيين موضع كل نقطة تجريبية مثل (x_1, y_1) على الورقة يتم بارتياح نستخرج عن الارتياح المطلق الواقع في قياس كل من المحور 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 (٩).

يمكن جعل القطعتين تحت مستويين المتعامدين الناتجتين محورين لمستطول تقع النقطة التجريبية في مركزه . نسمي هذا المستطول مستطول الارتياح، وهو كناية عن الرقعة من المستوى الذي تقع النقطة الحقيقية ضمنها .

نرسم مستطيلات الارتياح لكل النقاط التجريبية أو بعضها، وقد تكون هذه المستطيلات متساوية الأبعاد إذا كان الارتياح المطلق في المنحول ثابتاً، ومثله الارتياح المطلق في التابع، وقد تختلف متساوية الأبعاد . وإذا كان أحد الارتياحين مهملاً تحول المستطول إلى قطعة مستقيمة .



الشكل (٩): التمثيل البياني للارتياح.

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

وإذا كان أحد الارتياحين في المنحول أو التابع صغيراً بحيث لا يمكن تمثيله على محور، اعتدنا 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 المنحنى البياني من النقاط التجريبية كافة .

W ————— المستطيلات الناتجة من الخطوط البيانية:

إذا ظهر أنَّ النقاط التجريبية تنوزع على استقامة واحدة سهَّل رسم مستقيم مار بها، وتزداد دقة الرسم كلما ازداد عدد النقاط، وبالتالي أمكن التعرف على استقامة الخط البياني، في حين أنَّ التعرف على شكل أي منحن 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 القواصل . فإذا علمت القيمة العددية للثابتين a و b أمكن الحصول على المعادلة المطلوبة .

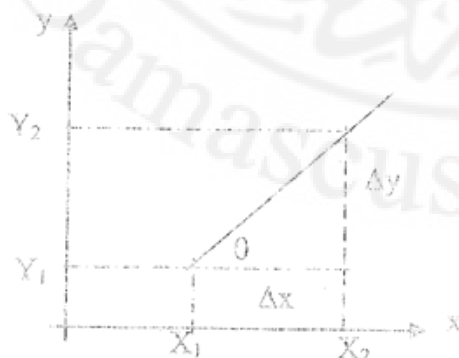
ونشير إلى أنه عند حساب ميل الخط البياني، يجب التمييز بوضوح بين ما يسمى بالميل الفيزيائي وما يسمى بالميل الهندسي .

أ- الميل الفيزيائي:

وهو يمثل في حالة الخط المستقيم نسبة تغير التابع ΔY إلى تغير المتحول ΔX مقيسين بالوحدات المستعملة 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 للمنحنى الذي يبين تغيرات السرعة بدلالة الزمن يعطي التسارع، وتنتج واحدة التسارع بالحساب . وهذا الميل هو الذي نستخدمه في إيجاد معادلة المستقيم .



الشكل (10): حساب الميل الفيزيائي

وكمثال نموذجي:

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

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

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

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

بـ- 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 نضعها على المحورين. وهذا الميل لا نستخدمه في الحسابات، إلا عندما يكون المحورين مدرجين بمقياس واحد كما في الورق اللوغاريتمي.

أما إذا كان الخط البياني منحنيًا فإن ميله الفيزيائي أو الهندسي يختلف، فمعاً 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. فلو تقاطع المستقيم البياني المسّثل لمحاولات 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).

A - رد المنحنيات المختلفة إلى مستقيم:

إذا ظهر أن المنحني ليس مستقيماً، فسأولت إمكانية استنباط المعلومات منه، وتعتبر في الأرجح استنباط العلاقة ما بين المقدارين الفيزيائيين المتحول والتابع.

نحاول في هذه الحالة تطبيق ما يتوفر لنا من وسائل نرد هذا المنحني إلى مستقيم بغية تحصيل النواتج السابقة. ومن هذه الوسائل:

أ- تغيير المتحول:

يتخذ منحول جديد X بدلالة المنحول 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 طول L ، حيث ترسم المنحني البياني لمربع السدور T^2 بدلالة الطول L . أي معادلة دور النواس:

$$T = \frac{4\pi^2}{g} \times L$$

٢- $X = \frac{1}{x}$: ويعطي هذا التحويل خطاً 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 ترسم 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 خطاً بيانياً مستقيماً إذا كانت العلاقة من الشكل: $y = \frac{a}{x^2} + b$ ، كما هي الحال في دراسة تبديد الموشور للضوء، حيث ترسم 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 ثابتان.

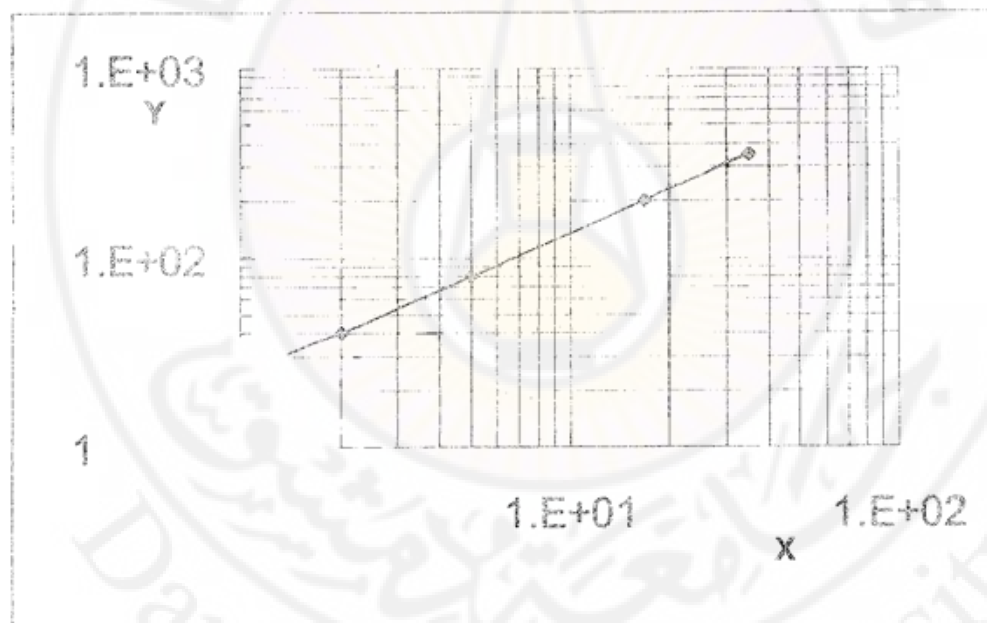
أما إذا فشل الورق المليمثري في تمثيل النتائج التجريبية على نحو يفيد في استنباط العلاقة بين المتغيرين الفيزيائيين المنحول والتابع، فإننا نلجأ إلى استخدام الورق اللوغاريتمي أو الورق نصف اللوغاريتمي.

ب- الورق اللوغاريتمي:

و هو ورق يحتوي على محورين متعامدين تم تدريبهما على أساس اللوغاريتمي. وتتخذ لتدريج المحورين مسافة أساسية تسمى الدور، حيث يحوي كل محور على عدد معين من هذه الأدوار. ويتميز كل دور من أدوار الورق اللوغاريتمي بأن تدريجاته تبدأ متباعدة ثم يزداد تراصها تسلسلياً.

حجم نهاية الدور، حيث يبدأ دور جديد . والمقصود بتدريج الدور على أساس لوغاريتمي هو أن المسافة بين بداية الدور وأية تدريجية 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 وفي نهاية الدور الثاني مساوية 10 ، وهكذا ففي الشكل (١١) تبدو ورقة لوغاريتمية ذات دورين بالاتجاه الأفقي ودورين بالاتجاه الشاقولي . ويبدأ الدور الأول على المحور الأفقي بالقيمة 1 وينتهي بالعدد 10 وهو بداية الدور الثاني الذي ينتهي بالعدد 100 .



الشكل (١١): ورقة لوغاريتمية يظهر فيها دوران على كل مر

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

المحورين بما يوافق القيم التحريية التي نريد تمثيلها. يعيد الورق اللوغاريتمي في رد التمثيل البياني إلى
خط مستقيم إذا كانت العلاقة ما بين

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

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

وإذا ضربنا طرفي هذه العلاقة بطول محور الورقة اللوغاريتمية وليكن L ، وجدنا:

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

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

$$Y = n X + A$$

ألت العلاقة السابقة إلى:

وهي تمثل خطاً مستقيماً .

فإذا رسمت قيم Y بدلالة X على ورقة لفرغية، أضحى ذلك عن أخذ لوغاريتم Y ولوغاريتم X ،

وكانت n هي الميل الهندسي للخط المستقيم المرسوم على الورقة اللوغاريتمية، وتكون عندئذ

ترتيب نقطة تقاطع الخط المستقيم مع محور الترتيب المنشأ عند الفاصلة $X = 4$

فإن الخط المستقيم المرسوم في الشكل (٩٩) يمثل علاقة بين Y و X هي: $y = 24 x^{0.76}$

وهي علاقة يمكن للطلاب أن يتحقق منها بسهولة بقراءة ترتيب نقطة تقاطع المستقيم مع

محور الترتيب، وبحساب ميل المستقيم بإنشاء مثلث قائم عليه ثم قياس الطولين الجسرين لصاحبه

المقابل والجاور بالنسبة المليفيترية.

مثال:

وكمثال على استخدام الورق اللوغاريتمي نذكر دراسة شدة الإشعاع I بدلالة البعد d كما

حيث يتناسب الإشعاع 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 التحريية مستقيم ميله (2-).

جاء الورق نصف اللوغاريتمي:

و هو ورق يتميز بكونه مدرجاً بتدرجات مليمترية في اتجاه محور القواسم، وتدرجات

لوغاريتمية في اتجاه محور الترتيب: كما هو مبين في الشكل (٩٢). وهو يستعمل لتمثيل العلاقات

الترباعية الأسية التي من الشكل:

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

وذلك لأنه إذا أخذنا لوغاريتم 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 بـ: $a \ln A = L$ ، $X = L n x$ ، $y \ln Y = L$ ، آلت العلاقة السابقة إلى:

$$Y = n x + A$$

وهي معادلة خط مستقيم .

وعليه فإننا إذا مثلنا قيم y على محور مدرج تدريجات لغريتمية أغنانا ذلك عن أخذ قيم $\ln y$ وكذلك قيم $\ln x$ ونحصل بنتيجة الرسم على خط مستقيم ميله الفيزيائي n وترتيب نقطة تقاطعه مع محور الترتيب 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:

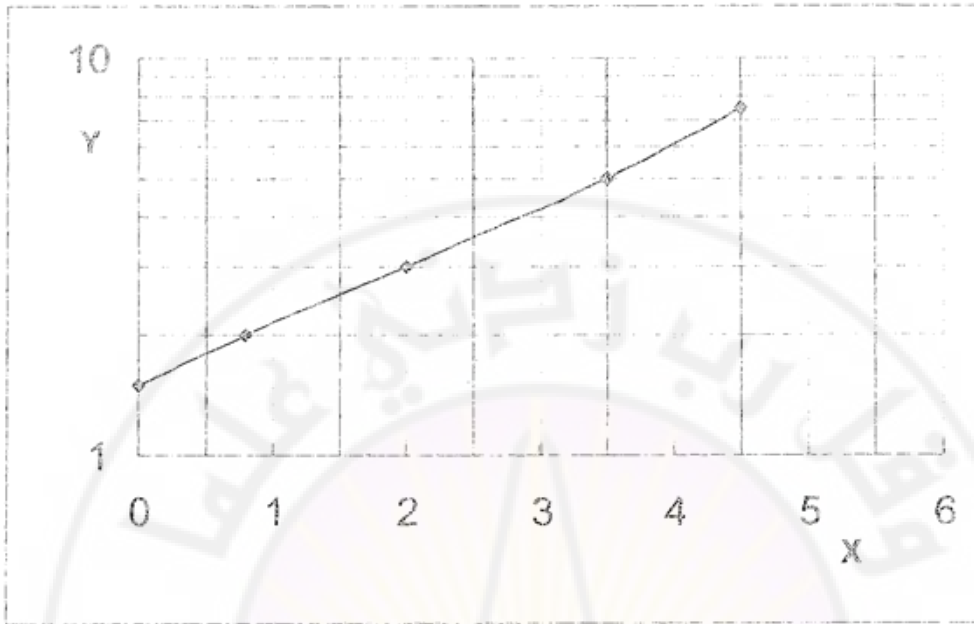
$$y = a e^{nx}$$

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:

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



الشكل (٩٢): ورقة نصف لوغاريتمية

نذكر استعمال الورق نصف اللوغاريتمي: نذكر دراسة عامل الامتصاص الخطي μ للاشعاع γ الصادر عن مادة مشعة بدلالة سمك المادة الماصة X ، حيث تمثل تغير قيم شدة الاشعاع 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 بخط مستقيم، فإنه يمكننا تحديد هذا الخط بعدد قليل من النقاط.

وفي 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 منحن يمر من عدة نقاط تجريبية، وتأخذ أبسط أشكالها في حالة المستقيم وهي الحالة التي سنتقصر 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 مسن 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 المحيئين اللتين لها 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 اللتين تحمقان الشرط السابق هما:

$$b = \frac{1}{n} (\sum y - a \sum x)$$

و

$$a = \frac{n \sum xy - \sum x \cdot \sum y}{n \sum x^2 - \sum x \cdot \sum x}$$

حيث تمثل n عدد النقاط التجريبية.

وبعد الحصول على معادلة المستقيم، نرسمه بيانياً معرفة نقطتين منه، أو ميله ونقطة تقاطعه مع محور السينات. ويمكن التأكد من صحتها بتعيين النشاط 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 كالآتي:

النقاط n	x	y	xy	x^2
1				
2				
3				
4				
5				
n				

$\sum x$	$\sum y$	$\sum xy$	$\sum x^2$
----------	----------	-----------	------------

ونورد فيما يلي مثلاً عددياً على هذه الطريقة:

لنكن لدينا مجموعة النقاط التجريبية لتحويلين y, x عرفت إحداثياتهما بالقياس إلى الجدول التالي:

n	x	y	xy	x^2
1	0	3	0	0
2	2	7	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 :

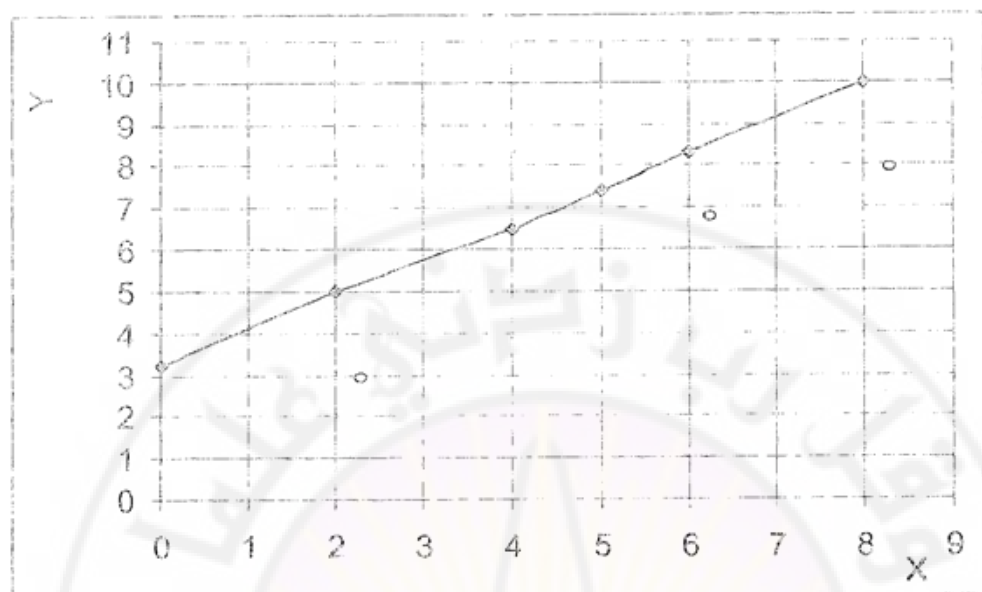
$$a = \frac{1}{n} \frac{\sum xy - \sum x \cdot \sum y}{\sum x^2 - \sum x \cdot \sum x} = \frac{5 \times 166 - 20 \times 33}{5 \times 120 - 20 \times 20} = \frac{170}{200} = 0.85$$

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

وتكون معادلة أنجبل المستقيمات هي: $y = 0.85x + 3.2$

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

الرسم البياني:



الشكل (١٤): مستقيم رسم يتابع طريقة أصغر المربعات

٧١ - تقاربن ومسائل

أ- تقاربن على الحساب التقريبي:

١ - حول القيم الآتية إلى الواحدات المبنية 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 مليمتر إلى متر

870 كيلو غرام إلى سنتيغرام

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

والمطلوب تنفيذ العمليات المبنية والاحتفاظ في الناتج بالعدد المناسب من الأرقام المعنوية:

$$372.6587 + 25.61 + 0.43798 = \text{أ}$$

$$34.01 \times 11.3 \times 3.1416 = \text{ب}$$

$$3887.6 \times 3.1416 + 25.4 = \text{ج}$$

٣ - إن العمليات الحسابية المبنية 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 مسن

جديد بحيث تحتفظ في الجواب بالعدد المناسب من الأرقام المعنوية:

$$(1.732)(1.74) = 3.01368 \text{ أ}$$

$$(10.22)(0.0832)(0.41) = 0.34862464 \text{ ب}$$

$$(6.23)^2 = 38.8129 \text{ ج}$$

$$628.7 + 7.8 = 80.602 \text{ د}$$

$$1624 + 478.27 + 1844.4 + 87.2 = 4033.87 \text{ هـ}$$

$$(38.4 + 14.26)(0.87) = 45.8142 \text{ و}$$

$$(17.34 - 17.13)(14.28) = 2.9988 \quad \text{ز -}$$

$$(81.4)(1.628) \div 0.00000440 = 301188000 \quad \text{ح -}$$

$$(43.1)(70.2)(24.5) = 74127.690 \quad \text{ط -}$$

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

$$3.456 \pm 0.2 \quad \text{أ -}$$

$$746.000 \pm 0.20 \quad \text{ب -}$$

$$0.002654 \pm 0.00008 \quad \text{ج -}$$

$$6523.587 \pm 0.3 \quad \text{د -}$$

$$716.42 \pm 0.2 \quad \text{هـ -}$$

٥ - أوجد ناتج العمليات التالية مراعيًا قواعد الحساب التقريبي:

$$(3.7855+2.630+17.06) \times 2.84 = \quad \text{أ -}$$

$$372.6587+25.61+0.43789 = \quad \text{ب -}$$

$$162.4+478.27+18.445+0.66 = \quad \text{ج -}$$

$$34.01 \times 11.3 \times 3.1 \div 16 = \quad \text{د -}$$

$$1.732 \times 1.74 \times 1.6 = \quad \text{هـ -}$$

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

$$628.7 \div 7.8 = \quad \text{ز -}$$

$$(6.23)^2 = \quad \text{ح -}$$

ب - تمارين على حساب الارتياح:

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

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

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

$$c = (9.207 \pm 0.001) \text{ cm}$$

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

٢ - احسب الارتياح النسبي المئوي $\%r = \frac{\Delta v}{v} \times 100\%$ والارتياح المطلق في الحساب

القطعة Δv عبر عن النتائج ملتزماً بقواعد الحساب التقريبي

٣ - يعطى قياس طول قطعتين معدنتين كما يلي:

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

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

ما هو الارتياح المطلق في ناتج جمع هذين الطولين؟ وما هو الارتياح المطلق في ناتج نسبتهما؟ ثم

احسب الارتياحين النسبيين في ناتج الجمع وناتج القسمة .

٤ - افترض أن قياس طول حرف مكعب معدني هو: $L = (10.02) \text{ cm}$ وأن

كثافته $\rho = (8065 \pm 8) \text{ kg/m}^3$. والمطلوب:

أ - احسب حجم المكعب المعدني من العلاقة: $V = L^3$

ب - احسب كثافة المحمية $\rho = \frac{m}{V}$ واحتفظ في جوابك بالعدد المناسب من الأرقام المعنوية

ج - احسب الارتياح المطلق $\Delta \rho$ في الكثافة المحمية ρ . واحسب الارتياح النسبي المئوي

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

و عبر عن قيمة الكثافة المحمية بالرمز الدولية A.S.

٥ - يعطى قياس طول قطعة لدى تكرار عملية القياس النتائج التالية:

$$L = (20.54, 20.48, 20.50, 20.56) \text{ cm}$$

والمطلوب:

أ - ما هو عدد الأرقام المعنوية التي يجب أن تحتفظ 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 $\frac{\Delta \bar{L}}{\bar{L}}$ لطول القطعة في عملية القياس .

٦ - احسب الارتياح النسبي التقديرية الثلاثة عشر (13) كما يلي باستخدام طريقة الصغار إلى

اللوغاريتمية:

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

$$x = \frac{a+b}{a-c} \quad -٢$$

$$Z = \lg x \quad -٣$$

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

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

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

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

$$y = a x^{\frac{3}{2}} \quad -٨$$

$$Z = (x - y) \lg x \quad -٩$$

$$Z = y e^{3x^2} \quad -١٠$$

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

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

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

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 الارتياح النسبي المثوي $r\% = \frac{\Delta Z}{Z} \times 100\%$ في Z ، وذلك باتباع طريقة التفاضل اللوغاريتمي، ثم عين القيمة العددية لـ $\frac{\Delta Z}{Z}$ ، ملتزماً بقواعد الحساب التقريبي.

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

جـ - قمارين على الرسم البياني:

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

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

والمطلوب:

أ- ارسم خطاً 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؟

جـ - ماذا يمثل الميل الفيزيائي للخط البياني المرسوم

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

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

والمطلوب:

أ- ارسم خطاً بيانياً لتحويلات درجة الحرارة θ بدلالة الزمن t

ب- ماذا تستنتج من شكل الخط البياني الناتج؟

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

٩٥ - نلاحظ أن الأثر الجراحي في الماء في مقلوب مسرع في الماء. ماذا نستنتج من هذا؟
مربع شدة التيار. ما هو شكل الخط البياني الذي نحصل عليه إذا رسمنا مدني تحويلات كمية الحرارة
المنتشرة بدلالة شدة التيار؟ كيف تغير التحويلات حتى نحصل على خط بياني مستقيم؟

٩٥ - 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 تغير التحويلات حتى نجد خطاً بيانياً مستقيماً؟

٩٦ - إن معادلة دور التواس البسيط بدلالة طول هي: $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ والمطلوب:

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

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

ج - ما هو شكل المنحنى البياني الممثل لتحويلات T بدلالة L على الورق
اللوغاريتمي وما هو ميل الخط الناتج؟

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

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

٩٧ - يتناقص الإشعاع الناتج من صبغة معدنية بشكل أسّي مع بعدها وذلك وفقاً للمعادلة:

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

حيث I_0 شدة الإشعاع الوارد على الصفيحة التي سمكها x و I شدة الإشعاع الخارج من
الصفيحة. أما μ فهو عامل التناقص مادة الصفيحة. والمطلوب:

أ - كيف يبدو المنحنى الممثل لتحويلات I بدلالة x على الورق المليمترى؟

ب - كيف يؤول المنحنى إلى خط مستقيم؟

ج - ماذا يمثل ميل الخط البياني لتحويلات I بدلالة x على ورق نصف اللوغاريتمي؟

الباب الثاني

التجارب العملية



أولاً: التجارب الأساسية

- ١ - قياس الأطوال
- ٢ - تحليل النتائج التجريبية
- ٣ - الدارات والمقاييس الكهربائية
- ٤ - قياسات أساسية باستخدام راسم الاهتزاز المبهطي

التجربة الأولى قياس الأطوال

الهدف من التجربة :

التدرب على بعض وسائل القياس الدقيق للأطوال والأبعاد وتقدير بحال الدقة في كسل منسها وحساب الحجم لأجسام مختلفة ثم إيجاد القيمة الحقيقية لأبعاد تلك الأجسام.

الأجهزة والأدوات المستخدمة :

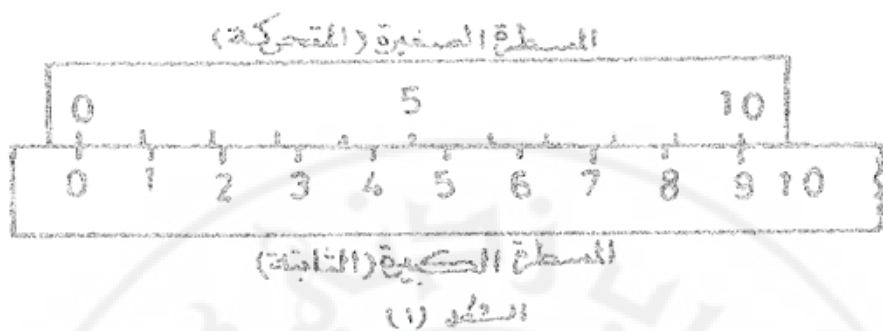
القدم القنوية (الفرنسية) — الشوارة اللولبية (ميكرومتر) — مقياس الكروية (ميكرومتر) — مسلك حدي — متوازي مستطيلات أسطوانة بحوفة — مرآة مقبرة.

المبدأ النظري:

تستخدم المسطرة لقياس الأطوال مباشرة، إلا أن دقتها محدودة إذ تكون مدرجة بالمليمترات أو أنصافها ومن التسدر جعل أقسام التدريج أصغر من ذلك لأن شخص خط التدريج يقارب $(0.2mm)$ ولا تستطيع العين المجردة أن تقدر أقساماً أصغر من $(0.1mm)$. فليذا أريد أن تكون دقة القياس أقل من نصف المليمتر أو إذا كان البعد المقيس أصغر من ذلك. اضطررنا إلى الاستعانة بأدوات أخرى أعظم دقة من المسطرة المدرجة B كالقدم القنوية والدوارة اللولبية ومقياس الكرة وتعتمد كلها على فكرة بخزنة واحدة الطوال بطرائق غير مباشرة ومن أشهر الأدوات المستخدمة لذلك (الفرنسية) التي ابتكرها العالم فرنبيه وصممها.

المسطرة (الفرنسية):

الفرنسية مسطرة صغيرة تولق محاذية لمسطرة كبيرة ثابتة وتتميز عنها باختلاف تقسيماتها والفرنسية إما (أ) تحوي عشر تقسيمات طولها مساوٍ تسع تقسيمات من المسطرة الكبيرة (الفرنسية العشرية) الشكل (1) أو تحوي الفرنسية خمسين تقسيمات طولها مساوٍ تسعاً وأربعين تقسيمات من المسطرة الكبيرة (الفرنسية الخمسينية) أو تحوي الفرنسية عشرين تقسيمات طولها مساوٍ تسع عشرة تقسيمات من المسطرة الكبيرة (الفرنسية المئوية).



من الشكل يتبين أن طول مقداره (9mm) من المسطرة الكبيرة يقسم إلى عشرة أقسام على المسطرة الصغيرة أي أن المسافة بين كل تدريجين على المسطرة الصغيرة تساوي (0.9mm) وبذلك تنقص التدريجة الأولى منها مسافة (0.1mm) عن مثيلتها من المسطرة الكبيرة وهكذا يتزايد الفرق بين كل خطين متوافقين حتى تصل التدريجة العاشرة على المسطرة الصغيرة (الفرنسية) إلى التاسعة من المسطرة الكبيرة وبالتالي فإن المسطرة الصغيرة تعطينا عدد أعشار المليمتر التي انزاح بها صفرها عن صفر المسطرة الكبيرة أي أن عدد أعشار الواحدة التي تحركتها المسطرة الصغيرة هو نفس رقم التدريجة من الفرنسية التي انطبقت على تدريجة المسطرة الكبيرة.

وكمثال على ذلك: إذا كانت التدريجة السادسة من المسطرة الصغيرة (الفرنسية) هي التي انطبقت على إحدى تدريجات المسطرة الكبيرة فتكون قد حركنا الفرنسية بمقدار $\left(\frac{6}{10}\right)$ من الواحدة وإذا أردنا تقدير أصغر تدريجة يقيسها الجهاز فإننا نرى أنه إذا كانت المسطرة الكبيرة مدرجة بالمليمتر والفرنسية عشرية فإن أصغر تدريجة هي (0.1) مم.

وإذا كانت المسطرة الكبيرة مدرجة بالمليمتر والفرنسية عشرية فإن أصغر تدريجة هي (0.05) مم وإذا كانت المسطرة الكبيرة هي قوس مدرجة بأرباع الدرجة مثلاً والفرنسية مستديرة مقسمة إلى خمس وعشرين تقسيمة فإن أصغر تدريجة فيها هي (0.01) من الدرجة.

تكتب النتائج عادة بثلاثة مراتب بعد الفاصلة أي مثلاً الفرنسية عشرية.

1.425 – 0.563 cm

ولتقدير الخطأ المرتكب في عملية القياس الجسم طولُه (X) بواسطة فرنسية عشرية

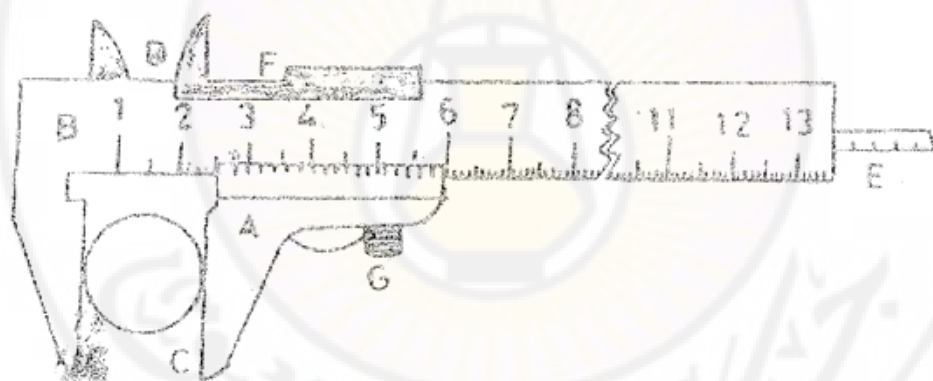
إن الخطأ المطلق المرتكب في عملية القياس بهذه الفرنجة هو من رتبة (0.005cm) وبحسب كما يلي:

يعبر عن الخطأ المطلق في عمليات القياس بجهاز ما هو نصف أصغر تدريجة يمكن للسجرب أن يميزها على سلم هذا الجهاز وعليه فإن الخطأ المطلق (ΔX) هو

$$\begin{aligned}\Delta X &= \frac{1}{2} \times \frac{1}{10} \text{ mm} \\ &= 0.05 \text{ mm} \\ &= 0.005 \text{ cm}\end{aligned}$$

ولذا السبب احتفظنا بالرقم الثالث بعد الفاصلة في الأعداد السابقة.

القديم القنوية:



شكل (٢)

هي أداة تستعمل لقياس السماكات والأقطار الداخلية والخارجية والأعماق وتتألف من مسطرة ثابتة (B) تتحرك على طولها مسطرة متحركة (فرنجة) (A).

المسطرة B مدرجة بالمليمترات من حافة وبالإشارات من الحافة الأخرى ولها فكان وسيفان (D,C) ويميز من نهايتها قنصيب (E) أثناء تحريك الإطار المتحرك (F) كما يوجد لها زر (G) لضبط هذا الإطار نماير هذه القنم القنوية بحيث إذا انزاحت المسطرة المتحركة مسافة ما (X) فإن المسافة الفاصلة

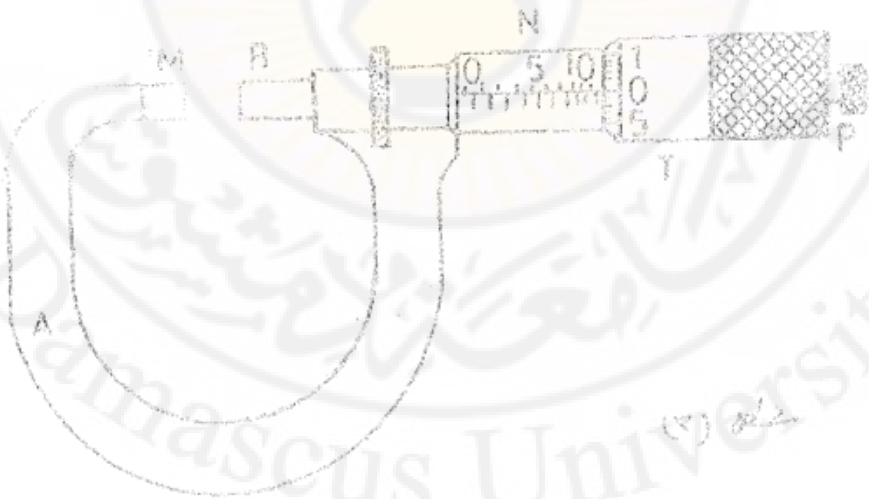
بين الشكين والمسافة الفاصلة بين السيفين والطول البارز من القضيبي والبعد بين صفر القرينة وصفر المسطرة مساوياً (X). أما وظيفة أجزاءها فهي التالية:

أ - وظيفة الفكك: يستعمل الفكك لقياس الشحانات وذلك بأن يوضع الجسم المراد معرفة ثخنه بينهما ثم تحرك المترلفة بحيث يتقارب الفكك حتى يلامسان جانبي الجسم ويتعين هذا الشخص بالمسافة الفاصلة بين صفر المسطرة وصفر القرينة.

ب - وظيفة السيفين: يستعمل السيفان لقياس الأقطار الداخلية للأنتيبس والقنوب والاسطوانات المخوفة وذلك بأن يوضع رأسهما ضمن الفتحة المراد قياس قطرها ثم تحرك المترلفة بحيث يتعاد السيفان حتى يلامس حرقاها الجدار الداخلي للفتحة.

ج - وظيفة القضيبي: يستعمل القضيبي لقياس عمق الأنبوب أو اسطوانة خنوة وذلك بأن تستند حافة نهاية المسطرة على حافة الأنبوب ثم تحرك المترلفة بحيث يتعاد الشكان حتى يلامس طرفي القضيبي قاع الأنبوب.

الدوارة اللولبية:



هي أداة تـصـلـح لقياس الثخن وأقطار الأسلاك وهي أدق قياساً من النعم القنوية.

تألف من إطار معدني (A) بشكل متعلق مقعر مدور وينتهي أحد طرفيه بمسند ثابت (14) والطرف الآخر الإطار يتصل بالدراع (P) مدرجة طولياً إلى أنصاف المليمتر بحيث تتوزع بعض الخطوط على اليمين من الخط وبعضها إلى يساره وتكون المسافة بين كل خطين متتاليين على نفس الطرف مليمتر واحد وبين كل خطين متتاليين من الطرفين نصف مليمتر، ويخترق الدراع (14) لولب له مسند (B) متحرك وهو يتصل بأسطوانة (T) مدرجة دائرياً لتسعين تدريجية بحيث يتلاقى صفري التسعين عند انطباق المستدين (B.M.) وفي حالة الأسطوانة (T) يوجد مؤشر (P) يستعمل في حال اقتراب المستدين من الإسلاك بالجسم أثناء عملية القياس ويظهر هذا مؤشر في الفراغ خاصة وموجود أي ضبط على الجسم.

عندما تدور الأسطوانة دورتين كاملتين باتجاه التقدم نحو الجسم بعد أن المسد (B) يتحرك مسافة (1mm) يمكننا تعريف خطوة اللولب بأنها مقدار عدد دوراته اللازم ليقطع المسد (B) مسافة 1mm وهي تساوي $Z = \frac{1}{2} \text{ mm}$ بما أن عدد خطوات المسد التسعين الدائري أي $n=50$ مسافة تقاس عملياً نصف مليمتر فإن تكون قيمة أصغر تدريجية هي:

$$\frac{Z}{n} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{50} \text{ mm}$$

$$= 0.01 \text{ mm}$$

ويكون هذا المطلق المتركب في عملية القياس بالشوارة ثنائية هو نصف أصغر تدريجية أي

$$\Delta x = \frac{1}{2} \times \frac{Z}{n}$$

$$= \frac{1}{2} \times 0.01 = 0.005 \text{ mm}$$

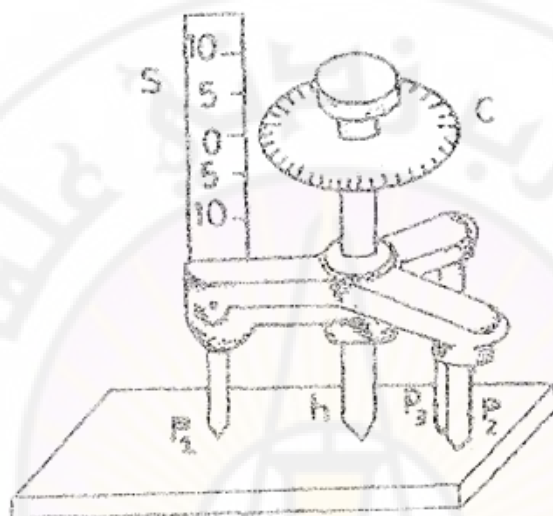
نتم عملية القياس بوضع الجسم بشكل ثابت وملاقى بين طرفي المستدين ثم يدور المسد (T) ببطء حتى الاقتراب من وضعية قاس المستدين مع الجسم عندها يستعمل في التعبير المشعاع (B) بدلاً المقبض (T) بعد ذلك نقرأ عدد المليمترات المكشوفة (a) وعدد أنصاف المليمترات وهي واحدة

فقط (0.5) وأخيراً نقرأ التدريجات الموجودة على السلم الدائري عند الخط المستقيم تماماً ولستكن

$$X = a + 0.5 + \frac{C}{100} \text{ mm}$$

هي (C) وهكذا تكون القراءة الكلية هي

مقياس الكروية:



الشكل (٤)

ج - مقياس الكروية يبين الشكل (٤) مخططاً مبسطاً لهذا الجهاز، وهو يتألف من مسطرة ثابتة شاقولية (S)، ولها قاعدة ذات ثلاثة أرجل مديسة الرؤوس (P_1, P_2, P_3) ، ويدور أمام هذه المسطرة قرص مدرج (C) بواسطة لولب (h) يمر من مركز القاعدة، وتدرج المسطرة الشاقولية بالمليسمترات، أما القرص فيقسم إلى مئة قسم، وهكذا تكون

$$Z = \frac{1}{2} \text{ mm}$$

خطوة اللولب هي:

لأن القرص يدور مرتين لينتظم مسافة (1mm)، ويكون مقدار أصغر تدريجة هي:

$$\frac{z}{n} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{100} mm$$

$$= \frac{1}{200} = 0.005 mm$$

ويكون الخطأ للطلق المرتكب عند القياس بهذا الجهاز هو:

$$\Delta x = \frac{1}{2} \times \frac{z}{n}$$

$$= \frac{1}{2} \times 0.005 mm$$

$$= 25 \times 10^{-4} mm$$

طريقة استعماله:

قياس ثخن صفيحة زجاجية مستوية:

يضبط صفر التدرج بوضع المقياس على المنضدة بحيث يستند إليها بأرجله الثلاثة ثم يدار القرص (C) بحيث يتحرك اللولب (h) نحو الأسفل، وعندما يمس رأس اللولب سطح المنضدة تؤخذ قراءة السلم الدائري، ويسجل الانزياح إن كان موجوداً وليكن (X_1) وبعد ذلك ندير القرص باتجاه التراجع ندخل الصفيحة المراد قياس ثخينتها تحت رأس اللولب فقط ثم تؤخذ القراءة الثانية ولتكن (X_2) وبحسب الفرق بين القراءتين، فنحصل على ثخن الصفيحة (t)

$$t = X_2 - X_1$$

أي:

قياس نصف قطر انحناء مرآة مقعرة:

لقياس نصف قطر انحناء مرآة مقعرة نكرر عملية ضبط صفر القياس وقياس (X_1) كما ورد معنا في الفقرة السابقة وبعد ذلك ندخل المرآة بدل الصفيحة تحت المقياس، ونقيس الانزياح (X_2) كما ورد سابقاً فيكون مقدار زيادة طول اللولب (h) عن باقي أرجل المقياس هو

$$h = X_2 - X_1$$

نفس المسافة ما بين الأجنال الثلاثة للمقياس، وهي تشكل رؤوس مثلث متساوي الأضلاع داخل
ضلعه (س) وعلى الثاني يكون نصف قطر الدائرة المارة برؤوس المقياس هو:

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

واستناداً لهندسة الشكل (هـ) ولخاصة الارتفاع (هـ) قائم الزاوية وهي باعتباره وسطاً هندسياً
-عالياً بين الوتر نجد أن:



$$r^2 = H(2R - H) \quad , \quad cd = H \quad \text{حيث:}$$

$$ac = 2R - H$$

$$R = \frac{1}{2} \left(\frac{H^2 + r^2}{H} \right) \quad \text{وعنه نجد:}$$

طريقة العمل :

١ - القدم القنوية:

١ - احسب حجم متوازي المستطيلات بقياس أبعاده باستخدام القدم القنوية اسماً الجداول
الآتي مستخدماً الواحدات الدولية.

	رقم القياس	الطول L_m	العرض b_m	الارتفاع A_m	الحجم V_{m3}	$m3 \Delta V$	$V \pm \Delta V$ $m3$
القياس القنوية	١						
	٢						
	٣						

ثم احسب الخطأين المطلق والنسبي في قياس الحجم

اعتمد في حساب الخطأين المطلق والنسبي على طريقة الاشتقاق اللوغاريتمي بحيث تفصل على

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

أخذين بعين الاعتبار أن الاشتقاق اللوغاريتمي يكون لكل قياس على حدى.

٢ - احسب حجم الاسطوانة الموضحة بواسطة القنوية بحسب الجدول التالي:

الحجم الصغير	الحجم الكبير	الارتفاع الصغير m	الارتفاع الكبير m	القطر الصغير m	القطر الكبير m	رقم القياس
						١
						٢
						٣

احسب الخطأ المركب في قياس الحجم مستخدماً الطريقة اللوغاريتمية واكتب العبارة النهائية لكل

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

قياس بالشكل

٢ - الدائرة اللولبية:

احسب حجم متوازي المستطيلات باستخدام الدائرة اللولبية املاً الجدول مستخدماً الواحدات الدولية.*

الدائرة اللولبية	رقسم القياس	الطول m	العرض m	الارتفاع m	الحجم m^3	$V m^3$	$\bar{V} \pm \Delta V$ m^3
الدائرة اللولبية	١						
	٢						
	٣						

احسب الخطأين المطلق والنسبي المرتكبين في حساب الحجم مستخدماً الطريقة اللوغارتمية لكل قياس ثم أكتب النتيجة النهائية لكل قياس من الشكل

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

مقياس الكروية:

قياس ثخن الصفيحة الزجاجية ونصف قطر انحناء المرآة المقعرة بمقياس الكروية ونكتب كل قياس بالشكل

$$X = (\bar{X} \pm \Delta X) m$$

التجربة الثانية

تحليل النتائج التجريبية

Analysis of an Experiment

الهدف من التجربة :

التدرب على استخراج القوانين الفيزيائية من المعطيات التجريبية.

الأجهزة و الأدوات المستخدمة:

أوراق مليمتريّة، مسطرة منحنيات مرنة، مسطرة شفافة، أوراق لوغاريتمية ذات ثلاثة أدوار عكسي محور الترتيب.

المبدأ النظري:

نفترض أننا أجرينا تجربة على حوض على هيئة مجسم القطع المكافئ، ومجهز في أسفله بثقب يمكننا تغيير نصف قطره F بين 0.50 cm و 1.00 cm .

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

$\begin{matrix} h(\text{cm}) \\ r(\text{cm}) \end{matrix}$	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	538.8
0.70	6.0	48.8	164.7	392.2
0.80	4.6	37.7	125.8	296.7
0.90	3.8	29.4	99.7	237.3
1.00	2.9	23.8	80.9	191.7

يبين من الجدول أن الزمن اللازم لتفريغ الحوض من الماء يساري 768.8 ثانية عندما يكون ارتفاع الماء فيه 16.0 cm ، ونصف قطر الفتحة 0.50 cm . وإذا سلكنا عكس الزمن

اللازم لتفريغ الخوض 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 انقراض السائل t بدلالة كل من r و h . ويمكننا الرسم البياني المنظم من استنباط هذه العلاقة. وتسمى عملية الاستنباط هذه بتحليل النتائج التجريبية.

طريقة العمل :

١- ارسم على ورقة مليمتريّة الخط البياني لتحويلات t بدلالة r وذلك من أجل قيمة ثابتة للارتفاع h وتساوي 4.0 cm . نخذ قيم t على المحور الشاقولي وقيم r على المحور الأفقي واستخدام 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 المرفقة لرسم الخط البياني بحيث يمر من أكبر عدد ممكن من النقاط بشكل انسيابي. ونخذ القيم من الجدول التالي:

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

٢- يمكننا استخدام الخط البياني السابق لاستخراج الزمن اللازم لتفريغ الخوض إذا ملئنا 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 $r = 1.20$. ففي الحالة الأولى تسمى العملية العملية 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 المنحنى السذي رسمناه في الفقرة (١)، ونقرأ الزمن على المحور t .

أما في الحالة الثانية فتمدد المنحنى 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 لتفريغ الخوض في هذه الحالة. وبذلك يتعاون بالاستقراء الداخلي زمن تفريغ من أجل $r = 0.65$

cm، و بطريقة الاستقراء الخارجى زمن التفريغ من أجل $r = 1.20 \text{ cm}$ مع بقاء h ثابتة تساوي 4.0 cm مثلاً.

٣- إن نظرة بسيطة إلى الجدول أو إلى المنحني المرسوم في الفقرة (1) تبين أن زمن التفريغ يتناقص بازدياد r ، و هذا 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. و يمكن التأكد بسهولة من أن هذا الخط ليس مستقيماً فعلاً، وذلك بحساب قيم $1/r$ و رسم المنحني t بدلالة $1/r$ من أجل $h = 4.0 \text{ cm}$ مثلاً. تأكد من صحة هذا القول بالرسم على ورقة مليمتريّة ثانية، و ذلك بعد إعداد جدول كما يلي:

من أجل ارتفاع الماء في الخوض: $h = 4.0 \text{ cm}$						
$r \text{ (cm)}$	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 أيّ الفرضيات صحيحة، ينبغي تجريب كل الاحتمالات حتى نحصل على خط مستقيم بين تحويلات t ومقلوب r مرفوعاً لقوة معينة. إلا أن طبيعة المسألة تسوحي بشأن زمن الانفراغ يرتبط بمساحة الفتحة، فكلما كبرت المساحة صغر زمن انقراغ الخوض. وللتحقيق من ذلك ارسم على ورقة مليمتريّة ثلاثة تحويلات t بدلالة $1/r^2$ 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 يمرّ من المبدأ أي النقطة $(0,0)$ هي نقطة من المنحني المطلوب رسمه. وخذ القيم من الجدول التالي:

من أجل ارتفاع الماء في الخوض: $h = 16.0 \text{ cm}$						
$r \text{ (cm)}$	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 (4) 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 المنحنى الناتج؟ عيّن ثوابتها العددية. لاحظ أن المنحنى هنا يمرّ بالمبدأ كذلك. استغنى من هذه المعادلة لإيجاد زمن التفريغ عندما $r = 0.75 \text{ cm}$. وخذ القيم من الجدول التالي:

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

ارسم على ورقة مليمترية رابعة الخط البياني لتحويلات 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 المنحنى 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 اللوغاريتمي كما هو مبين في الفقرة التالية.

٧- يمكن في الحالة العامة أن نعبر عن علاقة t مع h بالشكل $t \propto h^n$ ، حيث n قوة صحيحة أو كسرية موجبة أو سالبة. ولتعيّن قيمة n ، ارسم على ورقة لوغاريتمية تحويلات t بدلالة h مع بقاء r ثابتاً ويساوي 0.50 cm ، خذ القيم من الجدول أدناه. فإذا أمكن إمرار خط مستقيم من النقاط التجريبية المبثثة على الورق اللوغاريتمي كان ذلك دلالة على صحة افتراضنا، أي تناسب t مع h^n ، وتكتب العلاقة من الشكل $t = \alpha \cdot h^n$ ، وتكون قيمة n مساوية ميل الخط البياني الهندسي المرسوم مقياساً بالمسطرة العادية. أو خذ 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 الورقة اللوغاريتمية نفسها المخطوط البيانية لتحاولات t بدلالة h من أجل قسم آخرى لـ r . هل تجد القيمة نفسها لـ h 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 h^n ، فإن دمج النتيجتين معاً ينبغي بأن t تتناسب مع جدائهما أي مع المقدار $\frac{h^n}{r^2}$ ، وبممكننا 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 المعروفة لإحدى النقاط التجريبية.

١٠- احسب قيمة k ما لا يقل عن ثلاث مرات مستفيداً من القيم التجريبية وخذ الوسطي وقرره 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 كالآتي:

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

• • •



التجربة الثالثة

الدوائر والمقاييس الكهربائية

المهدف من التجربة :

التعرف على الأجهزة المستخدمة في دوائر التيار الكهربائي والتدرب على استخدام المقاييس الكهربائية.

الأجهزة و الأدوات المستخدمة:

وحدة تغذية — معدلة — مقياس فولت متعدد المجالات — مقياس عام (أفومتر) — مقياس أمبير متعدد المجالات — أسلاك توصيل .

المبدأ النظري:

١ — تعريف الأجهزة:

أ — وحدة التغذية: هي محول ومقوم توصل إلى مأخذ تيار المدينة (220V) وله عدد من المخرج بحسب نوع التيار والكمون المطلوبين. وجود الإشارة (ـ) بجوار أو بين ثقبى المخرج يدل على أن المخرج هو لتيار المتردد ووجود الإشارتين (+) و (ـ) أو (ـ) بجوار الثقبين أو تلسوين لإتسار الثقبين باونين مختلف (أحمر وأزرق مثلاً) يدل على أن المخرج هو للتيار المتواصل.

وجود قيسة للكمون مثلاً (6V) بجوار ثقبى المخرج يدل على أن الكمون الخارج ثابت ولا يمكن التحكم به.

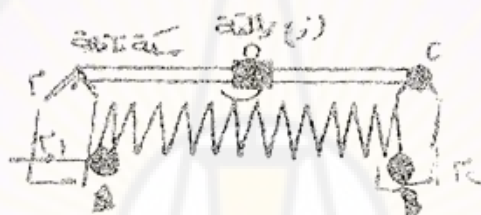
وجود مجال للكمون مثلاً (0-20V) بجوار ثقبى المخرج يدل على إمكانية التحكم بالكمون بواسطة مبدل يدار بواسطة مفتاح موجود في واجهة التغذية وللمفتاح مؤشر يشير إلى القسم التقريبية للكمون المطلوب.

ب — المعدلة:

هي مقاومة متغيرة يمكن بواسطتها التحكم بشدة التيار. تتألف من إسطوان عازلة أفقية محمولة على هيكل معدني. يلف عليها بشكل وشمعة سلك ذو مقاومة كهربائية R ينتهي بمسربطين (م، م٢)

مثبتين في طرفي الميكمل من الأعلى وتزلق المتزلقة (ز) على القضيب وعلى الطرف العلوي مسن الوشعة. بحيث تصل القضيب بإحدى لفات الوشعة. ويكون سلك الوشعة مطلقاً بمادة عازلة إلا في أمكنة تماسه مع المتزلقة.

فإذا ربطت المعدلة من المربطين (م) و(م) كان الجزء (ز م) من مقاومتها هو الداخل في الدارة. وإذا ربطت من المربطين (م) و(م) كان الجزء (ز م) منها هو الداخل في الدارة. ويمكن تغيير كل من هذين الجزئين زيادة أو نقصاً بزلق المتزلقة من المربطين (م) و(م) دخلت مقاومتها الكلية في الدارة وبطل عمل المتزلقة هذا ولا تصلح المعدلة لقياس المقاومة بنحو دقيق. بيد أنه يمكن تقدير ما يدخل منها في الدارة بنحو تقريبي بأخذ نسبة طول الجزء من الوشعة الداخل في الدارة إلى طول الوشعة الكلي شكل (١).



ج — المقياس العام (آفومتر):

هو مقياس للتيارات وفروق الكمون والمقاومات. يشتمل اختفاء فرع القياس وبحاله بعدة طرق حسب تصميم كل جهاز ومن الطرق المستخدمة.

أ — ناخب أزرار .

ب — ضغط أزرار .

ج — مرابط متعددة. ويوجد عند كل وضع للناخب الدوار أو عند كل زر أو كل مرابط:

أولاً — رمز يدل على واحدة القياس وبالتالي على نوع القياس.

Ω (مقاومة) A (تيار) V (فرق الكمون).

ويمكن أن يكون الرمز مسبقاً بيادئة تدل على مضاعف عشري مثلاً:

m A , M Ω , K Ω

ثانياً - - رقم يدل على قيمة التدرج الكامل في الوضع المختار.

ثالثاً - - بالنسبة لقياسات شدة التيار وفرق الكمون يوجد رمز يدل على صلاحية استخدام المقياس للتيار المتواصل وبذلك باستخدام أحد الرموز.

AC أو $\frac{1}{\sqrt{2}}$ أو - أو =

أو للتيار المتناوب باستخدام أحد الرموز.

AC أو $\sqrt{2}$ أو =.

مؤشر المقياس: يتحرك المؤشر على تدرجات متساوية بالنسبة لكل من شدة التيار وفرق الكمون ويعكس أن يكون صفر التدرج إلى اليسار ويمكن أن يكون في الوسط في بعض مقاييس التيار المتواصل.

عند وجود عدد من التدرجات على المقياس نختار من بينها عند القراءة ما يناسب وضع الناخب أو المربط المستخدم وفي الحالة العامة تكون قيمة التيار أو فرق الكمون معطاة بالعلاقة التالية:

شدة التيار أو فرق الكمون = القراءة التي يشير إليها المؤشر $\times$ عامل الضرب.

القيمة المسجلة على المربط أو الوضع المختار من الناخب

وعامل الضرب =

قيمة آخر تدرج من اليمين يمكن أن يشير إليه مؤشر المقياس.

قياس المقاومة: يحتوي مقياس المقاومة على منبع داخلي ثابت للكمون ومقاومة متغيرة وتكون تدرجات الأوم غير متساوية. ولقياس مقاومة نقبس شدة التيار الذي يعطيه المنبع الداخلي في المقاومة. إن هذا التيار هو تابع عكسي للمقاومة.

$$I = V / (R + R_s)$$

حيث V هو الكمون الثابت للمنبع R المقاومة المقاسة و R_s المقاومة الداخلية.

طريقة العمل :

أ - قياس شدة التيار:

صل مقياس الأمبير والمعدلة على التسلسل إلى مخرج وحدة التغذية للتيار المتواصل. اوسم السدادة على دفترك واستخدم وضع الناعب أو المربط الموافق لأكثر شدة تيار يمكن قياسها. صل التيار (أغلق الدارة) بواسطة القاطعة الموجودة في واجهة وحدة التغذية. اقرأ التيار.

إذا كان انحراف المؤشر صغيراً (أقل من $\frac{1}{10}$ التدرج الكلي) انتقل إلى وضع الناعب أو المربط الذي يليه وهكذا حتى تصل إلى قراءة واضحة لشدة التيار شريطة أن لا يصل المؤشر إلى نهاية التدرج. سجل شدة التيار. اقطع الدارة.

ب. أضف إلى الدارة السابقة مقياس فولط على الفرع بين مربطي معدلة:

ارسم الدارة الجديدة على دفترك. ضع ناعب مقياس الفولط أو استخدم المربط الموافق لأكثر فرق كمون يمكن قياسه. صل التيار بواسطة القاطعة.

اقرأ فرق الكمون. إذا كان انحراف المؤشر صغيراً انتقل إلى وضع الناعب التالي أو المربط التالي وهكذا حتى تصل إلى قراءة واضحة لفرق الكمون شريطة أن لا يصل المؤشر إلى نهاية التدرج. سجل فرق الكمون V وسجل أيضاً من جديد شدة التيار I . استنتج مقاومة الجزء المستخدم من المعدلة $R = V/I$.

ج. التوقع المسبق للمجال المناسب لكل من مقياسي الأمبير والفولط:

اقرأ قيمة مقاومة المعدلة المسجلة عليها وقرأ الكمون الخارج من وحدة التغذية (بصورة تقريبية من وضع ناعب الكمونات في واجهة وحدة التغذية المذكورة).

استنتج من هاتين القراءتين المجال الأنسب في الاستخدام لكل من مقياسي الأمبير والفولط. سجل ذلك على دفترك واطلع الامتاذ المشرف وبعد موافقته تحقق تجريبياً من صحة استنتاجك.

د. القياس المباشر لمقاومة بواسطة مقياس الأوم:

ضع الناعب على المجال الأدنى لقياس المقاومات. اقصر الدارة بوصل مدخلي المقياس بسلك مهمل المقاومة.

اضبط المقاومة المتغيرة بحيث يشير المؤشر إلى مقاومة معدومة صل مربطي المعدلة السفليين (كامل متانومتها) إلى مدخلي المقياس (بعد إلغاء الدارة القصيرة).

اقرأ المقاومة. إذا كان انحراف المؤشر لا يوضح قيمة المقاومة أي أن المؤشر قريب من نهاية تدريج الأوم. انتقل إلى المجال الذي يليه واعد ضبط صفر التدرج قبل وصل المقاومة وهكذا. حتى تصد إلى المجال المناسب الذي يعطي قراءة واضحة للمقاومة.

اقرأ قيمة المقاومة وسجلها على دفترك.

قارن النتيجة مع قيمة مقاومة المعدلة المسجلة عليها.





التجربة الرابعة

قياسات أساسية باستخدام راسم الاهتزاز المهيطي

المهدف من التجربة :

- التعرف على بنية راسم الاهتزاز المهيطي و مبدأ عمله والتدر
- قياس التوتر : التوترات المستمرة dc والمتناوبة ac .
- قياس التوتر .

الأجهزة والأدوات المستخدمة :

- ١- راسم اهتزاز مهيطي
 - ٢- مولد إشارات يعطي إشارات متعددة الأشكال : جيبية ، مثلثية ، مستطيلة ، بسعات مختلفة وتواترات مختلفة .
 - ٣- مقياس فولط أو مقياس متعدد الأغراض لقياس التوترات المستمرة والمتناوبة.
 - ٤- بطارية جافة أو منبع تغذية يعطي توتراً مستمراً .
 - ٥- محولة خافضة للتوتر تعطي توتراً يتراوح بين ٦ و ١٢ فولطاً.
 - ٦- مقابس وأسلاك توصيل .
- المبدأ النظري :

يعد راسم الاهتزاز المهيطي من أهم الأجهزة المساعدة في تصميم الدارات الالكترونية ومتابعة الإشارة فيها بيان 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 تولد داخل أنبوب الأشعة المهيطية بفضل فروق الكمون المطبقة عليها .

~ نظيفة التردد :

يتألف راسم الاهتزاز المبهطي من الأجزاء الرئيسية التالية :

أ - أنبوب الأشعة المهبطية :

يتألف أنبوب الأشعة المهبطية من أنبوب مفرغ من الهواء ، بضغط حوالي 10^{-6} mm Hg

، تقع في أحد طرفيه :

- شاشة S : مطلية من الداخل بمادة كيميائية ملائمة تصدر ضوءاً مرئياً لدى اصطدام

للكثرونات بها ويختلف لون الضوء الصادر أنبوب لآخر بحسب المادة الكيميائية المستخدمة كطلاء

للشاشة من الداخل .

وفي الطرف الآخر : قاعدة B تبرز منها مجموعة من الدبابيس تتصل بعناصر الأنبوب

المختلفة مهمتها وصل الأنبوب بالدارات الكهربائية الخارجية التي تؤمن الشروط اللازمة لعمله .

- المهبط k :

الذي يصدر سبلاً من الإلكترونات عن طريق تسخينه بالطريقة غير المباشرة بواسطة سلك

التسخين (الفتيل) $Filament$ وهو من التنغستين ، الذي يتوهج لدى مرور التيار الكهربائي

فيه ، ولا يظهر الفتيل في الشكل لإحاطة المهبط به إحاطة تامة . ويعد المهبط المصدر الحقيقي

للأشعة المهبطية أو للإلكترونات في الأنبوب .

- الشبكة الحاكمة G :

وهي على شكل أسطوانة مزودة بفتحة أو ثقب تدعى أسطوانة فهنلت *wehnelt* ،
وتتصل بكمون سالب قابل للتغيير ، يمكن بفضلها التحكم بشدة الإلكترونات التي تنابع المسير في
الأنبوب حتى تصطدم بالشاشة *S* ، وذلك باستخدام مفتاح شدة الإنارة *Intensity* .

- مصعد الإحكام *A1* :

وهو على هيئة أسطوانة مفتوحة الطرفين ، يتصل بكمون كهربائي موجب قابل للتغيير ، مما
يساعد في توليد حزمة دقيقة وسريعة ومتقاربة من الإلكترونات لتتابع المسير إلى بساقي أجزاء
الأنبوب ، وذلك باستخدام مفتاح الإحكام *FOCUS* .

- مصعد التسريع *A2* :

وهو كذلك على هيئة أسطوانة مفتوحة الطرفين ، يتصل بكمون كهربائي عال موجب ، مما
يساعد في تسريع الإلكترونات الصادرة عن المهبط حتى تكتسب سرعة عالية ، عند خروجها منه
بحيث تتجمع هذه الإلكترونات حتى تشكل حزمة متقاربة يكون أثرها على الشاشة أصغر ما يمكن .

- لوحا الانحراف الشاقولي V_1 ، V_2 :

وهما لوحان أفقيان متوازيان ويعملان على تحريك حزمة الإلكترونات شاقولياً إلى الأعلى وإلى
الأسفل بفضل الكمونات الكهربائية المطبقة عليهما من خارج الأنبوب .

- لوحا الانحراف الأفقي H_1 ، H_2 :

وهما لوحان شاقوليان متوازيان ، ويعملان على تحريك حزمة الالكترونات أفقياً إلى اليمين

وإلى اليسار بفضل الكمونات الكهربائية المطبقة عليهما من خارج الأنبوب .

تسمى عادة جملة الفتيل F والمهبط K وشبكة التحكم G ومصدر الإحكام A_1 ومصدر

التسريع A_2 باسم المدفع الإلكتروني (*electron gun*) وذلك لأن هدفها جميعاً هو إصدار

سيل من الالكترونات بسرعة عالية على شكل حزمة دقيقة لتدخل منطقة لוחي الانحراف الشاقولي

V_1, V_2 ومنطقة لוחي الانحراف الأفقي H_1, H_2

- دراسة الانحراف الأشعة المهبطية في حقل كهربائي :

تقود الدراسة النظرية لانحراف الأشعة المهبطية في حقل كهربائي متولد بين لوحين p و p'

، إلى أن الانحراف النهائي للإلكترون يدخل من اليسار بسرعة V_x يعطى بالعلاقة :

$$y = y_1 + y_2 = \frac{qEL}{mV_x^2} \left(\frac{L}{2} + D \right) \quad (1)$$

حيث :

y_1 : انحراف الإلكترون عن المحور OX لحظة خروجه من بين لوحي الانحراف.

y_2 : انحراف الإلكترون خارج لوحي الانحراف وحتى يصطدم بالشاشة.

q : شحنة الإلكترون ، m كتلة الإلكترون .

L : طول المنطقة التي يؤثر فيها الحقل الكهربائي E أي طول لوحي الانحراف .

D : بعد الشاشة عن لوحي الانحراف .

وإذا لاحظنا أن $E = \frac{V}{d}$ حيث V فرق الكمون المطبق بين لوحَي الانحراف و d المسافة بين

اللوحين أمكننا كتابة العلاقة (١) بالشكل :

$$y = \frac{qVL}{mdv_x^2} \left(\frac{L}{2} + D \right) \quad \boxed{y = KV} \quad (2)$$

حيث K ثابت يحتوي على مقادير مميزة للأنبوب مثل L, D, d ومقادير مثله للإلكترون وهي q, m ومقدار مميز للمدفع الإلكتروني وهو V_x .

يتضح من العلاقة (2) أن الانحراف الذي نشاهده على شاشة أنبوب الأشعة المهبطية يتناسب مع فرق الكمون المطبق بين لوحَي الانحراف وبالتالي يمكننا استخدام أنبوب كهذا كمقياس لفروق الكمون ولإظهار الإشارات الكهربائية على اختلاف أنواعها وهنا يكمن سر عمل الراسم.

ب - مضخم الانحراف الشاقولي :

تشير الدراسة النظرية إن مقدار انزياح حزمة الإلكترونات بفعل فرق الكمون V المطبق على لوحَي الانحراف الشاقولي يتناسب طردياً مع هذا الفرق للكمون ، الأمر الذي يسمح باستخدام الراسم لقياس القوى الشحنة الكهربائية بعد تدريبه تدريباً مناسباً .

ج - مضخم الانحراف الأفقي :

وهو يشبه في عمله مضخم الانحراف الشاقولي ويعمل عند تطبيق إشارة خارجية على لوحَي الانحراف الأفقي .

د - مولد قاعدة الزمن :

يستخدم الراسم بحيث يتصل لوسا الانحراف الأفقي فيه بفرق كمون يتولد داخل الراسم ويتغير مع الزمن وفق منحني بياني على شكل أسنان المنشار.

يؤدي تطبيق هذا الفرق الكموني على لوحى 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 الحركة عادة بمفتاح يسمى مفتاح قاعدة الزمن ، يمكن استخدام الراسم في قياس الزمن

هـ - قسم التغذية :

وهو القسم الذي يغذي جميع دارات راسم الاهتزاز المهبطي بالتيار المستمر العالي والمنخفض التوتر بما فيها أنبوب الأشعة المهبطية .

طريقة العمل :

أولاً - قياس التوترات :

أ - قياس التوترات المستمرة dc : من أجل ذلك اتبع مايلي :

١ - صل الراسم بمأخذ تيار المدينة وضعه في حالة التشغيل مستعيناً بمفتاح التشغيل . احذف قاعدة الزمن واضبط حزمة الالكترونات في مركز الشاشة . استخدم مفتاح التحكم لتوضيحها ومفتاح الشدة لضبط شدتها .

٢ - ضع مفتاح الحساسية الشاقولية على الوضع 0.5 V / cm مثلاً ، أو اختر حساسية أخرى إذا اقتضى الأمر ذلك .

٣ - صل مربطي البطارية أو منبع التغذية المستمر إلى مربطي الدخول الشاقولي لراسم الاهتزاز (المرتبط Y والأرض) . لاحظ جهة انحراف البقعة على الشاشة ومقدار هذا الانحراف . انعكس وصل البطارية أو المنبع إلى الراسم ولاحظ جهة و مقدار انحراف البقعة من جديد .

احسب وسطي الانحرافين ثم استنتج قيمة توتر البطارية أو منبع التغذية المستمر وذلك بضرب قيمة وسطي الانحرافين في قراءة مفتاح الحساسية الشاقولية التي اخترتها . قَدِّر قيمة الخطأ المرتكب .

٤ - استخدم مقياس فولط مستمر لقياس توتر البطارية أو المنبع ، وعَيِّن الخطأ المرتكب في هذا القياس .

٥ - أعد العمل من أجل بطارية أخرى أو منبع آخر ، وسجل النتائج في جدول مناسب كالتالي وقارنها بعضها مع بعض :

القياسات التجربة	الانحراف للأعلى (cm)	الانحراف للأسفل (cm)	وسطي الانحرافين	الحساسية الشاقولية V (cm)	توتر البطارية (V)	قياس التوتر بمقياس فوايد (V)
البطارية (١)						
البطارية (٢)						

ب - قياس التوتورات المتناوبة (a c) بواسطة الراسم . من أجل ذلك اتبع مايلي :

١ - صل مولد الإشارات بمأخذ تيار المدينة وضعه في حالة التشغيل ثم انتظر قليلاً . ضع المولد في الوضعة التي يعطي فيها موجة جيبية . تحكم في الجهاز بحيث تحصل على هذه الموجة بسعة تقارب 10 فولط من القمة إلى القمة وتواتر قدره 1 KHz تقريباً .

يفضل الرجوع إلى التعليمات الخاصة بتشغيل مولد الإشارات هذا أو الاستعانة بالشرف عند الضرورة .

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

٣ - صل مخرج مولد الإشارات بمدخل راسم الاهتزاز الشاقولي مستخدماً مقاييس خاصة لذلك . ستشاهد على الشاشة أثر الموجة الجيبية . احذف قاعدة الزمن على الراسم فيتحول الأثر إلى خط شاقولي . علل ظهور هذا الخط .

٤ - مس طول الخط على الشاشة واحسب عدد الفولطات المقابلة . إن ما حصلت عليه يعطيك سعة التوتر الخارج من مولد الاشارات V_{p-p} من القمة إلى القمة ، أي V ، حيث تمثل V سعة التوتر الجيبي المطبق .

٥ - احسب القيمة المنتجة للتوتر الجيبي المطبق من العلاقة :

$$V_e = \frac{V}{\sqrt{2}} = 0.707 V \quad \text{Volts}$$

٦ - استخدم مقياس فولط متناوب وقس القيمة المنتجة V_{effe} للإشارة الجيبية السابقة . وقارن النتيجة بما حصلت عليه أعلاه . سجل نتائجك في جدول كالتالي :

مقياس الفولط V_{effe}	التوتر المنتج V_e	V_{p-p}	قراءة الحساسية $V (cm)$	طول الخط على الشاشة (cm)	القياسات التجربة
					قياس (١)
					قياس (٢)

جـ - قياس التوترات ذات الموجة المستطيلة : من أجل ذلك اتبع مايلي :

١ - ضع مولد الإشارات على الوضعة التي يعطي فيها موجة مستطيلة.

٢ - شاهد على الشاشة أثر الموجة المستطيلة . احذف قاعدة الزمن على الراسم وشاهد تحول الأثر إلى عطف شاقولي .

٣ - قس طول هذا الخط على الشاشة واحسب سعة الموجة المستطيلة V_{p-p} من القمة إلى القمة
 $V_{effe} = \dots\dots\dots V$ على الراسم

٤ - استخدم مقياس الفولط المتناوب لقياس القيمة المنتجة للموجة المستطيلة V_{effe} :
 $V_{effe} = \dots\dots\dots V$

٥. ما هي العلاقة بين سعة الموجة المستطيلة $V = \frac{V_{p-p}}{2}$ والقيمة المنتجة V_c لهذه الموجة المستطيلة ؟

ثانياً :- قياس دور وتواتر موجة جيبية :

١ - ضع مفتاح قاعدة الزمن في الراسم على الوضع 0.5 ms / cm ولاحظ ظهور خط أفقي على شاشة الراسم .

٢ - اختر تواتراً قدره 1 k Hz على مولد الإشارة وانتخب وضع الإشارة الجيبية على هذا المولد ثم صل مربطيه بمربطي الانحراف الشاقولي لراسم الاهتزاز ولاحظ ظهور الموجة الجيبية على شاشة الراسم .

٣ - قس عدد السنتسمترات التي يغطيها دور كامل واستنتج من قراءة مفتاح قاعدة الزمن لجور الاهتزاز الجيبية . استنتج قيمة التواتر بأخذ مقلوب هذا المقدار .

٤ - قارن التواتر الذي قسته بهذه الطريقة مع التواتر المأخوذ على المولد .

٥ - غيّر قيمة التواتر على المولد واجعله 10 k Hz في هذه المرة . ثم أعد المراحل السابقة . يمكنك تغيير وضعة مفتاح قاعدة الزمن إذا لزم الأمر .

١ - سجل نتائج القياس في جدول كالتالي :

جدول قياس دور وتواتر موجة جيبية

القياسات	طول دور الاهتزاز (cm)	قراءة قاعدة الزمن ms/ (cm)	دور الاهتزاز T(s)	تواتر الاهتزاز F(Hz)
تواتر المولد				
$F_1=10^3 \text{ Hz}$ $F_2=10^4 \text{ Hz}$ ----- -----				



ثانياً : تجارب في الضوء الهندسي والفيزيائي

١-الصفحة ذات الوجهين المستويين والمتوازيين

٢-الموشور

٣- قياس البعد المحرق للعدسات

٤- أهداف الانعراج الناتجة من فتحة مستطيلة وشرحة أو سلك

٥- تعيين ثابت بلانك

٦- الانكسار المضاعف والاستقطاب في بلورة الكالسيت

٧- الصفحتان ربع الموجية و نصف الموجية

٨- مقياس مايكلسون التداخلي

٩- تعيين سرعة الضوء في الهواء

١٠- تشكيل هولوغرام الضوء الأبيض المنعكس، تداخل الضوء

١١- حلقات نيوتن

١٢- مفعول كير

١٣- قانون مالوس

١٤- علاقة الإنارة بالبعد عن المسع

١٥- تبعثر كومبتون للأشعة السينية



التجربة الأولى

الصفحة ذات الوجهين المستويين والمتوازيين

المهدف من التجربة : هو

١ - التحقق من قانون انكسار الضوء وذلك بدراسة سير الأشعة الضوئية في صفحة زجاجية ذات الوجهين المستويين المتوازيين.

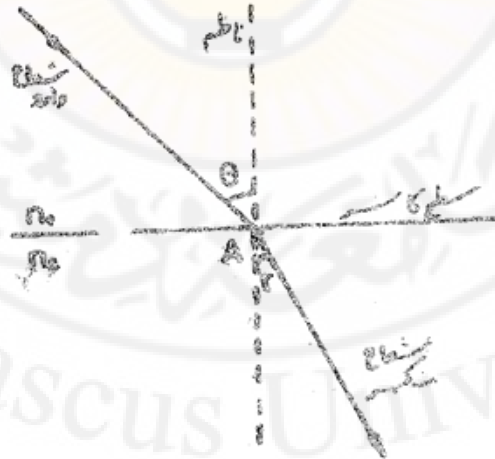
٢ - تعيين قرينة انكسار الزجاج.

الأجهزة و الأدوات المستخدمة:

صفحة متوازية الوجهين زجاجية - لوح خشبي - ورقة بيضاء - دبائيس أو مسامير كسبي - منقلة - مسطرة.

المبدأ النظري:

قانون الانكسار: عندما يرد شعاع ضوئي على سطح فاصل بين وسطين شفافين فإنه يصان انكساراً - الشكل (١).



نرى من الشكل أنه عندما يرد الشعاع الضوئي على النقطة (A) من السطح انكاسر. فإنه يشكل الزاوية (θ) مع الناظم عن السطح في النقطة (A) وتدعى الزاوية المحصورة (θ) بين الشعاع الوارد وناظم على السطح في تلك النقطة بزاوية الورود.

كما تدعى الزاوية المحصورة (I) بين الشعاع المنكسر وناظم بزاوية الانكسار.

وقد بنيت الدراسة التجريبية أنه إذا كانت (n_2, n_1) هما قرينتا انكسار الوسطين الشفافين فسيان

$$n_1 \sin \theta = n_2 \sin r \quad (1)$$

تعرف قرينة انكسار وسط بأنها حاصل قسمة سرعة الضوء في الخلاء على سرعته في الوسط فإذا كان الورود ناظماً فإن.

$$\theta = r = 0$$

وإذا كانت $\theta = 90^\circ$ فهذا يؤدي إلى $\sin \theta = 1 \Leftarrow$

فإذا فرضنا أن $n_1 < n_2$.

$$\sin r = \frac{n_1}{n_2} > 1 \quad (2) \quad \text{فإن}$$

الصفیحة المتوازية الوجهين:

إذا طبقنا ما سبق على الصفیحة المستوية المتوازية الوجهين التي تتألف من وسط شفاف محصور بين وجهين كاسرين مستويين ومتوازيين مصنوعة من الزجاج الذي قرينة انكساره ($n_2 > 1$) ومغمورة في الهواء الذي قرينة انكساره تساوي الواحد. انظر الشكل (2).



شكل (٢)

وبتطبيق قانون الانكسار على الوجه الأول (وجه الدخول) نجد:

$$\sin \theta = n \sin r \quad (٣)$$

وبما أن $(n > 1)$ فإن $(r < \theta)$ والشعاع المنكسر سيقترّب من الناطم وتطبيق قانون الانكسار على الوجه الثاني (وجه البروز) نجد:

$$\sin \theta' = n \sin r' \quad (٤)$$

وبما أن $r = r'$ (التبادل الداخلي) فإن $\theta = \theta'$ والشعاع البارز يوازي الشعاع الوارد.

طريقة العمل :

نستخدم قلم رصاص مدبباً وتزداد جودة النتائج كلما كانت الخطوط أقل عرضاً.

١ — نخط على الورقة البيضاء مستقيماً يمثل وجه الدخول للصفحة قريباً من منتصفها وموازياً لعرض الورقة.

٢ — نختار على هذا المستقيم نقطة (B) ونشئ من هذه النقطة الناطم (N) ومستقيمتين

BA_1 , BA_2 تصنع مع الناطم الزاوية ١٥° , ٣٠° , ٤٥° , ٦٠° , ٧٠° تمثل الأشعة

الواردة شكل (٣-٤) ونحدد على هذه المستقيمتين نقاطاً A_1 , A_2 , A_3 , A_4 , A_5

أبعد ما يمكن عن B.

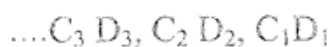
- ٤ — ٣ — تثبيت الورقة على اللوحة الخشبية (أو المصنوعة من الورق المقوى) بواسطة أربعة مسامير كبس في زواياها الأربعة ونغرز دبوساً شاقولياً في النقطة (B).
- ٤ — ٤ — نضع متوازي المستطيلات الزجاجي بحيث ينطبق أحد حروفه على المستقيم المحدد لوجه الدخول ونرسم مستقيماً محدداً لوجه البروز الموازي لوجه الدخول.



شكل (٣)

- ٤ — ٥ — نغرز دبوساً شاقولياً في النقطة (A₁) وننظر إلى الدبوسين (A₁, B) من خلال الضفيفحة الزجاجية بعين واحدة موضوعة في المستوى الأفقي للورقة تقريباً بحيث نرى الدبوس (B) يخفي وراءه تماماً الدبوس (A₁) نغرز في هذا الوضع الدبوس (C₁) ملاصقاً لوجه البروز يخفي وراءه تماماً الدبوسين (B₁, A₁) ثم دبوساً (D₁) يخفي وراءه كلا من (A₁, B₁) (C₁) ويجب أن تكون المسافة (C₁, D₁) أكبر ما يمكن لتكون نتائج القياس أكثر دقة.
- إن المستقيم (C₁, D₁) شكل (٣-٤) يحدد مسار الشعاع البارز الموافق لشعاع الوارد (A₁, B) نحدد بالقلم موقع كل من (D₁, C₁) وننتزع هذين الدبوسين.
- ٤ — ٦ — ننقل الدبوس من (A₁) إلى (A₂) ونعيد التجربة بحيث نحدد (D₂, C₂) مسع بقضاء الدبوس (B) في مكانه وهكذا بالنسبة للأشعة الأخرى.

٤ - ٧ --- نرفع متواري المستطيلات ونصل مسارات الأشعة البارزة:



ومسارات الأشعة المنكسرة داخل الزجاج: $...BC_3, BC_2, BC_1$

دهكما ننشئ المواضع: $...C_3 N_3, C_2 N_2, C_1 N_1$

٤ - ٨ --- نقيس الزوايا الداخلية: $....r_3, r_2, r_1$



وزوايا البروز $....\theta_3, \theta_2, \theta_1$

٥ - النتائج: ننظم جدولاً كالتالي:

θ	r	r'	θ'	$\sin \theta$	$\sin r$	$n = \frac{\sin \theta}{\sin r}$	n
١٥°							
٣٠°							
٤٥°							
٦٠°							
٧٠°							

نتحقق من تساوي كل من (θ', θ) ومن تساوي كل من (r', r) نحسب الأخطاء المرتكبة في

قياس قرينة الانكسار ونكتب الناتج بالشكل: $n = \bar{n} \pm \Delta n$

نرفق الورقة المستخدمة في الإنشاء الضوئي مع تقرير التجربة.

ملاحظة: نستخدم ثلاثة أرقام في التعبير عن قيم الجيوب وقرينة الانكسار.

ملاحظة: نحسب الأخطاء المرتكبة المطلقة والنسبية وذلك بالطريقتين الاحصائية وطريقة الاشتقاق

اللوغاريتمي.



التجربة الثانية

الموشور

المهدف من التجربة :

- ١ - التحقق من صحة قوانين الموشور .
- ٢ - وثلاث بدراسة انكسار الضوء في الموشور .
- ٣ - وتعيين زاوية انحراف الشعاع الضوئي ودراسة تحول زاوية الانحراف بدلالة زاوية الورود .
- ٤ - تعيين قرينة انكسار مادة الموشور .

الأجهزة و الأدوات المستخدمة:

موشور زجاجي - لوحة من الخشب أوراق بيضاء تلتصق على لوح الخشب - دبائيس أو مسامير
كبس مسطرة، منقلة.

المبدأ النظري:

الموشور وسط شفاف له وجهان مستويان غير متوازيين يدعى الأول وجه الدخول وهو مغمور في الهواء ويدعى الآخر وجه الخروج وهو مغمور أيضاً في الهواء الذي قرينة انكساره المطلقة تساوي الواحد.

فإذا ورد شعاع ضوئي على وجه الدخول بزاوية θ مع الناطم (زاوية الورود) انكسر في الموشور محدثاً زاوية r مع الناطم ثم يرد إلى الوجه الآخر فينكسر انكسار آخر محدثاً زاوية r' مع الناطم على الوجه الآخر فإذا كانت n قرينة انكسار الزجاج المطلقة وهي أعظم من قرينة انكسار الهواء.

$$\sin \theta = n \sin r \quad (١) \quad \text{فإننا نجد أن قوانين الانكسار تعطي:}$$

$$\sin \theta' = n \sin r' \quad (٧)$$

وبحسب الشكل (١) نجد أن:

$$A = r + r' \quad (٣)$$

زاوية رأس الموشور

وزاوية انحراف الشعاع بين امتدادَي الشعاع الوارد والبارز

$$\delta = \theta + \theta' - A \quad (4)$$



شرط بروز الشعاع في الموشور:

إن الشرط ليريز الشعاع في الموشور بزاوية $90^\circ \leq \theta'$ يجب أن لا تتجاوز الزاوية (r') قيمة الزاوية الحدية التي تعين بالعلاقة:

$$\sin r' = 1/n \quad (5)$$

إن ذلك يعطي حداً أدنى لزاوية الورود (θ) إذا نقصت عنه لا يبرز الشعاع بل يعاني انعكاساً كلياً على الوجه الثاني.

الانحراف الأصغر: يبرهن أن زاوية الانحراف تكون: أصغرية عند تساوي زاويتي الورود والبروز:

$$\theta_m = \theta'_m \Leftrightarrow r = r' = A/2 \quad (6)$$

ومنه استناداً إلى (4): $\delta_m = 2\theta_m - A$

وتكون زاوية الورود الموافقة لوضع الانحراف الأصغر:

$$\theta_m = \frac{\delta_m + A}{2}$$

وبتطبيق قانون الانكسار على وضع الانحراف الأصغر نجد:

$$n = \frac{\sin \frac{\delta_m + A}{2}}{\sin \frac{A}{2}} \quad (7)$$

طريقة العمل :

للحصول على نتائج جيدة استخدم قلم رصاص مدبب يعطيك خطوطاً دقيقة.

الإنشاء الهندسي:

ثبت الورقة البيضاء على لوح الخشب بواسطة مسامير كبس أو دبابيس في الزوايا الأربعة للورقة
ضع الموشور على الورقة ثم حدد وجهي الدخول والبروز بقلم الرصاص لا تحدد أثر الوجه الثالث
الذي سيعتبر قاعدة للموشور.

ارفع الموشور واختر نقطة B من وجه الدخول: أنشئ الناظم على الوجه في تلك النقطة ارسم
مستقيماً (AB) يضع مع الناظم زاوية (٤٠°) من جهة القاعدة. أعد الموشور إلى مكانه المحدد
وثبت دبوساً شاقولياً على الورقة في النقطة B ودبوساً آخر في نقطة A بعيدة قدر الإمكان عن B
على المستقيم الذي رسمته والذي يمثل الشعاع الوارد. ضع عينيك في المستوى الأفقي للورقة وانظر
بعين واحدة من خلال وجه البروز للموشور إلى الدبوسين. انقل نظرك ببطء حتى ترى أن خيصال
الدبوس (A) يختفي تماماً خلف خيال الدبوس (B) إن هذا الاتجاه يحدد الشعاع البارز.

ثبت دبوساً (C) ملاصقاً لوجه البروز بحيث يخفي وراءه خيالي (B,A) ثم دبوساً رابعاً (D) يخفي
وراءه كلاً من C وخيالي (B,A) إن المستقيم (CD) هو الشعاع البارز المقابل للشعاع الوارد AB.

ارفع الموشور وصل المستقيم (CD) ومدده في اتجاه انتشار الضوء. وصل (BC) الممثل لسمير
الشعاع المنكسر داخل الموشور. أنشئ الناظم في نقطة البروز (C).

مدد بخط منقط كلاً من (AB)، (DC) داخل الموشور حتى يلتقيا لتحديد زاوية الانحراف δ
قس الزوايا δ , θ' , r , r' وضعها في جدول كالتالي ($A = 60^\circ$).

جدول (١):

θ	r	r'	θ'	$r + r'$	δ	$\theta + \theta' - A$
----------	-----	------	-----------	----------	----------	------------------------

40°						
50°						
60°						

تحقق من العلاقتين الهندسيتين $A = r + r'$ العلاقة (٣)

العلاقة (٤) $\delta = \theta + \theta' - A$

إن جودة تحقق العلاقتين مرتبطة بدقة الإنشاء الهندسي للمستقيمات ودقة قياس الزوايا.

أخذ التجربة على جزء آخر من الورقة أو على ظهرها باستخدام زاوية ورود (50°) ثم باستخدام زاوية ورود (60°) اربط ورقة الإنشاء الضوئي مع تقرير التجربة.

الانحراف الأصغر:

في الإجراء (تجريبي) حصلت على قيم لزاوية الانحراف (δ) ما هي أصغر قيمة حصلت عليها؟

في أي وضع من الأوضاع الثلاثة المدروسة أعلاه نجد تقارباً بين قيمتي زاويتي الورد والبروز؟ هل يطابق ذلك أصغر قيمة لزاوية الانحراف؟

لترديد من التأكد والدقة في تعيين زاوية الانحراف الأصغر أجرى إنشاءات إضافية بتغيير

زاوية الورد (د) درجات كل مرة.

وبما أن الطلرب الآن هو قياس زاوية الانحراف فقط فلا حاجة لرسم الشعاع المنكسر

داخل المنشور (BC) ولا للناظمين ونكتفي برسم الشعاع الوارد ثم نقس عن الشعاع

البارز ونعين الزاوية بينهما δ (شكل ٢). نستخدم راسماً خاصاً لكل وضع من الزوايا

المبينة في جدول كالتالي:

جدول (٢):

زاوية ورود A	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°
زاوية الانحراف								

إن زوايا الانحراف المقابلة لزاويا الورد 40°، 50°، 60° موجودة في الجدول (١).



استناداً للجدول (٧) مثل بياناً تغيرات (δ) بدلالة (θ) على ورق ملمتري. عين من البياني قيمة البداية الصغرى لزوجة الانحراف δ_m .

— إن الشعاع البارز الموافق لزاوية ورود (30°) يشاهد بصعوبة لماذا؟ ماذا يحدث إذا كانت زاوية الورود (20°) ؟ فسر ذلك استناداً للدرس النظري.

— عين قرينة انكسار مادة الموشور:

أولاً — بالاستناد إلى قانون الانكسار $\sin \theta = n \sin r$.

باعتبار إحدى القيم الواردة في الجدول (١).

ثانياً — من علاقة الانحراف الأصغر (٧). أي الطريقتين أكثر دقة؟ سر ذلك. عين الارتساب في كل من الطريقتين.



التجربة الثالثة

قياس البعد المحرقي للعدسات

Focal Length of Lenses

الهدف من التجربة :

تعيين البعد المحرقي لعدسة مقربة بطريقة الوضعين المتقابلين والتحقق من قانون جمع العدسات.

الأجهزة و الأدوات المستخدمة:

منبع ضوئي -- شبكة معدنية -- حصر ضوئي مدرج -- عدستان مقربتان البعد المحرقي لكل منهما لا يتجاوز ٢٠ سم -- عدسة مبعدة بعدها المحرقي أكبر من ٢٠ سم -- حامل للعدسات -- حاجز أبيض -- متر معدني.

المبدأ النظري :

إذا وضعت عدسة مقربة L بين جسم M وحاجز P ، فإنها في وضع معين L_1 تكون للجسم على الحاجز خيالاً مصغراً، وتكون له في وضع آخر L_2 خيالاً مكبراً، انظر الشكل (١). لستكن b المسافة الفاصلة بين وضعي العدسة L_1 و L_2 ، ولتكن D المسافة الفاصلة بين الجسم M ومستوي الحاجز P ، وليكن S_1 ، S_1' ، S_2 ، S_2' أبعاد كل من الجسم والخيال عن العدسة في وضعيها.



الشكل (١)

لما كانت النقطتان M و M' مترافقتين أي أن الواحدة منهما هي خيال الأخرى في العدسة في

$$S_2 = S_1' , S_1 = S_2' \quad \text{إذن: كل من وضعيهما،}$$

ويتبين من الشكل أن:

$$S_1 + S_1' = S_2 = S_2' = D \quad (١)$$

وأن:

$$S_1 - S_1' = S_1 - S_2' = b \quad (٢)$$

ويستخرج من جمع هاتين المعادلتين طرفاً إلى طرف أن:

$$S_1 = \frac{D+b}{2}$$

$$S_1' = \frac{D-b}{2}$$

كما يستخرج من طرح (٢) من (١) أن:

نطبق قانون العدسة:

$$\frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_1'} = \frac{1}{f}$$

باعتبار أن كلا من S_1 و S_1' موجبا إذا كان كل من الجسم والخيال حقيقيا ، فنجد:

$$f = \frac{S_1 \times S_1'}{S_1 + S_1'} = \frac{D^2 - b^2}{4D} \quad (3)$$

ملاحظة:

لا يمكن للعدسة المتقربة L ذات البعد المحرق f أن تكون للجسم M خيالا على الحاجز P إلا إذا كانت المسافة D تحقق المتراجحة $D \geq 4f$. ويتبين ذلك بالتعويض عن S' بالمقدار $D-S$

$$\frac{1}{S} + \frac{1}{S'} = \frac{1}{f} \quad \text{في قانون العدسة:}$$

$$S^2 - Ds + Df = 0 \quad \text{فنجد:}$$

وجذرا هذه المعادلة هما:

$$S = \frac{D \pm \sqrt{D^2 - 4Df}}{2}$$

أي أن للعدسة وضعين تكون فيهما للجسم خيالا حقيقيا. ولا يكون هذان الجذران حقيقيين إلا إذا كان:

$$D \geq 4f \quad , \quad D^2 - 4Df \geq 0$$

وينطبق وضع العدسة أحدهما على الآخر في حالة المساواة. (تحقق من ذلك بالرجوع للمعادلة (3).

طريقة العمل:

١- اجعل الحاجز P على بعد من الجسم كبير نسبياً، بحيث إذا وُضعت العدسة المقربة فيمسها بينهما في الوضع L_1 كوَّنت للجسم دميالاً واضحاً على الحاجز أصغر منه. قس D بالثر المعدني، وسجل التدرج A_1 الموافق لوضع العدسة L_1 على الجسم. ازلق حامل العدسة نحو الجسم إلى الوضع L_2 حيث يتكوّن على الحاجز دميال للجسم أكبر منه. سجل التدرج الجديد A_2 ، ثم احسب المسافة b الفاصلة بين وضعي العدسة من العلاقة $b = A_1 - A_2$ واحسب البعد المحرفي f_1 للعدسة من العلاقة (١).

٢- أعد التجربة مرتين من أجل قيم مختلفة للمسافة D، ونظم النتائج في جدول كالآتي:

رقم التجربة	D سم	A_1 سم	A_2 سم	$b = A_1 - A_2$ سم	$d = D^2 - b^2$ سم ^٢	f سم	$ \Delta f $ سم
١							
٢							
٣							
الوسطي							

٣- احسب الخطأ المطلق المركب في حساب f_1 في إحدى التجارب، باتباع طريقة التفاضل اللوغاريتمي.

٤- استخدم العدسة الثانية وأوجد بعدها المحرفي بالطريقة نفسها ونظم النتائج في جدول مماثل للسابق.

٥- احسب الخطأ المطلق المركب في حساب f_2 في إحدى التجارب بطريقة التفاضل اللوغاريتمي.

٦- أوجد البعد الخرفي (f) بخملة العدستين المتلاصقتين وذلك باتباع الطريقة السابقة ونظم النتائج في جدول مماثل للسابق، ثم تحقق من صحة قانون جمع العدسات المتلاصقة.

$$P = P_1 + P_2 \quad \text{أو} \quad \frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \quad (٤)$$

استطاعة العدسة وتقدر بالكسرات. $P = \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$ حيث مقتر

٥٧- لجعل العدسة الميعة ملاصقة لإحدى العدستين القريبتين السابقتين واولجد البعد المحرقى بجملة العدستين بالطريق السابقة؛ ثم استنتج البعد المحرقى F_2 للعدسة بالاعتماد على قانون جمع العدسات (٤).





التجربة الرابعة

أهداف الانعراج الناتجة من فتحة مستطيلة وشريحة أو مسلك -- نظرية

باينيت

المهدف من التجربة :

١- - تعيين ترزوع شدة الإضاءة في نموذج الانعراج الناتج من فتحة مستطيلة ومن مسلك رفيع .

٢- - تعيين علاقات شدة النهايات الانعراجية النظمى في حالة فتحة مستطيلة .

٣- - مناقشة نظرية باينيت باستعمال نموذجي الانعراج في حالة الفتحة ومستطيلها السلك الرفيع .

الأجهزة والأدوات المستعملة :

- - نيون 1 mW , 220 V AC - مضخم قياس شام

- - جسر ضوئي 150 cm - كرسورات وكبل

المبدأ النظري :

تقول عن جسمين انعراجيين أحدهما متتامان إذا قابل الجزء الشفاف في أحدهما جزءاً عاكساً مماثلاً في الآخر ، والعكس بالعكس . ويكون لجسمين الانعراجيين المتتامين نموذج الانعراج نفسه (باستثناء المهدف المركزي حيث يكون أكثر شدة وأقل عرضاً في حالة الحاجز عما هو عليه في حالة الفتحة) ، وهو ما يعرف بمبدأ باينيه . فالفتحة المستطيلة تتممها شريحة لها عرض الفتحة نفسه ويكون لها النموذج الانعراجي نفسه . وكذلك بالنسبة للفتحة الدائرية والقرص السدائري

يكون طما النموذج الانعراجي نفسه عندما يكون قطر الفتحة مساوياً قطر القرص . مهما تعددت الفتحات والحواجز وتنوعت أشكالها ، أنظر الشكل (٣) .

تعطى شدة الضوء وحيد اللون ذي الطول الموجي λ المنعرج على شق عرضه b وفق الزاوية φ بالعلاقة :

$$I(\varphi) \propto b^2 \frac{\sin^2\left(\frac{\pi}{\lambda} b \sin\varphi\right)}{\left(\frac{\pi}{\lambda} b \sin\varphi\right)^2} \quad (١)$$

بجعل البسط في العلاقة (١) مساوياً للصفر نحصل على الزوايا المقابلة لمواضع الشدة الصغرى وهي

$$\sin\varphi_k = \frac{k\lambda}{b} ; (k = 1, 2, 3, \dots) \quad (٢)$$

كما تعطى الزوايا المقابلة لمواضع الشدة العظمى بالعلاقة التقريبية :

$$\sin\varphi_{k^*} = \frac{2k^*+1}{2} \frac{\lambda}{b} ; (k^* = 1, 2, 3, \dots) \quad (٣)$$

لا تشمل العلاقة (٣) حالة الهدب المركزي والذي يقابل $\varphi = 0$.

باستعمال العلاقتين (١) و (٣) نحصل على الشدات العظمى التالية :

$$I_0 \propto b^2 \quad \text{يكون} \quad \sin\varphi = 0 \quad \text{في الحالة} \quad (٤)$$

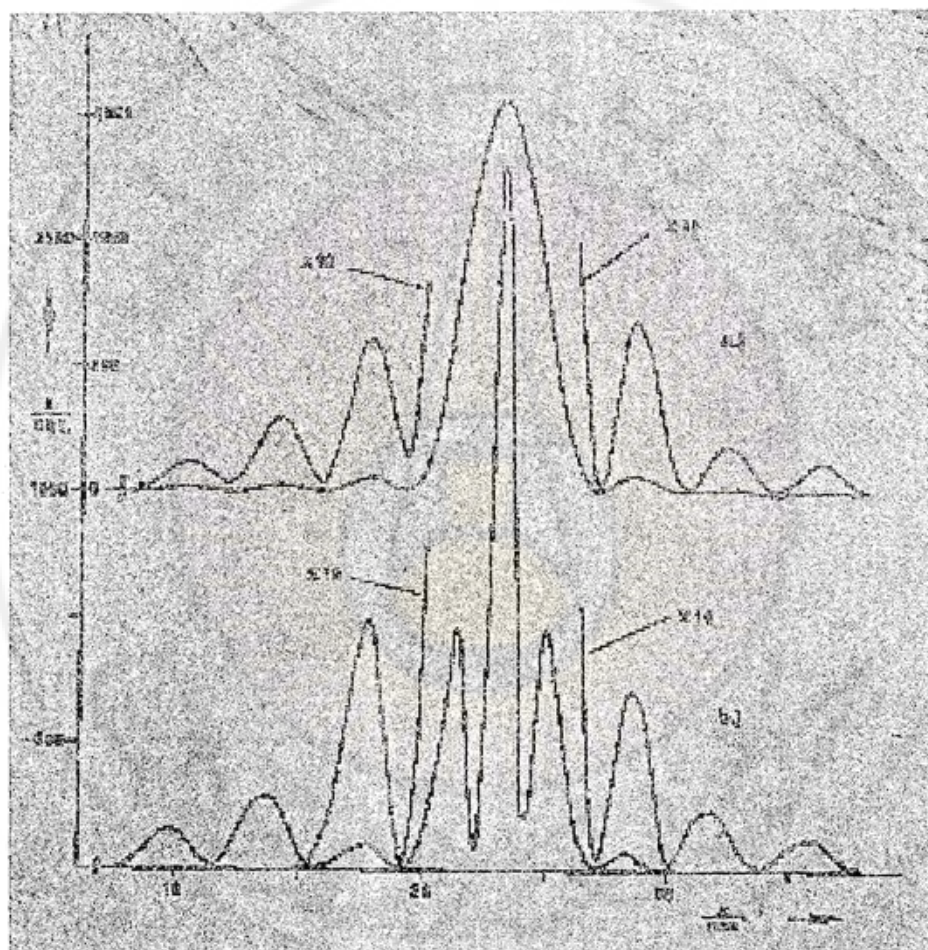
ويقابل الهدب المركزي

$$I_1 \propto 0.045 I_0 \quad \text{يكون} \quad \sin\varphi = \frac{3}{2} \frac{\lambda}{b} \quad \text{في الحالة}$$

ويقابل الهدب الأول

في الحالة $\sin \varphi = \frac{5}{2} \frac{\lambda}{b}$ يكون $I_2 \propto 0.016 I_0$ ويقابل الهدب الثاني

في الحالة $\sin \varphi = \frac{7}{2} \frac{\lambda}{b}$ يكون $I_2 \propto 0.0083 I_0$ ويقابل الهدب الثالث

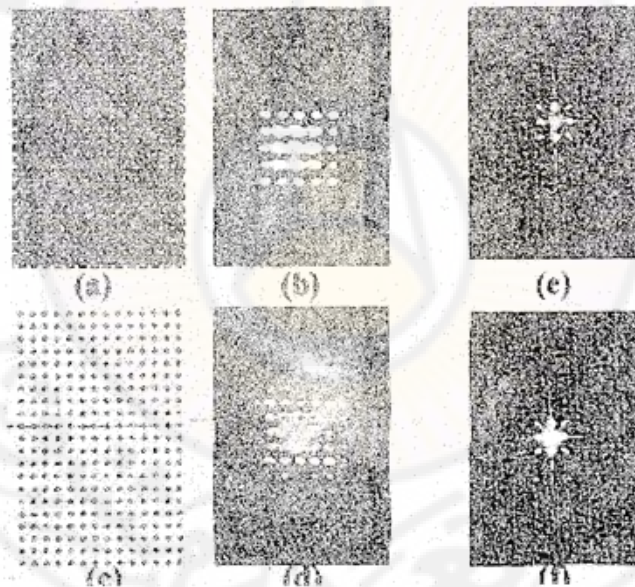


الشكل (٢) شدة الضوء I في نموذج الانعراج كتابع للموضع x في حالة (a) شق وحيد (b) شريحة . إن عرض الفتحة وكذلك الشريحة $b = 0.2 \text{ mm}$. تم ضرب الشدة في المناطق المجاورة للهدب المركزي بالعامل 10 . إن المسافة بين الخلية الضوئية و الشق تساوي $L = 120 \text{ cm}$ وطول موجة الضوء الليزر يساوي $\lambda = 632.8 \text{ nm}$.

يبين الشكل (2a) توزيع الشدة الناتج من الانعراج عبر شق وحيد عرضه $b = 0.2$ mm. ويعطي الجدول (1) عرض الشق محسوباً باستعمال المعادلتين (2) و (3)، كمساحطي أيضاً علاقات الشدة للمقارنة مع (4). وبسبب اختلاف شدة النهايات الثانوية ذات الرتبة نفسها نستعمل متوسطها الحسابي حين نحتاجها. إن علاقات الشدة المعينة تجريبياً على وفاق جيد جداً مع القيم المتوقعة وفقاً للحسابات (4).

$$b = 0.203 \text{ mm} ; \quad \frac{\Delta b}{b} = 4.3\% \quad \text{الجدول (1)}$$

$$\frac{I_1}{I_0} = \frac{67.5 \text{ Sct.}}{1850 \text{ Sct.}} = 0.037 \quad \frac{I_2}{I_0} = \frac{24.5 \text{ Sct.}}{1850 \text{ Sct.}} = 0.013 \quad \frac{I_3}{I_0} = \frac{11.5 \text{ Sct.}}{1850 \text{ Sct.}} = 0.006$$



الشكل (3) : من (a) إلى (d) نموذج انعراج الضوء الأبيض على مصفوفة نظامية من الفتحات والخواجز المنتمية لها على شكل إشارات الزائد المحاطة بدائرة. ويمثل (e) و (f) نموذجين انعراجيين لمصفوفة نظامية من الفتحات المستطيلة وخواجزها المنتمية على الترتيب.

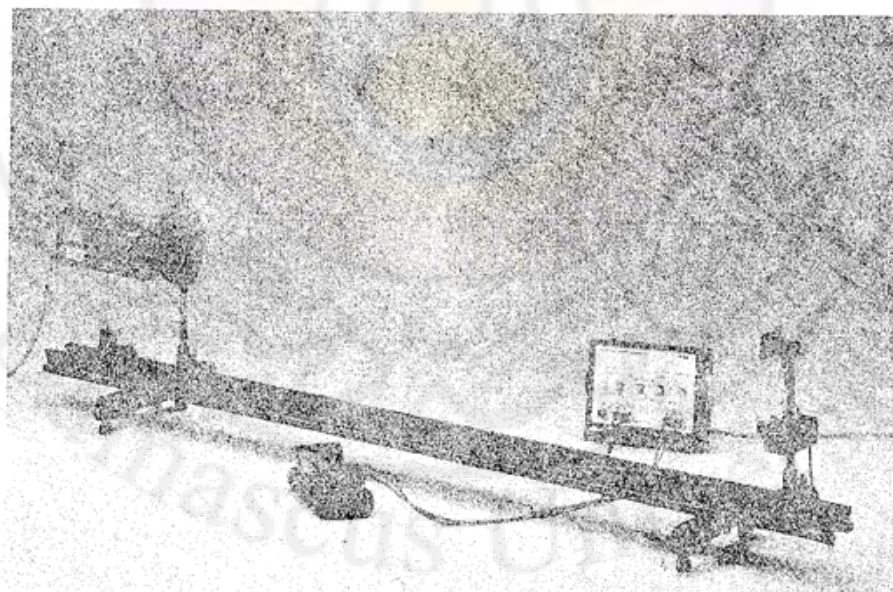
يبين الشكل (2b) توزيع الشدة الناتج من الانعراج على شريحة عرضها $b^* = 0.2$ mm. وبالمقارنة مع الشكل (2a) نجد أن مواضع النهايات العظمى والنهايات الثانوية تنطبق

تماماً مع تلك المقابلة للفتحة المتتمة . ونجد أن الحدب المركزي في حالة الفتحة قد تم قطعه بشكل متناظر بنهاتين صغيرين . وفي حالة انعراج فراغوفر نجد دوماً سطوعاً في منطقة الظل الهندسي للشرية .

طريقة العمل :

يجب تحمية الليزر ومضخم القياس مدة خمس عشرة دقيقة قبل بدء القياس تجنباً لانحرافات الشدة غير المرغوبة . وتوصل الخلية الضوئية مع المدخل $10^4 \Omega$ في مضخم القياس . ويجب التحقق من نقطة الصفر في كل مرة نغير فيها عامل التضخيم .
تحذير : لا تنظر أبداً بصورة مباشرة نحو مصدر الحزمة الليزرية .

١- حقق الترتيب التالي للأجهزة وفق الشكل (١) بحيث أن الحزمة الليزرية تضرب مركز الجسم الذي يحدث عنده الانعراج وبذلك نحصل على نموذج انعراجي متناظر الشدة .



الشكل (١) ترتيب الأجهزة في دراسة الشدة المنعرجة على كل من الشق والسلت .

٢- حدد القيمة العظمى لخرج الحساس الضوئي من خلال التحريك بالدوارة (قاعدة الحساس) . هذا الموضع هو موضع الهدب المركزي.

٣- حدد قيم خرج الحساس الضوئي لخمس مواضع للأهداب المضيفة على يمين الهدب المركزي ، وخمسا" الى اليسار.

٤- نظم نتائجك في جدول مناسب

٥- ارسم تغيرات القيم المقاسة عند خرج الحساس بدلالة البعد الموجب والسالب عمن موضع الهدب المركزي.

٦- عين توزيع شدة الإضاءة في نموذج الانعراج الناتج من فتحة مستطيلة ومن مسلك رفيع .

٧- عين علاقات شدة النهايات الانعراجية العظمى في حالة فتحة مستطيلة، كما شرح سابقا" .

٨- ناقش نظرية باينيت باستعمال نموذجي الانعراج في حالة الفتحة ومتممها المسلك الرفيع .

٩- استنتج وناقش .

التجربة الخامسة

تعيين ثابت بلانك

الهدف التجريبي :

١- إيضاح المفعول الكهروضوئي

٢- تعيين ثابت بلانك

٣- تعيين تابع العمل وطول موجة عتبة الإصدار للمهبط الضوئي

الأجهزة والأدوات المستخدمة

مصباح طيفي زئبقي بقاعدة تسعة أرجل - ثلاث مرشحات التداخل

- قوابس BNC إلى 4mm مزدوج - أسلاك توصيل - وحدة تغذية للمصباح الطيفية

- خلية ضوئية مع علبتها - مضخم قياس شامل - مقياس رقمي متعدد

المجالات

المبدأ النظري

يتم تعيين ثابت بلانك h باستعمال خلية ضوئية تستند إلى المفعول الكهروضوئي. وقد

جهزت الوحدة بخلية ضوئية تستعمل مهبطاً ضوئياً من كبريت الرصاص PbS. يقاس

الجهود، الذي تؤمنه الخلية الضوئية عندما يسقط عليها ضوء طول موجته معروفة، مباشرة

باستعمال مقياس جهد ذي مقاومة عالية جداً $R_i > 10^{13} \Omega$.

توضع الخلية الضوئية ضمن علبة تحجب عنها الحقول الخيطية بها . ويدخل الضوء عبر أنبوب يحتوي مرشحات التداخل . ويمكن إغلاق الفتحة أو فتحها باستعمال الستار المعدني المترلق

يمكن إزالة الجزء العلوي من العلبة ، والذي طبع عليه مخطط الدارة ، بفك بذال التثبيت . وقد وضعت الخلية الضوئية ضمن أنبوب ذي فتحتين ويقوم الجسر بين الفتحتين بحماية المصعد المركزي من التشعيع المباشر وبهذا يتم تجنب الإصدار من المصعد .

٣- مبدأ القياس

عند ورود الضوء على المهبط الضوئي تنطلق الإلكترونات الضوئية نتيجة المفعول الكهروضوئي ، وهذا يتم عندما تكون طاقة الفوتون الوارد أكبر من طاقة ارتباط الإلكترون بالمهبط والتي تدعى بتابع العمل W_a . وتزداد الطاقة الحركية للإلكترون المنطلق W_k مع زيادة طاقة الفوتون الوارد hf .

$$W_k = hf - W_a \quad (1)$$

حيث h هو ثابت بلانك ، و f هو تواتر الضوء الوارد

تصل الإلكترونات المنطلقة من المهبط إلى المصعد فيزداد فرق الكمون إلى قيمة نهائية U_G تكون من أجلها الطاقة الحركية W_k للإلكترون مساوية للطاقة الكهربائية المتنامية $e.U_G$

$$W_k = e.U_G \quad (2)$$

حيث $e = 1.6 \times 10^{-19} C$ هي شحنة الإلكترون

من المعادلة (1) و (2) نجد

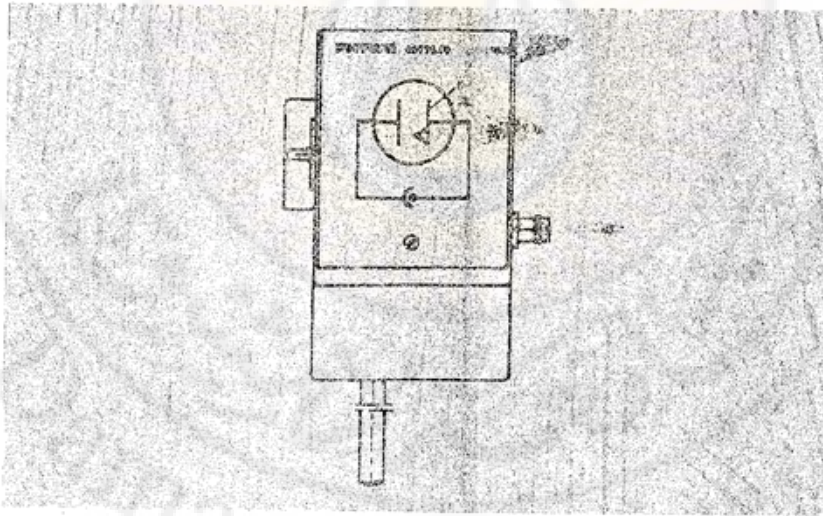
$$e.U_G = hf - W_a \quad (3)$$

فإذا قيس الجهد U_G من أجل طولين موجيين فإننا نحصل على المجهولين h و W_a .
 المعادلة (3) . وفي الواقع فإننا نقوم بقياس U_G عدة مرات ونرسمها كتابع للتواتر f ونعدل العلاقة
 (3) لتصبح من الشكل

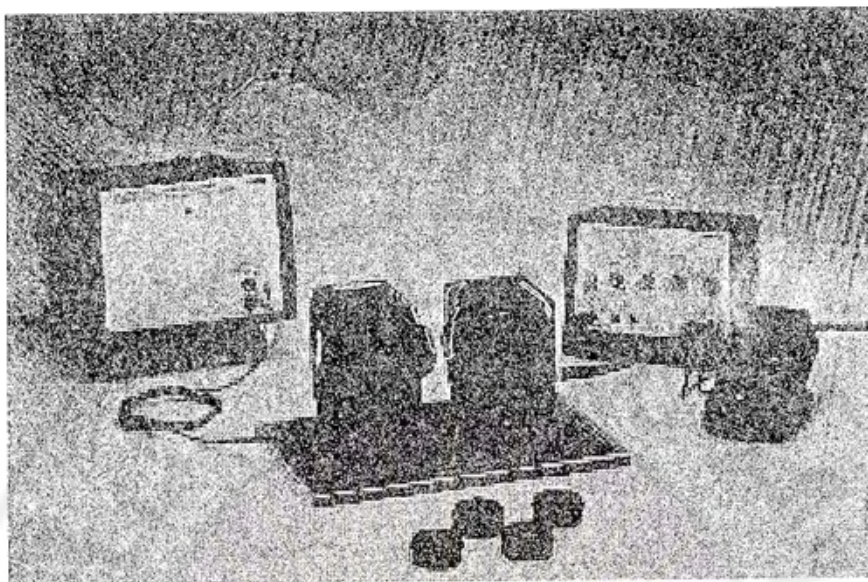
$$U_G = \frac{h}{e} f - \frac{W_a}{e} \quad (4)$$

وهي معادلة مستقيم ميله h/e .

لا يكون تابع العمل لمهبط كاثود الرصاص PbS ثابتاً فهو يتأثر بتقنية تصنيع المهبط الضوئية . وعندما تتعين قيمة h نستطيع حساب قيمة تابع العمل W_a من تقاطع المستقيم مع محور التواتر فنحصل على ما يسمى تواتر عتبة الإصدار أو طول موجة عتبة الإصدار والتي يكون عندها U_G مساوياً للصفر وبالتالي $W_a = hf_{\min} = hc/\lambda_{\max}$.



الشكل (1) خلية ضوئية لتعيين ثابت بلانك h مع علبتها .



الشكل (2) ترتيب تجربة تعيين ثابت بلانك

طريقة العمل :

يظهر الشكل (2) ترتيبات التجربة . ويجب تشغيل المصباح الطيفي قبل خمس عشرة دقيقة من بدء تنفيذ القياسات يوضع بعدها على بعد 2cm تقريباً من المرشح التداخلي الذي يغطي فتحة دخول الضوء . ومن الضروري جداً استعمال مضخم القياس ذي المقاومة العالية $R_i > 10^{13} \Omega$ وإلا ستكون القياسات غير صحيحة . يجب اختيار نمط التشغيل "electrometer" ومعامل التضخيم "1" على مضخم القياسات . وبصورة عامة يمكن وصل أي مقياس كمون رقمي أو ذو مؤشر إلى مخرج المضخم .

- أقصر مدخل المضخم بضغط المفتاح "0"؛ عندما تكون فتحة دخول الضوء للخلية الضوئية مغلقة . وفي أثناء ذلك إجعل قراءة مضخم القياسات مساوية للصفر من خلال التحكم بالمفتاح "0"؛

- افتح الستار المتزلق وسجل قيمة الجهد U_G .
- أغلق الستار المتزلق وبذل المرشح وكرر ما سبق على جميع المرشحات الموجودة .
- ارسم المنحني الممثل لقيم U_G كتابع لقيم f واحسب قيمة h من ميل المستقيم مستعملاً العلاقة (4)
- قدر الارتياح في التجربة وعزل .



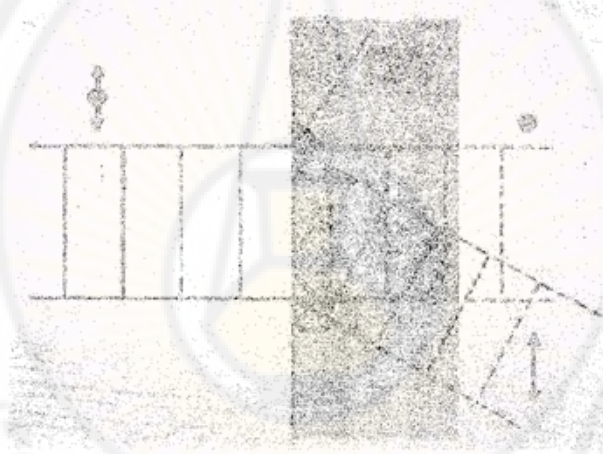


التجربة السادسة

الانكسار المضاعف والاستقطاب في بلورة الكالسيت

أهداف من التجربة :

- مشاهدة انقسام الحزمة الضوئية في أثناء مرورها ببلورة الكالسيت.
- التحقق من الاستقطاب الخطي لكلا الحزمتين وتعتمد مستوى الاستقطاب فيهما .



الشكل (١) انتشار الأشعة العادية والغريبة ضمن البلورة . OA : هو المحور الضوئي للبلورة وتتساوى وفقه سرعتا الشعاعين العادي والغريب ، يشار إلى استقطاب الأشعة بسهم مضاعف أو نقطة .

الأجهزة والأدوات المستخدمة :

- بلورة كالسيت (حجر أيسلندا) -- طاولة مشور على قضيب حامل -
- مرشح استقطاب

- عدسة ضمن إطار $f = +50 \text{ mm}$ - عدسة ضمن إطار $f = -100 \text{ mm}$ -

شاشة شفافة - جسر ضوئي قياسي طوله متر واحد - مصباح هالوجيني 12

V/90 W

المبدأ النظري :

تستند صلاحية قانون سنل - ديكارت في الانكسار على افتراض انتشار الضوء في الوسط الكاسر بالسرعة نفسها في جميع الاتجاهات . ومع ذلك فهناك أوساط شفافة لا يتحقق فيها هذا الشرط . وتظهر مثل هذه الأوساط خواصاً ضوئية غير متماثلة المناحي . ويشاهد الانكسار المضاعف (الانكسار الثنائي) في الأوساط غير متماثلة المناحي نتيجة انقسام أشعة الضوء إلى جزأين (أشعة عادية وأشعة غريبة) ، يتشران بملوكين انكساريين مختلفين وباستقطابين مختلفين . وسنحصر دراستنا فيما يلي بالبلورات ذات المحور التناظري الواحد مثل بلورة الكالسيت CaCO_3 .

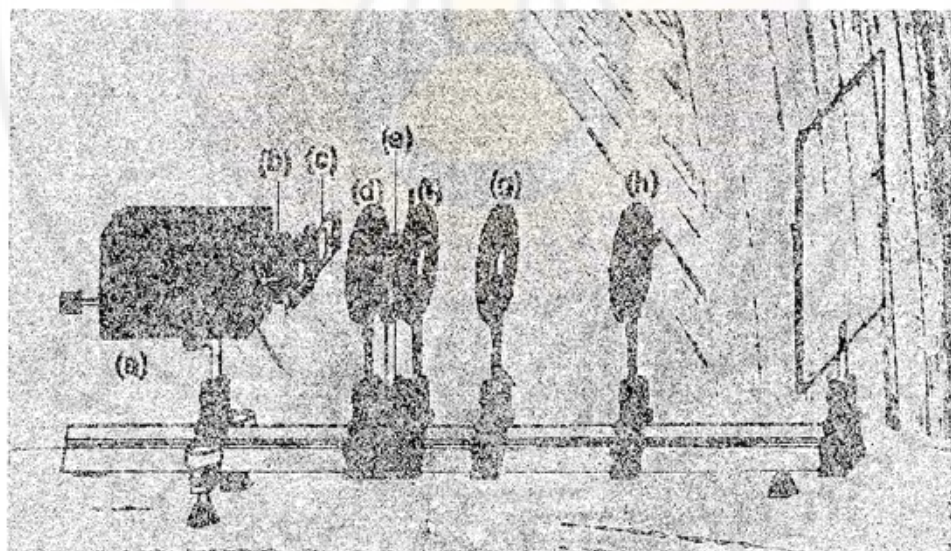
يمكن تفسير الانفصال الموضعي للشعاعين العادي والغريب وفقاً لمبدأ هويجس . تسقط الحزمة الضوئية معامدة لسطح البلورة وحيدة المحور . ويقع المحور الضوئي للبلورة في مستوى الرسم ويكون مائلاً بالنسبة للسطح . وتكون الموجات الابتدائية للأمواج العادية أمواجاً كروية . وتكون مغلغلة وبالتالي صدور الموجة موازية لسطح البلورة في كل حالة . لذلك تعد الأمواج العادية للبلورة دون انكسار . أما في حالة الأمواج الغريبة فتكون الموجات الابتدائية أمواجاً قطعية دورانية . ويكون مغلغلة موازياً أيضاً للسطح الحدي . وتكون صدور الموجة مزاحة وبالتالي ينحرف اتجاه الأمواج الغريبة عن اتجاه الأمواج العادية .

يشار في الشكل (١) إلى مستوي الاستقطاب بالسهم المضاعف أو النقطة . ويحدد مستوي الاستقطاب للشعاع الغريب بجهة الانتشار والمحور الضوئي للبلورة وبالتالي يقع في مستوى الرسم وهو مستوي الزرود . ويكون مستوي الاستقطاب للشعاع العادي معامداً لمستوي الزرود .

الإعدادات : ترتب الأجهزة كما في الشكل (٢) ولا تضع البلورة في مسار الحزمة في هذه المرحلة .

ملاحظات على مسار الحزمة :

- الضوء الوارد من المصباح الهالوجيني (a) يتم تركيزه بالمكثف (b) ويمر مرشح المقاومة الحرارية (c) لحماية الأجهزة من التسخين .
- يتم عزل بقعة ضوئية بفتحة الحظار (d) والتي تنقسم إلى بقعتين تقابلان الحزمتين العادية والغريبة بعد عبور البلورة (e) ،
- تمر الحزمتان العادية والغريبة عبر منظومة أنخيلة مؤلفة من عدسة مقربة (f) وعدسة مبعدة (g) .
- يظهر خيالان واضحا لفتحة الحظار على الشاشة الشفافة ناتجا من البقعيتين الضوئيتين .
- بوضع مرشح استقطاب (h) بين العدسة المبعدة والشاشة الشفافة يمكننا إظهار الاستقطاب الخطي للحزمتين العادية والغريبة وتعامدهما .



الشكل (٢) ترتيب الأجهزة في تجربة الانكسار المضاعف والاستقطاب في بلورة الكالسيت .

(a) مصباح هالوجيني (b) عدسة مكثفة (c) زائقي الصورة مع مرشح المتناومة الحرارية
(d) فتحة الحظار (e) بلورة الكالسيت (f) عدسة مقربة $f=50\text{mm}$ (g) عدسة
مبعدة $f=-100\text{mm}$ (h) مرشح استقطاب .

التعديلات الضوئية :

- رتب المصباح الهالوجيني (a) مع المرآة العاكسة وضع المكثف ورائق الصورة في مكانهما قرب بيت المصباح .
- ادفع فتحة الحظار (d) والعدسة المقربة (f) بشكل مباشر نحو فتحة الموشور (e) .
- بتدوير مفتاح إدخال المصباح الموجود على بيت المصباح تحصل على حيال واضح لاسلك المصباح الحاروني على ورقة صغيرة نضعها عند مركز العدسة المقربة (f) .
- حرك العدسة المبعدة (g) بشكل تحصل معه على حيال واضح لفتحة الحظار .
- صغر فتحة الحظار قدر الإمكان (أصغر ثقب ممكن) وضع بلورة الكالسيت خلف فتحة الحظار مباشرة بشكل يكون في أحد حواف البلورة معامداً للمسحور الضوئي .
- تأكد من وجود حيالين لفتحة الحظار على الشاشة الشفافة . قد تضطر لتعديل شدة المصباح بتدوير مفتاح الإدخال على بيت المصباح .

ملاحظة : قد يتركب الحيالان بصورة طفيفة أنظر الشكل (٣) .

طريقة العمل :

-- ضع مرشح الاستقطاب بين العدسة البعيدة والشاشة الشفافة .

-- أدر سحيم مرشح الاستقطاب وراقب الحيال على الشاشة

ملاحظة : خلال تدوير مرشح الاستقطاب يصبح أحد الخيالي فتحة
الخطار ساطعاً والآخر عاتماً .

-اقرأ زاويتي دوران مرشح الاستقطاب المقابلتين لظهور أحد الخياليين
بشكل منفرد على الشاشة الشفافة.

-- ماذا تستنتج؟ ناقش ؟

معلومات إضافية : إن وضع بلورة الكالسيت فوق ورقة كتب عليها بعض الأحرف يظهر
الانكسار المضاعف لهذه البلورة .





التجربة السابعة

الصفحتان ربع الموجية و نصف الموجية

الهدف من التجربة :

- قياس شدة الضوء כתابع لزاوية عمود المحلل .
- استعمال الصفحة ربع الموجية للحصول على ضوء ذي استقطاب دائري .

الأجهزة والأدوات المستخدمة :

- صفحة ربع موجية - صفحة نصف موجية - مرشح استقطاب - مرشح ضوء أصفر
- خلية ضوئية من السيليكون - مقاييس متعدد - شاشة غير شفافة
- جسر ضوئي $L=1m$ - مصباح هالوجيني $12 V, 90 W$ - محول $2-12 V, 120 W$

المبدأ النظري:

الصفحة الموجية هي أداة ضوئية تؤثر على حالة استقطاب الضوء المار عبرها . وهي ببساطة بلورة ذات انكسار مضاعف أو صفحة بلاستيكية مضاعفة الانكسار ، تم اختيار سمك كل منهما بعناية ودقة .

تنقسم حزمة الضوء المتوازية الوارد بشكل معامد للصفحة الموجية إلى مركبتين بسبب خاصية الانكسار المضاعف . يكون مستوي الاستقطاب للحزمتين الجزئيتين الناستجتين متعامدين (يعين مستوي الاستقطاب بمنحني الانتشار والاهتزاز) ، ويكون للحزمتين سرعتا طور مختلفتين . يتم اختيار سمك الصفحة ربع الموجية بحيث تتأخر مركبة الضوء (العادي) ذات الحقل الكهربائي الموازي لمستوي الدوران بفرق في المسير مقداره ربع طول الموجة $\lambda/4$ عن مركبة الضوء (الغريب) ذات الحقل الكهربائي المعامد لمستوي الدوران . كما يتم اختيار سمك الصفحة نصف الموجية بحيث تحدث بين المركبتين فرقا في المسير مقداره $\lambda/2$.

يرد ضوء وحيد اللون في هذه التجربة على صفيحة ربع موجية وعلى صفيحة نصف موجية . ويتم دراسة استقطاب الضوء المنعكس من أجل زوايا مختلفة بين المحاور الضوئي للصفيحة الموجية واتجاه الضوء الوارد .



الشكل (١) تمثيل تخيلي للصفيحة نصف الموجية . يتحلل الضوء المستقطب خطياً (الممثل باللون الغامق على الطرفين) والداخل في البلورة إلى موجتين ، موجة غريبة يكون حقلها الكهربائي موازياً للمحور الضوئي للبلورة (وتظهر باللون الفاتح المنقط) وعادية يكون حقلها الكهربائي معامداً للمحور الضوئي للبلورة (وتظهر باللون الغامق العريضة) . تنتشر الموجة العادية ضمن الصفيحة الموجية بسرعة أقل من الموجة الغريبة . وتكون الموجة العادية عند الجانب البعيد للصفيحة متأخرة بمقدار نصف طول الموجة عن الموجة الغريبة .

٢) الصفيحة ربع الموجية

إذا كان E_0 هو طول شعاع الحقل الكهربائي النافذ من المقطب و ϕ هي الزاوية بين المقطب والصفيحة ربع الموجية . فإن الحالة الاعترافية للمركبتين في اللحظة t تعطى بالعلاقين :

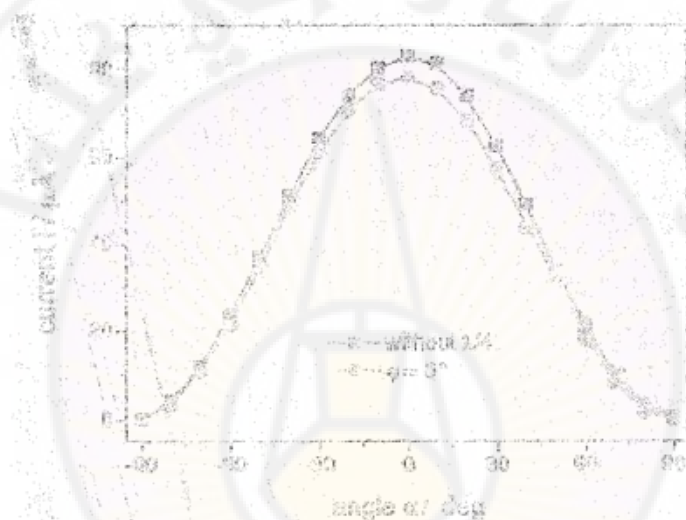
$$E_1(t) = E_0(t) \cdot \sin \phi \cdot \sin \omega t$$

$$E_2(t) = E_0(t) \cdot \cos \phi \cdot \sin \omega t$$

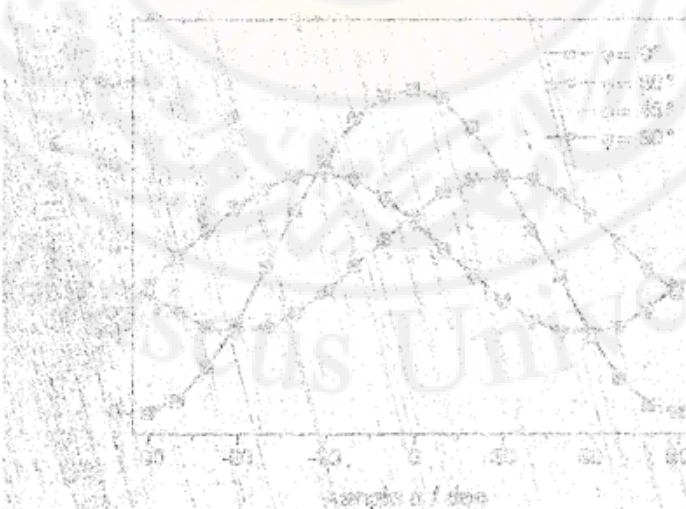
بشكل: $\pi/4$ للصفحة ربع الموجة ذات الأقطار المضاعف، فرقاً في المسار مقداره $\pi/4$ وبذلك
 فرقاً في الطور مقداره $\pi/2$ بين الشعاعين . وعندما يجمع الشعاعان الماران من الصفحة يمكن أن
 تشكل محصلة توصف بالعلاقين :

$$E_x(t) = E_y(t) \cdot \sin \phi \cdot \sin \alpha$$

$$E_z(t) = E_y(t) \cdot \cos \phi \cdot \sin \alpha$$



الشكل (3) : التيار $\bar{I}$ كدالة لزاوية الخط α بتول صفحة ربع موجة



الشكل (4) : التيار $\bar{I}$ كدالة لزاوية الخط α من أجل مواضع زاوية ختلفة ϕ للصفحة

ومع الصفیحة ربع الموجية في الموضع المقابل للزاوية $\varphi = 0^\circ$.

تصف هاتان المعادلتان شعاعاً E يدور في المستوى $X-Y$ حول محور ثابت وفق جهة الانتشار (أنظر الشكل (١)) .

فمن أجل الزاويتين $\varphi = 0^\circ$ و $\varphi = 90^\circ$ نحصل على شدة ضوء مستقطب خطياً بعد الصفیحة ربع الموجية : $I = I_0 \cos^2 \alpha$. وهذا على وفاق مع النتائج التجريبية المبينة في الشكل (٣) . $I \sim \cos^2 \alpha$.

ومن أجل الزاوية $\varphi = 45^\circ$ يكون $\sin \varphi = \cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{2}}$ ويعطى طول

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} = \frac{E_0}{\sqrt{2}}$$

ويكون الضوء مستقطباً استقطاباً دائرياً وتعطى شدته بالعلاقة : $I = \frac{I_0}{2} \sim \frac{E_0^2}{2}$.

أي أن الضوء يمر دون خسارة في الشدة مهما كانت زاوية المحل . وهذا على وفاق مع النتائج التجريبية المثلة بالشكل (٤) .

وعند جميع زوايا الصفیحة φ المختلفة عن القيم $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ يكون الضوء العاير للصفیحة ربع الموجية مستقطباً استقطاباً قطعياً . حيث ترسم نهاية الشعاع المثل للحقل الكهربائي الدائر حول محور مواز لجهة الانتشار قطعاً ناقصاً نصفنا قطريه a, b :

$$E_1(t) = E_a(t) \cdot \sin \varphi \cdot \sin \omega t$$

$$E_2(t) = E_b(t) \cdot \cos \varphi \cdot \sin \omega t$$

وهذا على وفاق مع النتائج التجريبية التي يعبر عنها الشكل (٤) ، وتعطى الشدة من أجل

زاوية φ بين المحل والصفیحة ربع الموجية (مثل $30^\circ, 60^\circ$) بالعلاقة :

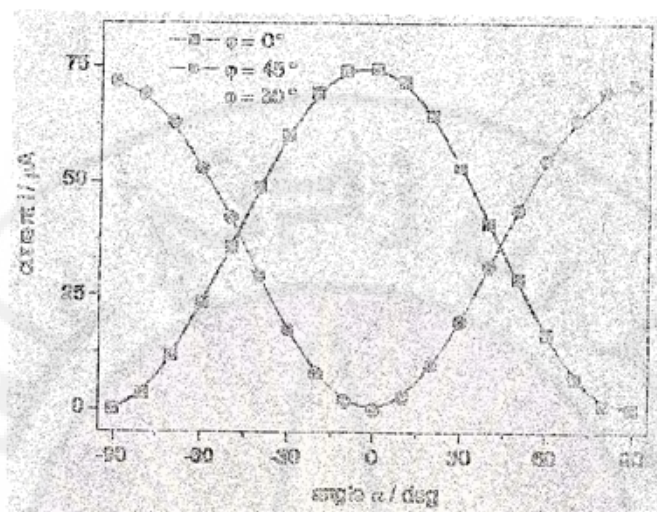
$$I \sim E_0^2 \cos^2 \varphi \cdot \cos^2 \alpha + E_0^2 \sin^2 \varphi \cdot \sin^2 \alpha$$

(b) الصفیحة نصف الموجية

يلخص الشكل (٥) النتائج التجريبية في حالة الصفیحة نصف الموجية (أو صفیحتين ربع موجية لما التوجه نفسه) : تنتج الصفیحة نصف الموجية ضوءاً مستقطباً استقطاباً خطياً . فعند تغير الزاوية φ يتغير مستوى الاستقطاب فقط . فإذا تغيرت زاوية الصفیحة نصف الموجية بمقدار

45° مثلاً يدور مستوى الاستقطاب بمقدار 90°

لا تتغير قيم النهايات العظمى والصغرى بخلاف ماهي عليه الحال في النتائج التجريبية للصفحة ربع الموجية .



الشكل (٥) شدة التيار I كنابع لزاوية الحمل α من أجل زوايا مختلفة ϕ للصفحة نصف الموجية .
إعداد التجربة :

يبين الشكل (٢) تمثيلاً تخطيطياً لترتيب التجربة .

ملاحظات على مسام الحزمة :

- يتم تركيز الضوء الوارد من المصباح الهالوجيني (a) بالمكثف (b) ثم يمرر مرشح المقاومة الحرارية لحماية المكونات الضوئية من التسخين .
- ويمكن استعمال مرشح مائي كحماية إضافية لتخفيض الأشعة تحت الحمراء التي تؤثر على الخلية الضوئية ، الخط المنقط في الشكل (٢) .

التعديلات الضوئية :

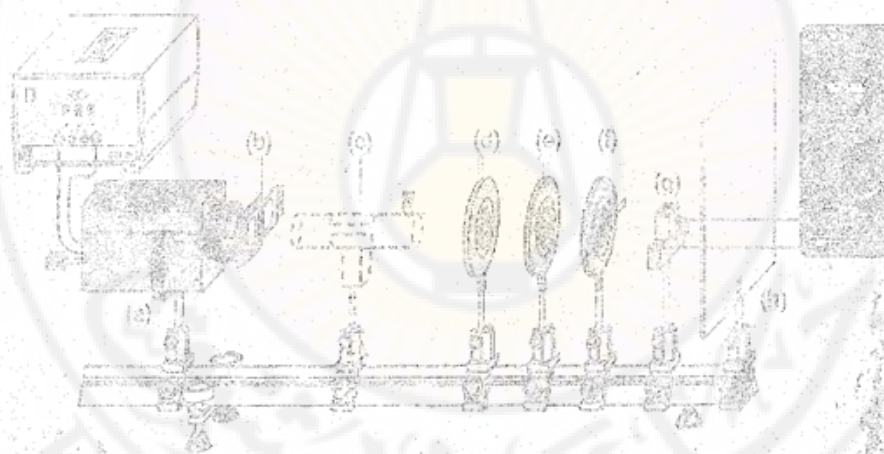
- وتب المصباح الهالوجيني (a) مع المرآة العاكسة وضع المكثف بشكل ملائم وزاوي الصورة في بيت المصباح .
- أدخل مرشح اللون الأصفر أمام مرشح الحرارة ضمن زائق الصورة .

- ضع المقطب (g) ، صفيحة ربيع الموجية والخلل على الجسر الضوئي كما هو مبين في الشكل (١) . يجب تكون المسافة بين المقطب والمنصهاد الماروجيني من 20 cm إلى 30 cm .

- ضع خلية السيليكون الضوئية خلف الخلل وعدل مسار الشعاع الضوئي بحيث تضاء الخلية بشكل جيد .

- يمكن تعديل الإضاءة بتدوير مفتاح إدخال المصباح الموجود على يمين المصباح . حاول أن تحصل على خيال واضح لسلك المصباح على ورقة صغيرة توضع عند مركز الخلية الضوئية (g) .

- ملاحظة : وضعت الشاشة غير الشفافة في الشكل (٢) لتنفيذ التجربة بشكل



الشكل (٢) إعداد التجربة لتحرى عن نوع استقطاب الضوء المار . (a) مصباح هالوجيني (d) مقطب (g) خلية سيليكون ضوئية (b) زلق صورة مع مرشح (e) صفيحة ربيع أو نصف موجية (i) شاشة غير شفافة (c) مرشح خلية حرارية (f) خلل .

ملاحظات السلامة : يجب الانتباه إلى عدم تحريك نوافذ المختبر بالتمسك الزائد .

- لا تضع مرشح الاستقطاب أمام المصباح الضوئي بصورة مباشرة . استخدم مرشح الحماية الحرارية لمنع الترميم الشبكة البلاستيكية الثابتة بالـ . تجنب الزائد .

- لا تضيق الصفیحة ربع الموجية أو نصف الموجية بصورة مباشرة أمام منبع ضوئي حار وذلك لمنع شبكة الانكسار المضاعف فيهما من التسخين الزائد .
- قم بتوسیل الخلية الضوئية مستعملاً زوجين من الأسلاك (أحمر/أزرق) إلى المقیاس المتعدد لقیاس التيار الضوئي .

ملاحظة : يتناسب التيار الضوئي مع شدة الضوء التي تتناسب مع مربع الحقل الكهربائي E^2 .

طريقة العمل : (2) الصفیحة ربع الموجية

- أبرد الصفیحة ربع الموجية وضع المقطب على وضعية الأصفر .
- قس شدة الضوء كتابع لزاوية المحل في المجال من -90^0 إلى 90^0 .
- ثبت الصفیحة ربع الموجية على الحامل الضوئي بين المقطب والمحل .
- قس شدة الضوء كتابع لزاوية المجال (عند الزوايا $0^0, 30^0, 45^0, 60^0$) ضمن المجال -90^0 إلى 90^0 .

(3) الصفیحة نصف الموجية :

- وضع المقطب في وضعية الأصفر .
- ثبت الصفیحة نصف الموجية على الحامل الضوئي بين المقطب والمحل .
- قس شدة الضوء كتابع لزاوية المجال (عند الزوايا $0^0, 30^0, 45^0, 60^0$) ضمن المجال -90^0 إلى 90^0 .

ملاحظة : يمكن استبدال صفیحتين ربع موجيتين لهما التوجيه نفسه بصفیحة نصف موجية .

ملاحظات إضافية

تحدث الصفیحة الموجية فرقاً في الطور مرتبطاً بطول موجة الضوء بسبب تبدد الضوء . لذلك تصنع الصفائح الموجية لتعمل ضمن مجال عديد من الأطوال الموجية . ويكون الضوء الأصفر من مجال الطرف المرئي هو الأكثر ملاءمة للصفائح الموجية الموجودة في المختبر بسبب اعتدال تفرده وانحرافه الضئيل . تعطي الصفائح الموجية المهدف المنشود عندما يسيرها الضوء معامداً لسطحها . ولا يؤثر التقارب الخفيف للأشعة الضوئية على النتائج التجريبية .

التجربة الثامنة

تعيين سرعة الضوء في الهواء

الهدف من التجربة:

① القياس النسبي لزمن عبور نبضة ضوئية قصيرة Δt باستعمال راسم الإشارة، كنتاج لجد المرآة العاكسة.

② تعيين سرعة الضوء في الهواء من ميل المنحني $S = f(t)$

③ القياس المطلق لزمن عبور نبضة ضوئية قصيرة Δt باستعمال راسم الإشارة في حالة المسار $2S$ بتعليم نقطة الصفر عند مرآة مرجعية

④ تعيين سرعة الضوء في الهواء كنتاج قسمة طول المسار على زمن العبور .

⑤ معايرة قياس الزمن باستعمال إشارة هزاز ذات تحكم بلوري .

⑥ القياس المطلق لزمن عبور نبضة ضوئية قصيرة Δt باستعمال راسم الإشارة في حالة المسار $2S$ بتعليم نقطة الصفر عند مرآة مرجعية .

⑦ تعيين سرعة الضوء في الهواء كنتاج قسمة طول المسار على زمن العبور المباشر .

الأجهزة والأدوات المستخدمة :

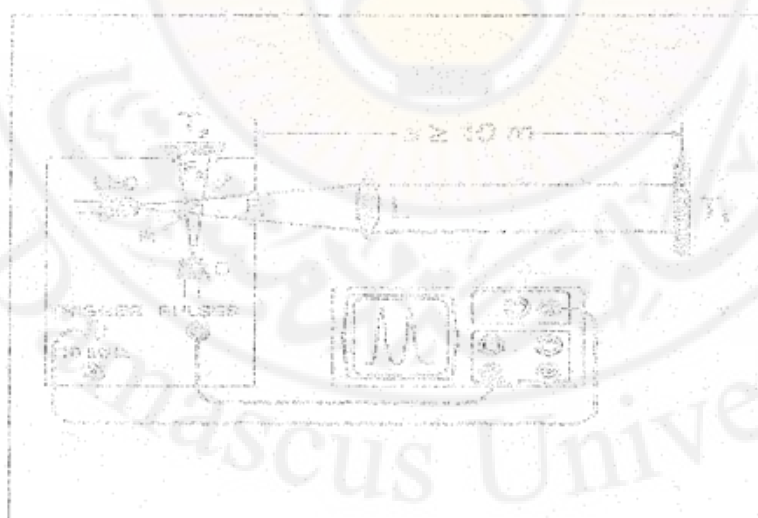
-- وحدة مأخذ $230\text{ V}/12\text{ V AC}$ -عدسة مسح حاملها $f = 200\text{ mm}$

-- حصر ضوئي ذو مقادير قياسي -- راسم إشارة ذو قناتين --دارة الباحث والمستقبل --
الماكس

يصدر الجهاز نبضات قصيرة جداً من الضوء الأحمر بعرض يساوي 20 ns بواسطة ديود مصدر الضوء (LED) (Light Emitting Diode) عتاني الأمامية. النبضات الضوئية بعد قطع مسافة معلومة حقة وذهاباً إلى نبضة كهربية تظهر على إحصار الإشارة

مسار الضوء : يرجه الشبح الضوئي ، وهو ديود مصدر لضوء ساطع أحمر طول موجته 615 nm ، من خلال نافذة F_1 للجهاز ، نحو اللامبة بواسطة العدسة L_1 . وتنعكس المرآة الكبيرة T_1 حزمة الضوء على نفسها فينتج الخيال الذي تشكله المرآة المنعكس على الشبح (انظر الشكل ١)

ينعكس شاعر الحزمة S في الجهاز الزمرة الراجعة من المرآة T_1 نحو الأسفل إلى الفوتوديود D . كما يعكس في الوقت نفسه نصف الضوء الوارد من الشبح نحو الأمام فيمر مسج الشفافة P_2 بحيث يكافئ مسار الحزمة المتجهة إلى الأمامي وقرارة المرآة العسيرة T_2 نحو حزمة بول . ولأن نبضة مرعبة ذات تأخر زمني بسيط لا تأثر له على حزمة القياس .



الشكل ١ : مخطط يظهر مبدأ قياس سرعة الضوء باستعمال نبضات ضوئية قصيرة .

طريقة القياس

إن مسافة مقدارها 10 m تقابل زمن انتقال للنبضة الضوئية مقداره 60 ns تقريباً . ويكون عرض النبضة 20 ns ملائماً لزمن العبور . ويسمح التصميم الخاص للجهاز باستخدام راسم إشارة بسيط نسبياً .

تصدر النبضات الضوئية بتواتر 40 kHz . وهذا يضمن لمعاداً كاذباً للإشارة على شاشة راسم الإشارة حتى في حالة سرعة انحراف عظمى لراسم الإشارة .

وفي الملاحظة التي نسق إصدار النبضة الضوئية في الجهاز تصدر إشارة فذبح تقوم بدمج انحرفي لراسم الإشارة . فتظهر نبضة جهد كاملة على شاشة راسم الإشارة حتى في حالة زمن انتقال مهملة للنبضة الضوئية . وهذا يقابل وضع المرآة عند أقرب نقطة أمام الفتحة F_1 أو عبور F_2 . لذلك لا حاجة لاستعمال راسم إشارة له خط تأخير مدمج .

عندما نزيد المسافة بين المرآة الكبيرة والنافذة F_1 تتراوح إشارة النبضة على الراسم نحو اليمين بخارياً مع زمن انتقال أطول . ونستطيع حساب سرعة الضوء بتقسيم تغير المسافة على زمن العبور . وعند استعمال النبضة المرجعية الناتجة من المرآة الصغيرة يمكن تعيين زمن العبور الكلي على راسم الإشارة بشكل مطلق ، ونحسب عندها السرعة بتقسيم المسافة على زمن العبور .

ولمعايرة القياس الزمني يمكن إظهار إشارة هزاز ذي تحكم بلوري بصورة آتية على راسم الإشارة . وبما أننا نستطيع إزاحة إشارة الهزاز بأكثر من دور واحد بالنسبة إلى قياس النبضة تكون دقتها ملائمة للاستعمال كعلامة للقياس . وفي هذه الحالة يكون قياس الزمن مستقل عن قاعدة الزمن في راسم الإشارة .

الترتيبات الميكانيكية والضوئية

ضع الجسر الضوئي على الطاولة واربط الجهاز على الجسر الضوئي بحيث تواجه الفتحة F_1 العدسة . كما في الشكل ٧ .

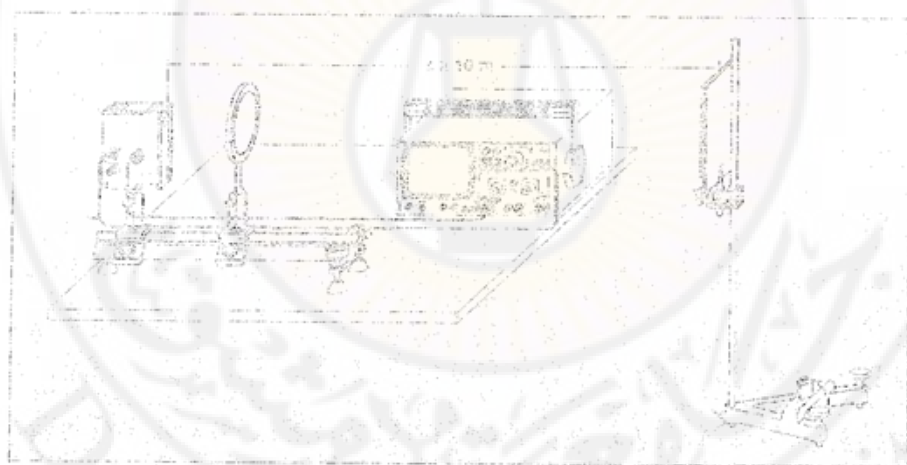
- - اربط العدسة على الجسم الضوئي بحيث تبعد عن الجهاز مسافة 20 cm ويكسب ارتفاع مركزها مساوياً ارتفاع الشافذة $\frac{1}{2}$ نفسه .

- - ضع المرآة الكبيرة على حاملها (أنظر الشكل ٢) وأبعدنا عدة أمتار عن الجهاز بحيث يقع منتصف المرآة على المحور الضوئي ويكون سطحها معامداً لهذا المحور .

- - شغل الجهاز بوصله إلى وحدة المأخذ

عندما ننظر من فوق الجهاز يمر العدسة إلى الزاوية الكبيرة ولا نجدنا حمراء اللون أو ألواناً حمراء البواظ فقط .

عدّل الجهاز الخارجة بتعديل برآلات الجسم الضوئي ، وغيّر ارتفاع العدسة عند الضرورة ، بحيث تتوسط الصورة على مركز المرآة .



الشكل ٢ ترتيب تجربة قياس موهة الضوء

وصف راسم الإشارة

- - صل مخرج النبضة مع القناة الأولى في راسم الإشارة وخرج القيد مع مسدّد القيد الخارج من مستعملاً الكبلات BNC

- باستعمال إعدادات راسم الإشارة من الجدول ١ أوجد نبضة جهد .
- ضع المرآة الكبيرة عند أبعد مسافة ممكنة وابحث عن أفضل سعة للنبضة بالتغيير الطفيف للترتيبات الضوئية وخاصة تحريك العدسة على الجسر الضوئي .
- حول التكبير الأفقي في راسم الإشارة إلى القيمة $10\times$.

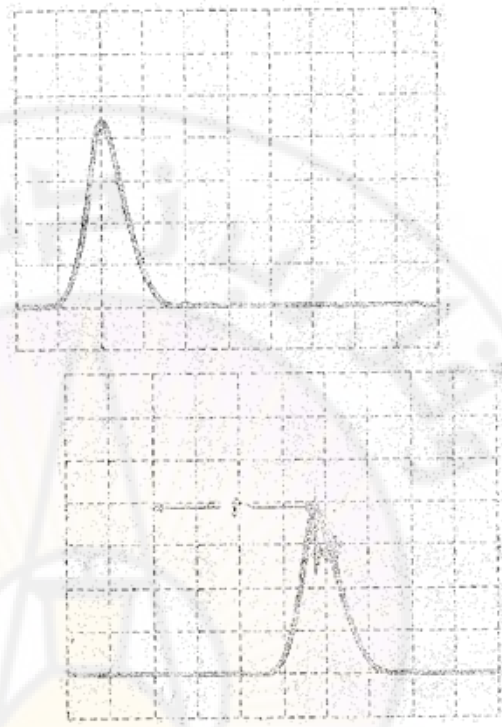
Operating mode:	channel 1 only
Channel 1:	DC, 5-100 mV/cm
Zero line:	bottom edge of screen
Triggering:	external, AC, + (rising edge)
Trigger level:	automatic
Time-base sweep:	0.2 μ s/cm, cal.
X-magnification:	1x
Intensity:	maximum

الجدول ١ : إعدادات راسم الإشارة

طريقة المـ

أولاً --- قياس زمن العبور كتابع لموضع المرآة .

- ضع المرآة الكبيرة بالقرب من الجسر الضوئي وعلم موضعها .
- أخرج قمة نبضة الجهد إلى الخط الشاقولي الأيسر من شبكة الشاشة في راسم الإشارة بواسطة مفتاح الموضع -X (انظر الشكل ٣ الجزء الأيمن) .
- حرك المرآة الكبيرة وفق مسار الخزمة ، قس تغير المسافة S وسجل هذه القيمة في دفترك .
- اقرأ الانزياح في الزمن t لنبضة الجهد من راسم الإشارة (انظر الشكل ٣ الجزء الأيسر) وسجل هذه القيمة في دفترك .



الشكل ٣ القياس النسبي لزمن العبور t للمنبضة الضوئية

- كرر قياساتك من أجل التزيحات أخرى في المسافة S .

نظم جدولاً لتغيرات المسافة بدلالة الزمن وارسم الخط البياني $(t, S = f(t))$ واستنتج السرعة الضوء منه.

ثانياً - قياس زمن عبور النبضة بمساعدة مرآة مرجعية

- ادفع التجهيزات نحو الحافة اليسرى للطاولة وانظر نحو الأسفل واتسق الحافة الشاقولية للجهاز وعلم ذلك الموضع على أرض الغرفة (أنظر الشكل ٤).

ضع علامة على المساحة الواقعة بين E_1 و E_2 بحسب الرقعة الموضحة في الشكل ٢٠
الشبكة على علامة الرأس E_1 عند 0.5 متر مربع الموضع 0.5 .

ضع عند ذلك المرأة الصغيرة فوق النافذة E_2 وتأكد أن موضع المرأة الصغيرة
الرأس لم يتغير (مستويين متساويين)

ضع المرأة الكبيرة في الموضع المطلوب ولاحظ أن المرأة الكبيرة تظهر
النبتة على علامة الرأس E_1 عند 0.5 متر مربع الموضع 0.5 .

الآن إذا كانت المرأة الصغيرة في الموضع E_1 والرأس في الموضع E_2 فلاحظ
النتيجة .

أخرج المرأة الصغيرة من الموضع المطلوب المتركز الذي يوافق مع خط الشبكة
المركزي (أنظر الشكل ٢١)

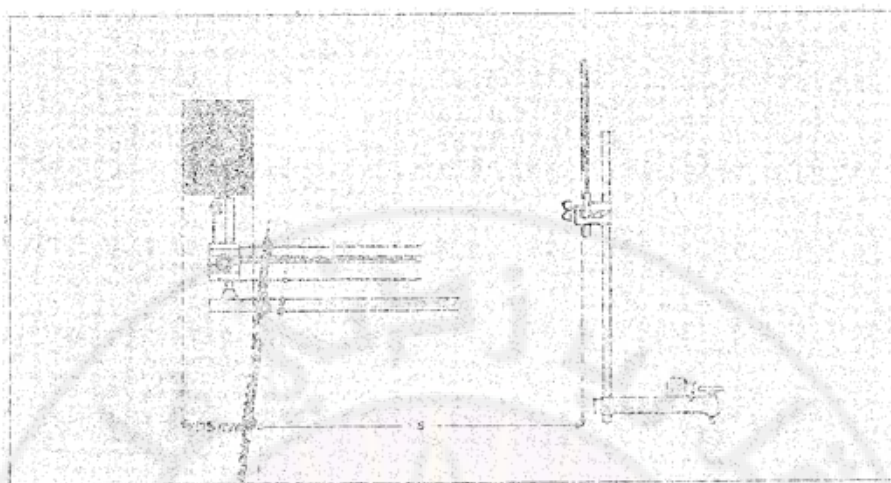
اقرأ زمن العبور t عند تقاطع النبتة الثانية مع خط المركز (أنظر الشكل ٢٢) . سجل هذه
القيمة في دفترك .

لاحظ أن الفترة الزمنية بين النبتة المرجعية والنبتة المقاسة تتفق مع المسافة بين المحاور
للمحاور على الرأس عندما يكون للبيضتين السعة نفسها وتكون المسافة أكبر بكثير من
عرض النبتة .

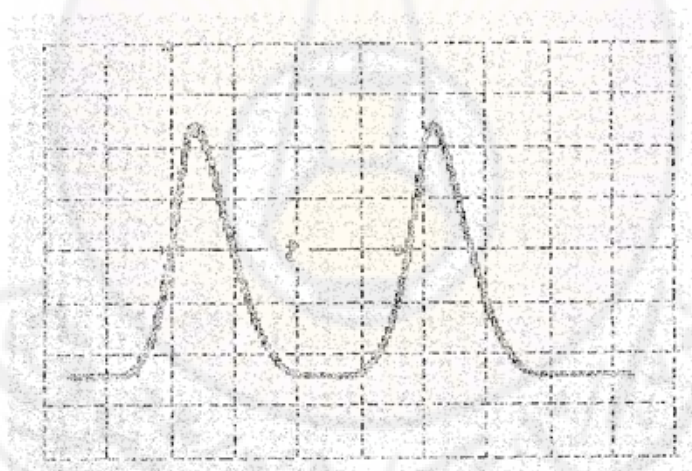
ضع علامة على أرض الغرفة تقابل موضع المرأة الكبيرة وقس المسافة L بين موضع المرأة
الكبيرة وموضع

النافذة E_1 وسجل هذه القيمة في دفترك .

احسب من هاتين القيمتين S و t سرعة الضوء



الشكل ٤ قياس المسافة S بين النافذة F_1 والمرآة الكبيرة .



الشكل ٥ القياس المطلق لـ S عبور النبضة الضوئية

ثالثاً - قياس زمن العبور مع معايرة قاعدة الزمن :

-- ضع المرآة الصغيرة فوق F_2 والمرآة الكبيرة في مسار الحزمة وعلى بعد 15 m تقريباً بحيث ترى نبضتين على شاشة الراسم .

- اجعل المسافة بين إشارتي النبضتين أعظم ما يمكن على شاشة الراسم بتغيير سرعة مسح قائدة الزمن .

-- حرك المראה الصغيرة فوق F_2 بحذر حتى يكون للإشارتين السعة نفسها .

- سجل شرج التردد 10 MHz من الجهاز إلى قناة الراسم الثانية مستخدماً كبل BNC ،

- اختر النمط ثنائي القناة (dual) وقفل قناة الراسم الثانية AC (0.1 V/cm) ، بحيث تظهر النبضات المقاسة وإشارة الممرز معاً في اللحظة نفسها .

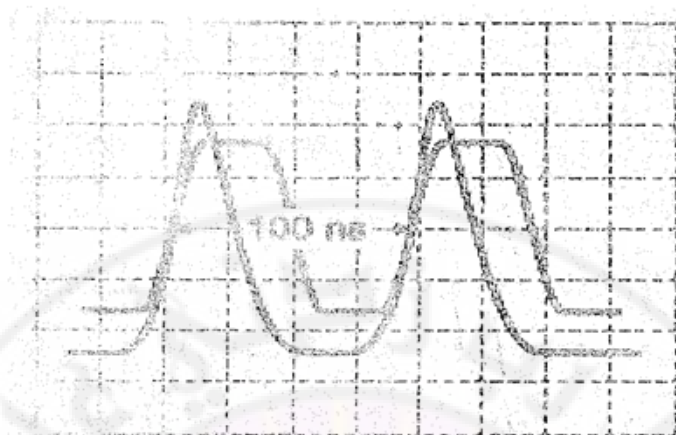
- أخرج مسدداً معدني الطور في الجهاز لإشارة التردد 10 MHz بحيث تطبق الطاقة المساعدة لنبضة الجهاز الأول على الطاقة المساعدة لإشارة التردد 10 MHz (أنظر الشكل ٦) .

- حمل بعد المראה الكبيرة بحيث تطبق الطاقة المساعدة لنبضة الجهاز الثانية على الطاقة المساعدة الثانية لإشارة التردد 10 MHz (أنظر الشكل ٦) .

-- في حالة الضرورة عدل الترتيبات المطلوبة أو غير في الترتيب حتى يكون النبض في الجهتين ضمن المراتين السعة نفسها ، ثم عدل مواضع الحواف المساعدة .

- حدد موضعتي الجهاز والمראה الكبيرة على أرض المختبر، وقس المسافة S وسجل هذه القيمة في دفترك (أنظر الشكل ٤) .

- احسب سرعة الضوء مع قيمة S وزمن النبضة المرجعية



الشكل ٦ القياس المطلق لزمن عبور النبضة الضوئية مع معايرة لقاعدة الزمن

الدمج بين الناحية

مقياس مايكلسون التداخل

الهدف من التجربة :

- التعامل مع الجمل الضوئية المعقدة

- تركيب مقياس مايكلسون التداخل

- دراسة أبعاد التداخل

الأجهزة والأدوات المستخدمة :

- مصباح قاعدة ضوئية لليزر - ليزر هيليوم-نيون حزمته مستقطبة عمودياً

- حامل الليزر - قاعدة ضوئية - شاطر الحزمة الضوئية - شاشة نفردة

- مرآة مستوية قابلة للتعديل الدقيق - عدسة كروية $f = 2.7 \text{ m}$

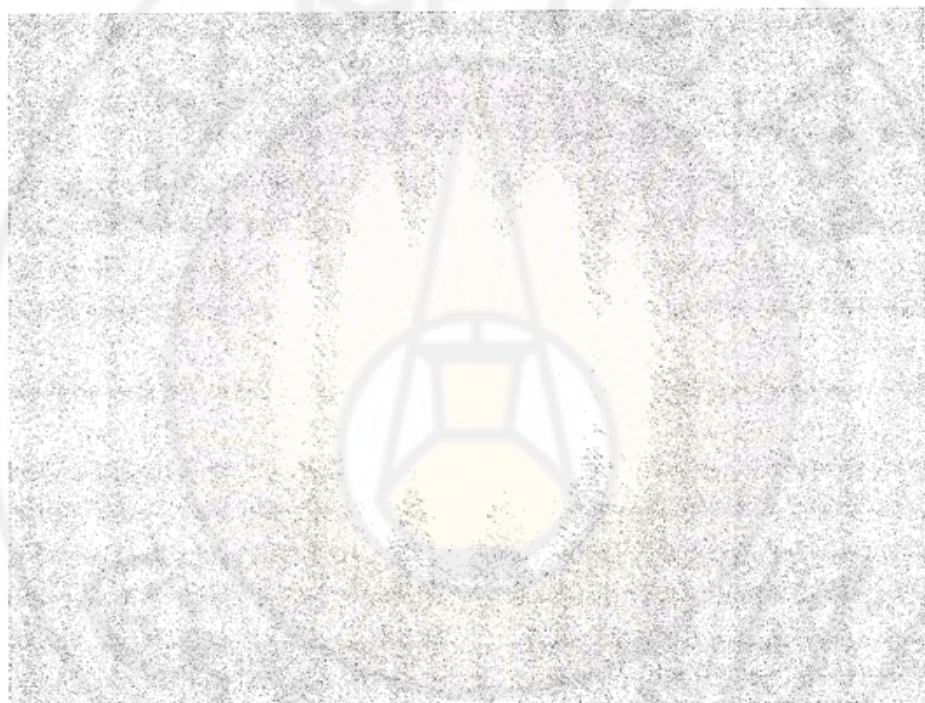
المبدأ النظري :

يعد المقياس التداخلي طريقة حساسة ودقيقة جداً في تعيين تغير الطول ، وكذلك التغيرات ، وقرينة الانكسار ، وطول الموجة . ويتضمن مقياس مايكلسون إلى مجموعة من المقياس التداخلية ثنائية الحزمة التي تعمل وفق المبدأ التالي :

تنقسم الحزمة الضوئية المترابطة التي يؤتى مصدر ملائم ، بواسطة مرآة نصف مفضضة ، إلى جزأين يسافران عبر مسارين مختلفين نحو مرآتين ، فينعكسان مرتدين على نفسيهما نحو قاسم الحزمة حيث يجتمعان ويتراكبان مشكلين نموذجاً تداخلياً نراه على شاشة تقع على مسارهما بعد التداخل . فإذا تغير طول المسار الضوئي لأحدى الحزمتين (بتركيبتين) (المسار الضوئي هو جداء المسار الهندسي بقرينة الانكسار) يحدث انزياح في الطور بالنسبة للحزمة الأخرى . وهذا بدوره يؤدي إلى تغير في نموذج التداخل ، يسمح لنا باستنتاج حدوث تغيرات بقرينة الانكسار أو طول المسار في حالة بقاء جميع المعاملات الأخرى ثابتة دون تغيير .

وهذا يعني أنه عند بقاء قرينة الانكسار ثابتة ، يستطيع تعيين التورق في المسار الهندسي ، أي تغيرات أبعاد المواد الداخلة في السمعين مثلاً ، أو تأثير الحمل الكهربائي أو الحمل المغناطيسي .

وبالتالي إذا بقي الحساس الهندسي ثابتاً ، فإننا نستطيع تعيين قرينة الانكسار وجمع المتساويين والمعاملات التي تؤثر على قرينة الانكسار مثل تغيرات الضغط والحرارة والكثافة .
ويعد مقياس مايكلسون ملائماً لتعيين آثار الضغوط الميكانيكية والتغيرات الجوية على صيرورة القاعدية الضوئية للليزر . فعند إعداد تجربة مستمع الحواسيم يمكن إنشاء تغيرات في المساحة في التعرف على هذه الاختلافات والتخصص منها .



الشكل (١) صورة نموذج التداخل في مقياس مايكلسون القاعدية على شاشة

ملاحظة السلامة :

تحقق ليزر اليوم توفّر متطلبات الأمان القياسية الألمانية الخاصة بالأجهزة التعليمية والتدريبية . فعند الإلتزام بالتعليمات المدونة في قائمة التعليمات ، يكون إحساره آساراً للليزر مأموناً . فلا تنظر أبداً بصورة مباشرة إلى مصدر الحزمة الليزرية . ولا تتجاوز حدود الانسهار (لا يجوز للمشاهد أن يشعر بعدم وضوح الرؤية) .

طريقة العمل :

ملاحظة : يمكن تمكين الطولية ذات الأسطوان المخريشة أو التوسعة أن تم سحب
إحداثيات في نموذج التداخل . لذلك يجب التعامل مع المراقبين المستويين وشاطر الخزمة والعدسة
الكروية بحرص ، وضعها في مكان محال من اعتبار و التسمية ببدلين عازيتين .

يوضح الشكل (٢) ترتيب التجربة في مقام ميكسون على صفحة القاعدة الطولية
للليزر . ولإعداد التجربة بشكل صحيح يجب اتباع الخطوات التالية :

صفحة قاعدة الليزر : الليزر :

- ضع صفحة قاعدة الليزر الطولية (a) مع المائدة الخوائية بشكل أفقي على طاولة
تجريبية ثابتة .

- ثبت الليزر على حامله ووضعه عند الطرف الأيسر لصفحة القاعدة .

- حصل الليزر بالكهرباء وأدر مفتاح التشغيل .

- حل عقد التثبيت الثلاثة ليزالات التعديل الموجودة على حامل الليزر .

- عدل ، باستعمال براالات التداخل ، ارتفاع وميل الليزر بحيث تكون الخزمة الليزرية
أفقية تماماً وترفع مسافة 75 mm فوق صفحة القاعدة (لا يزال الجسم مسوفاً)
لتعديلات ثانية) . قس المسافة بالمسطرة .

- شد عقد التثبيت .

شاطر الخزمة .

يجب أن يكون ناحزمتين المتعكس .
تدقيق متماثلتين . ويتم ذلك بحسن الخزمة
الليزرية تستقر على مركز القاسم .

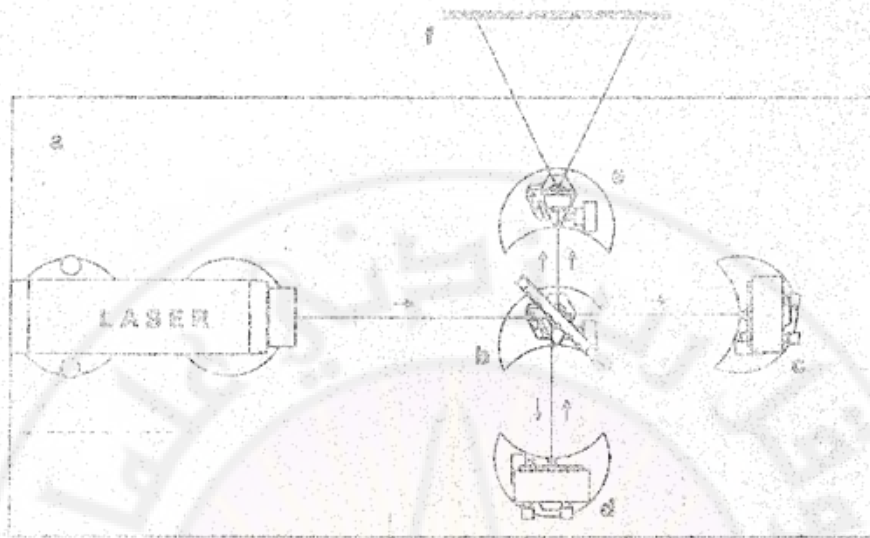
تأكد أولاً من أن الخزمة المتعكسة على قاسم الخزمة (١) أفقية . ويتم ذلك بوضع
القاسم مع قاعدات الطولية في مسار الخزمة عند الطرف المقابل لصفحة قاعدة الليزر
الطولية ، وعكس الخزمة الليزرية إلى نقطة مجاورة الفتحة الإصدار الليزري .

- صحح ميل قاسم الخزمة ، وبالتالي مسار الخزمة ، حسب الضرورة باستعمال برغي
التعديل على التثبيت .

- وأخيراً ضع قاسم الخزمة في مسار الخزمة وفق زاوية تساوي 45^0 كما هو مرسوم
في الشكل (٢) . يجب أن يكون الوجه نصف المقص لتقاسم الخزمة مواجهاً لليزر

ملاحظات : يكون نظير الإحداثيات أكثر سهولة في معرفة شبيهة مظلومة
وبالإضافة إلى الخزنة الأساسية يتبع الانعكاس المتعدد ما يسمى بحزم الاضطراب الجزئية.
ذات الشدة المنخفضة . ويتم التعلق منه على التوالي عوامل العدسة ويكون اهتمامنا
التعديلات المتتالية . سواء نوعية الخزنة الليزرية عندما تنعكس الخزنة على قاسم الخزنة
متوجهة بصورة مباشرة نحو فتحة الإصدار الليزري .

- ضع المرآة المستوية (C) بحيث تقسم الخزنة الليزرية في مركزها .
- بتدوير القاعدة الضوئية على صفيحة قاعدة الليزر الضوئية والمساورة مسطح بؤلي
التعديل الموجودة خلف المرآة وجه المرآة المستوية بحيث تنعكس الخزنة على قاسم
وترد بعد مرورها بقاسم الخزنة على نقطة تعلق فتحة الإصدار الليزري تعديل .
- ثبت الشاشة (f) على قاعدتها وضعها خلف صفيحة قاعدة الليزر الضوئية كمساحة
الشكل (2) بحيث تسقط الخزنة الليزرية في مركزها .
- ضع المرآة المستوية (d) في مسار الخزنة الجزئية المنعكسة على قاسم الخزنة (C)
كما في الشكل (2) بحيث يكون بعدها عن قاسم الخزنة مساوياً لمسار الخزنة
المستوية (C) عن قاسم الخزنة .
- بتدوير القاعدة الضوئية على صفيحة قاعدة الليزر الضوئية وتعديل المراآتي ، وجه
المرآة المستوية بحيث تنعكس هذه الخزنة الجزئية على نفسها وتجميع مسطح الخزنة
الليزرية الأولى بناءً على قاسم الخزنة .
- عقل المراآتين المستويتين (C) و (d) باستعمال براغي التعديل بحيث تنطبق كلتي
أكثف الخزم من المجموعتين المنعكستين على الشاشة .



الشكل (٢) ترتيب مقياس مايكلسون التداخلي على صفيحة قاعدة الليزر الضوئية ، منظر علوي ،
 صفيحة قاعدة الليزر الضوئية ، د قاسم الخزمة ، c,d مرآتان مستويتان و e عدسة كروية ،
 شاشة f .

العدسة الكروية :

تضع العدسة الكروية (e) على صفيحة قاعدة الليزر الضوئية بين شمساطر الخزمة -
 والشاشة بغية توسيع الخزمة (وجه الفتحة الضمري للعدسة نحو قاسم الخزمة)

عندل ارتفاع وموضع العدسة الكروية بحيث تعبرها الخزمتان وفق محورهما الضوئي .

التعديلات الدقيقة :

- إذا لم تشاهد نموذج التداخل فإنه يجب القيام بما يلي:
- غير مسار الخزمة بتغيير طفيف لتوجيه خزمة الشاطر أو المرايا المستوية ؛ وأعد تعديل العدسة الكروية حسب الضرورة . فكلما كانت الخزمتان متوازيتان بين قاسم الخزمة والشاشة كانت خطوط التداخل أوسع والمسافة بينهما أكبر .

عدل نموذج التداخل بحيث تسهل مشاهدته بتغيير طفيف في توجيه حزمة القاسم أو المرايا المستوية . فإذا لم تستطع الحصول على خيال واضح أعد جميع الخطوط السابقة من بدايتها . يكون نموذج التداخل أكثر سطوعاً ومشاهدته أسهل مشاهدة عندما تجعل استطاعة الليزر مساوية 1 mV . وبما أن هذه القيمة مستغنى مسار الحزمة قليلاً ، فربما تحتاج إلى تعديل مسار الحزمة أو موضع العدسة الكروية .



التجربة العاشرة

تشكيل هولوغرام الضوء الأبيض المنعكس

الهدف من التجربة :

- ١- تشكيل هولوغرامات الضوء الأبيض المنعكس .
- ٢- فهم الفرق بين هولوغرامات السعة وهولوغرامات الطور وعملية التحويل الكيميائية الضوئية .
- ٣- إعادة بناء هولوغرامات الضوء الأبيض المنعكس .



الشكل (١) صور لبعض الهولوغرامات .

المبدأ النظري :

تثبت صورة الجسم المراد تصويره في التصوير العادي على الفيلم . بينما تخزن الأمواج الضوئية المنعكسة على سطح الجسم في التصوير الهولوغرامي . فيسجل الفيلم سعة الموجة وطورها . وبالتالي يستطيع الهولوغرام أن يسجل موضع كل نقطة من نقاط الجسم في الفضاء .

وتتنوع الهولوجرامات المختلفة تبعاً لبياساتها ، وتعد ترتيبات تشكيل هولوجرامات الضوء الأبيض بالمنعكس ملائمة بالنسبة للمبتدئين في التصوير الهولوجرامي .

تشكيل هولوجرام الضوء الأبيض المنعكس يمر حزمة ليزرية موصلة من خلال أسطوانة مسجل (فيلم) ونسقطها على الجسم الموضوع خلفها . يعود الضوء المنعكس على سطح الجسم غير المتفلم إلى الوسط المسجل حيث يتراكب مع الأمواج الضوئية الأصلية للحزمة الليزرية الواردة . يشكل التداخل بين الأمواج المنعكسة والأمواج الواردة ضمن الوسط المسجل أمواجاً مستقرة (سلسلة من البطون والتعد تتباعد عن بعضها بمقدار ربع طول الموجة) . وتكون مستويات البطون معرضة للضوء بينما لا تكون مستويات التعد معرضة . فيسجل التعرض على شرائط طبقات نصف شفافة من معدن الفضة . وينتج من ذلك شبكة انعراج ثلاثية الأبعاد تقوم بتوسيع المعلومات بالنسبة للجسم على شكل شيفرة ضوئية من نوع معين .

وفي إعادة التركيب ، ينعكس الضوء الوارد على الطبقات نصف الشفافة في الهولوجرام للعلاج . ويكون للضوء المنعكس الخواص المعروفة للأمواج الضوئية الأصلية المنعكسة على الجسم . تدعم الحزم الضوئية المارة للطبقات المختلفة بعضها بعضاً عندما تكون متفقة في الطور . وكنتيحة لذلك يتقوى الهولوجرام ألبالاً موجية معينة في أثناء إعادة بناء الصورة .

وبسبب زوايا الانعكاس بالطور في حالة طول موجة محدد فقط ، يمكن إعادة بناء الصور . يستعمل الضوء الأبيض . وهكذا فإن هولوجرام الضوء الأبيض المنعكس يستطيع اختصار من التجهيز المطلوب من الطيف لإعادة بناء صورة ثلاثية الأبعاد للجسم الأصلي .

واعتماداً على طريقة المعالجة الكيميائية الضوئية للفيلم المستعمل ، نميز بين نوعين من الهولوجرامات : هولوجرام السعة ويتألف من المقاطع الشفافة والعائمة التي تسببها حبيبات الفضة المتشكلة في أثناء معالجة الفيلم . وهولوجرام الطور حيث تخسر الطبقات مظهرها العساقم في أثناء عملية التحميض . واعتماداً على نوع عملية التحميض ، يتم حفظ المعلومات على شكل تفسير في قرينة الانكسار ، سماكة أو تفرعات على سطح الهولوجرام . وعند إعادة بناء الهولوجرام ، يجب على الأمواج الضوئية أن تسافر عبر مسارات ضوئية وهندسية مختلفة ، عمدة بذلك فروقاً في المسار . فنقول إن الهولوجرام ذو تعديل طوري .

في المستعصر، الهولوجرامات الطورية لأي طاقة ضوئية موجهة نحوها. لا خلاف
لية إعادة . يكون أشد سطوعاً من الهولوجرامات السعوية الكثيفة ضوئياً . وهذا هو سبب
دول الهولوجرامات الطورية في التطبيقات التقنية المعاصرة .
الأجهزة المستخدمة :

صفحة قاعدة ضوئية لليزر - ليزر هليوم-نيون مستقطب خطياً - قاعدة ضوئية

- حامل الفيلم - حامل الجسم - عدسة كروية $f = 2.7 \text{ mm}$ -
مسطرة خشبية

شريحة - مؤقتة - زجاجة بولي إيثيلين 1000 l - مقص مدبب 200 mm -
- علبة أفلام هولوجرافية - معدات تعقيم - سوائل لتحميض الأفلام

ملاحظة السلامة :

يحق ليزر الهليوم-نيون متطلبات الأمان القياسية الأتلفة الخاصة بالأجهزة التعليمية
والتدريبية . فعند الإلتزام بالتعليمات المدونة في قائمة التعليمات ، لا يكون إجراء تعريض الليزر خطراً
. فلا تنظر أبداً بصورة مباشرة إلى مصدر الحزمة الليزرية . ولا تتجاوز حدود الانبعاث (لا تتجاوز
اللمشاهد أن يشعر بعدم وضوح الرؤية) . بعض مواد التصوير الكيميائية سامة وعنيفة ، تأكد من
التقيد التام بجميع تعليمات الحزمة وأخذ الحيطة على اللعب الكيميائية بما فيها لمس الكيمائيات
والكفوف والإزارات الكيميائية . إن المواد الكيميائية المستخدمة تاركة البيئة فلا تضعها في إناء ليسع
وتخلص منها كفايات خاصة .

ملاحظات أساسية :

يتطلب تشكيل الهولوجرامات مقداراً كبيراً من الحزم والتركيز . فبممكن التأثيرات
الجانبية والتعامل غير الصحيح أن يمنع من تشكيل الهولوجرام أو على أقل تقدير يقلل كثيراً من
جودته .

التأثيرات الجانبية :

تعد الحركة غير المتحكم بها بين حقل التداخل وفيلم التسجيل من أكثر الاضطرابات
الأساسية . فتغير طول المسار الضوئي بين الجسم وفيلم الهولوجرام بمقدار 25% خلال التصوير

الهولوجرام يعد كافياً لتخريب الهولوجرام بالكامل . وبإقّي هذا الاضطراب مثلاً عن طريق صدم الترتيبات أو التيارات الهوائية . ويتم تخفيض هذه الاضطرابات في تجربتنا بوضع صفيحة قاعدة الليزر الضوئية على وسادة هوائية ماصة للاهتزازات يحميها غطاء يقلل من تيارات الحمل الهوائية . ورغم العزل الاهتزازي الجيد يمكن للاهتزازات الميكانيكية الجانبية أن تنتقل إلى تجهيزات التجربة وتكون قوية لدرجة كافية للتأثير على حقل التداخل خلال التصوير الهولوجرامي . وتأتي هذه المؤثرات من غلق الأبواب ، والمشي على بلاط المختبر ، وتشغيل أي آلة ، وغير ذلك . ويجب التخلص من مثل هذه المؤثرات .

يتأثر حقل التداخل أيضاً بالتغيرات المحلية للضغط ودرجة الحرارة فهي تؤدي إلى تغيير مهم في طريقة انكسار الهواء . كما أن المنظومات التهوية وتيارات الحمل بجوار المشعات آثار سلبية أيضاً . ويكون تأثيرها أعظمياً عند بدء تشغيلها . وقد يسبب المعبريون أنفسهم تيارات هوائية . وعليهم في أثناء التصوير الهولوجرامي ألا يقفوا أو يجلسوا بالقرب من التجربة ولا يتنفسوا فوق التجربة . ويسري هذا الأمر على جميع الموجودين في غرفة الاختبار . ويمكن تخفيض كل هذه الآثار باستعمال الغطاء .

نستطيع بسهولة التقاط وكشف آثار الصدمات الميكانيكية وتيارات الهواء باستعمال مقياس مايكلسون التداخلي . فهو أكثر حساسية لمثل هذه التأثيرات من ترتيبات التصوير الهولوجرامي المستعمل في هذه التجربة ، فهو يظهر تنسييراً في نموذج التداخل مقابلاً لهذه الاضطرابات . ولهذا السبب يكون مقياس مايكلسون مساعداً جداً في تقدير المؤثرات الجانبية .

اختيار الجسم :

يجب أن يكون الجسم المراد تصويره صلباً ، مثل القطع المعدنية والبلاستيك القاسي والخشب والحجارة وغيرها . فالمواد اللينة مثل الخارم والورق والنباتات لا تكون ملائمة بسبب إمكان حركتها خلال التصوير . كما يجب ضمان عدم حركة الجسم باستعمال الساق الماسكة للجسم وبالتالي تثبيته على صفيحة القاعدة .

والكي نحصل على هولوجرام جيد بالضوء الأبيض المنعكس يجب أن نستعمل أجساماً ذات انعكاسية جيدة بالنسبة لضوء الليزر . فنيخ أو نطلي الأجسام العائمة بألوان ساطعة أو بالفضة . فكلما زاد عكس هذه الأجسام للضوء باتجاه الفيلم كان الهولوجرام أكثر سطوعاً . لذلك تشكل قطع النقود هولوجرامات جيدة جداً .

التعامل مع المركبات الضوئية :

قد يظهر تداخل عالي التباين : ناتج من جزئيات الغبار أو انسداد أو بصمات الأصابع على العدسات الكروية وقاسم الحزمة بسبب التعامل غير الصحيح معها . إذ يخرج الضوء بحسب هذه الحروف لما يؤدي إلى تعريض ضوئي أكثر شاطئ هولوغرام التقابلية للتباينات الانعراجية العكسي وتعريض ضوئي أقل لشرائح هولوغرام التقابلية للتباينات الانعراجية الصغرى . وهذا يؤدي إلى انخفاض نوعية هولوغرام . لذلك يجب معالجة العدسة الكروية بعناية شديدة وحفظها بعناية عن الغبار . متدين تغريب مسطوح المركبات أوليس المركبات بالأيدي العارية . تستطيع نسوج العدسة من حاملها وتجميعها بوزن تنظيف وفق التعليمات الخاصة بذلك المتطلبات الخاصة بغرفة المختبر :

يجب تنفيذ التجربة في غرفة خالية من الصدمات : وذات درجة حرارة مستقرة ، كسلة يمكن تعميمها بشكل كاف . وتحتوي على مصدر تغذية كهربائية لليزر ومصابيح الغرفة المظلمة ، ومياه جارية قريبة لغسل الفيلم وحالة ثقيلة مستقرة .
التحضيرات :

قطع مادة الفيلم : إن الفيلم المستعمل غير حساس لطول الموجة 550 nm وبالتالي يمكن استعمال مصباح غرفة عاتمة (داكن خضرة أو أزرق مخضر) لمساعدة في العمل . ويجب عدم تعريض الفيلم للضوء المباشر . ومعرفة الوجه المطلي من الفيلم تبحث عن العلامة فإذا كانت موجودة إلى الأسفل واليسار أو الأعلى واليسار فلا يكون الوجه المطلي مواجهاً لك بل هو الوجه الخلفي المجهد عندك . عامل الفيلم بعناية وحرص بحيث لا يتعرب الطلاء . تتألف مادة الفيلم مسن شرائح بلاستيكية مطلية أبعادها 10.2 cm x 12.7 cm ، يجب تقطيعها إلى الشكل الملائم .
-- في ظلمة كاملة ، أخرج العدد المطلوب من الشرائح وأعد الباقي إلى مكانه (احفظه في مكان بارد لإزالة مدة صلاحيته) .

-- علم النقاط التي تريد قطع الفيلم عندها بقلم ماسح واستعمل المقص لقطع الفيلم إلى قطع أبعادها 42 mm x 53 mm . واتخذ القطع ضمن زاوية مضمة (حدد الوجه المطلي) واستعملها خلال أسبوع واحد .

تجهيز كيمائيات التصوير :

-- اغسل أوعية التفاعل (القوارير البيريتينية) بشكل جيد .

- حضر سائل التنظيف في إحدى قوارير الاختزال وفقاً لتعليمات الشركة المصنعة وحسب جزءاً منه في الصحن البلاستيكي ملائم .

لتشكيل هولوجرافات طورية :

- أجمع سائل تخميض من 100 g نترات الحديد غير الممتزج ، و 30 g برومييد اليوتاسيوم ضمن لتر واحد من الماء (المقطر إن وجد) في قارورة سوداء ثانية وحسب جزءاً منه في صحن بلاستيكي ملائم .

و أو لتشكيل هولوجرافات سموية :

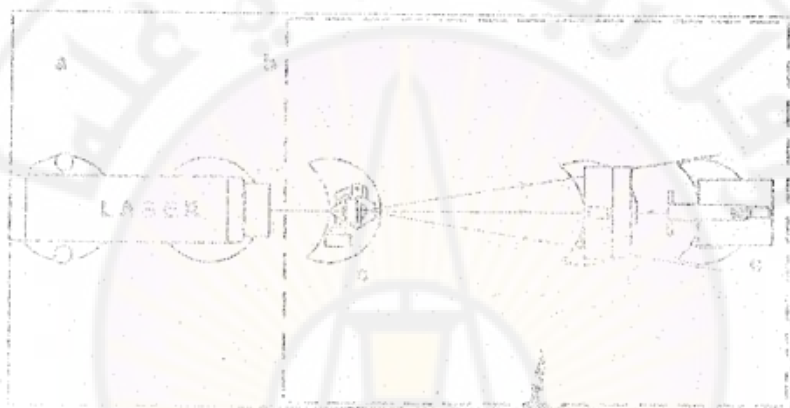
- حضر مثبت ضمن إحدى قوارير الاختزال وفقاً لتعليمات الشركة المصنعة ، وحسب جزءاً منه في صحن بلاستيكي ملائم .
- أولاً أحد الصحنين البلاستيكيين بانه (سائل الإيقاف) .
- ثانياً أحد الصحنين والماء وضع فيه قطرة واحدة من سائل التنظيف .
- ضع أحد الصحنين بالقرب من الماء الجاري مع أجل الغسل النهائي .
- ضع بصفاة على آخر صحن تشير إلى اتجاهه .

اعداد التجربة :

- يظهر الشكل (٧) ترتيب المكبرات الضوئية على منضبة قاعة الاختزال .
- اعداد التجربة تم بتفصيل الخطوات التالية (وتؤكد من أن جميع المكبرات قد ثبتت بإحكام على جوانبها) :

- منضبة قاعدة الميزور الضوئية والميزور .
- المنبع الواسدة الضوئية .
- ارتق الغطاء (1) بمنضبة قاعدة الميزور الضوئية (2) .
- وضع منضبة قاعدة الميزور الضوئية مع الواسدة الضوئية بشكل أفقي فوق طاولة التجربة ثالثة وثانية .
- وضع الميزور على مناد .
- وضع الميزور أقرب ما يمكن من الحرف الأيسر لمنضبة قاعدة الميزور الضوئية بشكل مستطيع مع من إطلاق الغطاء دون صعوبة .

- صل الليزر بالكهرباء ودور مفتاح التشغيل .
- حل عقد الأفتال الثلاثة ليزالات التشكيل الموجودة على حامل الليزر .
- عدل ارتفاع وميل الليزر باستعمال براز الامتصاصيل بحيث تسافر الحزمة بشكل أفقي عند ارتفاع يساوي 75 mm فوق صفيحة القاعدة (مع إبقاء مجال التشديلات أخرى) . استعمال المسطرة في قياس المسافة .
- شد عقد الأفتال بإحكام .



الشكل (٢) ترتيبات تجريبية تشكيل هولوغرامات الضوء الأبيض المتكسر على صفيحة قاسية قسرية الضوئية . منظر عاوي

(١) صفيحة قاعدة الليزر الضوئية ، (٢) غطاء ، (٣) عدسة كروية ، (٤) حامل الفيلم ، (٥) حامل

الجسم .

حامل الفيلم :

- أدخل قطعة من الورق الأبيض المقطوعة على القياس ضمن حامل الفيلم وضبح
- حامل الفيلم في مسار الحزمة وعلى بعد 25 - 30 cm من الليزر كما هو موضح في الشكل (٢) ، بحيث تضرب الحزمة مركز الورقة (مركز الفيلم فيما بعد) .

الحاسبة الكروية :

- ملاحظة : يمكن تغيير سطح المنطقة التي تضربها الحزمة الليزرية بتغيير المسافة بين حامل
- الفيلم وحامل العدسة الكروية . يمكن تدوير لوزغرام أن يتشكل عند نقاط الفيلم التي ترد عليها الحزمة

المرجعية . لذلك يجب أن تكون المنطقة المضاءة من الفيلم مساوية لسطح الجسم الذي نريد صنع مولوغرام له . ومن وجهة نظر أخرى يكون التعرض أكثر كثافة عندما يكون توسع الحزمة قليلاً . عندها يمكن جعل زمن التعرض أقصر وهذا يجعل كامل عملية المولوغرام أقل تعرضاً للاضطرابات المحتملة . يكون لتوعية الحزمة الموسعة أهمية في نوعية المولوغرام . لذلك يجب أن تكون الحزمة الموسعة عالية قدر الإمكان من أغيلة الانعراج والتي يسببها توجيه ضعيف أو سطوح قدرة أو مخزبة للعدسة .

- ضع العدسة الكروية (c) بين الليزر وحامل الفيلم بغاية توسيع الحزمة (الفتح الصغيرة لحامل العدسة باتجاه حامل الفيلم) .
- عدل موضع حامل العدسة وارتفاعه بحيث يمر الحزمة من العدسة وفق محورها الضوئي قدر الإمكان . ضع العدسة بعيداً عن الليزر بشكل تستطيع معه إغلاق الغطاء الواقى (b) (أنظر الشكل (٢) .

حامل الجسم :

- ثبت الجسم على حامله (e) باستعمال ذراع التثبيت .
- ضع حامل الجسم أقرب مايمكن من أن الفيلم كما في الشكل (٢) وتأكد من أن الجسم يعكس كثيراً من الضوء على الفيلم ، فالخزمة تضرب مركز الجسم والجسم منار بشكل جيد .
- تأكد من أنك مازلت تستطيع إغلاق الغطاء .
- حول الليزر إلى الاستطاعة 1 mW وتفحص نوعية ومسار الحزمة للحزمة الموسعة . وعند الضرورة أعد تعديل العدسة .

طريقة العمل :

- إدخال الفيلم : نستطيع استعمال مصباح الغرفة العاتم للمساعدة في تحديد الاتجاهات دون أن نوجه الضوء نحو الفيلم بصورة مباشرة .
- اقطع الكهرباء عن الليزر . (تجنباً لخطر التجربة خلال تعرض الفيلم لا يستم تشغيل الليزر بإدارة مفتاح تشغيل الليزر)

-استعمل إصبعك لتحريرك القاعدة الضوئية وأزل بحرص حامل الفيلم (d) من ترتيبات التعرية .

-عقم الغرفة .

-أحضر قطعة فيلم مناسبة للقياس من علبيتها وامسك الفيلم من حوافه كي لا تتخرب طبقة المستحلب .

-افتح ملقط حامل الفيلم باستعمال البرغي المخصص لذلك .

-أدخل قطعة الفيلم ضمن الحامل بحيث يقابل الوجه المطلي للفيلم الجسم المراد تصويره عندما تعيد حامل الفيلم إلى موضعه ضمن الترتيبات .
-ثبت الفيلم بلطف ضمن حامله بإغلاق الملقط .

-استعمل إصبعك لتثبيت القاعدة الضوئية وضع حامل الفيلم في مكانه ضمن الإعدادات .
-أغلق الغطاء .

التعريض لضوء الليزر :

يرتبط زمن التعريض الأمثل بتوسيع حزمة الليزر على الجسم وكذلك بتوسع الهولوغرام ، ويجب تعيينه تجريبياً . ففي حالة هولوغرام الطور واستطاعة ليزرية مقدارها 1 mW يمكن إبقاء التعريض مدة تتراوح بين ثانية واحدة وثلاث ثوانٍ كتقريب أولي . أما في حالة هولوغرام السعة يكون زمن التعريض أقصر ثلاث إلى أربع مرات . يمكن الوصول إلى استقلالية ليزرية صغرى مقدارها 0.2 mW باستعمال مرشح رمادي ، مما يقلل من نوعية هولوغرام بسبب ظواهر تداخلية إضافية وزيادة زمن التعريض بمقدار خمس مرات .

- انتظر مدة خمس دقائق لسمح للفيلم والإعدادات بالاستقرار .
- لا تفعل خلال فترة التعريض أي شيء يسبب الاضطراب للتجربة الداخلية على سطح الفيلم .
- عرض الفيلم للحزمة الليزرية بتشغيل وإغلاق الليزر من القاطعة الكهربائية أي دون هز التشكيل .
- افتح الغطاء وأبعد حامل الفيلم عن التجربة واسحب الفيلم بفتح الملقط . إمسك الفيلم من حوافه .

معالجة الفيلم :

معلومات إضافية ؛

تكون هولوغرامات الطور أكثر حساسية للضوء من هولوغرامات السعة الثابتة ، وبالتالي تخفت بسرعة أكبر ويمكن تحسين استقرارها الضوئي بغمسها في سائل ناتج من حل 2.5 g مسن يود البوتاسيوم KI في لتر من الماء . وتعطي هذه العملية لوناً أصفر للهولوغرام . عند صناعة الهولوغرام لا يكون تعامد الفيلم مع الحزمة النيزية ضرورياً . فعندما يعبر الفيلم لا تنبهر عين الناظر بانعكاسات ضوء المنبع على سطح الفيلم عند إعادة بناء الصورة . ويكون تعرض الفيلم للضوء في هذه الحالة أكثر فعالية على كامل عرض الفيلم .

التجربة الحادية عشر

تداخل الضوء

الهدف من التجربة :

تحديد طول موجة الضوء باستعمال نموذج التداخل الناتج من :

١- مرآتي فريزل.

٢- موشوري فريزل

الأدوات المستعملة :- موشورا فريزل - طاولة الموشور مع الحامل - مرآتا فريزل

- عدسة مثبتة $f = +20 \text{ mm}$ - عدسة مثبتة $f = +300 \text{ mm}$

- حامل العدسة - حوامل متحركة - جسر ضوئي $L = 1000 \text{ mm}$

- قاعدة معدلة للجسر الضوئي - ليزر هيليوم-نيسون 1.0 mW

- مسطرة قياس $h = 2 \text{ m}$

المبدأ المستخدم : يتقسم مصدر موجة الحزمة الضوئية إلى حزمتين عند مرآتي فريزل أو موشوري فريزل ثم تداخل الحزمتان لإنتاج نموذج التداخل . ويتم تحديد طول موجة الحزمة مسبقاً بنموذج التداخل.

عندما تسقط حزمتان ضوئيتان (متراكبتان) فيما طول الموجة نفسه λ وبينهما فرق ثابت في الطور ، على نقطة ما P فإنهما تتداخلان وعند ثقل طول شعاع الانتشار ونفس الانحناء λ بالعلاقة $(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot S_1 - S_2)$ حيث تمثل S_1 S_2 الأطوار ، وتعطى شدة ذلك الشعاع بالعلاقة : $I = S_1 + S_2$ ، لم نجد وفقاً لمبدأ التراكب أن :

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\delta) \quad (1)$$

حيث $\delta = \delta_1 - \delta_2$ ، فوفقاً للعلاقة (١) تأخذ الشدة I قيمة عظمى وأخرى صغرى تبعاً لفرق الطور δ . ففي حالة مرآتي فريزل يسقط الضوء من المنبع الضوئي Q على مرآتين عميل إحداهما على الأخرى بزاوية مقدارها α ، ويشاهد نموذج التداخل على الشاشة S . يمكن استبدال المنبعين الوهميين المترابطين Q_1 و Q_2 بالمصولين بالمسافة d ، بالمنبع Q والمرآتين . إذا كانت المسافة r بين المنبع Q والفصل المشترك للمرآتين A ، فنجد وفقاً للشكل (٢) أن :

$$AQ_1 = r \quad \text{و} \quad d = 2r \sin \alpha$$


الشكل (٢) ترتيبات هندسية مع مرآتي فريزل .

إذا كانت المسافة a بين الشاشة والمرآة كبيرة بالمقارنة مع المسافة بين المصادر المستعملين يكون تقريب مقبول :

$$r_2 = r_1 = a \quad \text{و} \quad r_2 - r_1 = pd/a \quad \text{ومن:} \quad (r_2 - r_1)(r_2 + r_1) = a^2 - r_1^2$$

$$\delta = 2\pi \cdot \frac{r_2 - r_1}{\lambda} = \frac{2\pi pd}{\lambda a} \quad \text{مساوياً:} \quad r_1 = 2pd$$

رتبع وفقاً للعلاقة (١) الشبكات النظمي (الأهداب البنية) على الشاشة عند مسافات تساوي :

$$p = n \cdot \frac{\lambda a}{d}, \quad a = 0, 1, 2, \dots \quad (٢)$$

كما تتبع النهايات الصغرى (الأهداب المظلمة) عند مسافات تساوي :

$$p = \left(n + \frac{1}{2}\right) \cdot \frac{\lambda a}{c} \quad , \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (3)$$

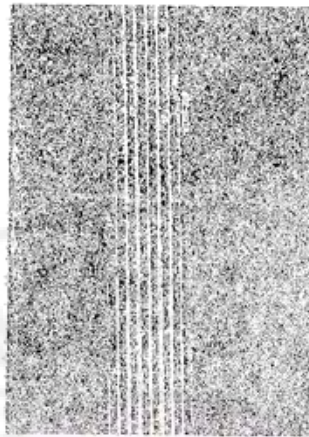
كثرت المسافة d بين المنبئين الوهميين بإسقاط خيالي واضح خطين المنبئين على الشاشة مستعملين علاقة بينها الفترتي f وقطع طول الخيال B . إذ $\frac{1}{g} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$ وكذلك حيث g و b هما بعدا الجسم والخيال عن الشاشة على الترتيب.

$$\frac{g}{b} = \frac{d}{B}$$

$$d = \frac{B \cdot f}{b - f} \quad (4)$$



الشكل (١) تزيينات هندسية مع موشوري فربال .



الشكل (٤) نموذج التداخل الناتج من مرآتي فريزل .

فمن الشكل (٤) والمعادلتين (٢) و (٣) تم تعيين القيمة المتوسطة لطول الموجة من القياسات المختلفة المقابلة لروايا ميل مختلفة بين المرآتين . ففي الحالة المقابلة لـ $n = 1$ والعلاقة

$$(٢) \text{ يكون } p = \lambda a/d \text{ أو } \lambda = dp/a \text{ وبما أن } d = \frac{B \cdot f}{b - f} \text{ وجيث}$$

a هو البعد الهدي (المسافة بين مركزي هذين متتاليين من النوع نفسه) . نجد : $\lambda = 626.5 \text{ nm}$.

في حالة موشوري فريزل تتعين المسافة d بالطريقة التي عينت بما في مرآتي فريزل نفسها أي باستعمال المعادلة (٤) . وتطبق المعادلة (٣) من أجل المسافة p بين أمثاب التداخل في حالة إهمال سمك الموشور وتأثير قرينة انكسار الماء . فباستعمال العلاقات (٤) و (٣) و (٢) تم تعيين قيمة λ فكانت : $\lambda = 624.0 \text{ nm}$. أما قيمة القياسية فهي : 632.8 nm .

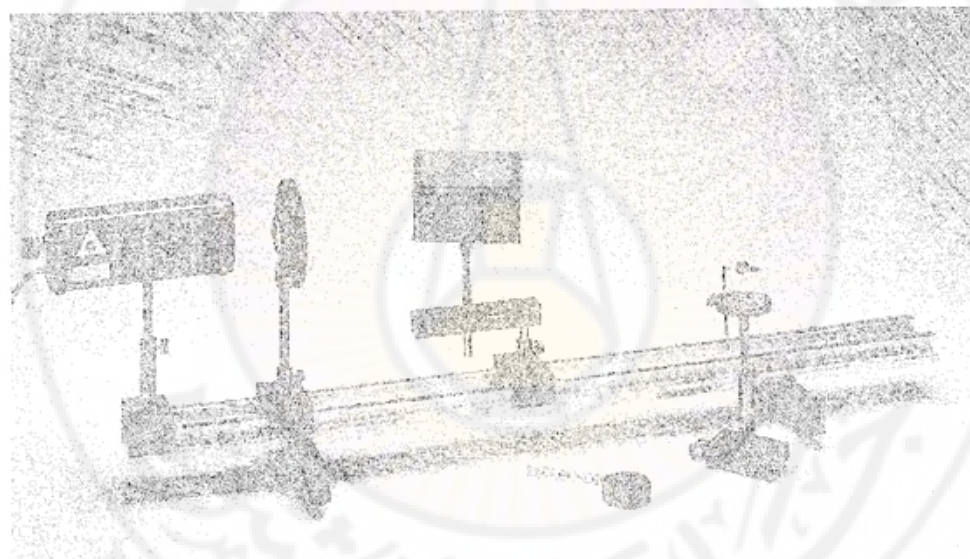
طريقة العمل :

١- يظهر الشكل (١) ترتيب الأداة في تجربة توليد نموذج التداخل باستعمال مسرأتي فريزل . يوضع الليزر (2 cm) ، وحامل العدسة مسرع العدسة $f=20 \text{ mm}$ (23.3 cm) ، والحامل مع مرآتي فريزل (43.2 cm) على الجسم الضوئي . ويستعمل سطح خفيف كشاشة تبعد عن المرآتين مسافة تتراوح بين مترين وخمسة أمتار .

٢- يتم ضبط المرآتين قبل بدء التجربة بحيث تكونان متساويتين تقريباً . ويوجه سطحهما بشكل مواز للمحور الضوئي . ويعدل الليزر بحيث تسقط حزمته على المرآتين بالتساوي

٣- يجب أن نرى بقعتين ضوئيتين على الشاشة تفصلهما منطقة مظلمة . تدار بسرعات التعديل مرآيا فرينل كي تراكب البقعتان الضوئيتان .

ونلاحظ عند ذلك على الشاشة نموذج التداخل وعلاقته بزاوية الميل بين المرآتين . ويجب أن يظهر النموذج مماثلاً للشكل (٤) .



الشكل (١) ترتيب التجربة في إنتاج التداخل باستعمال مرآتي فرينل .

تحذير : لا تنظر أبداً بصورة مباشرة نحو مصدر الحزمة في جهاز الليزر .

٤- ويكون ترتيب الأجهزة في تجربة موشوري فرينل مشابه للشكل (١) . فيوضع على الجسر الضوئي إضافة لليزر والعدسة الأولى ، حامل مترق يحمل طاولسة الموشور وعليها الموشور (45 cm) ، وحامل العدسة وعملية عدسة بعدها المخري $f=300\text{ mm}$ (60 cm) . تسقط الحزمة الموسعة على الحرف المركزي

للموشور . وبمساعدة العدسة الثانية يكون للمنبعين الوهميين خيالان على شاشة
عظيفة تبعد مسافة ثلاثة أمتار عن الموشورين .

- ويتم قياس المسافة بين البقعتين الضوئيتين على الشاشة ، وبعد الخيال (المسافة بين
الخيال والعدسة المشكلة له) ، وبعد الجسم (المسافة بين العدستين مطروحاً منها
البعد المحرق للعدسة الأولى) . إذا أزيلت العدسة الثانية وبقي نموذج التسداخل
موجوداً نقيس المسافة بين الأهداب التداخلية المتتالية .

التجربة الثانية عشر

حلقات نيوتن

اشاهد من التجربة :

استعمال جهاز حلقات نيوتن لقياس أقطار الحلقات من أجل أمواج مختلفة ، ثم :

١ - تعيين طول الموجة في حالة نصف قطر تقوس معلوم لوجه العدسة .

٢ - تعيين نصف قطر تقوس وجه العدسة في حالة طول موجة معلوم .

الأجهزة والأدوات المستخدمة :

- جهاز حلقات نيوتن - عدسة محمولة $f = +50 \text{ mm}$ - ثلاثة مرشحات تسدائل

- شاشة شفافة - مصباح زئبقي عالي الضغط - وحدة تغذية للمصباح

- مكثف مضاعف $f = 60 \text{ mm}$ - حامل عدسة - حوامل منزلقة - جسر ضوئي

المبدأ النظري : يتداخل الضوء المترابط وحيد اللون في الصفيحة الرقيقة من الهواء الموجودة بين

السطح المحدب للعدسة المستوية المحدبة والصفيحة الزجاجية المستوية في جهاز حلقات نيوتن ويظهر

نموذج التداخل على شكل حلقات مضيئة تتناوب مع حلقات مظلمة . يتعين طول الموجة للضوء

المستعمل من أنصاف أقطار حلقات التداخل .

عندما تتراكب موجتان لهما التواتر نفسه ومستوي الاستقطاب نفسه (متراپتان) ، بينهما فرق

ثابت في الطور (ناتج من مسارين مختلفين أو انعكاس زجاجي أو كليهما) ، تحدث ظاهرة

التداخل . فمن أجل زاوية فتحة محدودة γ وضوء طول موجته λ مغادر لسطح قطره a

ومحقق لشرط الترابط $a \cdot \sin \gamma \ll \lambda/2$ يمكن لنموذج التداخل الذي يختلف فيه السطوع

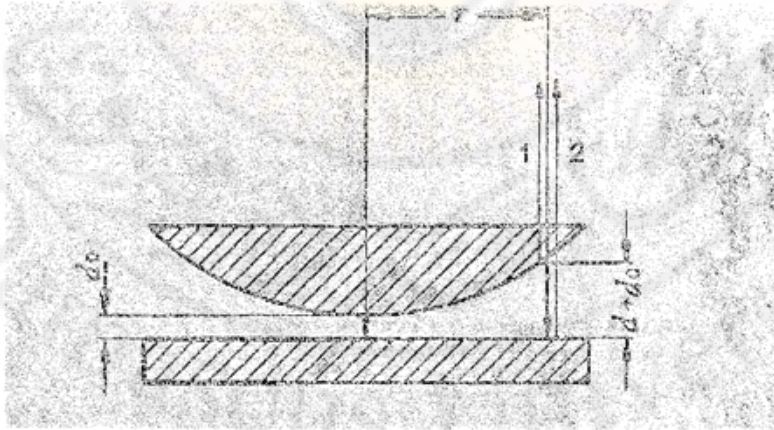
في الأماكن المختلفة أن يظهر .

تحدث حلقات نيوتن نتيجة تداخل ضوء وحيد اللون ضمن طبقة رقيقة تقع بين السطح المحدب للعدسة والصفيحة الزجاجية المستوية . يصل الشعاع ١ إلى الجانب السفلي للعدسة و يتداخل مع الشعاع ٢ المنعكس على الوجه العلوي للصفيحة (أنظر الشكل (٢)) .

يكون سمك طبقة الهواء عند موضع يبعد مسافة x عن نقطة التقاء العدسة والصفيحة مساوياً $D = d + d_0$. وبسبب عدم وجود نقطة التقاء مثالية يجب أخذ d_0 في الحسبان . وتكون موجبة عند وجود فرة غبار مثلاً بين العدسة والصفيحة ، وسالبة عندما يكون الضغط أكبر . لذلك يكون فرق المسير الفعلي δ' بين الشعاعين المتداخلين مساوياً : $\delta' = 2(d + d_0)$.

بالإضافة إلى فرق المسير يطفي الشعاع المنعكس على الصفيحة الزجاجية انزياحاً في الطور مقداره π نتيجة الانعكاس على السطح المتجهل بين وسط أقل كثافة وآخر أكثر كثافة وهو ما يدعى بالانعكاس الزجاجي . وهذا الأثر يكافئ فرقاً في المسير مقداره $\lambda/2$. أي أن فرق المسير الظاهري يساوي

$$\delta = 2(d + d_0) + \lambda/2$$



الشكل (٢) توليد حلقات نيوتن .

فهي تتألف من الداخل المظلم أي حالة الحلقات المظلمة يكون فرق المسار مساوياً لعدد فردي من أنصاف الأطوال الموجية أي :

$$\delta = 2(d + d_0) + \lambda/2 = (n + 1/2) \lambda$$

أو

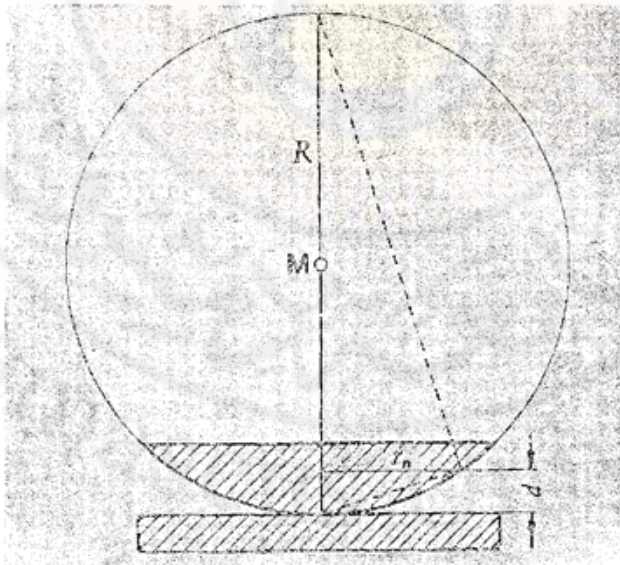
$$2(d + d_0) = n \lambda$$

(١)

ووفقاً للشكل (٣) لدينا العلاقة :

$$d \cdot (2R - d) = r_n^2 \quad (٣)$$

بين أنصاف أقطار الحلقات المظلمة r_n ، ومنك الطبقة d ، ونصف قطر تقوس وجسم العدسة المنحني R (وفي الحالة المثالية يكون $d_0 = 0$)



الشكل (٣) الهندسة المستعملة في تعيين السماكة d .

وفي حالة العدسات ذات التحدب الضئيف $R \ll a$ ، ومن أجل الحلقات المظلمة ، باستعمال العلاقتين (٢) و (٣) نجد :

$$r_n^2 = nR\lambda \pm 2d_0 R \quad (٤)$$

طريقة العمل :

يبين الشكل (١) ترتيب الأجهزة المستعملة في تجربة حلقات نيوتن . فيوضع المصباح الزئبقي عالي الضغط مع المكثف المضاعف ذي البعد المحرقى 60 mm ، ثم حامل العدسة مسع مرشح التداخل ، وجهاز حلقات نيوتن ، وحامل العدسة مع العدسة ذات البعد المحرقى 50 mm ، تليها الشاشة الشفافة بحيث تبعد عن العدسة مسافة 40 cm ، توضع جميعها وفق الترتيب المذكور على الجسر الضوئي . نضبط المسار الضوئي في بادئ الأمر ، بدون مرشحات اللون ، إلى أن تظهر الحلقات على الشاشة . ثم ندخل المرشح الأصفر في حامل العدسة ونحمل البرفة مظلمة . ويتدوير بزالات التعديل الثلاثة الموجودة على جهاز حلقات نيوتن نحرك العدسة المستوية المتحاربة فوق الصفيحة الزجاجية المستوية بحيث يكون المركز الساطع للحلقات التداخل متطابقاً على منتصف السلم المليمترى الظاهر على الشاشة . وعند القيام بهذا التعديل تأكد من أن العدسة والصفيحة الزجاجية في بداية التلامس . وهذا يحصل عندما لا تخرج أي حلقة من مركز الحلقات نتيجة شد البزالات الموجودة على جهاز حلقات نيوتن . تقاس بعد ذلك أنصاف أقطار الحلقات r_n من أجل مرشحات تداخل مختلفة باستعمال الإحداثيات الملائمة .



الشكل (١) ترتيب تجربة تعيين طول الموجة باستعمال حلقات نيوتن ..

١- نأخذ جدولاً نعين فيه ترتيب الحلقة n مع قياس المسافة x من أجل أطوال موجة مختلفة .

٢- ارسم تحويلات مربع أنصاف أقطار حلقات التداخل x^2 كنابع لرتبة الحلقة n من أجل أطوال موجة مختلفة .

ملاحظة : تشاهد حلقات نيوتن في الترتيبات الموصوفة في هذه التجربة. مراقبة التماسيح العابر بآلة حلقات نيوتن . وتكون حلقات التداخل متممة للحلقات المشاهدة في الضوء المعكس على البهارة . وفي الحالة الثانية نعد الحلقات المضيفة وليس المضلعة .



التجربة الثالثة عشر مفعول كير الكهرو بصري

الهدف من التجربة :

- 1- تسجيل فرق الطور بين الشعاعين العادي والغريب لحزمة ضوئية تعبر بلورة PLZT لدى تطبيق جهود كهربائية مختلفة عليها أي حقول كهربائية مختلفة الشدة . وتعيين جهد نصف الموجة $\lambda/2$ الجهد الذي يقابل فرقاً في الطور مقداره π
- 2- حساب ثابت كير وذلك برسم الخط البياني الممثل لمربع الجهد المطبق كتابع لفسرق الطيور بين الشعاع العادي والغريب، سنجد أن العلاقة بين المقدارين هي علاقة خطية تقريباً . ويكون ثابت كير هو ميل الخط المستقيم .

الأجهزة والأدوات :

بين الشكل ١ الأجهزة والأدوات المستخدمة في هذه التجربة

- خلية كير (تضم بلورة من العنصر PLZT) - مرشح استقطاب - وجهد -
- تغذية عالية الجهد 0-10kV قاعدة ثلاثي الجسر الضوئي - ليزر (هيليوم-نيون)
- 220V AC, 1.0mW - كاشف ضوئي

- جسر ضوئي طوله $L=60\text{ cm}$ - مضخم قياس شامل - حوامل متحركة - مقياس رقمي متعدد

المبدأ النظري :

PLZT هي بلورة من مادة سيراميكية تتكون من محلول صلب من تيتانات الرصاص PbTiO_3 وزرعات الرصاص PbZrO_3 المنحل في اللاتيموم، تبدي هذه البلورة مفعول كير الكهربائي

electrooptical kerr effet ، وهو المفعول الذي يعبر عن تغير قرينة انكسار بأسورة معينة عندما تخضع لحقل كهربائي، ويتناسب هذا التغير طردياً مع مربع شدة الحقل المطبق ، ويطلق على هذا المفعول أيضاً اسم الانكسار المضاعف الكهربائي electrooptical birefringence .

تدعى الموجة الضوئية ذات الحقل الكهربائي الموازي للحقل الكهربائي المطبق بالحزمة الغريبة بينما تدعى ذات الحقل الكهربائي المعامد للحقل الكهربائي المطبق بالحزمة العادية . فإذا رمزنا لقرينة الانكسار المقابلة للحزمة الغريبة بالرمز n_{ao} ولقرينة الانكسار المقابلة للحزمة العادية بالرمز n_o والمسافة التي يقطعها الضوء داخل العنصر PLZT بالرمز l ، فيكون فرق المسير الضوئي بين الموجتين مساوياً :

$$l(n_{ao} - n_o)$$

وهذا يقابل إزاحة في الطور مقدارها :

$$\Delta = \frac{2\pi}{\lambda} l(n_{ao} - n_o) \quad (1)$$

حيث λ هو طول موجة الضوء في الخلاء ويساوي في حالتنا $\lambda = 633 \text{ nm}$. كما أن إزاحة الطور تتناسب مع الطول l ومع مربع الاستقطاب P وهو تسابع خطي لشدة الحقل الكهربائي المطبق E ويكون ثابت التناسب من الشكل $2\pi k$. وبالتالي نحصل على العلاقة :

$$\Delta = 2\pi k E^2 \quad (2)$$

ويدعى k بثابت كير .

يمكن التعبير عن شدة الحقل المطبق E بدلالة الجهد المطبق U والمسافة بين القطبين d أي :

$$E = \frac{U}{d} \quad (3)$$

وتعطى شدة الإضاءة I خلف المحلل في حالة تجربتنا (حيث يتعامد محوري المقطب والمحلل ويصنع كل منهما زاوية مقدارها 45° مع الحقل الكهربائي المطبق على العنصر PLZT) من العلاقة :

$$I = I_0 \sin^2 \frac{\Delta}{2} \quad (4)$$

، والمحلل متوازنين وتكون شدة

ن على العلاقة :

$$I = I_0 \sin^2 \left(\frac{\pi x}{d} \right)$$

$$I^2 = \frac{d^2}{\pi k l} \cdot \omega T e$$

ن نحصل على خط مستقيم تقريباً $\Delta = 2 \cdot a$

ن ذلك المستقيم لأن الأبعاد الهندسية I و d خطية كير (العنصر

يسقط على محور شدة اللون ذو استقطاب شاقولي على العنصر PLZT (مؤلف من

الرصاص واللاتانيوم والترونتيوم والقصدير) الموضوع ضمن حافظته بزاوية 45^0 مع الشاقول .

يصبح العنصر PLZT عند تطبيق حقل كهربائي عايق مضاعف الانكسار . ويتم

تسجيل فرق الطور بين الشعاع العادي والشعاع العريب بعد مرورهما بالعنصر PLZT كنسابع

للمجهود الكهربائي المطبق ونجد أن فرق الطور هذا يتناسب مع مربع شدة الحقل الكهربائي المتناسب

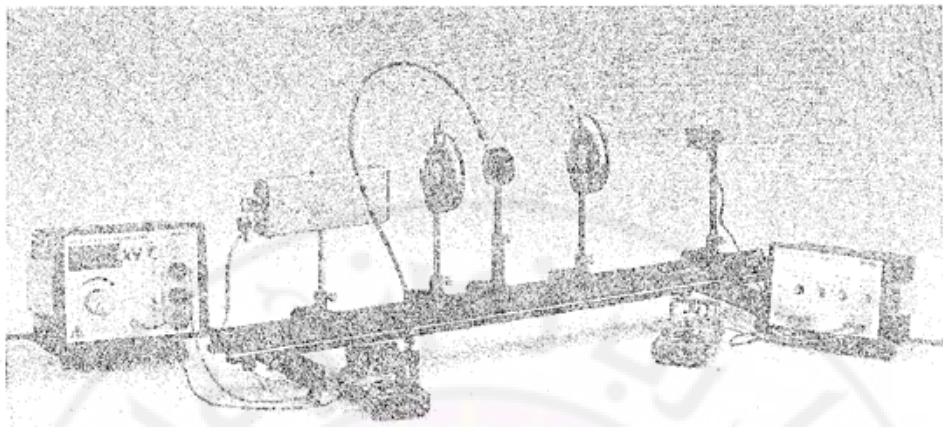
للمجهود المطبق . وبحسب ثابت كير للعنصر PLZT من ثابت التناسب بين فرق الطور ومربع

شدة الحقل .

كان الترونتيوم في الماضي وسيلة إيضاح معتادة للقول كير ، وبسبب سميته الشديدة

وحاجته إلى جهد عال من مرتبة kV ، أصبح العنصر PLZT الذي يحتاج إلى بضع مئات من

الفولط بديلاً مقبولاً له .



الشكل (١) ترتيب الأجهزة في تجربة مفعول كير

طريقة العمل :

- يتم ترتيب الأجهزة في التجربة التي توضح مفعول كير الكهربائي كما هو في الشكل (١)
- يوصل العنصر PLZT مباشرة إلى وحدة التغذية عالية الجهد متجهين إلى عدم تجاوز المجال بين 0 و 1000 V وذلك باستعمال مقياس كمون رقمي عالي الدقة يوصل على التفرع بين مربضي وحدة التغذية . لا تتجاوز 1000 V لأن ذلك يتلف العنصر PLZT .
- مصدر الضوء هو الليزر He/Ne باستطاعة مقدارها 1 mW . ويجب تشغيل الليزر قبل ساعة من بدء قياس شدة الحزمة كي تصل إلى استطاعة الصادرة إلى حالة الاستقرار . وأكثر من ذلك فبعد كل تغير ملحوظ في الجهد المطبق على العنصر PLZT يجب الانتظار مدة خمس دقائق لنسمح للبنية البلورية أن تتكيف على الجهد . ومن ثم نقرأ شدة الإشعاع . وغني عن القول أن تنفيذ القياسات يجب أن يتم في غرفة مظلمة . كما يجب الأخذ في الحسبان الجزء غير المستقطب من الضوء (الخلفية الإشعاعية) . كما ترتبط القيم المقاسة بتاريخ العنصر PLZT . كما أن عدد النهايات العظمى الملتقطة قد تتغير من عنصر إلى آخر

تحذير : لا تنظر أبداً بصورة مباشرة إلى مصدر الحزمة الليزرية .

يوضح الشكل (١) أن الضوء القادم من الليزر والمستقطب شاقولياً بعد مروره بالمستقطب ، يسقط على العنصر PLZT والذي وضع في حافضته بحيث يصنع زاوية مقياسها 45^0 مع

الشاقول . يمكن عد الموجة المستقطبة خطياً والواردة على العنصر PLZT كترانسديوسر موجتين انتقازيتين متفتحتين في الطور ومستقطبتين خطياً ، يكون الحقل الكهربائي لإحدهما (وتدعى بالضوء العادي) موازياً للمستوي المتشكل من العنصر PLZT والحقل الكهربائي المطبق عليه ، والحقل الكهربائي للثانية (وتدعى بالضوء الغريب) معامداً لذلك المستوي .

تعبّر الموجتان الضوئيتان العنصر PLZT بسرعتين مختلفتين . وتتأخر موجة الضوء العادي بالنسبة لموجة الضوء الغريب ، ويحدث فرق في الطور بين الموجتين ويكون الضوء الذي عبر خلية كير (العنصر PLZT) مستقطباً استقطاباً اهليجياً" . وتظهر هذه النتيجة في المحلل الموجود خلف خلية كير بزواوية تساوي 90^0 مع المقطب ، الذي لم يعد يستمكن من إطفاء الضوء المستقطب .

ومن أجل فرق في الطور بين الموجتين مقداره π (وهذا يقابل فرقاً في المسير مقداره $\lambda/2$) تتراكب الموجتان بعد مرورهما عبر خلية كير لتشكلا موجة خطية مستقطبة . يكون الحقل الكهربائي لهذه الموجة المستقطبة خطياً معامداً لحقل الموجة الواردة أي يصنع زاوية مقدارها 90^0 مع الشاقول . لذلك يدعى الجهد الكهربائي المطبق على خلية كير في هذه الحالة بالجهد نصف الموجي . وتظهر شدة الضوء خلف المحلل الذي يصنع زاوية مقدارها 90^0 مع المقطب قيسة عظيمة . ويستعمل ثنائي ضوئي photodiode من السيليكون مع مضخم للكشف عن شدة الإضاءة خلف المحلل .

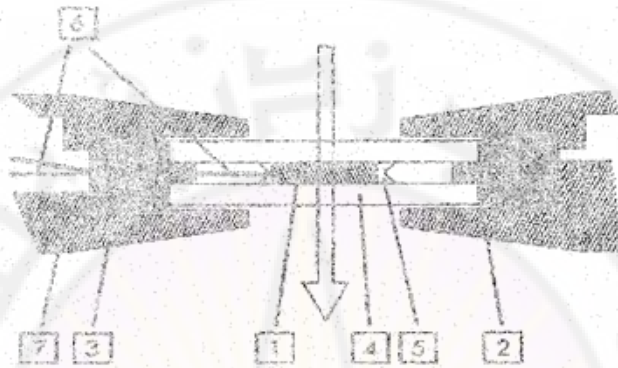
اكتشف كير في عام 1875 أن صفيحة الزجاج تصبح مضاعفة الانكسار (غير متماثلة المناحي) عند إخضاعها لحقل كهربائي قوي . وأصبح واضحاً بعد ذلك أن هذا الأثر لا ينسند إلى التشويه الذي يسببه الحقل الكهربائي فقد لوحظت هذه الظاهرة في السوائل والغازات .

يتميز العنصر PLZT المستعمل في هذه التجربة بأن الانكسار المضاعف والمصدر عنسه بنات كير ، أكبر بمرتبتين من حالة الترويزن ، وأن جهداً من مرتبة عدة مئات من الفولتات يعد كافياً لدراسة الآثار الكهربائية لهذا العنصر السيراميكي . وهو شفاف للأطوال الموجية الواقعة بين $0.4 \mu\text{m}$ و $5.5 \mu\text{m}$ ويوصف تركيبه الكيميائي بالصيغة



وبالنسبة لتمرير الضوء يسلك العنصر PLZT سلوكاً متعدد البلور . ففي الحالة $\lambda=633\text{nm}$ تكون نسبة التمرير أكثر من 60% . كما يسلك بالنسبة للمحقل الكهربائي المطبق سلوك المواد الحديدية المغنطة الخاضعة للمحقل المغناطيسي . إذ يوجد ضمن العنصر PLZT بحالات بلورية

مستقطبة تنمو أو يعاد توجيهها بالحقول الكهربائية المطبق . وهذه الطريقة تصبح العنصر غير متماثل المناحي صوتياً وبالتالي ذا انكسار مضاعف . وبالنسبة للتكثيف الكهربائي المذكور أعلاه ، تجدر الإشارة إلى أن هذا العنصر يستطیع التعامل مع تواترات لا تصل إلى 100 kHz .



الشكل (٢) مقطع العنصر PLZT

يظهر الشكل (٢) مقطع العنصر PLZT . يكون العنصر الفعال ١ على شكل متوازي مستطيلات إرتفاعه 8 mm وطوله 1.5 mm وعرضه 1.4 mm . يمثل العرض المسافة بين القطبين حيث تعطى شدة الحقل الكهربائي بقسمة الجهد المطبق على المسافة بين القطبين ، أما مسار الحزمة الصوتية ضمن العنصر فيساوي طول العنصر . يوضع العنصر الفعال ١ ضمن كبسولة من السيليكون ٢ وإختام العازل ٣ وتلصق بين صفيحتين زجاجيتين ٤ ، ويستعمل بلسم كنسدا كلاصق صوتي ٥ ، ويثبت السلكان ٦ على وجهي قطبي العنصر ويربطان مع قابس مسن الموسع BNC على الإطار ٧ .

الاجراء

١ - قس الشدة النسبية لخلف المحلل كتابع للجهد U المطبق على العنصر PLZT وارسم المنحني الممثل لها.

٢ - ارسم المنحني الذي يمثل مربع الجهد المطبق على العنصر PLZT كتابع للإزاحة الطورية بين الحزمة العادية والغريبة . وباستعمال المعادلة (٦) مسج القسم $d = 1.4$ و $l = 1.5$ mm نحصل على قيمة ثابت كير K والذي يمثل ميل المنحني .

التجربة الرابعة عشر

قانون مالوس

الهدف من التجربة :

١- تحديد مستوى الاستقطاب للحزمة الليزرية .

٢- تحديد شدة الضوء المار من مرشح الاستقطاب كتابع للموضع الزاوي للمرشح .

٣- التحقق من صحة قانون مالوس .

الأجهزة الأدوات المستعملة :

- ليزر هليوم - نيون 1.0 mW , 220 V AC - جسر ضوئي - مرشح استقطاب
مع مقياس زوايا - كاشف ضوئي - مقياس رقمي متعدد

المبدأ النظري :

يمر ضوء مستقطب خطياً عبر مرشح استقطاب ، تتغير شدة الضوء المار من المرشح كتابع للزاوية التي يصنعها محور المرشح مع مستوى استقطاب الضوء الوارد .

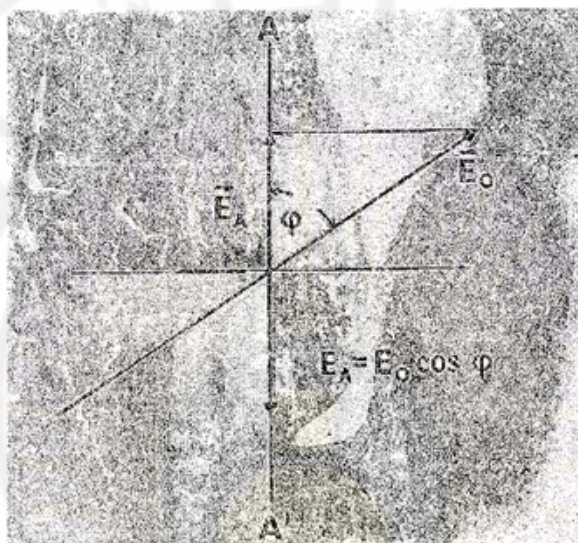
ليكن AA' يعبر عن مستويات استقطاب المحلل في الشكل (٢) فإذا ارتطم الضوء المستقطب خطياً والذي يصنع مستوية الاهتزازي الزاوي φ مع مستوى استقطاب المرشح ، فلا تمر من هذا الأخير الا المركبة :

$$E_A = E_0 \cos \varphi \quad (١)$$

وبما أن شدة الموجة الضوئية I تتناسب طردياً مع مربع سعة الحقل الكهربائي E تكون هذه الشدة مساوية

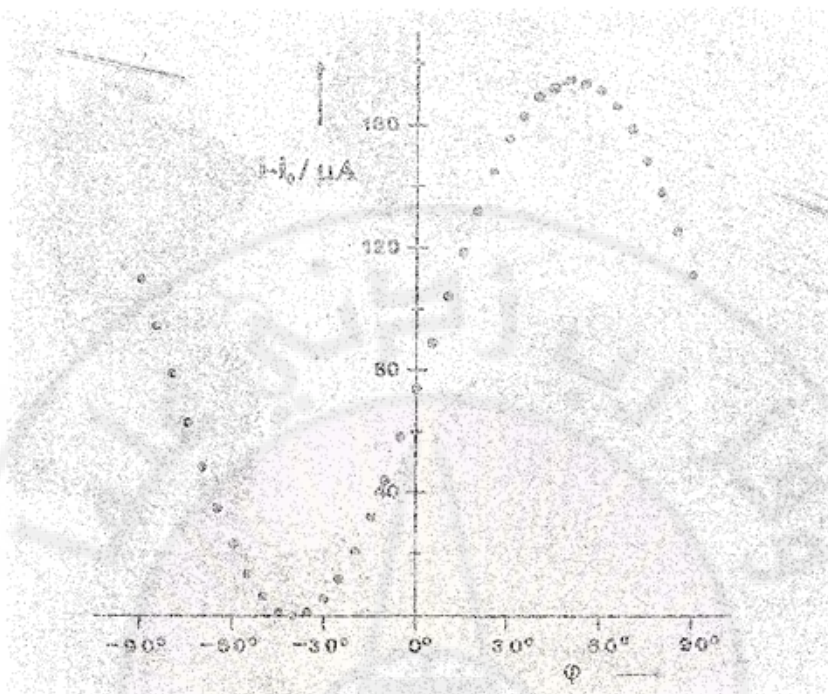
$$I_A = I_0 \cos^2 \varphi \quad (2)$$

وهو ما يعرفه بقانون مالوس .



الشكل (٢) رسم هندسي لتحديد شدة الضوء المارة من المحلل .

يبين الشكل (٣) تبار الخلية الضوئية بعد تصحيح الخلفية (ومثل قياس شدة الضوء للشارع من المحلل) كتابع للموضع الزاوي لمستوي استقطاب المحلل . وتشير النهاية العظمى للشدة عند الزاوية $\varphi = 50^\circ$ إلى أن مستوي استقطاب الحزمة الليزرية قد دار نتيجة مروره بالمحلل ووضع ربع الشاقول زاوية مقدارها 50° .

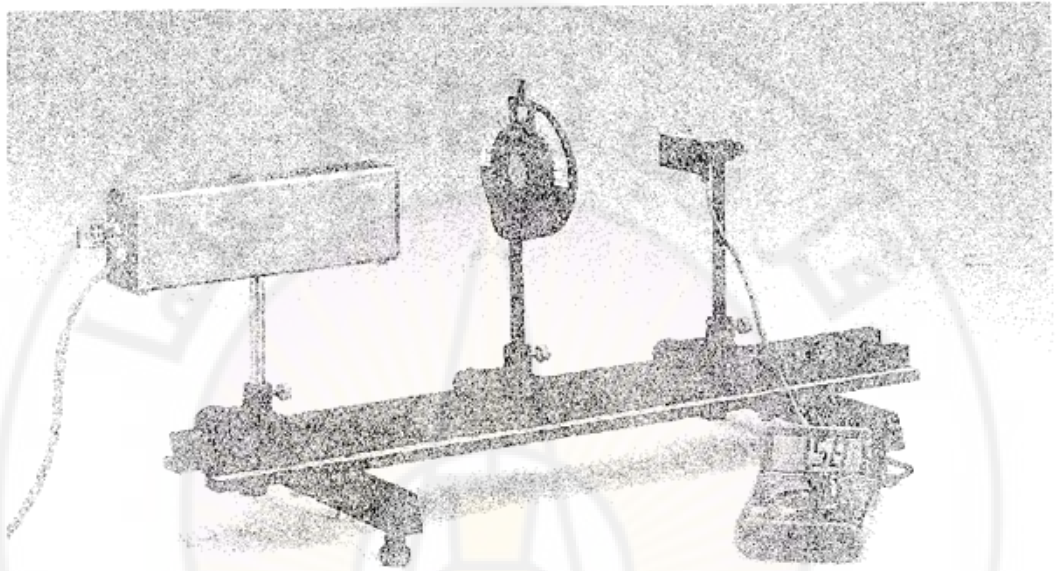


الشكل (٣) تيار الخلية الضوئية المصحح كتابع للموضع الزاوي ϕ لمستوي استقطاب المحلل.

طريقة العمل :

- ترتيب الأجهزة وفقاً للشكل (٤) .
- يجب التأكد من تسليط الحزمة الليزرية على كامل الخلية الضوئية بعد مرورها عبر المرشح .
- إذا تم إجراء التجربة في غرفة غير مظلمة يجب أخذ تيار الإشعاع الخلفي I_0 في الحسبان عند إجراء الحساب، وهو تيار يمكن تعينه في حالة كون الليزر مطفأ .
- يجب تشغيل الليزر مدة 30 دقيقة لتحميته قبل بدء التجربة تجنباً لانحرافات شدة الحزمة غير المرغوبة .

- يتم تدوير مرشح الاستقطاب على خطوات تساوي كل منها 5^0 بين موضعين المرشح 90^0 ويعين تيار الخلية الضوئية المقابل لكل موضع مستعملين أكسمر بحالات التيار حساسية في المقياس الرقمي المتعدد .



الشكل (٤) ترتيب الأجهزة في تجربة قانون مالوس .

- نظم جدولاً تبين فيه قيم خرج الحساس مع زاوية الاستقطاب (0^0 حتى 90^0)
- ارسم تحويلات تيار الخلية الضوئية المصحح ($i - i_0$) كناتج للموضع الزاوي ϕ لمستوي استقطاب المحلل.
- ارسم تحويلات تيار الخلية الضوئية تيار الخلية المصحح ($(i - i_0) / i_{max} - i_0$) كناتج ل $\cos^2 \phi$
- ماذا تستنتج ؟ (صحة قانون مالوس) لتعيين مستقيم مالوس في الشكل (٤) بحسب اعتبار الزاوية 50 لمستوي استقطاب المحلل مقابلة للزاوية $(\phi = 0)$.

التجربة الخامسة عشر

علاقة الإنارة بالبعد عن المنبع

الهدف من التجربة :

- ١- تعيين الإنارة الصادرة عن منبع ضوئي نقطي كتابع للبعد عن المنبع .
- ٢- التحقق من قانون التربيع العكسي برسم الإنارة كتابع لمقلوب مربع البعد عن المنبع .

الأجهزة المستعملة :

- وحدة كوبري ٣ أساسية
- وحدة تغذية كهربائية 12 V
- برنامج قياسات كوبري ٣
- وحدة تغذية 0...12 V
- قاعدة اسطوانية
- موزع
- متر قياس
- ثنائي ضوئي PEK
- وحدة مصباح 6 V/S A
- حساس حركة مع الكبل
- حاسوب شخصي windows

المبدأ النظري :

ترتبط مقادير الإنارة ارتباطاً خطياً مع مقادير الطاقة وفق معامل ثابت يتعلق بطول الموجة وهو معدوم خارج منطقة الطيف المرئي كما يرتبط بعوامل عديدة منها حالة العين من التعب والراحة ، وشدة الإنارة ، ويدعى بمعامل الإبصار k_λ . فيقترب بتدفق الطاقة الذي يدخل العين تدفقاً آخر يمثل القسم الذي تشعر به العين وهو تدفق الإنارة . و يقاس تدفق الإنارة باللومن بينما يقاس تدفق الطاقة بالوات وبالتالي يكون $lm = k_\lambda W$ ، وتقاس شدة الإنارة بالشمعة (cd) بينما تقاس هذه الشدة في وحدات الطاقة بالوات/ستيراديان ، فيكون $cd = k_\lambda W/str$ ، وتقاس الإنارة

بلوكس وهو يساوي $k_{\lambda} W/m^2 = lx = lm/m^2$ ، ويقاس السطوع بالذيت ويساوي nt
 $cd/m^2 = k_{\lambda} W/m^2 \cdot str$. فمن أجل ضوء طول موجته 555 nm يكون k_{λ}
 $= 680 lm/W$ ، أي أن استطاعة قيمتها وات واحد من هذا الضوء الأصفر تعطي على
 الأكثر 680 لومن : لأن قيمة عامل الإبصار تتغير من إنسان إلى آخر .

يصدر منبع ضوئي نقطي شدة إنارته I (شمعة / cd) تدفقاً "ضوئياً" Φ (لومن/لم) من خلال زاوية بحسمة ω . فتكون شدة الإنارة ضمن زاوية بحسمة عنصرية $d\omega$ مساوية :

$$I = d\Phi/d\omega \quad [cd] \quad (1)$$

وفي حالة المنابع المضيئة الممتدة في الفضاء (والمنابع غير المضيئة التي تعكس الإضاءة) يعطى السطوع B (نيت/نت) بالعلاقة :

$$B = dI/dA \quad [cd/m^2 = nt] \quad (2)$$

وإذا أضيء السطح dA' بتدفق ضوئي $d\Phi$ تكون الإنارة E (لوكس/lx) معرفة بالعلاقة :

$$E = d\Phi/dA' \quad [lx] \quad (3)$$

يبين الشكل (٥) تمثيلاً تخيلياً لإنارة عنصر السطح dA^* بالضوء الصادر عن المنبع النقطي P . فإذا كانت شدة إنارة المنبع I وبعده عن عنصر السطح r ، و الناظم على نقاط السطح العنصري باتجاه المستقيم الواصل إلى المنبع ، تعطى الإنارة E بالعلاقة :

$$E = d\Phi/dA' = \frac{d\Phi/d\omega}{dA'/d\omega} \quad (4)$$

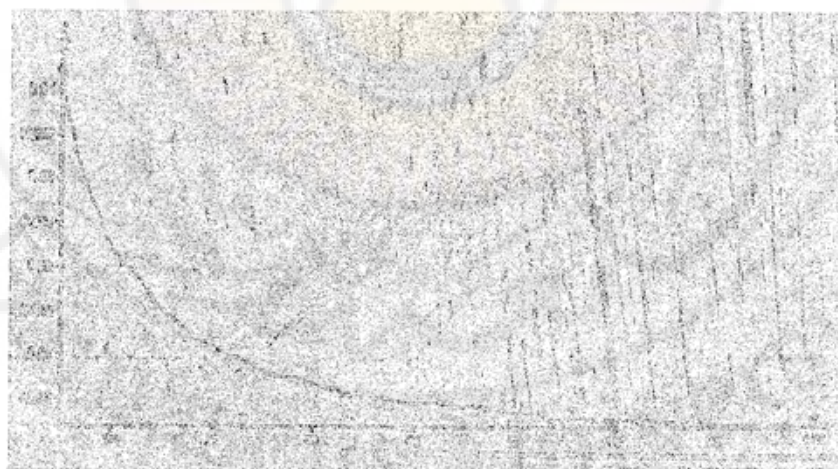
وبما أن $d\omega = dA'/r^2$ فباستعمال العلاقة (١) نجد :

$$E = I/r^2 \quad (5)$$



الشكل (5) تعيين تخطيطي قانون التربيع العكسي .

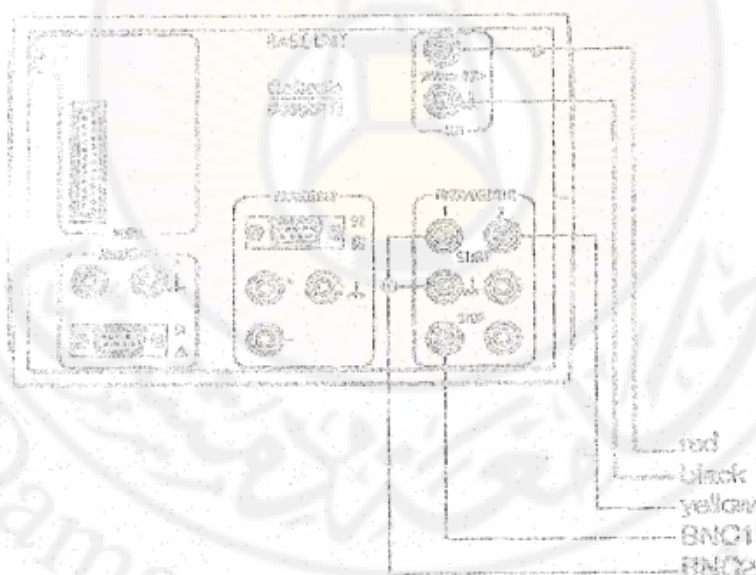
تصف المعادلة (5) قانون التربيع العكسي . فوفقاً لهذه العلاقة تتناسب إنارة سطح ما E عكساً مع مربع المسافة r في حالة شدة إنارة ثابتة I .



الشكل (6) الإنارة كنابع للمسافة بين المصباح والثاني الصوري .



الشكل (١) ترتيبات الأجهزة .



الشكل (٢) وصل حساس الحركة بوحدة كوبري ٢ الأساسية .

طريقة العمل : يظهر الشكلان (١) و(٢) ترتيب الأجهزة في هذه التجربة . وجسده فصيل
المصباح بحيث يواجه الجانب التعريض منه الخلية الضوئية . عدل الشدائي الضوئي بحيث يبقى موجهاً

آخر اثنين المتباعد في أثناء شريكه ، وبالتالي يجب أن يكون ارتفاع القنول مساوياً أو قريباً من آخره .
 الضولية عن سطح الطاولة ، ربما أن قانون المسافة التي نود التحقق من صحته يتوسع في دائرة
 الخارج للتحلية فقط ، يجب عدم التجربة بمسافة فصل بين الشرايين والجلية لا تقل عن 15 cm .
 يعمل الغرفة ، ظاهراً أو أصح ، التجربة عن ضوء الشمس المباشر .

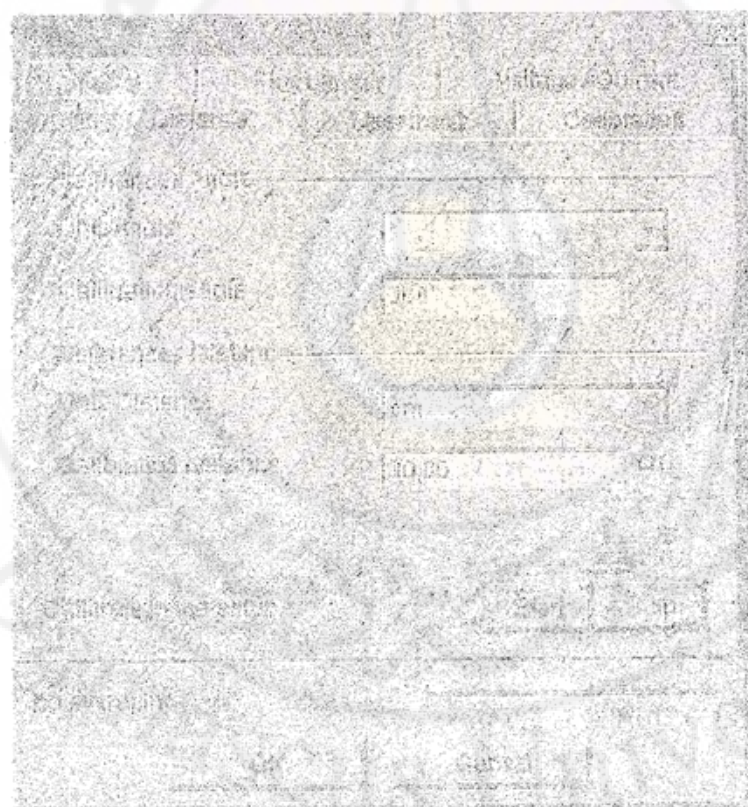
١- حمل وحدة كوبري ٢ الأساسية بالأسلوب ، وابدأ برنامج القياس باعتباره
 Comba Force/Tests Measurement Module .

٢- بدأ تسجيل القيم لقائمة مستعملا المعاملات المبرمجة في الشكل (٣) .

الشكل (٣) معاملات القياس .

٣- استعمل جزء الخيط الأكبر في قياس المسار بمسجل الحركة . وللمعايرة مسجل الحركة استعمل زر الإختيار واحتر معايرة المسافة (مثل 30cm) ضمن نافذة Angle/Distance أنظر الشكل (٤) .

٤- اضغط زر البدء <Start> أولاً ، ثم حرك المسجل ببطء وانتظام مسافة المعايرة التي اخترتها (30cm) ، ثم اضغط زر التوقف <Stop> . لإتمام عملية المعايرة اضغط زر المعايرة <Calibrate> في نافذة المعايرة .



الشكل (٤) معاملات القياس .

٥ . وبعد إنجاز عملية المعايرة ضع الخلية الضوئية في الموضع الابتدائي (على بعد 15cm من فتحة المصباح) واضغط زر الاستمرار Continue.

٦ - ابدأ القياس وحرك الخلية الضوئية ببطء (بسرعة 0.5cm/s) على طول المسار المتري مبتعداً عن فتحة المصباح . تدخل نقاط القياس في المنحنى إذا تحرك جزء الخيط المرتبط مسام مسجل الحركة . وعند مسافة تساوي 80cm تقريباً يجب إنهاء القياس حيث تصبح شدة الإنارة الآتية من المصباح ضعيفة جداً ويصبح إسهام شدة الضوء المنتشر كبيراً نسبياً .

Source (mm)

Distance: 100

Collect

Cancel

Quit

Operation

☒ Average

☐ Distance

☐ Intensity

☐ Progressive average value

Data table

Channel	Value
Distance	100

Add new channel

Remove

Copy

Paste

Print

شكل (٧) معاملات تعديل القناة .

تحليل القياسات :

من أجل تحليل النتائج حول القيم الرقمية المتاسة إلى مسافات فضائية . قسم الاختصار
المعاملات التالية :

In the Measurement / Display options window:
Displayed range: from 15 to 80
In the Measurement / Information / x-Data window:
Title: Distance
Symbol: s
Unit: cm
Digits beyond point: 3
In the Measurement / Information / Channels window:
Title: Intensity
Symbol: I
Unit: V
Digits beyond point: 3
In the Analysis / Channel modification window select:
first source channel: Distance
Operation: $I := x + 15$
Destination channel: into new measurement / as x-channel

٦- عندئذ يتم رسم الإنارة كتابع للمسافة الفعلية بين قتل المصباح والحساس (أنظر الشكل (٦)).

٧- وبعد التحويل استعمل النافذة نفسها في حساب مربع مقلوب القيمة $1/(x*x)$ (أنظر الشكل (٧)).

first source channel: Distance
Operation: $f := 1/(x*x)$
Destination channel: into new measurement / as x-channel

٨- ارسم المنحني الممثل لقيم الإنارة كتابع لقيم مقلوب مربع البعد .

٩- احسب الميل

التجربة السادسة عشر

تبعثر كومبتون للأشعة السينية

المهدف من التجربة :

١ - تعيين معامل العبور لصفيفة ماصة من الألمنيوم كتابع لطول موجة الأشعة السينية مع رسم المنحني الممثل للقيم المقاسة .

٢ - تعيين شدة الأشعة السينية المبعثرة عند زوايا مختلفة . ثم تعيين تروبع الشدة (المسلي) يحدث عند وضع صفيفة الألمنيوم أمام وخلف المبعثر عند الزوايا نفسها ، ثم حساب معاملات النفوذ المختلفة .

٣ - نستعمل معاملات النفوذ المختلفة ومنحني العبور في تعيين المستعرات في الأطوال الموجية .

٤ - نعين طول موجة كومبتون في حالة زاوية تبعثر مقدارها 90° ونقارنها مع القيمة النظرية .

الأجهزة والأدوات المستخدمة:

- وحدة أساسية للأشعة السينية 35 kV - مقياس زوايا (goniometer)
- وحدة قياس بأنبوب أشعة سينية مجهزة للفحص
- أنوية عد من النوع B
- نبضة من فلور الليثيوم مركبة على
- الوحدة - مرفقة كومبتون لوحدة الأشعة السينية
- برنامج تشغيل لوحدة
- الأشعة السينية - كبل توصيل من الوحدة للحاسب الشخصي - حاسوب شخصي

المبدأ النظري :

نحصل في هذه التجربة على مفعول كومبتون بتوجيه حزمة من الأشعة السينية نحو قطعة من البلاستيك . ويتم قياس جزء الأشعة المتبعثر عند الزوايا المختلفة مستعملين أنبوبة غايغر — ميلر . مع صفيحة ماصة موضوعة أمام واطلف المتبعثر ، بحيث يمكن تعيين طول موجة كومبتون من تغير تردد كثافة الأشعة السينية عند الأطوال الموجية المختلفة بالمقارنة مع منحنى عبور قياسي . .

يبين الشكل (٣) مخططاً يمثل هندسة التبعثر في مفعول كومبتون . ينعثر الفوتون الوارد جزءاً من طاقته عندما يتبعثر عن اتجاهه الأصلي بزاوية تبعثر α ، بينما يربح الإلكترون المثر بعض الطاقة فينبطئ من نقطة التصادم وفق الزاوية β . انطلاقاً من مبدأي انحفاظ الطاقة والاندفاع وأخذ كتلة الإلكترون النسبية في الحسبان ، يحدث تغير في طول موجة الفوتون المتبعثر $\Delta\lambda$ — يرتبط بزاوية التبعثر وفق العلاقة :

$$\Delta\lambda = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos\theta) = 2 \frac{h}{m_0 c} \sin^2\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad (٤)$$

حيث $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$ هو ثابت بلانك و
 $c = 2.998 \times 10^8 \text{ m/s}$ هي سرعة الضوء

و $m_0 = 9.109 \times 10^{-31} \text{ kg}$ هي الكتلة السكونية للإلكترون

يدعى تغير طول الموجة المقابل لزاوية تبعثر مقدارها 90° بطول موجة كومبتون وتتضمن الطاقة

$$E_c = hf_c = \frac{h.c}{\lambda_c} = m_0 c^2 : \lambda_c = \frac{h}{m_0 c} = 2.428 \text{ pm}$$

حيث E_c هي الطاقة السكونية للإلكترون .

يظهر الشكل (٤) تبعثر كومبتون في حالة الزاوية $\theta = 90^\circ$ مع معاملات النفوذ :

$$T_1 = \frac{N_4^*}{N_3^*} = \frac{32.4 \text{ Im p/s}}{96.2 \text{ Im p/s}} = 0.337 \pm 1.6\%$$

$$T_2 = \frac{N_5^*}{N_3^*} = \frac{27.8 \text{ Im p/s}}{96.2 \text{ Im p/s}} = 0.289 \pm 1.7\%$$

ويمكن الملاحظة أن $T_1 > T_2$. إن قيم T المسجلة في الشكل (٤) تحقق نتيجة مرضية أي فرقاً في طول الموجة مقداره

$$\Delta\lambda = \lambda_c = (2.5 \pm 0.4) \text{ pm}$$

طريقة العمل:

الجزء الأول : تحديد معامل النفوذ للألنيوم

٣- ثبت الأنبوب الشفاف مع الفتحة ذات القطر 2mm ضمن اسطوانة جهاز الأشعة السينية لعامل الإدخال المستعمل ، وفي حالة إقفال مفتاح وحدة الأشعة السينية صل مقياس الزوايا مع مأخذ ال USB-D في صفيحة القاعدة لمنطقة التجربة .

٤- أدخل أنبوب العد في ماسكه حتى يقف، وشده بإحكام .

٥- صل كابل أنبوب العد مع مأخذ ال BNC في صفيحة القاعدة لمنطقة التجربة

٦- ضع ماسك أنبوب العد في المكان الصحيح ومقياس الزوايا وقد نصبت عليه بلورة فلور الليثيوم LiF في المنتصف . وثبت كل منهم في المواضع الصحيحة

وينصح باستعمال الإعدادات التالية : جهد المصدر $U_A = 35 \text{ kV}$ ، تيار المصدر $I_A = 1 \text{ mA}$ ، عين معدل النبض $N_1(0)$ للأشعة السينية المعكسة على البلورة بخطوة زاوية تساوي

0.1° بين زاوية الإشعاع θ (رأس) $\theta = 0$ ، وذلك بربط زاوية دوران البؤرة بزاوية دوران الأنبوب، الفقد وفق النسبة θ . مستخدماً زمن قياس يساوي 100 s .



الشكل (٧) - مثال ترتيب تيفثر كومبتون في حالة زاوية تيفثر تساوي 90° .



الشكل (١) ترتيب الشعيرة في حالة تبعثر كوميونود عدد تراكمي 4.5^{10}

٧- أدخل صفوحة الألتنيوم الماصة بين مخرج الأشعة السينية والفلوسورة وأضرب الإحصاءات السابقة لقياس معدل النبض $N_2(0)$.

٨- أحسب طول الموجة λ كتابع لزاوية التوضات θ مستعملاً معادلة براغ $2d \sin \theta = n\lambda$ (حيث d هو ثابت الشبكة البلورية ومساري 201.4 pm)

إذا كان عدد النبضات المقاسة متساوياً N فإن الخطأ النسبي في القياس يعطى بالنسبة

$$\frac{\Delta N}{N} \approx \frac{\sqrt{N}}{N} = \frac{1}{\sqrt{N}} \quad (١)$$

فعند معدل نبض عالٍ N وبسبب الزمن الميت لأنبوب العد $\tau = 90 \mu s$ لا يتم تسجيل جميع الفوتونات الواردة . لذلك يجب تعيين معدل النبض الحقيقي N^* باستعمال العلاقة

$$N^* = \frac{N}{1 - \tau N} \quad (2)$$

ويمكن استعمال معدلات النبض المصححة لحساب قيم عوامل النفوذ كتابع لطول الموجة λ ثم تمثيلها بيانياً كما في الشكل (٤) .

الجزء الثاني : تعيين نبض كومبتون

١- أبعاد البلورة وضع مكانها المعثر البلاستيكي . وضعه وفق زاوية تساوي 135^0 (انظر الشكل (٧)) .

٢- استبدال الأنبوب الشفاف ذي القطر 2 mm بأنبوب آخر قطره 5 mm .

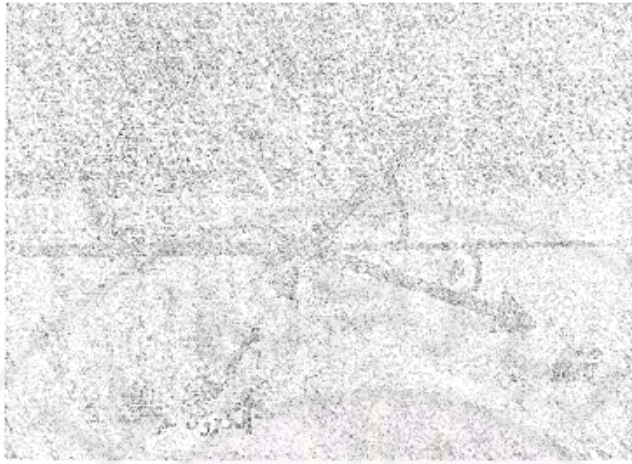
٣- دَوِّرْ أنبوب العد إلى الوضع 90^0 وقس معدل النبض مستخدماً الإعداد التالي :

N_0 : مع المعثر البلاستيكي وبدون صفيحة الألمنيوم الماصة

N_1 : مع المعثر البلاستيكي وصفيحة الألمنيوم الماصة في الموضع 1

N_2 : مع المعثر البلاستيكي و٤ ألواح الألمنيوم الماصة في الموضع 2

٤- في حالة القياس N_1 أربط الصفيحة الماصة على قضبان حامل أنبوب العد .



الشكل (٣) علاقات الاندفاع في تبعثر كوسيتون (اندفاع الفوتون قبل / بعد الاصطدام $p_1/p_2 =$ ،
اندفاع الإلكترون بعد الاصطدام $mv =$)

٥- والوصول على نتائج مقبولة ، استعمل زمن قياس يساوي 300 s لكسل قياس
وخذ القيمة المتوسطة عند حساب منامل العبور . وعند الضرورة يجب أخذ الزمن الميت والأشعة
الخلفية في الحسبان للوصول إلى معدلات نبض حقيقية N_a .

ملاحظة : لا تعرض أنبوب العد إلى الإشعاع الأساسي فترة طويلة من الزمن



باللغة : تجاربه في الميكانيك والامتزاز

١ - النواس البسيط

٢ - تجربة ميله

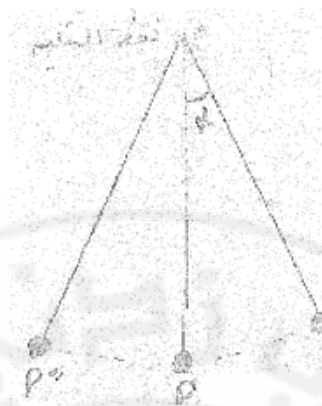
٣ - تجربة شوك

٤ - انعكاس الأمواج المستوية فوق الصوتية على سطح مستو



على خط التماس

- ۲۲۵ -



شكل (١)

ويطلق على المدة التي تنقضي بين لحظتي مرور الكرة بنقطة واحدة من مسارها مرتين متعاقبتين وفي جهة واحدة بدور النواس (T).

وتدل الدراسة النظرية على أن دور اهتزاز النواس من أجل السعات الصغيرة يعطى بالقانون التالي.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad (١)$$

حيث يرمز (L) إلى طول النواس و (g) إلى تسارع الجاذبية الأرضية في مكان النواس ويسمى طول النواس: بأنه المسافة بين نقطة تعليقه ومركز ثقله (مركز ثقل الكرة المعلقة) ويقدر بسانتر في جملة الواحدات الدولية أما دور النواس (T) فيقدر بالثانية.

والتسارع الأرضي (g) يقدر بـ $m.s^{-2}$.

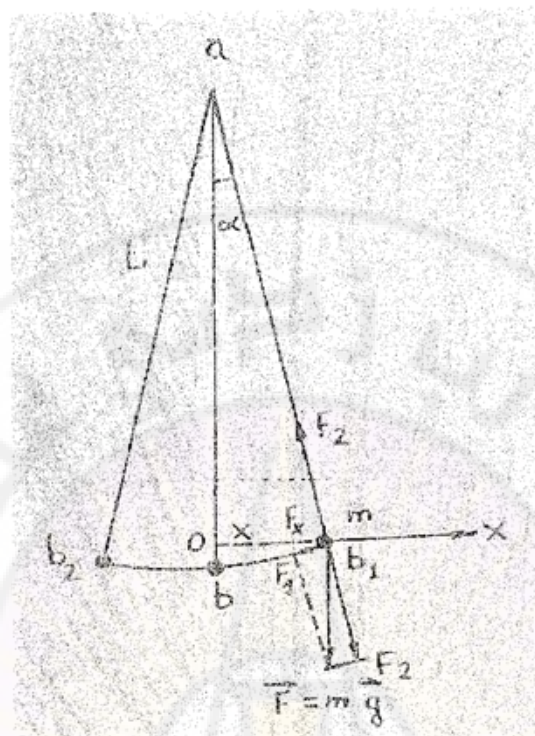
أما إذا كانت سعة النوسه كبيرة فإن دور النواس يعطى بالعلاقة $T' = T(1 + \frac{\alpha^2}{16})$ حيث T دوره من أجل السعات الصغيرة. و α سعة الاهتزاز مقدرة بالراديان.

من العلاقة (١) يتبين لنا أن دور النواس:

١ - لا يتوقف على سعة النوسه مادامت صغيرة.

٢ - لا علاقة له بثقل النواس أو بطبيعة مادته.

٣ - يتناسب مع الجذر التربيعي لطول النواس.



شكل (٢) التواضع البسيط: حيث (K) ثابتة تتوقف قيمتها على نوع الحركات التوافقية وتساوي القوة المربعة (Fx) من أجل إزاحات صغيرة ما يلي:

$$F_1 \approx F_x \approx -mg \cdot \sin \alpha \approx -mg \cdot \alpha \approx -mg \cdot \frac{X}{L} = -\frac{mg}{L} X \approx -K \cdot X$$

$$K = \frac{mg}{L} : (K) \text{ ستنج من ذلك قيمته الثابتة}$$

ومن جهة أخرى إذا استخدمنا قانون التحريك الأساسي $F = ma$

$$Fx = m \cdot ax = m \frac{d^2x}{dt^2} = mx'' \quad (2)$$

من تساوي العلاقتين (١) ، (٢) نحصل على ما يلي:

$$Fx = mx'' = -kx$$

$$X'' + \frac{k}{m}x = 0$$

وبتعويض قيمة (K) نحصل على ما يلي:

$$X'' + \frac{g}{L}x = 0$$

فإذا فرضنا $\left(\frac{g}{L} = W^2\right)$ حصلنا على ما يلي:

$$X'' + W^2.X = 0 \quad (٣)$$

وهي معادلة تفاضلية من المرتبة الثانية:

$$\text{حيث } W = \sqrt{\frac{g}{L}} \text{ ومنه:}$$

$$T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{w} = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad (٤)$$

وهو دور الحركة الاهتزازية للنواس البسيط في الشروط السابقة:

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

وهكذا نجد الدستور (١) الذي يعبر عن دور النواس البسيط من أجل انزياحات صغيرة أما المعادلة التفاضلية (٣) التي نكتبها أيضاً كما يلي:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + W^2x = 0 \quad (٥)$$

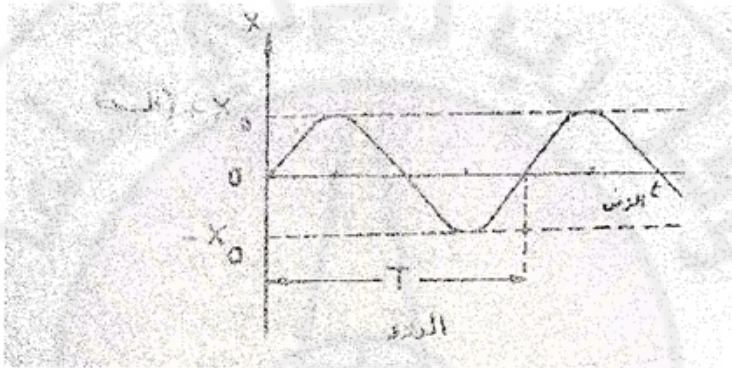
فإنها تعطي حلاً من الشكل:

$$X = X_0 \cdot \sin(wt + Q)$$

وعندما $Q=0$ يكون الشكل كالتالي.

$$X = X_0 \sin \omega t \quad (٦)$$

إذا رسمنا المنحنى البياني لهذا الحل (٦) بصورته البسيطة لوجدنا الشكل التالي الذي يدل على أن حركة النواس البسيطة هي حركة اهتزازية جيبية بسيطة.



طريقة العمل :

١- التحقق من استقلال دور النواس عن السعة مادامت صغيرة.

ننتخب طول خيط النواس (100cm) أي $L=1m$.

١- يقاس قطر كل كرة من الكرات ثلاث، رافد لكل كرة وبحسب نصف قطرها.

٢- تعلق الكرة الحديدية بحيث نحقق طول (1m) للنواس وهو المسافة بين مركز الكرة ونقطة التعليق.

٣- نزيح النواس عن وضع توازنه بزاوية 30° أي إزاحة (5cm) تقريباً أدلول (1m) للنواس.

٤- نترك الكرة تنوس ونقيس زمن (٥٠) نوسة وليكن (t).

٥- نسجل النتائج في جدول بعد تغيير السعات.

المتغير	t (s)	مدة خمسين نوسة (t) تجربة (٣)	مدة خمسين نوسة (t) تجربة (٢)	مدة خمسين نوسة (t) تجربة (١)	سعة النوسة X_0
المتوسط $T(s)$					

٣٠				
٢٠				
١٠				

أ. لما كان قياس مدة (٥٠) نوسة تقتضي عمليتي ضغط على عداد التوازي وكان من الممكن أن يرتكب المحرّب في كل من هاتين العمليتين بسبب رد الفعل الشخصي خطأً يساوي $S(0.2)$ بالإضافة إلى خطأ قراءة العداد الذي يمكن أن يصل إلى (0.1) فإن الخطأ الناتج بسبب في قياس الدور T يبلغ $\frac{0.2 \times 2 + 0.1}{50}$ ثانية أي (0.01) ثانية. فارت هذا الخطأ من أكبر فرق بين قيم T فإذا كان هذا الفرق أصغر من (٠.٠١) ثانية دل ذلك على صحة استقلال دور التوازي عن سعة النوسة مادامت أقل من ٩٠.

ب. ما المتحقق من استقلال دور التوازي عن مادة كراته:

١. يكون طول التوازي متراً واحداً وتكون سعة النوسة (T^2) فتتعب كرة من ١٠ أسب وتقسيم مدة (٥٠) نوسة وحسب متوسط الدور T .
٢. نعيد العمل السابق من أجل كرة من النحاس.

٣. نرتب النتائج في جدول.

مادة كرة التوازي	مدة (٥٠) نوسة T ثانية			متوسط المدة T ثانية	متى وجد الفرق T ثانية
	التجربة ١	التجربة ٢	التجربة ٣		
الزجاج					
الخشب					
النحاس					

ماذا نستنتج من هذا الجدول في ضوء الفقرة (P')

ج. ما علاقة دور التوازي بطوله:

١ - ننتخب كرة النحاس ونقيس زمن ٥٠ نبضة عندما تكون مسحة النوسنة صغيرة ($\alpha = 6^\circ$) وذلك بإزاحة النواس إزاحة أفقية قدرها تقريباً ($0.01\text{m} = 10\text{ cm}$) عن وضعه الشاقولي.

٢ - نأخذ أطوال مختلفة للنواس تتراوح بين (٥٠ و ١٥٠ سم) ولا يقل عددها عن ستة أطوال نأخذ متوسط ثلاث تجارب من أجل كل طول من أطوال النواس.

٣ - رتب النتائج في جدول كما يلي: جدول (٣).

رقم التجربة	طول النواس (L)	مسحة ٥٠ نبضة	مسحة النوسنة الواحدة	$\frac{2}{T}$	$\frac{L}{T^2}$ ms^{-2}	$g = 4\pi^2 \frac{L}{T^2}$ (ms^{-2})	$X = \frac{\Delta g}{g}$	$\bar{X}$	$\Delta g =$ $\bar{X} \cdot g$ ms^{-2}
١	0.6m.								
٢	0.7m.								
٣	0.8m.								
٤	0.9m.								
٥	1.0m.								
٦	1.1m.								
٧	1.2m.								
٨	1.3m.								
٩	1.4m.								
١٠	1.5m.								

نشتق العلاقة (١) اشتقاقاً لوغارتمياً ونحسب $\left(\frac{\Delta g}{g} = X\right)$ لكل قياس بالجدول ونكتب النتيجة

$$g = (g \pm \Delta g) ms^{-2} \quad \text{النهائية:}$$

٤ - نرسم على ورق ملمتري المستقيم الدال على تغير (T^2) مربع الدور بدلالة طول النواس (L) في الجدول (٣) وذلك بتدريج المحورين بدءاً من الصفر (٠.٠).

ثم نحسب ميل المستقيم الحاصل حيث ننتخب نقطتين واقعتين على المستقيم أبعد ما يكون عن

$$tg\phi = \frac{\frac{T_2^2}{2} - \frac{T_1^2}{2}}{L_2 - L_1} = \frac{4\pi^2}{g} \quad \text{بعضهما ونحسب (tg\phi) حيث:}$$

ونحسب قيمة (g) من العلاقة (٢).

٢. - ارسم على ورقة لوغاريتمية تحويلات (T) بدلالة (L) واحسب ميل المستقيم الناتج،
ماذا تستنتج من ذلك ؟



التجربة الثانية

أجهزة ومعدات

المهدف من التجربة :

دراسة تكون الأمواج المستقرة العرضية في سلك متحدد ومن ثم دراسة علاقة طول الموجة بسرعة الانتشار وعلاقتها بفرق الجهد بين الأقطاب والأدوات المستخدمة.

مولد اهتزاز يعمل بالتيار المتردد (220V) ويغطي تواتر ثابت (50HZ) $\omega = 2\pi \nu$ حيث ω هو سلك غير قابل للاختطاط ... بكرة مثبتة على حامل ... كتلة معروفة الوزن ... مجموعة كتل في عياريسة ... يكتب عليها وزنها أو توزن بواسطة الميزان ... قطعة من الخيط أو السلك طولها (1 متر) ... ميزان ... مسطرة خشبية طولها (1م).

المبدأ الفيزيائي:

إن سرعة انتشار الاهتزاز العرضي في سلك مشدود ونهاية مقيدة تعطى بالعلاقة:

$$u = \sqrt{F / \mu} \quad (1)$$

حيث u هي سرعة الانتشار وهي تساوي $u = \lambda \cdot \nu$ عندما يكون تواتر المذبذب ثابتا ويساوي ω (50HZ). F هي قوة الشد في الجزء الممتد من السلك وتساوي (mg) حيث m هي بمسروح الكتلة المعلقة بها كتلة الكتلة و (g) تسارع الجاذبية الأرضية.

μ : الكثافة الخطية للخيط أي كتلة واحدة الطول من السلك وهي تساوي

$$\mu = m / \ell \quad (2)$$

حيث (m) كتلة سلك طوله (1) متر.

ويربط طول الموجة (λ) بسرعة الانتشار (u) وبالتواتر (ν) والدور (T) بالعلاقة

$$\lambda = u / \nu = u \cdot T \quad (3)$$

إذا انعكست الاهتزازات العرضية (يقصد بالاهتزاز العرضي عندما يكون مستوي الاهتزاز للأموح عمودياً على مستوي انتشارها) المنذاة على نهاية السلك المشدود تتكون أمواج مستقرة في السلك وتتكون عقد و بطون للاهتزاز ويكون لدينا عقدة في كل نهاية من السلك.

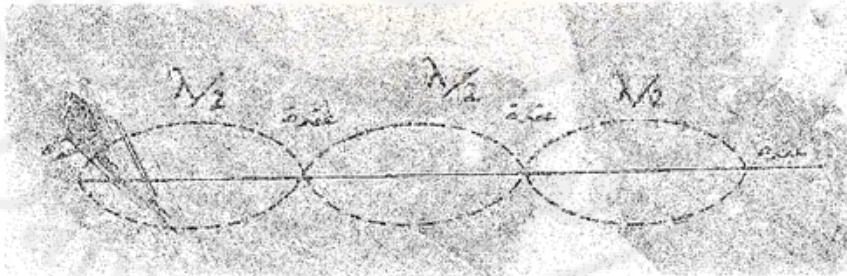
إن شرط استقرار الأمواج هو حدوث تجاوب حاد بين تواتر التغذية وأحد التواترات الخاصة لاهتزاز الوتر وعندئذ تكون العقد ساكنة فيما تكون البطون متحركة وسعة اهتزازها هي أكبر مما يمكن.

ونقصد بالتواترات الخاصة لاهتزاز وتر بأنها تحقق الشرط:

$$L = n \frac{\lambda}{2} \quad (4)$$

حيث (L) هو طول السلك وبحسب من نقطة ارتباطه بمولد الاهتزاز إلى نقطة تماسه مع البكرة الواقعة في المستوي الشاقولي المار من محور البكرة.

و (n) عدد صحيح وهذا يعني أن الطول المهتز من السلك يجب أن يحوي عدداً صحيحاً من أنصاف طول الموجة لذلك فعندما يتحقق التجاوب بين تواتر التغذية وأحد التواترات الخاصة للسلك نشاهد نقاطاً ساكنة تماماً هي عقد الاهتزاز وبين كل عقدتين بطون للاهتزاز كما في الشكل (١).



شكل (١)

إما إذا لم يكن التجاوب حاداً بين تواتر التغذية وأحد التواترات الخاصة للسلك فإننا نشاهد ظاهرة الخفقان حيث تتأرجح سعة كل من البطون والعقد بين قيمتين عظمى وصغرى، ويتزايد دور الخفقان كلما اقتربنا من وضع التجارب الحاد الذي يعدم فيه الخفقان ويصبح دوره غير نهائي.

وحتى نحقق التجارب الحاد يجب التحكم في التواترات الخاصة للسلك وذلك بفرض أن تواتر منبع الاهتزاز ثابت وتعطى التواترات الخاصة بالعلاقة:

$$V = \frac{u}{\lambda} = \frac{n}{2L} \sqrt{F/\mu} \quad (5)$$

وبما أن كتلة واحدة الطول (μ) ثابتة وبالاستناد للعلاقات (١)، (٢)، (٣) فإن المستحكم في التواترات الخاصة للسلك لتحقيق التجارب مع تواتر التغذية يتم أما بتغيير طول الجزء المهتز من السلك (L) أو بتغيير قوة شد الوتر (F).

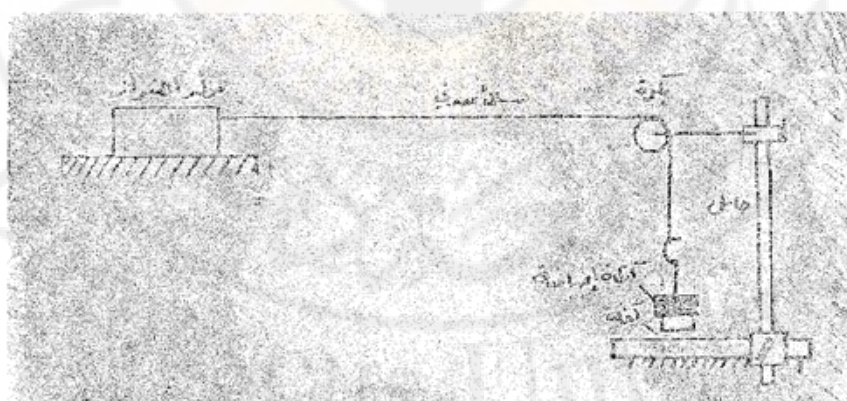
من العلاقة (٤) لدينا $\lambda = 2L/n$ طول الموجة.

وبما أن تواتر المنبع ثابت فإن سرعة الانتشار هي $u = \lambda \cdot v$ حيث v تواتر الاهتزاز.

طريقة العمل:

١. نأخذ طول الجزء المهتز من السلك من نقطة ارتباطه بمولد الاهتزاز إلى نقطة تماسه مع البكرة وليكن ($L = 3m$) ولا تغير طول السلك طيلة التجربة بل دعه ثابتاً. نستخدم المسطرة الخشبية في القياس آخذين في الاعتبار أن دقة القياس مهمة جداً.

٢. نعلق الكفة في نهاية السلك ماراً على البكرة كما في الشكل (٢):



شكل (٢)

٣. نضع في الكفة كتلاً بحيث يكون السلك مشدوداً.

٤ - سجل مولد التيار إلى مأخذ تيار المدينة V (220) بتواتر (50Hz).

٥ - لاحظ اهتزاز السلك زد أو أنقص في الكتلة المعلقة حتى تلاحظ تكون عدد من المغنازل في السلك. إذا لاحظت حدوث خفقات زد أو أنقص بعض غرامات من الكتلة المعلقة حتى تحصل على ثبات الأمواج واستقرارها. سجل عدد المغنازل المتكونة والكتلة المعلقة.

ملاحظة: عندما تضع الأثقال في الكفة يستحسن أن تضع في الأسفل القطع الأكبر ثم القطع المتوسطة ثم الخفيفة التي تضبط بها عملية التوازن، والتدريس من ظاهرة الخفقات.

٦ - غير من الكتلة المعلقة بالزيادة أو النقصان بحيث تحصل على عدد من المغنازل. أخرج مسجل الكتلة المعلقة الجديدة وعدد المغنازل الجديد.

٧ - أتمد الإجراءات السابق عدة مرات بحيث يتغير عدد المغنازل المتكونة في السلك من مغزليين، وحتى ١٠ عشرة مغنازل سجل في كل مرة الكتلة المعلقة.

النتائج:

١ - سجل نتائجك في جدول كما يلي:

جدول النتائج

الكتلة الخطية	قوة الشد	الكتلة المعلقة	مربع السرعة	السرعة	طول الموجة	عدد المغنازل
$\mu = F/u^2$ kg/m	$F = mg$ (N)	M (kg)	u^2 (m^2s^{-2})	$u = \lambda v$ (ms^{-1})	$\lambda = 2L/n$ (m)	
					٣	٢
					١.٦٠	٣
					١.٢٠	٤
					٠.٩٨	٥
					٠.٨٠	٦



التجربة الثالثة

تجربة هوك

الهدف من التجربة:

- ١ - التحقق من قانون هوك في نابض اسطواني.
- ٢ - تعيين ثابت صلابة هذا النابض.
- ٣ - دراسة الاهتزاز التوافقي لكتلة معلقة بهذا النابض.

الأجهزة والأدوات المستخدمة:

نابض معلق بحامل، كفة معلومة الكتلة، مجموعة كتل عيارية، مسطرة، عداد ثواني.

المبدأ النظري:

تطلق تسمية إجهاد على القوى الداخلية التي تتوزع على مقطع من جسم خاضع لمجموعة من القوى.

ويكون الإجهاد إما إجهاد شد: إذا كانت هذه القوى تسعى لفصل أجزاء الجسم بعضها عن بعض.

أو إجهاد ضغط: إذا كانت هذه القوى تسعى لتقريب أجزاء الجسم بعضها من بعض.

ويكون إجهاد قص: إذا كانت هذه القوى تسعى لزلق بعض أجزاء الجسم بالنسبة لبعضها الآخر.

إن واحدة قياس الإجهاد هي الباسكال أو النيوتن على المتر المربع.

الانفعال: هو أي تغير يطرأ على أبعاد أو شكل الجسم عند خضوعه لمجموعة من القوى.

الانفعال الطولي: هو التغير النسبي في طول الجسم عند خضوعه لإجهاد الشد أو الضغط. فإذا كان الطول الأصلي للجسم (L_0) والتغير في الطول ΔL فإن الانفعال الطولي هو: $\Delta L / L_0$.

ونرى أنه دون وحدات ويكون موجباً في حالة زيادة الطول (إجهاد شد) وسالباً في حالة نقصانه (إجهاد ضغط).

الانفعال الحجمي: هو التغير النسبي في حجم الجسم الذي يخضع سطحه الخارجي بكمائه لإجهاد ضغط أو شد منتظم، وإذا كان الحجم الأصلي V والتغير في حجم الجسم ΔV فإن الانفعال الحجمي هو $\Delta V/V$. وهو أيضاً موجب، أو سالب ودون وحدات.

انفعال القص: يحدث عند تعرض الجسم لإجهاد القص وفيه يحدث تغير في شكل الجسم. في شكل (١) إذا أدى إجهاد القص المطبق على القضيب (AB) إلى تغير شكله بحيث يربط بين الوضع

$$\theta = \frac{AB'}{AB}$$

(AB') فإن الانفعال القص يقاس بالزاوية:

إن هذه الزاوية تكون صغيرة عادة في الأجسام المتساوية.



شكل (١)

الزاوية:

هي خاصية من خواص المادة وبفضائها يعود الجسم إلى شكله الأصلي وأبعاده الأصلية عند زوال الإجهاد الذي أدى إلى انفعاله (تغير شكله أو تغير أبعاده).

إن الجسم يعود عملياً إلى شكله الأصلي وأبعاده الأصلية عند زوال الإجهادات المطبقة عليه. إذا كانت هذه الإجهادات لا تتجاوز قيمة معينة تتعاق بطبيعة مادة الجسم وحالته الفيزيائية وتستطيع هذه القيمة حد المرونة.

قانون هوك:

تبين التجارب المختلفة أن قوى الشد المطبقة على الأسلاك والقضبان تؤدي إلى استطالات متناسبة مع القوى المطبقة.

وإذا ثبتت نهاية قضيب وفصلت النهاية الأخرى فإنها تدور بزاوية متناسبة مع عزم التorsi المسموعة للدوران.

كما أن التوابض تستقبل كميات مناسبة مع احتمالات الملفة بها، إن هذه التوابض وما يشابهها يمكن حصره تحت قانون واحد هو قانون هوك ويمكن التمسك به كما يلي:

إن الانفعال الحادث في جسم ما هو متناسب مع الاجتهاد المسبب له.

استطاعة نابض ذري حلقية:

إذا صعدنا نابضاً ذات حركات من سلك رفيع وكان هذا النابض صغير الخطورة (أي التمدد به يسير الحركات) وحلقناه إلى نقطة ثابتة وحلقنا به ثقلاً ثابتاً، ألاحظنا أن النابض وضعاً شافولياً للاستطاعة استطاعة النابض.

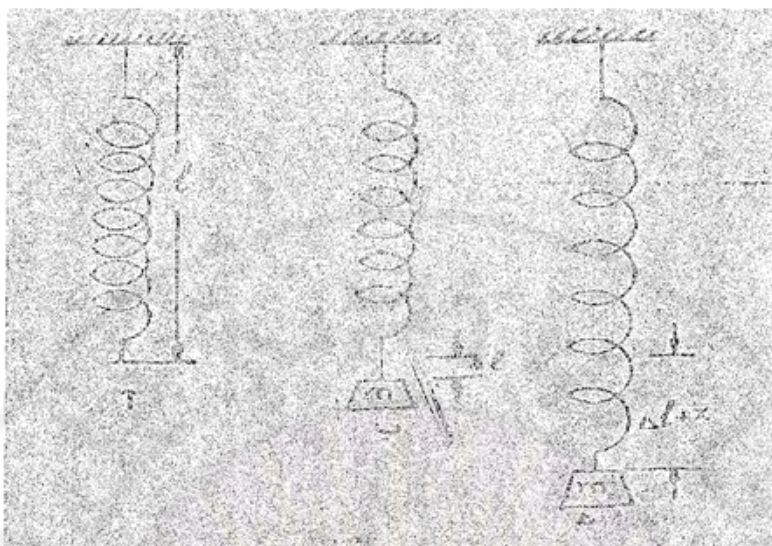
إن الفعل النابض هو الفعل F ويكون استطاعة النابض متناسبة مع زاوية التمدد وتطبيق قانون هوك يمكن أن نكتب أن قوة الثقل (mg) متناسبة مع استطاعة النابض (ΔL) أو:

$$(2) \quad \Delta L = K \cdot \Delta L \quad \text{حيث } K \text{ ثابت في حالة التوابض المرونة في حالة التوابض المرونة هي } (h/m)$$

أهم في كلمة استطاعة النابض:

في الشكل (2) مثل التوابض (ح) نابضاً شافولياً نابضاً من أسلاك وهو خاضع لقوة ثقل النابض (mg) لأنه مصنوع من سلك رفيع. ويكون طول الأصلي في هذه الحالة هو (L_0) وفي التوضع (ب) حالة كتلة (m) في النهاية السفلى للنابض. إن هذه الكتلة في حالة سكونها خاضع لقوتين متساويتين ومتعاكستين مباشرة هما قوة الثقل (mg) الشافولية نحو الأسفل وقوة شد النابض $(K\Delta L)$ الشافولية نحو الأعلى والناجمة عن استطاعة النابض بالمقدار (ΔL) وعكس أن تكسب: $mg = K\Delta L$ (3)

إذا أزلنا الكتلة (m) من وضع توازها مسافة (X) نحو الأسفل استطاع النابض تقدير إضافي (X) وتصبح قوة شد النابض نكتبه (m) مساوية $K(\Delta L + X)$.



شكل ٢

وهي متجهة نحو الأعلى، وتبقى الكتلة وهي في هذا الوضع خاضعة لقوة الثقالة (mg) (الوضع جـ) فإذا تركت الكتلة وشأنها بدءاً من هذا الوضع كانت محصلة القوى المؤثرة عليها ولتكن (F) مساوية إلى:

$$F = mg - k(\Delta L + x)$$

$$- mg - k\Delta L - Kx = -Kx \quad (4)$$

وذلك بالاستفادة من العلاقة (٣)

فالكتلة تخضع إذن إلى قوة تعيدها إلى وضع التوازن. وتناسب قوة الإرجاع هذه مع بعد الكتلة عن وضع التوازن وبتطبيق قانون التحريك الأساسي

$$F = m \frac{d^2 x}{dt^2} \quad (5)$$

$$-Kx = m \frac{d^2 x}{dt^2}$$

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{k}{m} x = 0 \quad (6)$$

إن حل هذه المعادلة التفاضلية الذي يحقق الشروط الابتدائية:

$$\left(\frac{dx}{dt}=0 \quad x=x_0 \quad t=0\right)$$

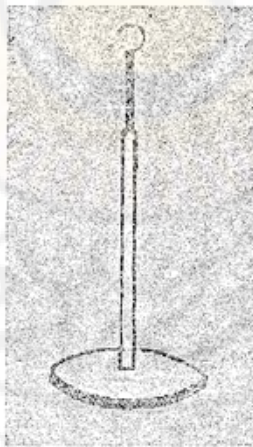
$$X = x_0 \cos \sqrt{\frac{k}{m}} t \quad (7)$$

حيث يرمز X إلى بعد الكتلة عن وضع توازها لحظة تركها دون سرعة ابتدائية، وتبين العلاقة (٧) أن الكتلة تقوم بحركة اهتزازية توافقية بين الوضعين $(x, 0)$ و $(-x_0)$ وأما تحتاج إلى زمن (T) يدعى دور الحركة الاهتزازية لتكمل اهتزازة كاملة. وتدل العلاقة (٧) على أن الدور يعطى بالعلاقة التالية:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{K}} \quad (8)$$

وصف جهاز التجربة:

يتألف الجهاز من نابض ذي حلقات معلق بحامل ومعلقة به كتلة ذات خطاف شكل (٣). يحصل الحامل أيضاً مسطرة شاقولية خلف النابض وقريبة منه بحيث:



الشكل (٣)

نستطيع قراءة التدرج الملمتري الواقع في المستوى الأفقي نفسه للوجه السفلي للكتلة.

١- كتابة الكفة مع الخطافات مسجلة عليها. إن الكتل التي ستضاف إلى الكفة هي أقراص مشدودة وشكل (٤) مسجل على كل منها كتلته بالغمرامات وتوضع على الكفة بعد إدخالها مسن البسرف العلوي الرفيع (أ) من محور الكفة.



الشكل (٤)

طريقة العمل :

١- التحقق من قانون هوك باستخدام نابض (التي هي نابض التناوب):

علق النابض بكتلة وعلق به الشرائط المسمية بالمسطرة المعانة خلف النابض لقراءة التدرج المخاذي للوجه - السفلي للكفة مع عائل الكفة كتلاً متزايدة (m_1) , (m_2) , (m_3) بحيث تكون زيادة الكتلة في كل مرة $(10g)$ أي في كل مرة التدرج المخاذي للوجه السفلي للكفة وليكن A . احسب $\Delta L = A - A_0$ في كل مرة واستمر لعشرة قياسات.

ملاحظة:

عما أن تعيين الوضع الابتدائي (A_0) جرى بعد تعليق الكفة بالنابض فإن كتلة لن تدخل في حساب الكتل (m_1) , (m_2) , (m_3) الموافقة للاستطالات (ΔL_1) , (ΔL_2) , (ΔL_3) لأن الاستطالة $\Delta L_1 = A_1 - A_0$ هي الفرق بين الطول الكلي بوجود الكتلة والكتلة وبين الطول الأصلي بوجود الكفة فقط فهي إذن ناتجة عن الكتلة الموضوعة فوق الكفة فقط دون حساب كتلة هذه الكفة.

رتب النتائج في جدول (١) واحسب القيمة الوسطية لثابت صلابة النابض (K) اعتبر قيمة تسارع الثقالة $g = 9.80 \text{ ms}^{-2}$

الكتلة M (kg)	الوزن Mg (N)	A m	$\Delta L = A - A_0$ m	$K = mg / \Delta L$ (Nm ⁻¹)	سطي K Nm
٠.٠١٠					
٠.٠٢٠					
٠.٠٣٠					
٠.٠٤٠					
٠.٠٥٠					
٠.٠٦٠					
٠.٠٧٠					
٠.٠٨٠					
٠.٠٩٠					
٠.١٠٠					

الاهتزاز العوائقي لكثافة معلقة في نهاية النابض:

أضف إلى الكتلة كتلة (10g) مثلاً أزح عن وضع التوازن يجذب الكتلة شاقولياً نحو الأسفل مسافة من مستقر واحد إلى (٢-سم) وتركها لتتبع في الاهتزاز.

بعد انتظام الحركة الاهتزازية، ابدأ بقياس الزمن مستخدماً عداد التوقي، فس زمن (٥.٠) اهتزازة وليت (٦) ثم احسب زمن الاهتزازة الواحدة أي الدور (T) إن الكتلة المهتزة الآن هي (20g) أي كتلة الكتلة + الكتلة المضافة، وتلاحظ أننا هنا أدخلنا في الحساب كتلة الكتلة مضافاً للفقرة (١) لأننا في الفقرة السابقة كنا نقيس فروقاً في الاستطالات أما الآن فإننا سندخل في الحساب الكتلة المهتزة كاملة (بإهمال كتلة النابض)، أعد الأجراء السابق من أجل كتل متزايدة (10g) كل مسرة ورتب النتائج في جدول (٧):

m (kg)	t (S)	T = t/50 (S)	T ² (S ²)	T ² /m S ² kg ⁻¹	وسطي $\overline{T^2/m}$ S ² kg ⁻¹
٠.٠٢٠					
٠.٠٣٠					
٠.٠٤٠					
٠.٠٥٠					

٧ - النتائج:

٧ - ١ - ارسم على ورق ملمتري الخط البياني (١) لتحولات (ΔL , mg) المثبتة في الجدول (١)، ما هو شكل هذا البياني؟ هل يؤكد صحة قانون هوك؟ كيف يمكن إيجاد قيمة ثابت صلابة النابض من البياني؟ أوجد هذه القيمة وقارن مع القيمة الوسطية في الجدول (١).

٧ - ٢ - ارسم على ورق ملمتري الخط البياني (٢) لتحولات T² مع m المثبتة في الجدول (٢) ما هو شكل البياني؟ هل يؤكد صحة العلاقة (٨)؟ كيف يمكنك إيجاد قيمة ثابت صلابة النابض من هذا البياني؟ أوجد هذه القيمة وقارن مع القيمة التي حصلت عليها في الجدول (١) ومن البياني (١).

٧ - ٣ - ارسم على ورق ارغافيتي الخط البياني (٣) لتحولات T بدلالة m إن الخط الناتج هو مستقيم. أوجد ميل هذا المستقيم، هل قيمة الميل تحقق العلاقة (٨)؟

التجربة الرابعة

انعكاس الأمواج المستوية فوق الصوتية على سطح مستوي

أهداف من التجربة

• قياس الشدة المنعكسة كنسبة لزواوية المستقبل في حالة زاوية ورود ثابتة.

• تحديد زاوية الانعكاس .

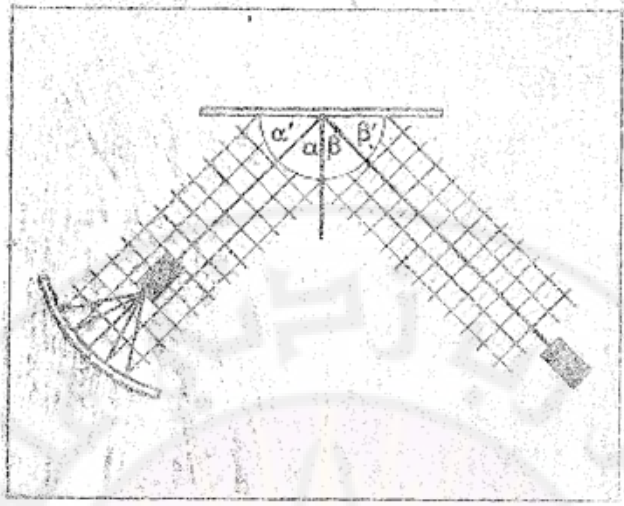
• التحقق من قانون الانعكاس .

الأجهزة والأدوات المستخدمة:

- ترازوسر فوق صوتي تواتر 40kHz - مولد 40kHz
- مضخم متناوب -- مرآة مقعرة -- حامل للمرآة المقعرة -- راسم امتزاز مبهطي ذو قناتين
- جسر ضوئي -- (كسوروات، عتلفة).

المبدأ النظري :

تهدف التجربة إلى إثبات أن قانون الانعكاس ينطبق أيضاً على الأمواج فوق الصوتية. حيث نعرف زاوية الانعكاس بأنها الزاوية بين الناقم على السطح والانباء الذي يعطي الشدة المنعكسة العظمى (انظر الشكل ١) .



الشكل ٩ انعكاس الأمواج المستوية فوق الصوتية على سطح مستوي ، $\alpha = \beta$ = زاوية الورد = β = زاوية الانعكاس .

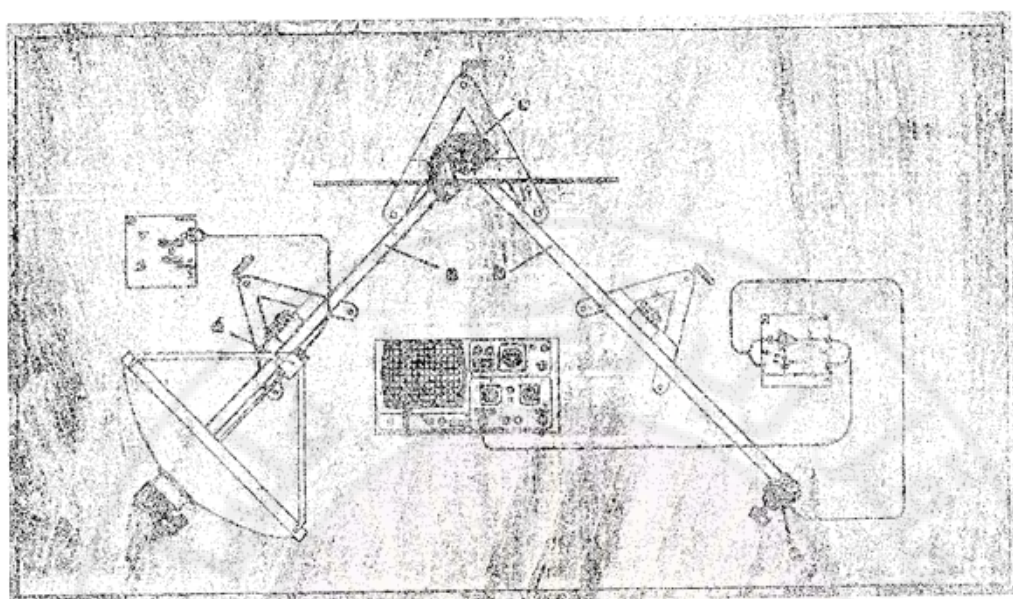
يحول الجسم الكهروضغطي (Piezoelectric body) الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية . ويعمل هزازان فوق صوتيين كمرسل ومستقبل وفقاً لطريقة توصيلهما . فعند تطبيق جهد متناوب على الجسم الكهربائي الانضغاطي المستعمل كمرسل فإنه يعطي سعة صوتية عالية عند تواترين متجاورين مختلفين هما 40 kHz و 38 kHz تقريباً . وبالعكس تولد الأمواج الصوتية اهتزازات ميكانيكية في الجسم الكهربائي الانضغاطي المستعمل كمستقبل ، وتكون قيمة الجهد الكهربائي المتناوب الناتج متناسبة مع السعة الصوتية .

يوضع الترانزديوسر الأول ، والذي يعد منبعاً نقطياً للأمواج فوق الصوتية ، عند محسرق عاكس مقعر فنحصل بذلك على موجة مستوية . وتؤدي الإشارة من الترانزديوسر الثاني (المستقبل) راسم الإشارة بعد تضخيمها عبر المضخم ، ويستعمل مربع سعة هذه الإشارة كقياس للشدة المنعكسة .

إعدادات التجربة

رتب التجربة كما هو موضح بالشكل ٢ .

- ركب الجسرين الضوئيين (a) و (b) على القاعدتين الصغيرتين واربطهما مع سلم الزوايا مع عقدة الدوران (c) .
- أدخل قضيب التثبيت ضمن عقدة الدوران (c) واربطه مع قاعدة التثبيت الكبيرة .
- اضبط محور الجسرين الضوئيين بشكل أفقي ، اختبر ذلك باستعمال الميزان الزفقي .
- سجل صفيحة الانعكاس على عمود التثبيت .
- سمع المجموعة المؤلفة من المرآة المقعرة وسامل الكاشف والترانزودوسر الأول (d) على الجسر الضوئي (a) .
- اربط التراندوسر الثاني (e) مع الجسر الضوئي (b) وعدله إلى ارتفاع التراندوسر الأول نفسه .
- سجل التراندوسر (d) إلى المولد وضع المولد في حالة التشغيل المستمر .
- سجل التراندوسر (e) مع راسم الاقتران المهيطي من عملاق نافذهم .



الشكل ٢ ترتيب تجربة انعكاس الأمواج المحتوية فوق الصوتية ، منظر علوي .

الترتيبات

رتب الجهاز بحيث يكون $\alpha + \beta = 180^\circ$ انظر الشكل ١

- استعمل شريط القياس في وضع صفيحة الانعكاس بشكل مواز قسدر الإمكان للحسن الصوري
- انخفض ربح المضخم إلى قيمته الصغرى وشاهد إشارة المستقبل على راسم الاهتزاز
- عدّل تواتر المولد بحيث تعمل إشارة المستقبل إلى قيمتها العظمى
- إذا لم تكن الإشارة جيّبة يكون الريح أكثر مما ينبغي أن يكون عليه عند ذلك .
- غير قيمة التواتر على المولد بحيث يصبح تواتر تشغيل المرسل مختلفاً قليلاً عن تواتر المتحارب

الترتيبات الدلالية

-- عدّل المستقبل بشكل يكون فيه مقابلاً للمرسل (تكون سعة الجهد لإشارة المستقبل عظمى)

-- ضع ساق المرسل عند زاوية تساوي 45^0 ، ودور ساق المستقبل وقس قيمة الجهد لإشارة المستقبل كنابع لزاوية ساق المستقبل .

إذا أظهرت قيمة الجهد نهاية ثانوية عظمى ذات قيمة غير مهملة إضافة للنهية العظمى عند الزاوية 45^0 عندها ،

-- تأكد من وضع الترانزستور بصورة صحيحة .

طريقة العمل :

الجزء الأول :

-- ثبت زاوية ورود على القيمة $\alpha = 45^0$ (انظر الشكل ١)

-- غير قيم الزاوية β' من القيمة 37^0 إلى القيمة 53^0 بخطوة تساوي 1^0 و قس قيمة الجهد لإشارة المستقبل .

-- سجل كل قيمة $\beta' = 90^0 - \beta$ مع قيمة الجهد المقابلة لها في دفترك .

الجزء الثاني : التحقق من قانون الانعكاس

-- اجعل الزاوية $\alpha' = 80^0$.

-- لتحديد زاوية الانعكاس β غير قيم الزاوية β' حتى تجد القراءة العظمى للجهد .

-- سجل زاوية ورود $\alpha' = 90^0 - \alpha$ وزاوية الانعكاس $\beta' = 90^0 - \beta$ في دفترك .

-- أعد من أجل القيمة التالية لـ α' (الجدول ٢) .

- - جلد زاوية الانعكاس β .
- - ارسم بياناً زاوية انعكاس β كتابع لزاوية الورود θ
- - ارسم مربع قيمة الجهد V عند المستقبل كتابع لزاوية β



رابعاً : تجارب في الحرارة والتحويل بين والضوء

١ - تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية

٢ - الحرارة النوعية لجسم صلب

٣ - جسر واطسن



التجربة الأولى

تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية

الهدف من التجربة:

التأكد من التكافؤ بين الطاقة الكهربائية والطاقة الحرارية .

المبدأ النظري :

الطاقة هي قياس للعمل المنجز . وتظهر بأشكال مختلفة . والتي يمكن تحويل أي منها إلى الآخر . وتكون الطاقة في الجمل المغلقة مضمونة خلال عمليات التحويل . لذلك تعد الطاقة واحدة من المقادير الأساسية في الفيزياء .

ستتحقق في هذه التجربة من تكافؤ الطاقة الكهربائية E_{el} والطاقة الحرارية E_{th} . تتحول الطاقة الكهربائية المقدمة E_{el} إلى طاقة حرارية E_{th} في سلك التسخين . وهذا يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة المسعر وما يحويه من الماء . وبما أننا نستطيع قياس التيار الكهربائي I ودرجة الحرارة θ في اللحظة نفسها ، وبمعرفة الجهد الكهربائي الثابت المطبق ، نستطيع تسجيل شمسكلي الطاقة بدلالة كمية مستعملين وحدة الواط ثانية (Ws) للطاقة الكهربائية ووحدة الجسول (J) للطاقة الحرارية . ومن ثم التأكد من تكافؤهما العددي بصورة تجريبية : $E_{el} = E_{th}$.

الأجهزة والأدوات المستعملة :

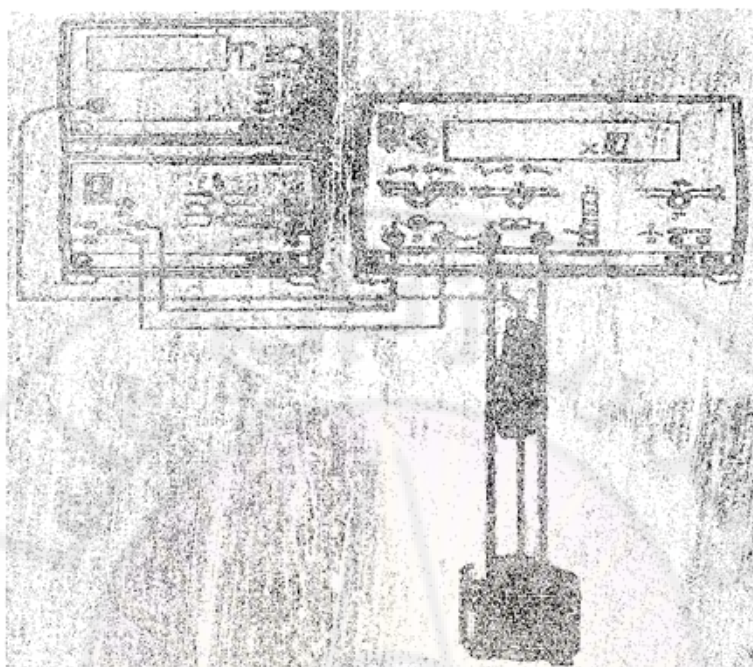
يبين الشكل ١ الأجهزة المستخدمة في هذه التجربة

- متبع توتر مستمر $0 \dots 12 \text{ V}$ - مسعر مع سلكين للوصل الكهربائي

- محول جهد منخفض - مقياس حرارة رقمي

- حساس حراري - مقياس جهد وطاقة

- ميزان مخبري لقياس الكتلة



الشكل (١) ترتيب الأجهزة في تجربة تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية .

طريقة العمل :

- ضع المسعر بحيث تتجه فوهته نحو الأعلى واملأه بالماء .
- احسب كمية الماء الموجودة في المسعر من الفرق بين وزن المسعر قبل ملئه بالماء ووزنه بعد ملئه بالماء .
- أدخل القطاء في الفوهة وثبته بيزال الإغلاق .
- أدخل الحساس الحراري قدر المستطاع في فتحة المسعر وشد بيزال الإغلاق .
- رتب الأجهزة كما في الشكل (١) .
- ضع مقياس الجهد والطاقة على الوضعية "Ws" وحوله إلى وضع الإعداد (reset) ثم الإقلاع (run) .
- طبق جهد التسخين (حوالي 9 V و 1A - 0.5A) واقسراً درجة الحرارة الابتدائية θ_0 .
- اقرأ قيمة الطاقة الكهربائية على مقياس الطاقة E_{el} ودرجة الحرارة على ميزان الحرارة θ_1 ، وسجلها كل ثلاثين ثانية في دفترك .

- أعد جهد الأسطوانين إلى الأحمر عندما يصبح الفرق في درجة الحرارة المرغوبة 10°C .
- أحسب قيم الطاقة الحرارية المتقابلة لقيم الطاقة الكهربائية من الماء $E_{th} = C.m.\Delta T$
- عين على ورقة مليمتريّة قيم الطاقة الحرارية E_{th} كنسب لقيم الطاقة الكهربائية E_{el}
- ارسم الخط البياني لتغيرات الطاقة الحرارية بدلالة الطاقة الكهربائية.
- كرر الخطوات السابقة مستخدماً المسعرين الآخرين في حال وجودهما.

ملاحظة

ترتبط قيمة السعة الحرارية C (J/K) بالمسعر المعامل وفقاً لما يلي :

(أ) المسعر C_1 : (كتلة الماء الموجود ضمن المسعر مقدرة بالغرام

$$C = 264 + 4.18x$$

(ب) المسعر A_1 الصغير : (كتلة الماء الموجود ضمن المسعر مقدرة بالغرام)

$$C = 188 + 4.18x$$

(ت) المسعر A_2 الكبير : (كتلة الماء الموجود ضمن المسعر مقدرة بالغرام)

$$C = 384 + 4.18x$$

يتم التأكد من التكافؤ بين الطاقة الكهربائية والطاقة الحرارية بصورة تجريبية من المنسج المستقيم الممثل لقيمتها والمار من المبدأ . يكون ميل هذا المنسجيم أقل قليلاً من الواحد بسبب خسارة الحرارة الناتجة من الإشعاع الحراري . ويكون هذا الأمر أكثر وضوحاً في حالة فترات قياس طويلة حيث تنحرف معطيات القياس عن الخط المنسجيم المار من المبدأ



التجربة الثانية

الحرارة النوعية للجسم الصلب

الهدف من التجربة:

قياس الحرارة النوعية للجسم صلب (كرات حديد أو رصاص).

الأجهزة والأدوات المستخدمة:

مسعر بسيط - ميزان حرارة مئوي - قطع صلبة (حديد، رصاص...)، سخانة كهربائية - ميزان - عنق من نفس نوع المسعر - وعاء لتسخين.

المبدأ النظري:

تختلف المواد عن بعضها بمقدار كمية الحرارة التي تكتسبها من الوسط الخارجي حتى لو انخفضت للظروف التجريبية نفسها، أي أن لطبيعة المادة علاقة بمقدار كمية الحرارة المكتسبة وهكذا يكون لكل مادة حرارة نوعية خاصة تميزها عن غيرها من المواد.

تعرف الحرارة النوعية للجسم ما بأنها كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة جسم كتلة (1 g) درجة مئوية واحدة. وتعطى الحرارة النوعية الوسطية لمادة ما بين درجتَي حرارة t_1 (الدنيا) و t_2 (العليا)

$$C_m = \frac{1}{m} \cdot \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (1)$$

بالعلاقة التالية:

حيث C_m هي الحرارة النوعية الوسطية للمادة في المجال (t_1, t_2)

حيث ΔQ كمية الحرارة اللازمة لتسخين الجسم الذي كتلته m من الدرجة t_1 إلى الدرجة t_2 حيث $\Delta t = t_2 - t_1$.

وعندما تتناهى $t_2 \leftarrow t_1$ فإن $C \leftarrow C_m$ ، حيث C هي الحرارة النوعية.

للجسم المنروس في الدرجة (t) إذن:

$$C = \frac{1}{m} \cdot \frac{dQ}{dt} \quad (٢)$$

يسمى المقدار $m \cdot C$ بالسعة الحرارية للجسم وتعرف بأنها كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة الجسم درجة مئوية واحدة.

يتم تعيين الحرارة النوعية لجسم ما بطريقة المزج، وهذه الطريقة تعتمد على مبدأ التوازن الحراري عندما يوضع جسم ساخن كمية حرارته Q_1 في مسعر يحوي ماء بارداً، فإن كمية الحرارة التي تفقدها الجسم الساخن فيهما يكتسبها الجسم البارد بشكل Q_2 ، أي كمية حرارة الجسم التي سيفقد هــالجسم الساخن تساوي كميتي الحرارة التي يكتسبها المسعر والماء بداخله، وهكذا نستطيع أن نكتب في حالة التوازن الحراري أن:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0 \quad (٣)$$

$$-Q_1 = Q_2 + Q_3 \quad (٤) \quad \text{أي:}$$

وبما أن كمية الحرارة لأي جسم بين درجتين t ، t' تعطى بالعلاقة التالية:

$$Q = mv (t - t') \quad (٥)$$

حيث t هي درجة الحرارة النهائية و t' هي درجة الحرارة الابتدائية عندها نستطيع كتابة العلاقة (٤) بالشكل التالي:

$$(٦)$$

$$-m_1 c_1 (t - t_1) = m_2 c_2 (t - t_2) + m_3 c_3 (t - t_3)$$

حيث t_1 ، t_2 ، t_3 هي درجات الحرارة الابتدائية لكل من الجسم الساخن والمسعر والماء البارد. وبالترتيب و t هي درجة الحرارة الابتدائية للمحتملة كلها.

حيث m_1 ، m_2 ، m_3 هي كتل الجسم الساخن والمسعر والماء البارد بالترتيب. من هذه العلاقة نجد:

$$C_1 = \frac{m_2 c_2 (t - t_2) + m_3 c_3 (t - t_3)}{m_1 (t - t_1)} \quad (٧)$$

ملاحظة: يتضح من تعريف الحرارة النوعية بأنها كمية الحرارة منسوبة إلى فرق درجات الحرارة

والكتلة فتكون واحداً في الجملة الدولية

			جول	×	١			
			كلفن		كغ			

يبد أن الشائع حتى الآن هو تقدير كمية الحرارة بالحريرة وهي واحدة عملية سألوفة وتعريفها هو كمية الحرارة اللازمة لتغيير درجة حرارة غرام واحد من الماء النقي درجة مئوية واحدة ما بين الدرجتين المئويتين (١٤.٥-١٥.٥) ويتضح من هذا التعريف أن الحرارة تكافئ الحرارة النوعية للماء بين الدرجتين المذكورتين وإن لم تكن القياسات دقيقة جداً فتعتبرها بأنها تكسافئ الحرارة النوعية للماء السائل بين الدرجتين المئويتين (١٠٠-٠).

والكلفن: فهو يكافئ الدرجة المئوية عملياً ولو اختلف عنها تعريفاً.

		حريرة	×	١				
		درجة مئوية		غرام				

طريقة العمل:

يحضر الطالب معه قطعة قماش قطعتين من أجل تخفيف أدوات التحرية ولولازمها.

١- عين كتلة القطعة المعدنية وهي جافة تماماً وليكن (m₁)

٢- عين كتلة المسعر والمخلوط وهما جافان تماماً وليكن (m₂) ثم املاً المسعر حتى منتصفه بالماء

عين كتلة المسعر والمخلوط والماء واستنتج كتلة الماء وليكن (m₃)

٣- ضع ميزان الحرارة في المسعر وحرك بالمخلوط واقراً درجة حرارة المسعر والماء (t₂) ثم اخرج ميزان الحرارة من المسعر.

٤- علق القطعة المعدنية مغمورة بكاملها في الماء في وعاء التسخين واركبها في الماء بعد غليانه لمدة خمس دقائق لضمان حدوث التوازن الحراري بينها وبين الماء. عين درجة حرارة الماء الفسالي (t₁).

٥- أخرج القطعة المعدنية من وعاء التسخين مستعيناً بخيط التعليق وضعها بسرعة في المسعر. وحرك بالمخلوط.

٦- ضع ميزان الحرارة من الحديد في المسعر مع الاستمرار في التحريك وعين أعلى درجة حرارة t يسجلها ميزان الحرارة وهي درجة حرارة التوازن بين المسعر والماء والقطعة المعدنية سجل القيم المقاسة في جدول كالتالي:

								$\bar{C}_1 (Jg^{-1}.K^{-1})$
		$m_1 (g)$	$m_2 (g)$	$m_3 (g)$	$t_1 (^\circ C)$	$t_2 (^\circ C)$	$t_3 (^\circ C)$	
حديد	١							
	٢							
رصاص	١							
	٢							

النتائج :

بفرض C_1 الحرارة النوعية لمعدن القطعة.

و C_2 الحرارة النوعية لمعدن المسعر والمخلوط وتموض بقيمة $0.39 (Jq^{-1}K^{-1})$ للنحاس

و $0.88 (Jq^{-1}K^{-1})$ للألمنيوم.

و $C_3 = 4.18 (Jq^{-1}K^{-1})$ الحرارة النوعية للماء.

- وبإهمال السعة الحرارية لميزان الحرارة وكذلك بإهمال ضياع الحرارة بالإشعاع وغيره فإن كمية الحرارة التي فقدتها القطعة المعدنية عند حدوث التوازن الحراري بينها وبين المسعر ومحتوياته هي:

$$m_1 c_1 (t_1 - t)$$

وهي تساوي كمية الحرارة التي اكتسبها المسعر والمخلوط والماء

$$(m_2 c_2 + m_3 c_3) (t - t_2)$$

وتحسب الحرارة النوعية لمعدن القطعة من العلاقة:

$$C_1 = \frac{(m_2 c_2 + m_3 c_3) (t - t_2)}{m_1 (t_1 - t)}$$

٧- اكتب هذه العلاقة مع التعويض بالقيمة العددية المقاسة واحسب الحرارة النوعية.

٨- أعد التجربة بضع مرات واحسب القيمة الوسيطة للحرارة النوعية للمعدن

٩- ناقش الارتيابات.





التجربة الثالثة

جسر وطسطن

الهدف من التجربة:

- أ - تعيين مقاومة مجهولة باستخدام جسر وطسطن.
- ب - التحقق من قانون جمع المقاومات على التسلسل.
- ج - التحقق من قانون جمع المقاومات على التفرع.
- د - التعرف على طريقة قياس المقاومات المستخدمة في الأجهزة والدارات الكهربائية.

الأجهزة والأدوات المستخدمة:

جسر وطسطن، وحدة تغذية بالتيار المتواصل، مقاومات عيارية، مقياس فولط، مقاومات مجهولة، أسلاك توصيل.

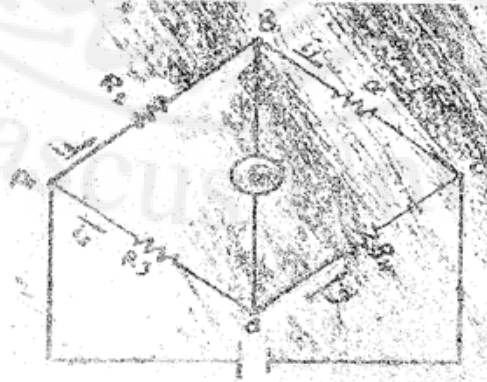
المبدأ النظري:

وصف الجسر: يتألف جسر وطسطن من شبكة كهربائية تحتوي أربع مقاومات، ثلاث منها معلومة أما الرابعة فهي المجهولة التي نرغب في قياسها، وتحوي وحدة تغذية تعطي تياراً مستمراً، وجهاز غلفاني (G) حساس للتيار ويبين الشكل (1) الدارة النظرية لجسر وطسطن.

المقاومات الأربعة هي R_1, R_2, R_3, R_4 تشكل دائرة كهربائية هي A B C D.

يصل قطبا وحدة التغذية بالمريطين (A)، (C) بينما يتصل المريطان الآخران B، D بجهاز

الغلفاني.



توازن الجسر :

عندما يتوازن جسر وطسطن يكون فرق الكمون بين النقطتين (B) و (D) معدوماً أي
 $V_B - V_D = 0$ حيث (VB) هو كمون النقطة (B) و (VD) هو كمون النقطة (D). ففي حالة
 توازن الجسر.

تكون شدة التيار الكهربائي (i_1) في الفرع AB مساوية لشدة التيار في الفرع (BC).
 وتكون شدة التيار الكهربائي (i_2) في الفرع (AD) مساوية لشدته في الفرع (DC).
 حيث أن التيار (i) الصادر من وحدة التغذية يتفرع إلى فرعين هي (i_1) و (i_2) عند النقطة (A)
 وعند وصول التيار إلى (D, B) يتفرعان مرة أخرى.
 ونحصل على:

$$V_A - V_D = V_A - V_B \quad (1)$$

$$V_D - V_C = V_B - V_C \quad (2)$$

$$i_1 R_1 = i_2 R_3 \quad (1')$$

$$i_1 R_2 = i_2 R_4 \quad (2')$$

وبالتقسيم والاختصار نحصل على العلاقة التالية:

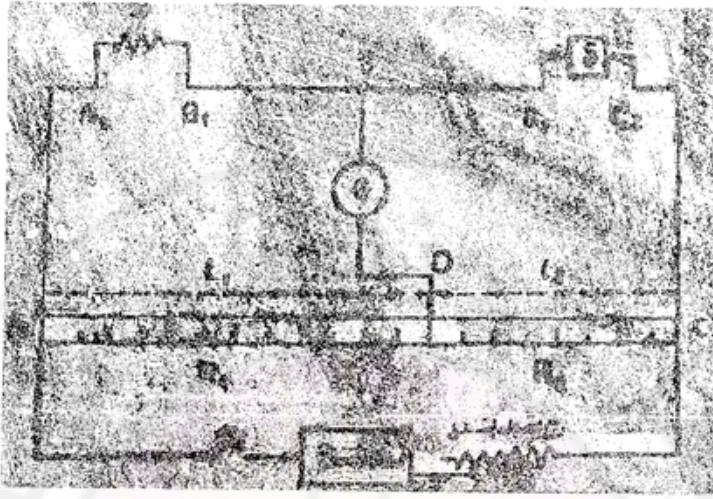
$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \quad (3)$$

فإذا أعطيت المقاومات R_4, R_2, R_3 أمكن استخراج المقاومة الرابعة ($R_1 = X$) المجهولة وذلك
 في حالة توازن الجسر.

ويلجأ عادة لاستخدام مقاومة عيارية (S) معلومة مكان R_2 ويقوم مقام المقاومتين R_3, R_4 .
 جزءا السلك ADC وهما L_1, L_2 وذلك لأن نسبة مقاومتي سلكين متجانسين تساوي نسبة
 طوليهما بحسب العلاقة، انظر الشكل (2) ويصبح الشكل النهائي للعلاقة (3).

$$\frac{X}{S} = \frac{L_1}{L_2} \quad R = \rho \frac{L}{S}$$

$$\text{أو } X = S \frac{L_1}{L_2} \quad (4) \quad \text{حيث } (L_1) \text{ يقابل المقاومة المجهولة، } (L_2) \text{ يقابل المقاومة العيارية } (S).$$



طريقة العمل:

١ - فصل الدارة كما في الشكل (٢).

حيث أن الجسر المتري (وطسطن) هو مؤلف من مسطرة خشبية طولها متر ومربوط في طرفيها سلك معدني متجانس ومنظم المقطع (AC) وتزلق فوق السلك الزايفة D تستخدم لتحقيق توازن الجسر ويتصل طرفا السلك بقطع نحاسية مجهزة في نهاياتها بمحاط هسي B_1, C_1, B_2, C_2 .

٢ - نضع إحدى المقاومات المجهولة X_1 بين المربطين (A_1, B_1) والمقاومة العيارية (S) بين المربطين (B_2, C_2) .

٣ - نصل وحدة التغذية عن طريق مخرج التيار المتواصل ذي الكمون المتغير إلى مأخذ تيار المدينة (220v) واجعل الزايفة D عند منتصف السلك (AC) أي عند التدريج (٥٠) على المسطرة.

٤ - نبحث عن نقطة التماس (D) بين السلك (D - C) الموصل إلى المقياس الفلفاسي (G) والسلك المتري (AC) والتي من أجلها يبقى المؤشر في وضع استقراره.

ونؤكد بأن نزوح الربط D قليلاً إلى إحدى الجهتين فإن مؤشر المقياس ينحرف أيضاً.

ونتأكد أيضاً أنك إذا رفعت المربط (D) عن السلك ثم أعدته للنقطة نفسها فإن المؤشر يبقى مستقرًا، إن قطع الدارة ووصلها لا يؤثر على وضع الاستقرار.

٥ - سجل الطولين (L_1 , L_2) اللذين تحددهما النقطة (D) عن السلك (AC) اقطع التيار مسن وحدة التغذية منعاً لزيادة ارتفاع درجة حرارة السلك (AC).

بادل بين موضعي (S) و (X_1) وابحث عن التوازن الجديد للجسر.

ليكن (L_1) طول السلك المقابل للمقاومة (X_1) و (L_2) طول السلك المقابل للمقاومة العيارية (S) احسب المقاومة X_1 من العلاقة:

$$X_1 = S \frac{\overline{L}_1}{\overline{L}_2} \quad (٥)$$

$$\overline{L}_1 = \frac{L_1 + L_1'}{2} \quad \overline{L}_2 = \frac{L_2 + L_2'}{2} \quad \text{حيث}$$

إن طريقة مبادلة المقامتين (X_1 S) تؤدي إلى تخفيض الارتفاع الناتج عن عدم انتظام مقاسم السلك وعن خطأ التوصيل عند طرفيه.

٦ - أعد الإجراء من (٤ -) بالنسبة لكل من المقاومتين المجهولتين (X_2) - (X_3) سجل النتائج في جدول كما يلي:

المقاومة المجهولة	S المقاومة العيارية Ω	L_1 m	L_2 m	L_1' m	L_2' m	$\overline{L}_1$ m	$\overline{L}_2$ m	$X = S \frac{\overline{L}_1}{\overline{L}_2}$ Ω
X_1								
X_2								
X_3								

جدول (٩)

٧ - صل المقاومتين (X_1 , X_2) على التسلسل وأعد الإجراء السابق مستخدماً المتساومتين الموصوفتين على التسلسل بدلاً من إحداهما كما في الشكل (٣).



شكل (٣)

سجل النتائج في جدول كما يلي:
المقاومتان على التسلسل.

جدول (٧)

S	L_1	L_2	$'L_1$	$'L_2$	$\bar{L}_1$	$\bar{L}_2$	$X = S \frac{\bar{L}_1}{\bar{L}_2}$	$X = X_1 + X_2$	$100 \frac{\Delta X}{X} \%$
							Ω		

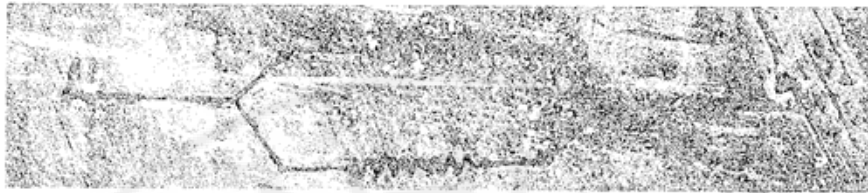
هل النتيجة التجريبية $X = S \frac{\bar{L}_1}{\bar{L}_2}$ تطابق النتيجة التي يفرضها قانون جمع المقاومات على

التسلسل

$X = X_1 + X_2$ ؟ سجل الفرق بين النتيجةين

$\Delta X = |X' - X|$ ناقش الارتبايات.

— صل المقاومتين (X_1, X_2) على التفرع وأعد الإجراء السابق مستخدماً المقاومتين الموصورتين على التفرع بدلاً من إحداهما كما في الشكل (٤).



سجل النتائج في جدول كما يلي:

المقاومتان على التفرع جدول (٣).

S	L_1	L_2	$'L_1$	$'L_2$	$\bar{L}_1$	$\bar{L}_2$	$X = S \frac{\bar{L}_1}{\bar{L}_2}$	$\frac{X_1 X_2}{X_1 + X_2}$ $X =$	$100 \frac{\Delta X}{X} \%$

جدول (٣)

ناقش كما في الجدول السابق.

— طريقة قياس المقاومات المستخدمة في الأجهزة والدارات الكهربائية.

يتم هذا القياس بقراءة قيم المقاومات الملونة المستخدمة في الأجهزة الإلكترونية حيث رمز لكل رقم من الصفر حتى تسعة بلون معين كما في الجدول الآتي:

العدد	٠	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩
اللون الذي يدل عليه	أسود	بني	أحمر	برتقالي	أصفر	أخضر	أزرق	بنفسجي	رمادي	أبيض
A	٠	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩

B	٠	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩
C	١	١٠	١٠ ^٢	١٠ ^٣	١٠ ^٤	١٠ ^٥	١٠ ^٦	١٠ ^٧	١٠ ^٨	١٠ ^٩

جداول (٤)

يوجد من المقاومات نوعان يظهران بالشكلين (٥) ، (٦).

في الشكل (٥) يدل لون الجسم (A) على الرقم الأول من اليسار ويدل لون الطرف (B) على الرقم الذي يليه أما لون البقعة (C) فيدل على عدد الأصفار التي ينبغي وضعها أمام الرقمين السابقين.

مثلاً إذا كان لون الجسم بنياً والطرف أحمر والبقعة برتقالي كانت القيمة المطلوبة (12000Ω).



شكل ٥

أما الشكل (٦) يحوي هذا النوع أربع حلقات A,B,C,D يكون لون الحلقة D فضياً أو ذهبياً. ويدل لون الحلقة (A) على الرقم الأول من اليسار ولون الحلقة (B) على الرقم الذي يليه أما لون الحلقة (C) فيدل على عدد الأصفار التي ينبغي وضعها أمام الرقمين السابقين.

فإذا افترضنا أن الحلقات الثلاث صفراء اللون مثلاً كانت قيمة المقاومة ($440\ 000\ \Omega$)

ويدل اللون الفضي على أن الخطأ النسبي في قيمة المقاومة هو (١٠%) في حين أن اللون الذهبي يدل على أن الخطأ النسبي في قيمة المقاومة هو (٥%).



شكل ٦

العمل:

١ - تدرب على قراءة المقاومات التي لديك باستخدام جدول الألوان واكتب قيمتها مباشرة مع

الخطأ المطلق والخطأ النسبي بالشكل $R_i = (\bar{R} \pm \Delta R)$.

٢ - صل المقاومة بالأفومتر واقرأ القياس الحاصل بالأوم.

٣ - قارن القراءة المباشرة مع القياس الحاصل بالأفومتر وسجل نتائجك في جدول واحسب الفرق ماذا تستنتج؟

خامساً" : تجاربه في أنصافه النواقل والألكتروليتاته

١ - قياس التواتر بواسطة منحنيات (أشكال) ليساجو باستخدام راسم الاهتزاز المجهطي

٢ - دراسة الوصلة الثنائية $P - N$ نصف ناقلة

٣ - استخدام الوصلة الثنائية $P - N$ في تقويم التيار المتناوب

٤ - الناقل الفائق وتعيين درجة حرارة الانفصال



التجربة الاولى

قياس التواتر بواسطة منحنيات (أشكال) ليساجو باستخدام راسم الاهتزاز المهيطي

الهدف من التجربة :

- التعرف على أشكال ليساجو.
- قياس تواتر مجهول بمقارنته بتواتر معلوم باستخدام أشكال ليساجو.

الأجهزة والأدوات المستخدمة:

المبدأ النظري :

يعد راسم الاهتزاز المهيطي من أهم الأجهزة المساعدة في تصميم الدوائر الالكترونية ومتابعة الإشارة فيها بيان 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 المهيطة بفضل فروق الكمون المطبقة عليها .

- بنية الراسم:

يتألف راسم الاهتزاز المهيطي من الأجزاء الرئيسية التالية :

أ - أنبوب الأشعة المهيطة :

يتألف أنبوب الأشعة المهبطية من أنبوب مفرغ من الهواء ، بضغط حوالي 10^{-6} mm Hg ، تقع في أحد طرفيه .

- شاشة S : مطلية من الداخل بمادة كيميائية ملائمة تصدر ضوءاً مرئياً لصدى اصطدام الإلكترونات بها ويختلف لون الضوء الصادر أنبوباً لآخر بحسب المادة الكيميائية المستخدمة كطلاء للشاشة من الداخل .

وفي الطرف الآخر : قاعدة B تبرز منها مجموعة من الدبابيس تتصل بعناصر الأنبوب المختلفة مهمتها وصل الأنبوب بالدارات الكهربائية الخارجية التي تؤمن الشروط اللازمة لعمله .
- المهبط K :

التي تعتبر سبلاً من الإلكترونات عن طريق تسخينه بالطريقة غير المباشرة بواسطة سلك التسخين (الفتيل) *Filament* وهو من التنغستين ، الذي يتوهج لدى مرور التيار الكهربائي فيه ، ولا يظهر الفتيل في الشكل لإحاطة المهبط به إحاطة تامة . ويعد المهبط المصغر الحقيقي للأشعة المهبطية أو للالكترونات في الأنبوب .

- الشبكة الحاكمة G :

وهي على شكل أسطوانة مزودة بفتحة أو ثقب تسدعي أسطوانة فنهلت *Wehnelt*

وتتصل بكمون سالب قابل للتغير ، يمكن بفضلها التحكم بشدة الإلكترونات التي تتابع المسار في الأنبوب حتى تصطدم بالشاشة S ، وذلك باستخدام مفتاح شدة الإنارة *Intensity* .

- مصدر الإحكام A1 :

وهو على هيئة أسطوانة مفتوحة الطرفين ، يتصل بكمون كهربائي موجب قابل للتغير ، مما يساعد في توليد حزمة دقيقة وسريعة ومقاربة من الالكترونات لتتابع المسير إلى باقي أجزاء

الأنبوب ، وذلك باستخدام مفتاح الإحكام *FOCUS*

-- مصعد التسريع *A2* :

وهو كذلك على هيئة أسطوانة مفتوحة الطرفين، يتصل بكمون كهربائي عال موجب، مما يساعد في تسريع الالكترونات الصادرة عن المهبط حتى تكتسب سرعة عالية، عند خروجها منه بحيث تتجمع هذه الالكترونات حتى تشكل حزمة مقاربة يكون أثرها على الشاشة أصغر ما يمكن .

-- لوحا الانحراف الشاقولي V_1 ، V_2 :

وهما لوحان أفقيان متوازيان ويعملان على تحريك حزمة الالكترونات شاقولياً إلى الأعلى وإلى الأسفل بفضل الكمونات الكهربائية المطبقة عليهما من خارج الأنبوب.

-- لوحا الانحراف الأفقي H_1 ، H_2 :

وهما لوحان شاقوليان متوازيان ، ويعملان على تحريك حزمة الالكترونات أفقياً إلى اليمين وإلى اليسار بفضل الكمونات الكهربائية المطبقة عليهما من خارج الأنبوب .

تسمى عادة جملة الفتيل F والمهبط K وشبكة التحكم G ومصعد الإحكام A_1 ومصعد

التسريع *A2* باسم المدفع الالكتروني (*electron gun*) وذلك لأن هدفها جميعاً هو إصدار

سيل من الإلكترونات بسرعة عالية على شكل حزمة دقيقة لتدخل منطقة لوجي الانحراف الشاقولي

V_1, V_2 ومنطقة لوجي الانحراف الأفقي H_1, H_2 .

- دراسة انحراف الأشعة المهبطية في حقل كهربائي :

تقوم الدراسة النظرية لانحراف الأشعة المهبطية في حقل كهربائي متولد بين لوحين p و p'

، إلى أن الانحراف النهائي للإلكترون يدخل من اليسار بسرعة V_x يعطى بالعلاقة :

$$y = y_1 + y_2 = \frac{qEL}{m v_x^2} \left(\frac{L}{2} + D \right) \quad (1)$$

حيث :

y_1 : انحراف الإلكترون عن المحور OX لحظة خروجه من بين لوحي الانحراف

y_2 : انحراف الإلكترون خارج لوجي الانحراف وحتى يصطدم بالشاشة.

q : شحنة الإلكترون ، m كتلة الإلكترون .

L : طول المنطقة التي يؤثر فيها الحقل الكهربائي E أي طول لوجي الانحراف .

بعد الشاشة عن لوجي الانحراف .

إذا لاحظنا أن $E = \frac{V}{d}$ حيث V فرق الكمون المطبق بين لوحي الانحراف و d المسافة بين

اللوحين أمكننا كتابة العلاقة (1) بالشكل :

$$y = \frac{qVL}{m d v_x^2} \left(\frac{L}{2} + D \right) \quad y = KV \quad (2)$$

حيث K ثابت يحتوي على مقادير مميزة للأنبوب مثل d, D, L ومقادير ممثلة للإلكترون

وهي q, m ومقدار مميز للمدفع الإلكتروني وهو V_x .

يتضح من العلاقة (2) أن الانحراف الذي نشاهده على شاشة أنبوب الأشعة المهبطية يتناسب مع

فرق الكمون المطبق بين لوحَي الانحراف، وبالتالي يمكننا استخدام أنبوب كهذا كمقياس لفرق

الكمون ولإظهار الإشارات الكهربائية على اختلاف أنواعها. وهنا يكمن سر عمل الراسم.

ب - مضخم الانحراف الشاقولي :

تشير الدراسة النظرية إلى أن مقدار انزياح حزمة الإلكترونات بفعل فرق الكمون V المطبق

على لوحَي الانحراف الشاقولي يتناسب طردياً مع هذا الفرق للكمون ، الأمر الذي يسمح

باستخدام الراسم لقياس القوى المحركة الكهربائية بعد تدريبه تدريباً مناسباً .

ج - مضخم الانحراف الأفقي :

وهو يشبه في عمله مضخم الانحراف الشاقولي ويعمل عند تطبيق إشارة خارجية على لوحَي

الانحراف الأفقي

د - مولد قاعدة الزمن .

يستخدم الراسم بحيث يتصل لولحَا الانحراف الأفقي فيه بفرق كمون يتولد داخل الراسم

ويتغير مع الزمن وفق منحن بياني على شكل أسنان المنشار.

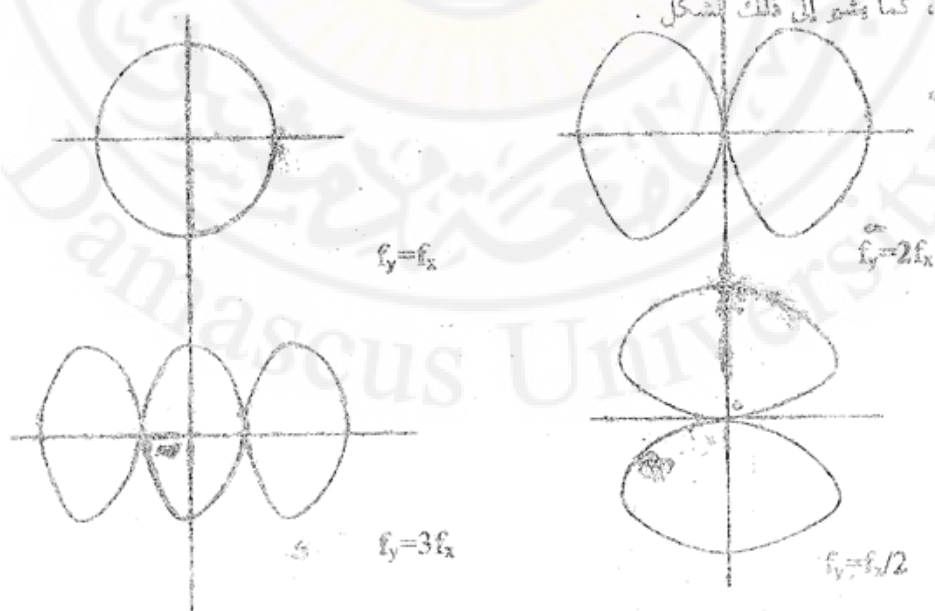
يؤدي تطبيق هذا الفرق الكموني على لوحى الانحراف الأفقي إلى تحريك حزمة الإلكترونات من أقصى يسار الشاشة إلى أقصى يمينها بسرعة منتظمة ثم إعادة هذه الحزمة إلى أقصى اليسار خلال فترة تكاد أن تساوي الصفر . ويجري التحكم بسرعة هذه الحركة عادة بمفتاح يسمى مفتاح إعادة الزمن ، يمكن استخدام الراسم في قياس الزمن .

قسم التغذية :

وهو القسم الذي يغذي جميع دارات راسم الاهتزاز المهيطي بالتيار المستمر العالي والمنخفض التوتر بما فيها أنبوب الأشعة المهيطة .

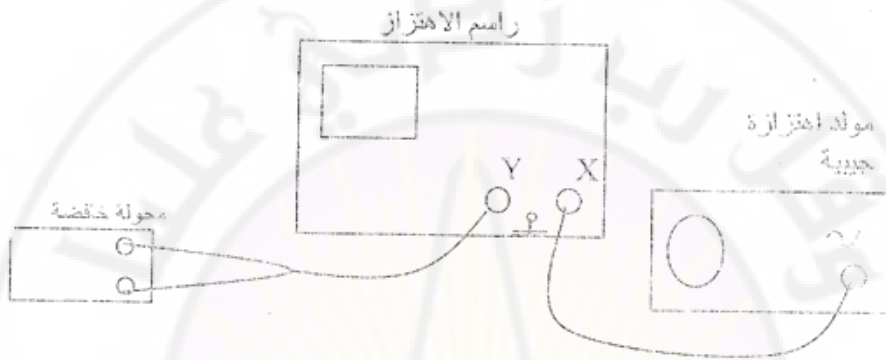
بعد قياس التواتر عن طريق تشكيل أشكال ليساجو طريقة دقيقة لقياس تواتر مجهول بمقارنته بتواتر معلوم بدقة ومأخوذ كمرجع .

يطبق التواتر المرجع على المدخل X لراسم الاهتزاز المهيطي بعد حذف قاعدة الزمن على الراسم ، كما يطبق التواتر المجهول على المدخل Y . إن الأشكال التي نحصل عليها (المعروفة باسم منحنيات ليساجو) والتي تظهر على الشاشة تعطينا قياساً دقيقاً للتواتر المجهول بدلالة التواتر المرجع ، كما يشير إلى ذلك الشكل .



طريقة العمل :

— ركب الدارة المبينة في الشكل التالي :



٢ — خذ الإشارة المرجع التي هي موجة جيبية ثابتة السعة من خرج مولد إشارة وصلها إلى المدخل X من رأسم الاهتزاز المبهطي بعد حذف قاعدة الزمن وذلك بوضعه على الوضعية EXT.

٣ — صل خرج المحولة ، التي تعطي موجة جيبية تواترها هو تواتر التغذية الأساسية للمدينة السدي ويساوي 50 Hz ، إلى المدخل Y من رأسم الاهتزاز المبهطي .

٤ — حرك قرص مولد الإشارة حول التواتر 50 Hz لتحصل على دائرة أو قطع ناقص مستقر على شاشة الرأسم .

٥ — أعد العملية من أجل تواترات أخرى 25 Hz و 100 Hz و 150Hz

٦ — لاحظ الأشكال التي تحصل عليها وارسمها على دفترك .

٧— نحسب التردد المطلوب من العلاقة: $N_x / N_y = f_y / f_x$

حيث N_x : عدد نقاط تقاطع المحور الأفقي مع منحنى ليساجو . N_y : عدد نقاط تقاطع

المحور العمودي مع منحنى ليساجو . ونستخدم هذه الطريقة لقياس ترددات ضمن ١ MHz .

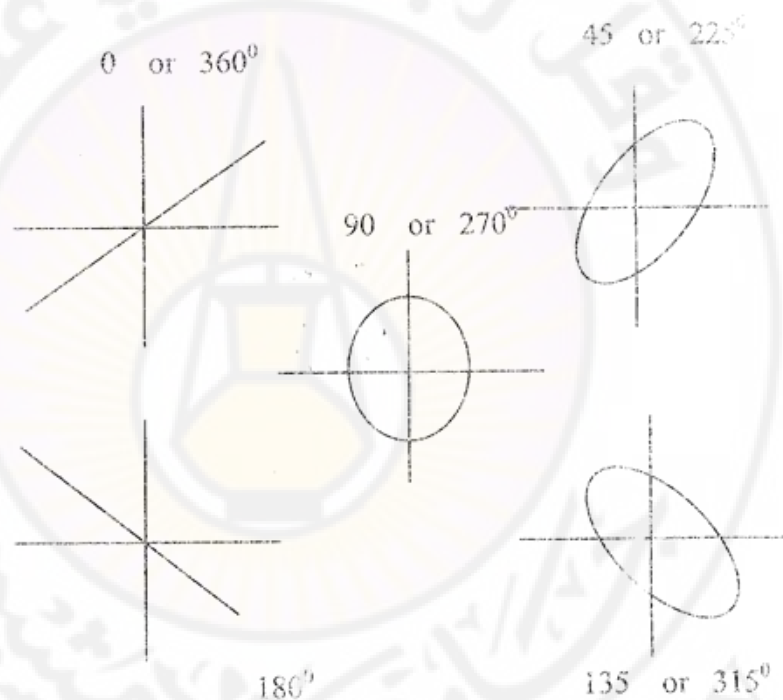
٣٠٠ قياس فرق الطور بين إشارتين جيبيتين :

موجز نظري : نفرض أنه لدينا إشارتان جيبيتان بينهما فرق في الطور قدره ϕ احسداهما على المحور Ox والأخرى على المحور Oy ، وهما من الشكل :

$$X = x \sin wt \quad (1)$$

$$Y = y \sin (wt + \phi) \quad (2)$$

إن حذفنا t بين المعادلتين يعطينا منحنياً يأخذ الأشكال المختلفة المبينة في الشكل التالي والموافقة لقيم مختلفة لفرق الطور.



من أجل القيمة الخاصة $\phi = 0^\circ$ فرق الطور ، توول المعادلتان السابقتان إلى :

$$X = x \sin wt \quad (3)$$

$$Y = y \sin wt \quad (4)$$

إذا حذفنا الآن t من المعادلتين حصلنا على :

$$Y = \frac{x}{y} X \quad (5)$$

وهي معادلة مستقيم ميله موجب لأن كلا من X و Y ثابتة موجبة .

أما في الحالة العامة حيث $\phi \neq 0^\circ$ فإن $X=0$ مرتين :

في المرة الأولى عندما $t = 0$ وفي المرة الثانية عندما $t = \frac{\pi}{\omega}$

ويوافق الانعدام الأول قيمة لـ Y نرمز لها بـ B :

$$Y(0) = y \sin(\phi + 0) = B \quad (6)$$

كما يوافق الانعدام الثاني قيمة لـ Y هي نظيرة النقطة السابقة لأن :

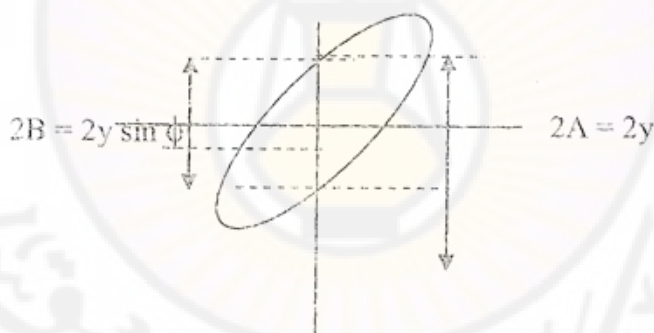
$$Y\left(\frac{\pi}{\omega}\right) = y \sin(\pi + \phi) = -Y \sin \phi = -B \quad (7)$$

وتكون المسافتين بين الانعدامين على المحور الشاقولي هي $2y \sin \phi = 2B$

إذا قسمنا هذه المسافة $2B$ على $2A$ التي تمثل السعة العظمى لـ Y فإننا نحصل على $\sin \phi$

، ومنه نجد قيمة ϕ ، فرق الطور بين الاهتزازتين الجيبيتين .

وبين الشكل التالي المنحني الذي يظهر على الشاشة في الحالة العامة .



ويتضح من الشكل أن :

$$\frac{2B}{2A} = \frac{B}{A} = \sin \phi \quad (8)$$

طريقة العمل :

نلخص فيما يلي مراحل العمل من أجل قياس فرق الطور بين إشارتين جيبيتين :

١ - شكل دائرة كتلك المبينة في منحنيات إيساجو ، ومن أجل ذلك :

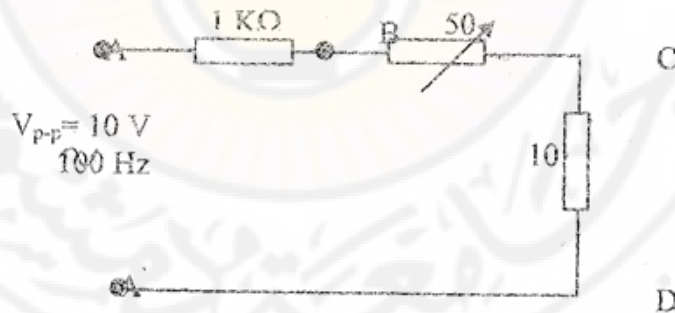
أ - صل الملف الثانوي للمحول الخافضة للتوتر بحرطلي الانحراف الشاقولي للرأسم بعدد اختيار وضع مناسب لمفتاح الحساسية الشاقولي .

ب - احذف قاعدة الزمن ، وخذ تواتراً قريباً من 50 Hz من المرازة التي تعطلي إشارة جيبيية . طبق هذا التواتر على لوحلي الانحراف الأفقي للرأسم . لاحظ ظهور القطع الناقص على الشاشة .

٢ - هل يتغير القطع بين وضعين مستقيمين كالمبينين في الشكل السابق ؟ فسر سبب ظهور هذا الوضع .

٣ - حرك قرص المرازة ببطء حتى تحصل على وضع مستقر للقطع على الشاشة ، ثم فقس فسرق الطور بين التوتر الذي تولده المرازة والتوتر الذي تعطليه المحولة مستفيداً من النتيجة التي وصلنا إليها أعلاه في قياس هذا الفرق في الطور (المعادلة 8) .

٤ - أ - ركب الدارة المبينة في الشكل باستخدامك اللوحة الخاصة بذلك بعد أن تغسديها في المدخل AA' بإشارة جيبيية مأخوذة من مخرج مولد للإشارة سعتها 10 V من القمة إلى القمة وتواترها 100 Hz .



ب - طبق التوتر الخارج من الدارة بين النقطتين C و D على المدخل Y لرأسم الاهتزاز واحذف قاعدة الزمن من الرأسم .

ج — طبق التوتر المتشكل بين النقطتين B و D على المدخل X من راسم الاهتزاز ولاحظ أثر الشكل على الشاشة . ضع مفتاح الحساسية الشاقولية في وضع يمكنك من إظهار الأثر بشكل جيد . ما هو شكل الأثر الظاهر على الشاشة ولماذا ؟

د — احذف المقاومة $10\text{ K}\Omega$ بين C و D من الدارة واستعض منها بمكثفة $C = 0.047\text{ }\mu\text{F}$ ثم عَيِّرْ التواتر على مولد الإشارة الجيبية واجعله في هذه المسرة 1 KHz . شاهد الأثر الجديد المتشكل على شاشة راسم الاهتزاز . ثم لاحظ تغير وضع الأثر على الشاشة أثناء تغير قيمة المقاومة المتغيرة $50\text{ k}\Omega$. هل يمكنك إظهار الأشكال المختلفة للقطع المقابلة لزوايا فرق طور مختلفة ؟

هـ — استخرج العلاقة التي تعطي فرق الطور θ بين التوتر المتشكل بين طرفي المكثفة والتوتر المتشكل بين طرفي المقاومة في الدارة السابقة .

ما هي قيم المقاومة المتغيرة التي يجب استخدامها للحصول على فرق طور يساويها 30° و 45° و 60° درجة على الترتيب ؟

و — استخدم القيم السابقة للمقاومة المتغيرة وارسم أثر القطع المتشكل في كل مرة واستنتج من ذلك زاوية فرق الطور . قارن بين القيم النظرية المحسوبة لفرق الطور والقيم التي قسيتها على الشكل

ز — رتب النتائج التي حصلت عليها في جدول مناسب مع مقارنتها بالقيم النظرية .

* * *



التجربة الثانية

دراسة الوصلة الثنائية P - N

الهدف من التجربة

-- التعرف على مبدأ عمل الوصلة الثنائية واستخداماتها في الدارات الالكترونية .

-- رسم المنحني $I = f (v)$ للثنائي.

أ -- تقوم نصف الموجة

ب -- تقوم نصف الموجة مع الترشيع بواسطة مكثفة

الأجهزة والأدوات المستخدمة:

س المبدأ النظري :

تتكون الوصلة الثنائية من اتصال نوعين مختلفين من نصف ناقل بلوري

إنّ الوصلة الثنائية عنصر لا خطي ، أي إنّ التوتر المطبق بين مرطبيه لا يتناسب مع التيار السذي

يجتازه . وانعكاس التيار المقابل لتوتر معين لابد من معرفة الخصائص المميزة $I = f (v)$

للوصلة.

-- مبدأ عمل الوصلة الثنائية :

يتألف الثنائي البلوري من بلورة أحادية نصف ناقلة (من الجرمانيوم أو السليكون) مكونة من

منطقتين ، منطقة غنية بالشوائب المانحة التي تعطي عند تأينها إلكترونات حرة تشكل المنطقة N

(أي منطقة نصف الناقل من النوع N) ، ومنطقة غنية بالشوائب الآخذة التي تعطي عند تأينها

ثقباً حرة تشكل المنطقة P (أي منطقة نصف الناقل من النوع P) .

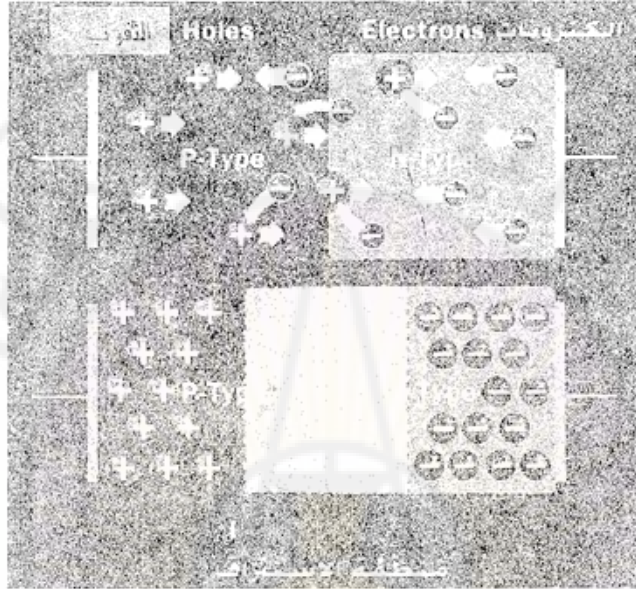
تشكل القطعة P المصعد A كما تشكل القطعة N المهبط P في الثنائي . وحيث يتم

الاستقرار في البلورة تتاجر الثقوب الحرة من المنطقة P إلى المنطقة N بفعل الانتشار كما تتاجر

الإلكترونات الحرة من المنطقة N إلى المنطقة P ، ويتم اتحاد بين النوعين من الشحنات في أنشاء

هذه العملية تؤدي في النهاية إلى وجود منطقة فاصلة تشكل حاجزاً بين المنطقتين ، وهي خالية من

الشحنات الحرة ومحدودة بشحنتين متعاكستين هما شحنة الأيونات الموجبة في المنطقة N وشحنة الأيونات السالبة في المنطقة P . فيتولد فيها حقل كهربائي E_0 جهته من N إلى P يمنع هجرة الشحنات عبر الوصلة. وفي النهاية يتشكل فرق في الكمون بين المنطقتين نرمز له بـ V_b .



عند الوصلة بين المادتين فإن الإلكترونات في المادة N تنتقل إلى الثغوب في المادة P .

كل ثنائي مصنوع بهذه الطريقة هو الذي ندعوه الثنائي البلوري ويرمز له في السدارة بالرمز

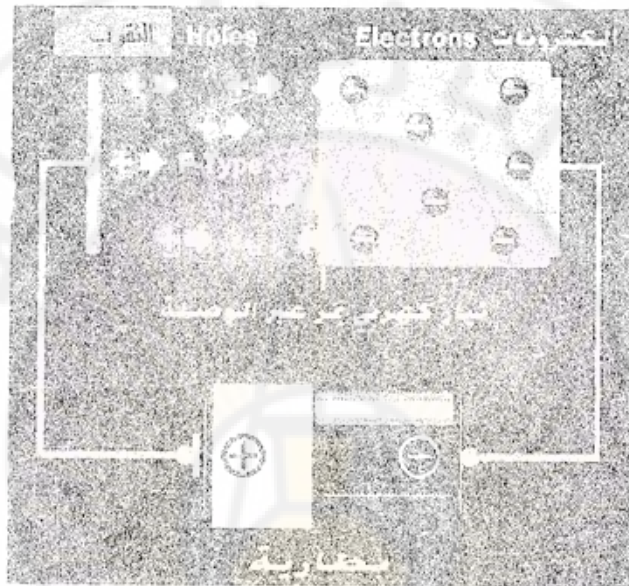


حيث يشير رأس السهم إلى المنطقة N .

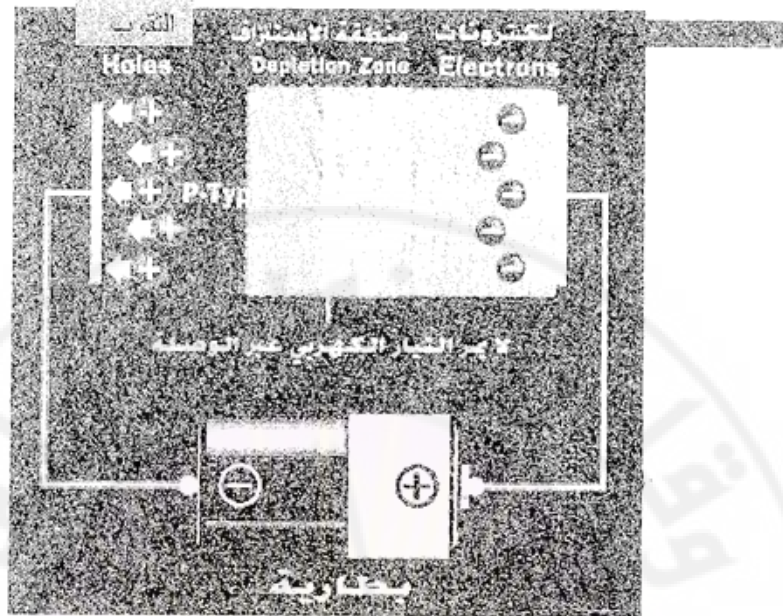
إن آلية النقل الكهربائي في هذا الثنائي تتم على الوجه التالي :

إذا طبقنا على الثنائي توتراً يجعل المنطقة P موجبة بالنسبة للمنطقة N تشكل حقل كهربائي E يعاكس في جهته الحقل E_0 . فإذا كان الكمون المطبق كافياً ليتغلب على فرق الكمون V_b المتشكل بين المنطقتين في حالة التوازن السكوني، أي إذا كان $V > V_b$ فإن أعداداً هائلة من الإلكترونات الحرة تحتاز منطقة الاتصال من N إلى P ، وبالمثل فإن مثلها من الثغوب الحرة تحتاز تلك المنطقة من P إلى N فيمر تيار كبير وتكون المقاومة التي يديها الثنائي في هذه الحالة صغيرة. يقال عن الثنائي الموصول بهذه الكيفية إنه في حالة تنفيذة أمامية أو انخساز أمامي.

أما إذا كان كمون المنطقة N موجباً بالنسبة لكمون المنطقة P فإن الحقل الخارجي الشد سكون يؤدي إلى زيادة عرض المنطقة الخالية من الشحنات الحرة كما أنه يؤدي من ارتفاع حاجز الكمون ولا يمر في هذه الحالة إلا تيار ضئيل تولده الشحنات الأقلية في المنطقتين .
يقال عن الثنائي الموصل بهذه الكيفية إنه في حالة التحيز عكسي .

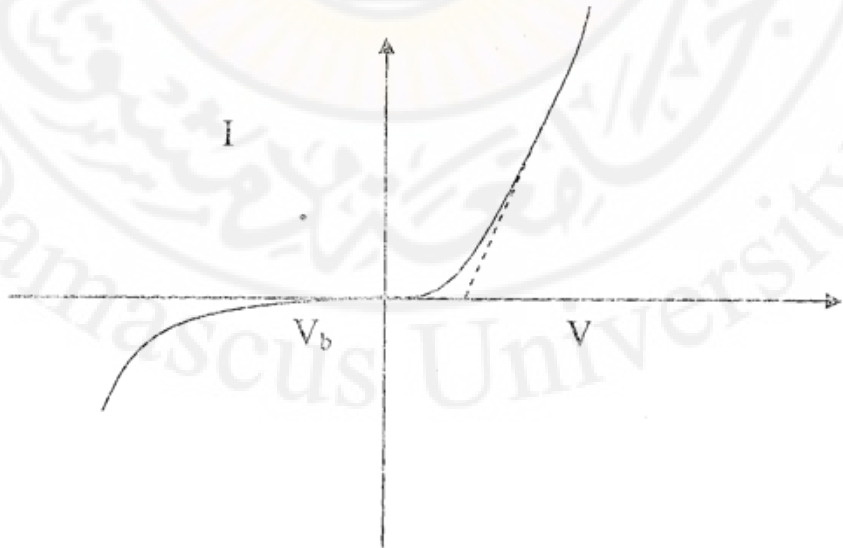


نقوم بتوصيل الألكترود الموصل على المادة N بالقطب السالب للبطارية وتوصيل الألكترود على المادة P بالطرف الموجب للبطارية .



بتوصيل الألكتروليت على الطرف **N** مع القطب الموجب للبطارية وتوصيل الكتروليت المادة **P** بالطرف السالب للبطارية.

يظهر في الشكل التالي المنحني المميز للشانتي في الحالتين السابقتين حيث يبين تغيرات تيار الشانتي I بدلالة التوتر V المطبق عليه ، ويلاحظ وجود منطقتين متباينتين على الرسم .

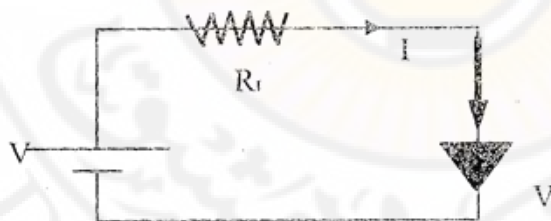


ففي المنطقة حيث $V > 0$ يكون انحياز الثنائي أمامياً أو مباشراً ، نلاحظ أن التيار لا يمر بقيمة معتبرة إلا بعد تطبيق توتر $V = V_b$ ، لذا يُطلق على الكمون V_b المتشكل بسين المنطقتين باسم الكمون الحاجز . وبعدها يزداد التيار بشكل كبير . تكون قيمة V مساوية $0.6 V$ من أجل ثنائي من السلكون . أما في المنطقة حيث $V < 0$ ، فنلاحظ أن التيار العكسي صغير جداً (من مرتبة الميكرو أمبير) وهو مستقل عن التوتر المطبق ويشكل ما يسمى بتيار الإشباع، الذي تولده حاملات الشحنة المتولدة عن التأين الحراري . إلا إذا وصل التوتر المطبق إلى قيمة كبيرة معينة أصبح الحقل الكهربائي شديداً مما يؤدي إلى كسر الروابط بين الذرات وتحرير الإلكترونات فيمر تيار شديد . تدعى هذه الظاهرة بالتصدع أو تصدع زفير .

أما إذا كانت السرعة التي اكتسبتها الشحنات المتحررة كبيرة فإنها تؤدي إلى تأين ذرات أخرى عند اصطدامها بها فيزداد عدد حاملات الشحنة الحرة ويحدث ما نسميه بالتصدع الانفجاري . وفي الحالتين يبقى التوتر ثابتاً عند القيمة التي يبدأ عندها التصدع ويتعلق هذا التوتر بكثافة الشوائب في البلورة .

الثنائي في دائرة كهربائية مستقيمة الحمل

لننظر إلى دائرة الشكل التالي ونطبق قانون كرشوف على العروة فنجد :



$$V_0 = V + R_L I \quad (1)$$

إذا مثلنا هذه المعادلة بيانياً فإنها تشكل مستقيماً يدعى خط الحمل . تعطي نقطة تقاطع هذا المستقيم مع المماسة المباشرة نقطة عمل الثنائي ، وهي المعرفة بالاحداثيين (I_F, V_F) ويكون ميل

$$\text{هذا المستقيم} = \frac{1}{R_L}$$

ييدي الثنائي مقاومة ديناميكية يمكن حسابها عند أي توتر مطبق مثل V ، من العلاقة :

$$r_d = \frac{\Delta V_d}{\Delta I_d} \quad (2)$$

وتحسب القدرة الضائعة في الثنائي عند نقطة العمل السابقة بالعلاقة :

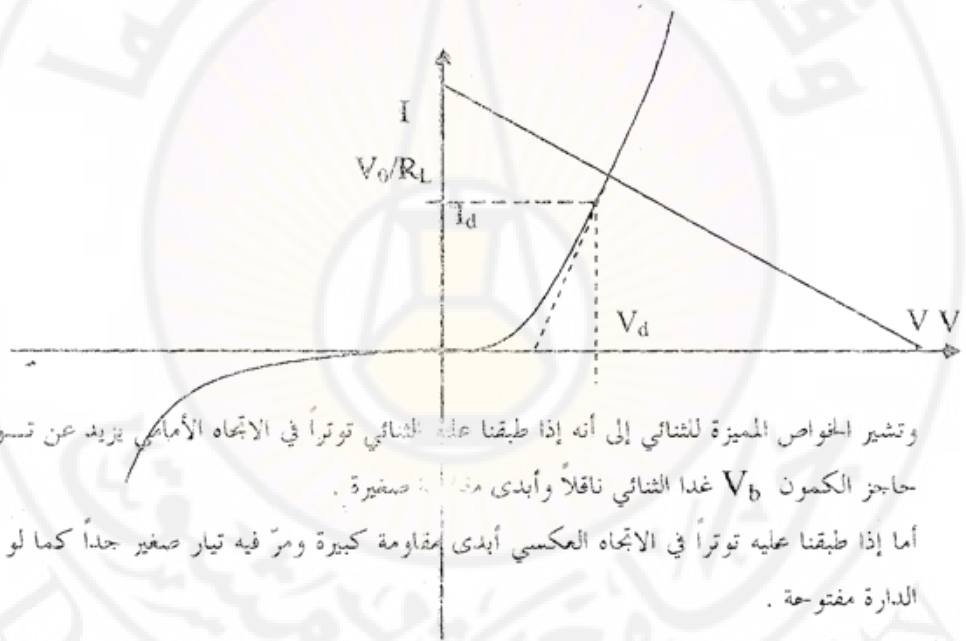
$$P_d = V_d \cdot I_d \quad (3)$$

ونظراً لوجود حاجز الكمون V_b فإن التوتر V_d الهابط في الثنائي يمكن أن يكتسب على الشكل :

$$V_d = V_b + r_d \cdot I_d \quad (4)$$

وعندها تصبح العلاقة (1) :

$$V_0 = V_b + (r_d + R_L) \cdot I_d \quad (5)$$



وتشير الخواص المميزة للثنائي إلى أنه إذا طبقنا عليه الثنائي توتراً في الاتجاه الأمامي يزيد عن توتر حاجز الكمون V_b غدا الثنائي ناقلاً وأبدى مقاومة صغيرة . أما إذا طبقنا عليه توتراً في الاتجاه العكسي أبدى مقاومة كبيرة ومرّ فيه تيار صغير جداً كما لو أنّ الدارة مفتوحة .

مقاومة الحماية

جرت العادة أن نضع في الدارة التي يوجد فيها الثنائي مقاومة R_p على التسلسل مع الثنائي لحمايته في حال غياب مقاومة الحمل R_L ، وذلك كي لا تصبح الدارة مقصورة فيمر تيار شديد يخرب الثنائي . ونختار هذه المقاومة بحيث نحد من قيمة التيار كي لا يتجاوز قيمة معينة I_{max} . وتعطينا المعادلة (5) قيمة هذه المقاومة R_p عند وجودها :

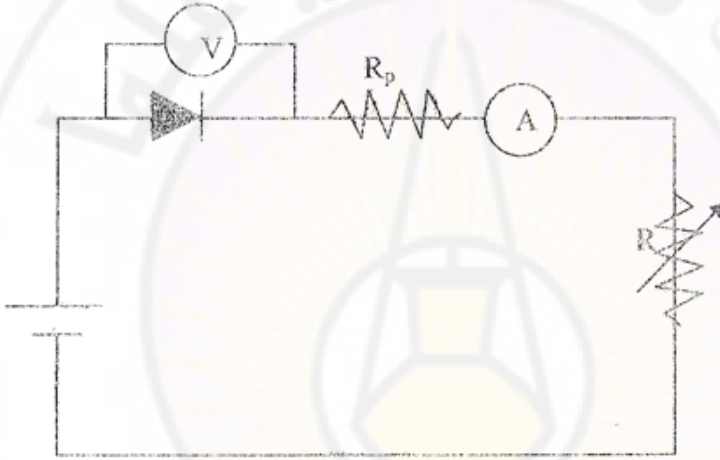
$$r_d + R_p = \frac{V_0 - V_b}{I_{max}}$$

فيمعرفة V_0 و V_b و r_d يمكن معرفة مقاومة الحماية R_p للثنائي المستخدم .

طريقة العمل :

رسم لمكونات الثنائي

١ — حقق التركيب المبين في الشكل التالي مستخدماً اللوحة الخاصة بالتجربة .



٢ — خذ قيمة متغيرة للمقاومة R_L (مبتدئاً من قيمة كبيرة ثم خفضها تدريجياً) بحيث تحصل

على قيم متزايدة تدريجياً للتيار V . اقرأ التيار I_d المار في مقياس الملي أمبير والتوتر V_d على مقياس الفولط من أجل كل قيمة من هذه القيم لـ R_L ودون النتائج في جدول مناسب .

٣ — ارسم المنحنى $I_d = f(V_d)$ الذي يمثل تحويلات التيار الذي يمر في الثنائي بدلالة فرق الكمون المطبق عليه مستخدماً الورقة الملمتية.

٤ — استنتج من المنحنى المميز الذي رسمته للثنائي المقادير التالية :

أ — الكمون الحاجز V_b

ب — المقاومة الديناميكية r_d من أجل تيار قدره $I_d = 5 \text{ mA}$

ج — احسب القدرة الضائعة في الثنائي عندما يمر فيه التيار السابق

حساب مقاومة الحماية :

تغذي ثنائي المساري عادةً بتوتر خارج من ثانوية محولة .

١ - قس هذا التوتر الذي تعطيه المحولة الموجودة لديك باستخدام مقياس فولط متناوب لتحديد قيمته المنتجة .

٢ - احسب القيمة العظمى V_0 لهذا التوتر .

٣ - احسب مقاومة الحماية R_p الواجب وضعها في دائرة ثنائي كي لا يتعدى التيار المسار قيمته الأعظمية . مستخدماً قيمتي V_b و r_d التي وجدتها في الطلب السابق من أولاً .

التجربة الثالثة

استخدام الوصلة الثنائية P - N في تقويم التيار المتناوب

الهدف من التجربة

تقويم التيار المتناوب في الحالات التالية :

أ - تقويم نصف الموجة

ب - تقويم نصف الموجة مع الترشيح بواسطة مكثفة

الأجهزة والأدوات المستخدمة:

المبدأ النظري :

تتميز الخواص المميزة للثنائي أنه إذا طبقنا على الثنائي توتراً في الاتجاه الأمامي يزيد عن توتر حاجز الكمون V_b غدا الثنائي ناقلاً وأبدى مقاومة صغيرة .

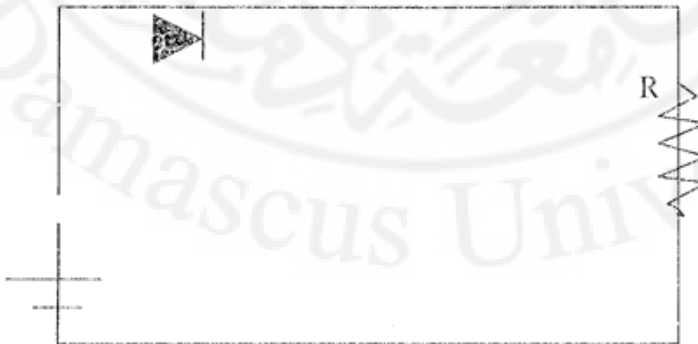
أما إذا طبقنا عليه توتراً في الاتجاه العكسي أبدى مقاومة كبيرة ومرّ فيه تيار صغير جداً كما لو أنّ الدارة مفتوحة .

يمكن الاستفادة من هذه الخاصية في تقويم التيار المتناوب ، فإذا طبقنا على الثنائي توتراً متناوباً غدا ناقلاً عندما تكون النوبة موجبة . أما إذا أصبحت النوبة سالبة أصبح الثنائي في حالة تغذية عكسية لذا فهو لا يمرر أي تيار ، أي أنه يوقف تلك النوبة .

تقويم نصف الموجة

لتكن الدارة المبينة في الشكل . يعطي مولد الإشارة توتراً جيبياً من الشكل :

$$V(t) = V_0 \sin \omega t \quad (1)$$



عندما تصبح $V > V_D$. ينقل الثاني تياراً I_d في نصف الدورة الموجب ويتشكل بسين طسرفي مقاومة الحموله R_L توتراً آتياً قيمته $V_r = R_L \cdot I_d$ ، أما قيمته الوسطى فهي :

(2)

$$\overline{V_R} = R_L \cdot \overline{I_d} = \frac{R_L}{2\pi} \int_0^{2\pi} I_d(\omega t) d(\omega t)$$

فإذا كانت $R_L > r_d$ ، نستطيع أن نكتب بتقريب جيد :

$$V(t) = R_L \cdot I_d$$

حيث $I_d = \frac{V(t)}{R_L}$ من أجل $0 < t < \pi$

و $I_d = 0$ من أجل $\pi < t < 2\pi$

ونستطيع أن نجد بسهولة أن القيمة المتوسطة للتيار المقوم هي :

$$(3) \quad \overline{I_d} \cong \frac{V_0 - V_b}{R_L}$$

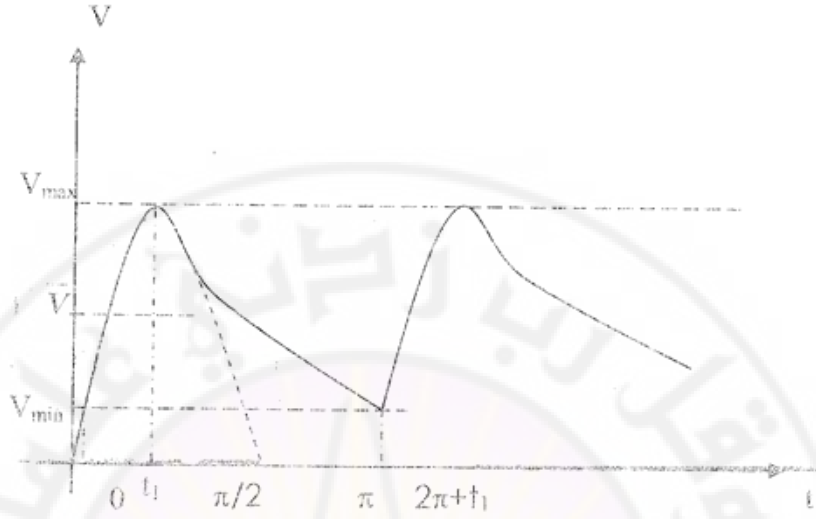
وبالتالي فإن القيمة المتوسطة للتوتر المتشكل بين طرفي الحموله هي :

$$(4) \quad \overline{V_R} = R_L \overline{I_d} = \frac{V_0 - V_b}{\pi}$$

تقوم نصف موجة مع مرشح زسعي

وجدنا في حالة تقويم نصف موجة ، أن التوتر بين طرفي R_L هو سلسلة من أنصاف الموجات الجيبية (بين 0 و π) . لنضع الآن بين طرفي الحموله مكثفه سعته C ، ولنحاول فهم عمل التركيبة الجديدة .

إن توتر الخرج بين طرفي R_L أو C هو كما في الشكل التالي :



ويفسر ذلك كمايلي :

في لحظة ما t حيث $t_1 < t < \pi/2$ تكون قيمة توتر المنبع أعلى قليلاً من قيمة التوتر بين طرفي المكثفة ، ويكون الثنائي في حالة انحياز أمامي فتشحن المكثفة عبر مقاومة الثنائي الصغيرة جداً r_d ، ولما كانت الثابتة الزمنية $r_d.C$ صغيرة جداً فإن الشحن يتم خلال فترة زمنية قصيرة تكاد تكون آنية إلى أن تصل شحنة المكثفة إلى قيمتها العظمى $V_{max}=V_0$ في اللحظة $t=\pi/2$.
 بدءاً من اللحظة $t=\pi/2$ يبدأ توتر المنبع بالتناقص فيصبح الثنائي في حالة انحياز عكسي ويكون في دور القطع ، فتبدأ المكثفة بالانفراج عبر المقاومة R_L (حيث $R_L > r_d$) بقاءت زمني $R_L.C$. ويلاحظ أن عملية التفريغ أبطأ بكثير من عملية الشحن . وتستمر فترة التفريغ حتى اللحظة $t=2\pi+t_1$ حيث يصل توتر الخرج V عندها إلى قيمته الصغرى V_{min} ، وفي هذه اللحظة يصبح توتر المنبع أكبر من توتر الخرج بين طرفي المكثفة أو الحمولة من جديد فيعود الثنائي إلى النقل من جديد وتبدأ المكثفة بالشحن من جديد . وتتكرر العملية السابقة وهكذا نرى أن التوتر بين طرفي المكثفة ، وبالتالي بين طرفي R_L ، يتغير في جوار قيمة متوسطة $\bar{V}$. إذا رمزنا بـ $2\Delta V$ لمقدار تغير الموجة ، أي : $2\Delta V = V_{max} - V_{min}$ فإننا نجد :

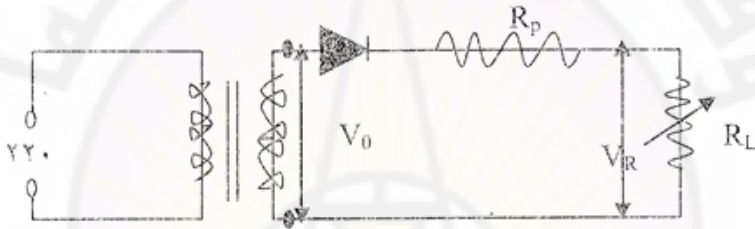
$$(5) \frac{\Delta V}{\bar{V}} = \frac{1}{2 f C R_L}$$

حيث f هو تواتر المنيح .

طريقة العمل :

تقويم نصف موجة

١ — قم بتوصيل الدارة على النحو المبين في الشكل التالي :



٢ — شاهد التوترين V_0 و V_R على راسم الاهتزاز المهبطي وارسمهما على ورقة مليمتريسة واحدة.

٣ — فسر ما شاهدته على الراسم .

٤ — قس V_0 على راسم الاهتزاز ، وقس $\bar{V}_R$ بواسطة مقياس فولط مستمر .

٥ — قارن بين قيمة $\bar{V}_R$ المقاسة في (٤) وبين قيمتها المحسوبة من العلاقة (4) ، وفسر أي اختلاف تلاحظه .

تقويم موجة كاملة مع مرشح

١ — ارجع إلى التركيب السابق المبين في الشكل (٨-١٣) وضع بين طرفي مقاومة الحملية مكثفة .

٢ — أعد الطلبات ٢ ، ٣ ، ٤ ، ٥ ، الواردة في الفقرة السابقة .

٣ — قارن بين النتائج التي حصلت عليها من التركيبين المذكورين وفسر ما تلاحظه

التجربة الرابعة

الناقل الفائق وتعيين درجة حرارة الانتقال

الهدف من التجربة

- التعرف على الناقل الفائق ونظرية عمله .
- دراسة لخصائص الناقل الفائق ورسم هبوط الجهد كتابع لدرجة الحرارة T الأجهزة والأدوات المستخدمة

المبدأ النظري :

اكتشفت الناقلية الفائقة عام 1911 من قبل الفيزيائي الهولندي (هايسك كارملنغ أونيس H.K.ONNES) وقبل ذلك اكتشف (أونيس) و رفاقه كيفية إسالة الهيليوم السذي استخدموه فيما بعد لتبريد الزئبق إلى درجة دون (4.2K) وعند هذه الدرجة وجدوا أن الزئبق يفقد مقاومته الكهربائية . أما فهمنا الأساسي لآلية الناقلية الفائقة فيعود إلى نظرية ابتكرها (جون باردين J.BARDEEN) و (ليسون كوبر L.COOPER) و (روبيرت شريفر R.SCHRIEFER) والتي عرفت باسم نظرية (BCS) وهي تفسر كيفية تشكيل الإلكترونات لأزواج تسمى أزواج كوبر ، يحدث هذا التزاوج عبر وسيط هو الاهتزاز الشبكي LATTICE VIBRATION والذي يعرف باسم الفونون PHONON و كمشال بجهري على ما سبق ذكره إلكترون يتحرك عبر شبكة بلورية يجذباً إليه أيونات ذات شحنة موجبة و هذا التشوه سوف يجذب إليه بشحنته الموجبة التي تعززت بعض الشيء إلكتروناتاً ثانياً . إن لنظرية

BCS ثلاثة بارامترات كما يلاحظ في معادلة درجة حرارة الانتقال إلى الناقالية الفائقة المبينة

$$k_B \cdot T_c = 1.13 \times \hbar \omega_D \cdot e^{(-1/V \cdot N(E_F))} \quad \text{الشكل :}$$

حيث (K_B) ثابتة بولتزمان و ($\hbar$) ثابتة بلانك مقسوماً على (2π) و (ω_D) تسواتر ديبي Debye و (V) قوة الاقتران بين الإلكترونات و الفونونات و ($N(E_F)$) كثافة الحالات عند سوية فيرمي FERMI.

تواتر ديبي : هو التواتر المميز للاهتزازات الشبكية الذي يعمل على اقتران الإلكترونات في حالة الناقل الفائق.

(V) هو قوة الاقتران بين الإلكترونات و الفونونات و من الممكن تحقيق قيمة عالية ل (T_c) في حال وجود اقترانات كبيرة طالما أن البلورة لا تتشوه أو تفقد استقرارها. لكن عندما يصبح الاقتران الإلكتروني - الفونوني قوياً جداً فقد تشوه بنية البلورة لتشكل ما يدعى بموجة كثافة الشحنة عند درجات الحرارة المنخفضة أما من أجل قيم (V) الكبيرة جداً فقد تزول بنية بلورية محددة لتحل محلها بنية مختلفة .

والحد الأخير في معادلة BCS هو ($N(E_F)$) الذي يعبر عن كثافة الحالات عند سطح فيرمي و ببساطة يمكن القول: إن هذا الحد هو مقياس لعدد الإلكترونات التي يمكن أن تساهم في الحالة الأساسية للنقل الفائق و عموماً إن المركبات التي تحتوي على معادن انتقالية أي عناصر ذات الطبقة (d) الممتلئة جزئياً كثافة حالات أكبر عند سطح فيرمي و لهذا فإنها تتمتع بدرجة حرارة انتقال أعلى من تلك التي تتمتع بها مركبات المعادن غير الانتقالية، وهذا ما دفع العديد

من الفيزيائيين إلى الاعتقاد بأن القيمة العالية لـ (T_c) يمكن تحقيقها فقط في مركبات تتضمن معادن انتقالية تستطيع تعزيز كثافة الحالات.

هناك نوعان من النواقل الفائقة هما النوعان (I) و (II) و الفرق بينهما يعود إلى الطريقة التي تستجيب فيها حالة الناقل الفائق مع الحقل المغناطيسي المطبق .

إن النواقل الفائقة من النوع (I) هي تلك التي لا تعمل كناقل فائق إلا في حقول مغناطيسية شدتها أدنى من قيمة حرجة محددة H_c و فوق هذا الحقل الحرج تنحرب الناقلية الفائقة و تعود العينة إلى حالتها الطبيعية .

إن النواقل الفائقة من النوع (II) تظل قادرة على النقل بدون مقاومة ضمن حقول مغناطيسية مطبقة كبيرة نسبياً و في هذه الحالة يوجد مقياسان للحقول المغناطيسية : حقل حرج أدنى (H_{c1}) و الذي دونه تسلك المادة سلوكاً مشابهاً تماماً للنواقل الفائقة من النوع (I)، و حقل حرج أعلى من (H_{c2}) الذي تصبح فوقه العينة ناقلاً طبيعياً، وبالنسبة للحقول بين (H_{c1}) و (H_{c2}) فإن خطوط الحقل المغناطيسي تخترق العينة لتحدث حالة مختلطة mixed state تظل قادرة على العمل كناقل فائق .

من مزايا النواقل الفائقة من النوع (II) أن يرتبط (H_{c1}) و (H_{c2}) مع بعضهما البعض بعلاقة عكسية (تناسب عكسي) و أن يكون (H_{c1}) صغيراً هناك كميتان بسيطتان معروفتان تجعل حقل اللاعكوسية (irreversibility field) و كثافة التيار الحرجة

(critical current density) (J_c) تقيسان مدى كفاءة تثبيت الدوامات .

إن لمركب MgB_2 مقاومة الحالة العادية منخفضة جداً و هذا الأمر هام لأن مغناط التقل

الفائق يمكن أن تصبح أحياناً و بشكل مفاجئ تراكيل عادية .

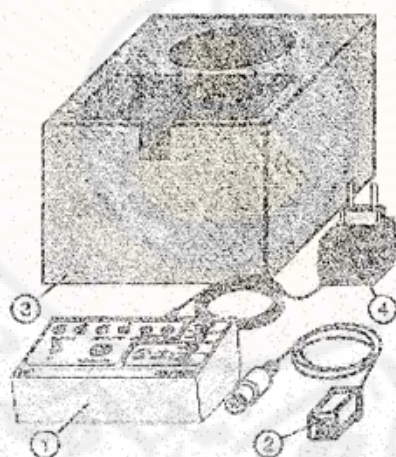
عندما يحدث تجاوز للتيار الحرج أو حقل اللاعكوسية أو عندما يجري صدم أو تشويش

المغناطيس عند الحقول العالية و يطلق على هذا اسم الإطفاء (quenching) .

يعد الإطفاء عملية هروب يحدث فيها تسخين لمنطقة صغيرة ذات ناقلية عادية و يتحول جزء

كبير من المغناطيس إلى ناقل عادي .

٩ - وحدة الناقل الفائق :



الشكل (١) وحدة الناقل الفائق

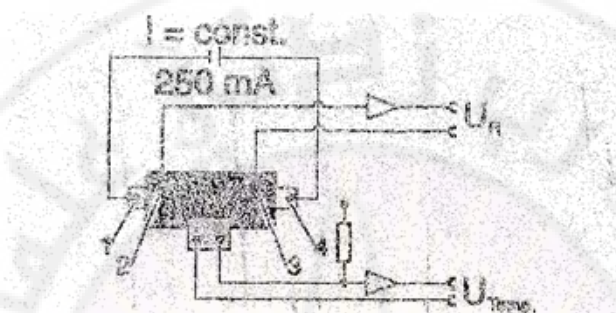
١ - قابس المعطيات

٢ - نموذج قياس متكامل ضمن علبة من الألمنيوم مع كبل خاص ينتهي بمأخذ DIN

٣ - صحن للأزوت السائل معد لاحتواء كامل العنصر السيراميكي فائق الناقلية .

٤ - وحدة تغذية كهربائية 12 V AC , 580 mA .

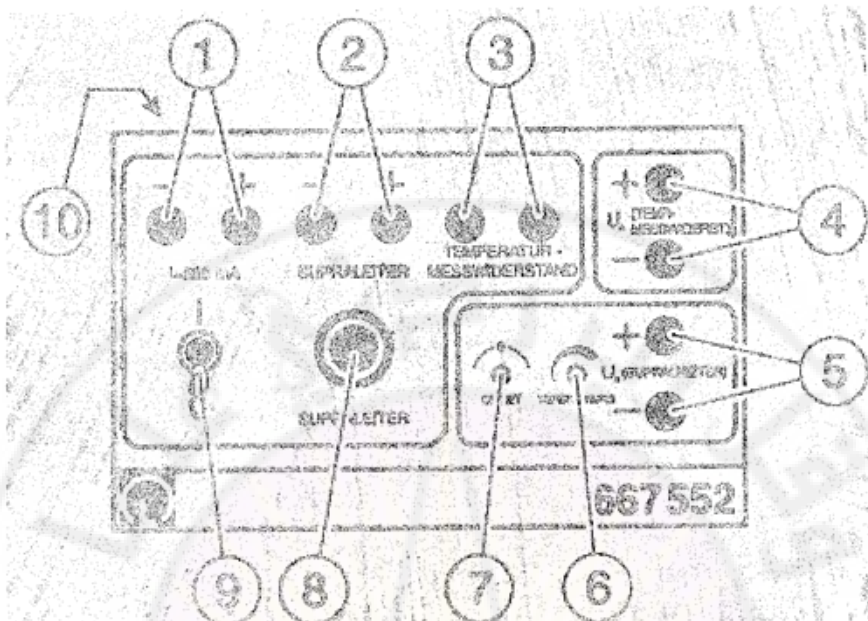
٢- عناصر المكونات: نموذج القياس المتكامل : ويتألف من ناقل فائق موصول مع طرف مزدوجة كهراحرارية من الإيريديوم كما في الشكل (٢) . يطبق تيار شدته 250 mA تقريباً بين النقطتين ١ و ٤ . ويقاس هبوط الجهد بين نقطتي الاتصال ٢ و ٣



الشكل (٢) مخطط الدارة الكهربائية في نموذج القياس .

المواصفات التقنية لنموذج القياس :

- ١- ناقل فائق من النوع $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ ويرمز له 1,2,3
- ٢- حساس حراري من الإيريديوم مقاومته 100Ω في الدرجة 0°C .
- ٣- نقاط توصيل ١ و ٤ عبر صفيحة نحاسية ، ٢ و ٣ عبر سلك نحاسي .
- ٤- كبل مع مأخذ DIN .
- ٥- بيت من الألمنيوم غطاه من السيليكون $26 \times 64 \times 26 \text{ mm}$.
- ٦- لوحة أبعادها $23 \times 45 \times 13 \text{ mm}$.
- ٧- الوزن 50g .



الشكل (٣) قابس القياس في تعيين درجة حرارة الانتقال .

٣- قابس المعطيات :

يبين الشكل (٣) منظراً تخطيطياً لقابس المعطيات والذي يستعمل كأداة قياس ووحدة تغذية كهربائية . ويمكن وصل نموذج القياس التكاملي (وصل غير مأخذ السدس الحساس بهدف دراسة المواد فائقة الناقلية) (فائق ناقل خارجي) : ويتضمن

١- مخرج جهد عالي الاستقرار

٢- مدخل قياس جهد (ناقل فائق خارجي)

٣- مدخل حساس حراري (ناقل فائق خارجي)

٤- مخرج قياس درجة حرارة

٥- مخرج قياس جهد U_a

٦- عامل الربح

٧- فصل

٨- مدخل نموذج القياس

٩- مفتاح التشغيل

١٠- قابس التغذية الكهربائية

يصحح مقدار المقاس بالمقاومة الحرارية الإيزومترية تصحيحاً خطئياً ويحول إلى جهد يقع ضمن المجال $0 \dots 200 \text{ mV}$ والذي يقابل المجال الحراري $0 \dots 200^\circ\text{C}$. ويتم التغذية الكهربائية من وحدة التغذية. هذا الجهاز معاير. ولكن إذا لم تكن قيمة الجهد المقاس عند الوصول إلى درجة حرارة الانتقال مساوية للصفر، يمكن تصحيح جهد الخرج أولاً من خلال عامل السربيع ويتم ذلك باستعمال مفك ملائم لهذا الغرض. إن قيمة الجهد عند نقطة البدء في الدرجة 25°C تساوي 190 mV تقريباً. ويمكن تصحيح جهد الفصل باستعمال وحدة الجهد المتغير γ . وللقيام بذلك إقصر دائرة مدخل مقياس الجهد γ واجعل الجهد مساوياً للصفر.

المواصفات التقنية لتأيس المعطيات :

١- تيار الخرج $250 \text{ mA} \geq$ ، جهد القصر 200 mV و U_0 ،

$+196 \text{ mV} = -196^\circ\text{C}$ ،

٢- جهد الناقل الفائق $200 \text{ mV} \geq$ ، مغذي الجهد 12 V ، $AC/580 \text{ mA}$ عبر مأخذ في وحدة التغذية .

٣- الأبعاد $160 \times 105 \times 70 \text{ mm}$.

٤- الوزن 250 g .

صحن الآزوت السائل : تقوم الكتلة البلاستيكية بسوظيفتين الأولى كوعاء

حراري للأزوت السائل ، والثانية كمحاوية لكامل معدات التحبة . وهي مصنوعة من

مادة البوليوريثان عالية الكثافة ، وله الأبعاد $270 \times 200 \times 130 \text{ mm}$.

— طريقة العمل :

— في حالة استعمال نموذج القياس المتكامل و **CASSY** : تحتاج إلى مجموعة

البرامج "Measuring and Evaluating"

بعد إعداد التوصيل من قبل المشرف

١- إبدأ برنامج "القياس والتقويم" واختار "Oscilloscopes" وتنسب القياسات

كما يلي : المقدار B :

Quantity:	Temperature
Symbol:	T
Unit:	°C
Factor:	-1000 °C/V (1 K = 1 mV)

اختر بعد ذلك مجال القياس : $300^{\circ}\text{C} \dots 300^{\circ}\text{C}$ من أجل B .

٢- المقدار C : Voltage : مجال القياس $0 \dots 0.3 \text{ V}$

٣- اختر زمن القياس مساوياً 1200 s . وابتداً بتسجيل القيم المقاسة .

٤- املاً كتلة البولوريثان الآزوت السائل بشكل يغطي علة النموذج بكاملها :

٥- عند الوصول إلى حالة هبوط الجهد (حوالي 190°C - انظر الشكل (٤)) أوقف التجربة .

٦- ارسم هبوط الجهد كناتج لدرجة الحرارة T على المحور X وخذ الحالة الفضلى للمحاور (انظر الشكل (٥)) .

ملاحظة : يمكننا تسجيل القيم المقاسة وحسابها على التتابع باستعمال برنامج النوافذ "Universal Data Acquisition" .

-ملاحظات السلامة :

يجب توخي الحذر عند التعامل مع درجات حرارة منخفضة . فلا نلمس باليد العارية الأجسام الباردة ولا نقرب من الآزوت السائل بدون قفازات متجنين الملامسة الجلدية . ويجب الالتزام بالتعليمات المحلية فيما يخص المواد الخطرة وكيفية التعامل معها .

ساحداً" : تجارب في الطاقات المتجددة

١ - لاقط الأشعة الشمسية

٢ - المنحنيات المميزة للخلايا الشمسية



التجربة الأولى

لاقط الأشعة الشمسية

الهدف من التجربة

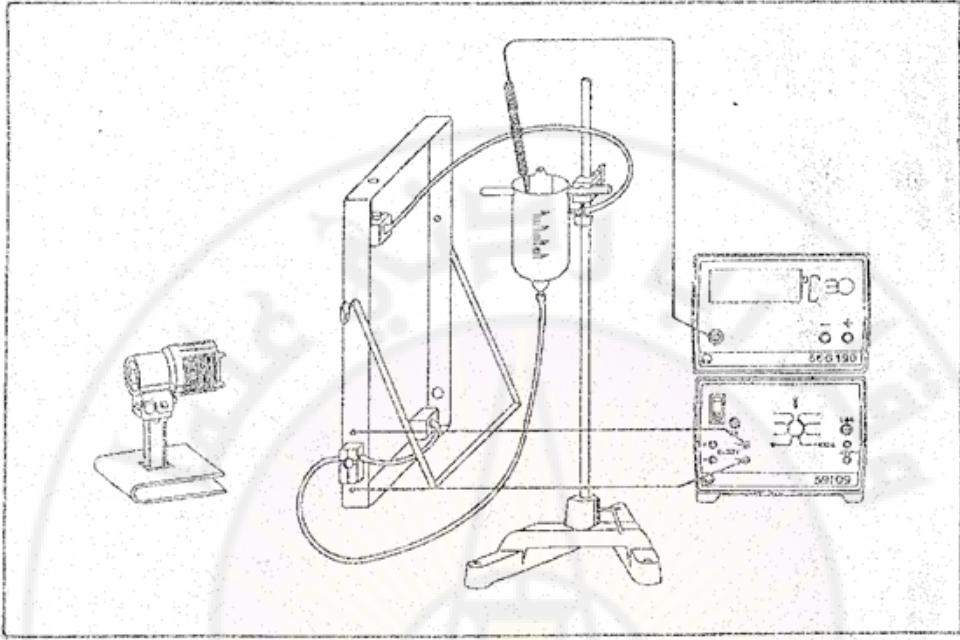
• تحديد مردود اللاقط الشمسي في حالي دوران الماء التلقائي والدوران التسري

• تحديد مردود اللاقط الشمسي بعد العزل الحراري

الأجهزة والأدوات المستخدمة

يبيّن الشكل ١ الأجهزة المستخدمة في هذه التجربة

- لاقط شمسي
- قاعدة كبيرة بشكل V
- قضيب حمل طوله 75 cm
- مصباح تصوير استطاعته 1000 W
- مجس حرارة
- ميزان
- حرارة رقمي
- محول جهد منخفض
- مضخة صغيرة
- وصلة أنابيب مائية



الشكل ١ ترتيب تجربة اللاقط الشمسي في حالة الدوران القسري

المبدأ النظري :

يتمص لاقط الأشعة الشمسية الطاقة الإشعاعية فيسخن ويسخن الماء الجاري فيه . وعندما يصبح اللاقط أسخن من البيئة المحيطة به، يقدم لهذه البيئة طاقة بالإشعاع والحمل والتوصيل .

نعرف مردود اللاقط الشمسي η ، بأنه نسبة كمية الحرارة المقدمة للماء ΔQ إلى كمية الطاقة الإشعاعية الواردة عليه ΔE .

$$\eta = \frac{\Delta Q}{\Delta E} = \frac{mc \cdot \Delta T}{\Delta E}$$

وتكون الطاقة المقدمة للبيئة عالية في حالة دوران الماء التلقائي بسبب السخونة العالية للاقط وبالتالي خسارة كمية كبيرة من الحرارة ، وتأتي قوة تحريك الماء في هذه الحالة من الفرق بين كثافة الماء الساخن في اللاقط وكثافة الماء البارد في الخزان . فيصعد الماء الساخن (وهو الأخف) ويحل مكانه الماء البارد من الخلف . وللحصول على سرعة دوران الماء نفسها التي نحصل عليها باستعمال مضخة الدوران (الدوران القسري) يجب تسخين اللاقط بشدة في حالة الدوران التلقائي . فبمساعدة مضخة الدوران نستطيع المحافظة على درجة حرارة اللاقط مساوية تقريباً لدرجة حرارة الماء في الخزان .

سنقارن في تجربتنا بين عمليتي تسخين الماء في الخزان، في حالة الدوران القسري (استعمال المضخة)، وفي حالة الدوران التلقائي (بدون مضخة) ونحلل مخططي درجة الحرارة المقاسة كتابع للزمن. ثم ندرس تأثير العزل الحراري على المردود .

طريقة العمل :

أولاً : الدوران القسري

أ - رتب الأجهزة كما في الشكل ١

ب - علق الحوض المائي على حامله في مكان مرتفع ضمن ظل اللاقط .

ت - أغلق فتحات قياس درجة الحرارة عند مدخل ومخرج اللاقط بالسدادات المطاطية قبل ملء اللاقط .

ث - اربط بمخرج حوض الماء عند نقطة أخفض من مستوى الطاولة واملأه بالماء، وارفعه ببطء بحيث يملأ اللاقط من الأسفل.

ج - شغل المضخة (20 V AC) وأعد ملء الخزان إلى مستوى 100 mL .

ج - انتظر عدة دقائق حتى نصل إلى الاستقرار الحراري ثم ضع مصباح التصوير على بعد 50 cm من اللاقط.

خ - ركز إضاءة المصباح على منتصف اللاقط وضع مؤشر المصباح على الوضع CE.

د - شغل مصباح التصوير ، وقس درجة الحرارة T عند مخرج الحوض كل خمس دقائق تحريك الماء بشكل جيد قبل كل قياس. وقس بين حين وآخر درجة الحرارة T_0 عند مدخل الحوض . أوقف التجربة عند درجة حرارة ماء الحوض تساوي 50°C على الأكثر لأن درجة حرارة اللاقط المقابلة ستكون مساوية 60°

ز - نظم جدولاً لتغيرات درجة الحرارة T بدلالة الزمن t بدون غطاء البتكسيفلاس وأخر معه، ثم ارسم الخططين البيانيين لهما على الورقة المليمترية نفسها.

ثانياً : الدوران الحراري التلقائي

أ - أوقف المضخة واستبدل الماء البارد بماء الحوض ثم أعد تشغيل المضخة لتنظيف اللاقط بالماء البارد لمدة خمس دقائق .

ب - فرغ اللاقط وأزل المضخة و اربط مخرج الماء من الحوض بالمدخل السفلي لماء اللاقط فتحصل على نظام الدوران التلقائي كما في الشكل ٢ .

ت - اخفض الحوض إلى مستوى أقل من الحرف الأسفل للاقط واملاء بالماء .

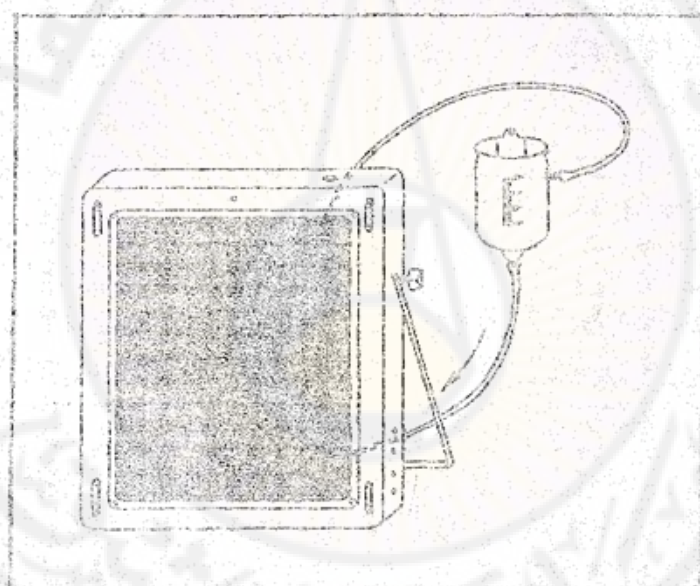
ث - إمزج مجموعة الأنابيب واللاقط من الأسفل دون تشكيل فقاعات وذلك برفع الحوض ببطء ، ثم علق الحوض على حامله بحيث يكون مستوى الماء في الحوض أعنى بقليل من الحرف الأعلى للاقط .

ج - ضع اللاقط على الطاولة بشكل يواجه فيه سطح الامتصاص سطح الطاولة بمسند إزالة أصوات الهواء منه .

ح - ركز إضاءة المصباح على منتصف اللاقط وضع مؤشر المصباح على الوضع CE .

د - شغل مصباح التبريد ، وقس درجة الحرارة T_1 عند مخرج الخوض كل خمس دقائق مع تحريك الماء بشكل جيد قبل كل قياس. وقس بين حين وآخر درجة الحرارة T_2 عند مدخل الخوض . أوقف التجربة عند درجة حرارة ماء الخوض تساوي 50°C

هـ - نظم جدولاً لتغيرات درجة الحرارة T بدلالة الزمن t بدون غطاء البلكسفلاس وأخبر معه ثم ارسم الخططين البيانيين هما على الورقة الميثرية نفسها.



الشكل ٢ نظام الماء خلال الدوران التلقائي

ملاحظة ٩ : مرشود اللاقط الشمسي بعد العزل الحراري

- إن تغطية السطح الماص للإشعاع بصفحة من البلكسفلاس يتل من مسطرة البصباح الشمسي لدرجة بالحد من وبالتالي يزيد من إنتاجها التلقائي .

- يجيبه أن تكون الدورة المائية المغلقة الحالية من الفقاعات الهوائية وأن يكون مستوى المساء في الحوض عند المستوى 1000 mL قبل بدء التجربة .



التجربة الثانية

المنحنيات المميزة للخلايا

الهدف من التجربة

١ - رسم المنحنيات المميزة (توتر- تيار) نقطة فنقطة، قياس توتر الدارة المفتوحة U_0 وتيار شارطة القصر I_s من أجل قيم مختلفة للشدة الإشعاعية .

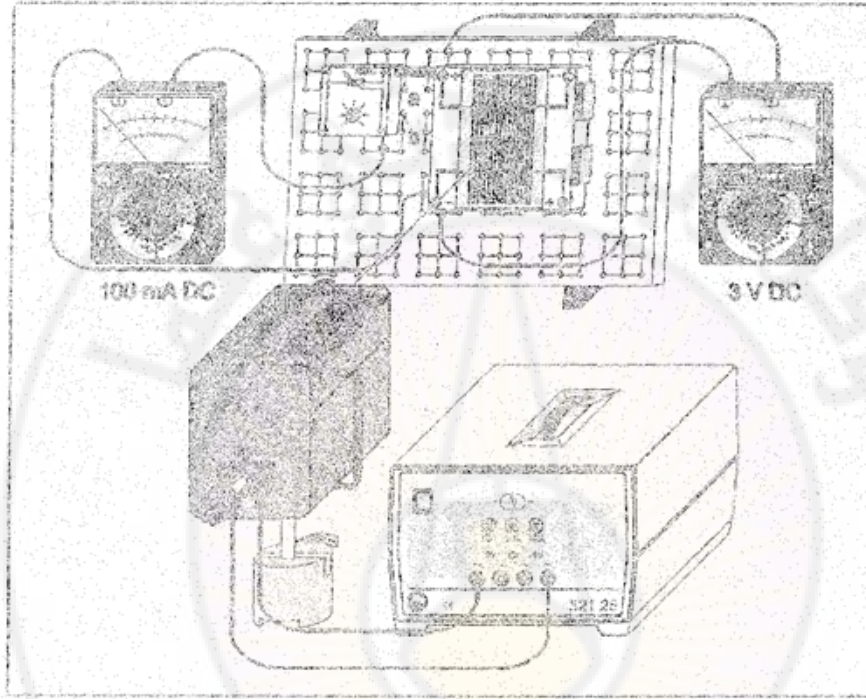
٢ - تحديد الاستطاعة P المقدمة كتابع لمقاومة الحمل R من أجل قيم مختلفة للشدة الإشعاعية .

٣ - تحديد الاستطاعة العظمى P_{max} ، ومقاومة الحمل المرتبطة بها R_{max} ، ومعامل الاستطاعة .

الأجهزة والأدوات المستخدمة :

بين الشكل ٣ الأجهزة والأدوات المستخدمة في هذه التجربة

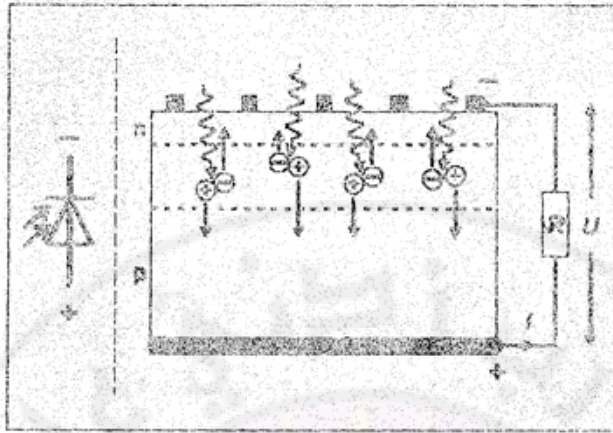
- | | | | |
|---------|--|-------|------------------------------------|
| خللا ١١ | - لرهمة مأخذ | عدد ١ | - خلية شمسية $2 V / 0.3 A$ |
| عدد ١١ | -  هاديون | عدد ١ | - زوج من حاملات الألواح |
| عدد ١ | - مقياس جهد $DC 10 V$ | عدد ١ | - مجموعة مؤلفة من عشر وصلات بحسريه |
| عدد ١ | - غلاف مصباح $12 V$ | عدد ١ | - مقياس تيار $DC 3 A$ |
| | | عدد ١ | $50/100W$ |
| عدد ١ | - محول $12 V - 2$ | عدد ١ | - مصباح هالوجيني $100 W, 12 V$ |
| | | عدد ١ | |



الشكل ٣ ترتيب تجربة رسم المنحنيات المميزة للخلايا الشمسية

المبدأ النظري :

الخلية الشمسية هي وصلة نصف ناقلة من النوع pn تحول طاقة ضوء الشمس السواردة عليها مباشرة إلى طاقة كهربائية . وتتكون الأجزاء نصف الناقلة من ثنائي ضوئي لسه مساحة سطحية واسعة صمم بشكل يسمح للضوء باختراق الوصلة p/n من خلال طبقة نصف ناقلة رقيقة من النوع n أو p (انظر الشكل ١) سولدة بذلك أزواجاً من الإلكترونات والثقوب السبي تنفصل عن بعضها بواسطة الحقل الكهربائي الداخلي في طبقة الحاجز وتستطيع المحصورة بالاتجاه المعاكس . فحاجز الإلكترونات نحو المنطقة المظلمة n ، بينما فحاجز الثقوب باتجاه المنطقة المظلمة p

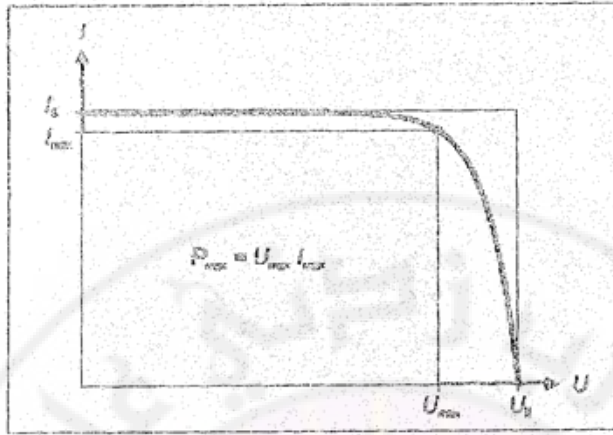


الشكل ١ مبدأ عمل الخلية الشمسية

عند قصر الوصلات المعدنية الخارجية، يسري تيار قصر I_s باتجاه معاكس للثنائي الضوئي . ويكون هذا التيار بصورة أساسية متناسباً مع عدد الأزواج (إلكترون-ثقب) المتولدة خلال واحدة الزمن ، أي متناسباً مع شدة أشعة الضوء الواردة ومساحة سطح الخلية الشمسية . وعند فتح الوصلات المعدنية يقود هذا التيار العكسي إلى جهد دائرة مفتوحة U_0 تقود بدورها إلى تيار انزياح I_D مساو للتيار العكسي، يسري وفق الاتجاه الأمامي للثنائي بحيث لا يسري في الدارة أي تيار . وعند وصل حمل اختياري مقاومته R ، يرتبط التيار I الذي يسري في الحمل بالجهد الناتج U بين الرصلتين المعدنيتين . وبشكل مبسط يمكن عدّ التيار I هو الفرق بين التيار العكسي I_s (الذي يرتبط بالشدة الإشعاعية Φ) والتيار I_0 للثنائي نصف الناقل غير المعرض للأشعة وفق الاتجاه الأمامي (الذي يرتبط بجهد الوصلتين U)

$$I = I_s(\Phi) - I_0(U)$$

وهذه الطريقة تحصل على المنحنيات المميزة النموذجية للخلية الشمسية (الشكل ٢) . وفي حالة مقاومات حمل صغيرة تسلك الخلايا الشمسية سلوك منبع ذي تيار ثابت حيث يمكن إهمال التيار الأمامي I_0 . وفي حالة مقاومات حمل أكبر تسلك الخلايا الشمسية سلوك منبع ذي جهد ثابت تقريباً لأن التيار $I_0(U)$ يزداد بسرعة عندما يتغير الجهد ببطء .



الشكل ٢ المنحني المميز للخلية الشمسية من أجل قيمة محددة للشدة الإشعاعية

عند تثبيت قيمة الشدة الإشعاعية ، ترتبط الاستطاعة المقدمة من الخلية الشمسية بمقاومة الحمل R_L . وتأخذ الخلية الشمسية استطاعتها العظمى P_{max} عندما تكون مقاومة الحمل عظمى R_{max} والتي تساوي بتقريب جيد لما يسمى بالمقاومة الداخلية $R_i = \frac{U_0}{I_s}$ تكون الاستطاعة العظمى هذه أصغر من جداء جهد الدارة المفتوحة بتيار القصر . ونسعى معامل المثلث (رمزه FF للنسبة التالية:

$$FF = \frac{U_{max} \cdot I_{max}}{U_0 \cdot I_s} = \frac{P_{max}}{U_0 \cdot I_s}$$

يجمع غالباً عدد من الخلايا الشمسية لتشكيل بطارية شمسية . ويعطى ربط الخلايا على التوالي التسلسل قيمة أكبر لجهد الدارة المفتوحة U_0 بينما يعطى ربطها على التفرع تيار قصر I_s أكبر . نربط في هذه التجربة على التسلسل أربع خلايا ونسجل مميزات (توتر-تيار) من أجل أربع قيم مختلفة للشدة الإشعاعية ، ويتم تغيير الشدة الإشعاعية بتغيير المسافة بين مصدر الضوء والبطارية الشمسية . وتظهر الاستطاعة $P = U \cdot I$ التي تقدمها الخلية الشمسية كتابع لمقاومة الحمل $R = \frac{U}{I}$.

طريقة العمل : يوضح الشكل ٣ ترتيب التجربة

- أدخل مأخذ الخلية الشمسية في الفرجة المخصصة لها ، وصل القطب العلوي السالب بالقطب السفلي الموجب مستخدماً وصلي جسر (ربط الخلايا الأربع على التسلسل) .

- أدخل مقاومة متغيرة ($0 - 220 \Omega$) على التسلسل مع الخلية الشمسية مستخدماً وصلة الجسر.

- صل مقياس الأمبير على التسلسل مع الخلية الشمسية واختبر المجال 100 mA DC .

- صل مقياس الجهد على التفرع مع الخلية الشمسية واختبر المجال 3 V DC .

- صل المصباح الهالوجيني بالتحول ووجه المصباح بحيث تكون إضاءة الخلية الشمسية منتظمة ..

- أغلق الدارة ، أقصر أولاً المقاومة المتغيرة بواسطة وصلة جسريه بين النقطتين a و b واختبر مسافة بين المصباح الهالوجيني والخلية الشمسية بحيث يكون تيار دائرة القصر مساوياً $I_s = 100 \text{ mA}$ تقريباً.

- اقطع الدارة وقس توتر الدارة المفتوحة U_0 .

- أغلق الدارة ثم أزرع الوصلة الجسريه وزد الجهد أو خفض التيار مغيراً مقاومة الحمل خطوة خطوة ، وسجل في كل خطوة قيمي التوتر والتيار .

- احسب قيمتي المقاومة والاستطاعة في كل خطوة وضع النتائج في جدول كالآتي:

$I (\text{mA})$	$V (\text{v})$	$R (\Omega) = V/I$	$P (\text{mW}) = V.I$

- ارسم على ورقة ملليمترية تغيرات التيار بدلالة التوتر وحدد من الجدول وعلى الشكل قيسة الاستطاعة العظمى

- ارسم على ورقة ملليمترية تغيرات الاستطاعة بدلالة المقاومة ، ماذا تستنتج ؟

- احسب معامل المثلث FF

- اجعل تيار القصر مساوياً 75 mA - ثم 50 mA - وبهذا 25 mA وذلك بزيادة بعد المصباح عن الخلية الشمسية وكرر سلسلة القياسات .

ملحقاً : تجاربه في النووية

١ - امتصاص أشعة غاما

٢ - قانون التوزيع العكسي





التجربة الأولى امتصاص أشعة غاما

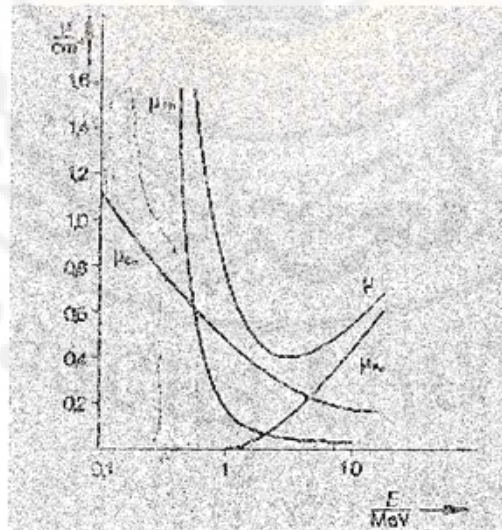
الهدف من التجربة:

تحديد الشحن النصفى ($d_{1/2}$) ومعامل الامتصاص μ لعنصر الأليوم .
الأجهزة والأدوات المستخدمة:

أنبوبة غايغر - عاكس نبضات - عدادة (مؤقتة) - مولد توتر عالي - مسطرة قياس أبعاد -
مسطوانة رصاصية مثقوبة - منبع لأشعة غاما ($^{60}_{27}Co$ أو $^{226}_{88}Ra$) - صفائح امتصاص .

المبدأ النظري:

يعبر معامل الامتصاص الخطي μ عن الجزء الممتص من أشعة غاما في واحدة الطول (الثنائية) من
المادة الممتصة وإذا قسمنا هذا المعامل على كثافة المادة ρ حصلنا على ما يسمى معامل الامتصاص
الكتلي . تتفاعل أشعة غاما مع المادة بشكل أساسي وفق آليات المفعول الكهرضوئي ومفعول
كومبتون وإنتاج الأزواج و يرتبط الاسهام النسبي لهذه الآثار الثلاثة في المعامل الكلي للامتصاص
بطاقة أشعة غاما كما في الشكل (١) ، وكذلك بالعدد الذري Z للمادة الماصة .



الشكل (١) امتصاص أشعة غاما في الرصاص كتابع للطاقة

تتناقص كثافة الاشعاع المار عبر وسط ماص (وبالتالي يتناقص معدل العد) وفق علاقة لامبرت الأسية

$I = I_0 e^{-\mu x}$ حيث I_0 كثافة الاشعاع الوارد على الوسط الماص و I كثافة الاشعاع النافذ منه ، μ معامل الامتصاص ، و x ثخن المادة الماصة. وبما أن الثخن النصفوي $d_{1/2}$ لمادة هو سماكة المادة التي تضعف كثافة الاشعاع إلى نصف قيمتها الأصلية يمكن إيجاد العلاقة بين μ و $d_{1/2}$ انطلاقاً من علاقة لامبرت فنجد :

$$\frac{I_0}{2} = I_0 e^{-\mu d_{1/2}} \Rightarrow \ln 2 = \mu d_{1/2} \Rightarrow \mu = \frac{\ln 2}{d_{1/2}}$$

يعتبر العداد (أنبوبة غايغر) من أهم الكواشف الإشعاعية القادرة على تسجيل إشعاعات ذات قدرة تأيينية ضعيفة.

يتألف العداد من أنبوب معدني مجهز بسلك مركزي دقيق معزول عن جدار الأنبوب. بمسأ الأنبوب، بعد إغلاقه بنافذة رقيقة من الميكا، مزيج من غازات حاملة تحت ضغط 100 mbar. يطبق على الأنبوب فرق في الكمون U بين مهبطه، أي جدار الأنبوب، ومصعده، أي السلك المركزي، وذلك عن طريق مقاومة أومية عالية R ، يكون جهد كهربيائي المطبق عادةً من مرتبة بضعة مئات من الفولت ويتبقي أن يبقى بعيداً عن الجهود التي تسبب حدوث انقراغ في الأنبوب.

تسبب الإشعاعات التي تدخل الأنبوب عبر نافذته تأين ذرات الغاز فيه. و تنطلق الإلكترونات المتحررة بهذه الطريقة بسرعة عالية باتجاه السلك المركزي أي المصعد في حين تتجه الأيونات الموجبة الناجمة عن عملية التأين بسرعة منخفضة نحو جدار الأنبوب. تسارع الإلكترونات في حواجز السلك المركزي و تولد نتيجة تصادماتها مع حفرات الغاز حاملات شحنة جديدة، كما

تسبب إثارة هذه الذرات فتحرر بدورها فوتونات لا تلبث أن تولد المزيد من التأيين للغاز في الأنبوب . تولد حاملات الشحنة المتولدة في الأنبوب نبضة تيار تنتهي عندما تبلغ كل الأيونات مهبط الأنبوب. وينتج عن هذه النبضة هبوط جهد صغير في المقاومة الحار جيسة R. يدل على هذا الهبوط على مدخل العداد الرقمي عبر المكثفة C.

عندما يكون الجهد المطبق على الأنبوب صغيراً فإن تزايد الشحنات على طريق الإلكترونات أو الأيونات يكون محدوداً و موضعياً (local). وإذا زيد الجهد المطبق على الأنبوب زاد انتشار هذا التزايد حتى يعم كامل الأنبوب. وأتذاك تولد جميع الجسيمات المؤينة : بغض النظر عن طبيعتها و مهما تكن طاقتها، نبضة جهد مماثلة. وعندما يصبح معدل العد counting rate الناتج عن تعريض الأنبوب لمنبع مشع مستقلاً عن الجهد المطبق يرن مسريه. يقال عن الأنبوب الذي يعمل ضمن هذا المجال (معدل العد مستقل عن الجهد المطبق على مسريه العداد) اسم عداد غسايفر-مولر . ويؤدي تجاوز الجهد المطبق الحد الأعظمي المسموح للعداد إلى حدوث انقراض كهربائي في كامل الأنبوب وهذا ما يعرض الأنبوب للتخريب فينبغي تجنب حدوث ذلك .

يتطلب تصميم أنبوب غسايفر - مولر ابتكار طريقة لمنع الإلكترونات الثانوية الناشئة من تصادم الأيونات بجدار الأنبوب من توليد انقراض في الأنبوب، لذا تستخدم في أنابيب غسايفر - مولر ذات الانطفاء الذاتي غاز إطفاء كافالوجين الممزوج مع غازات حاملة.

طريقة العمل :

١- قس المتوسط الحسابي N_0 لمعدل العد الطبيعي في الدقيقة الواحدة (بدون منبع مشع)

/متوسط ثلاثة قياسات على الأقل/

٢- ضع المنبع المشع داخل الأسطوانة الرصاصية ثم ضع الأسطوانة بحيث يكون ثقبها على بعد

2 cm من نافذة أنبوبة غايفر وحافظ على هذا الوضع خلال التجربة كلها.

٣- استعمل زمن تعداد ثابت (دقيقة واحدة) خلال جميع القياسات .

٤- قس التعداد N_s بدون وجود الصفائح الماصة ، ثم ضع أرق صفيحة من الألمنيوم

بين المنبع

المشع و نافذة أنبوبة غايفر وقم بقياس التعداد ، ثم كرر ذلك من أجل سماكات مختلفة من

صفائح

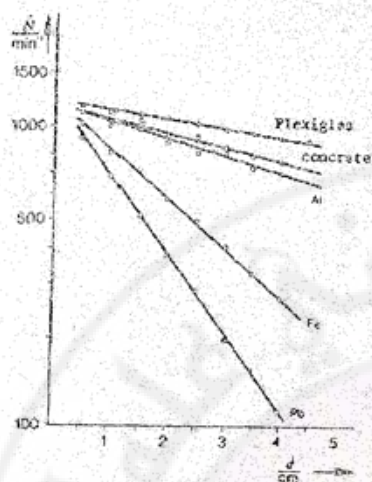
الألمنيوم ودون جميع النتائج القياس في الجدول (١) .

التعداد الصحيح $N=N_s-N_0$	التعداد (عدة في الدقيقة) N_s	السماكة المقاسة $x(mm)$
		0
		2
		.
		20

الجدول (١)

٥- ارسم على ورق نصف لوغاريتمي الخط البياني للتعداد الصحيح N بدلالة سمك الألمنيوم x واستنتج منه قيمة الشغل التصفوي $d_{1/2}$ ثم احسب قيمة معامل الامتصاص الخطسي μ والكتلي μ/ρ وقدر الأخطاء المرتكبة كما في الأمثلة التالية :

Fig. 7: Impulse-counting rate N as a function of the thickness d of the absorber



Lead: ($\rho = 11.34 \text{ g cm}^{-3}$)

$$\mu = 0.62 \text{ cm}^{-1},$$

$$d_{1/2} = 1.12 \text{ cm},$$

$$\frac{E}{\rho} = 0.055 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1},$$

$$S_p = 0.009 \text{ cm}^{-1}$$

$$S_{d,1/2} = 0.02 \text{ cm}$$

$$S_{\mu/\rho} = 0.001 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$$

Aluminium: ($\rho = 2.68 \text{ g cm}^{-3}$)

$$\mu = 0.15 \text{ cm}^{-1},$$

$$d_{1/2} = 4.6 \text{ cm},$$

$$\frac{E}{\rho} = 0.055 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1},$$

$$S_p = 0.01 \text{ cm}^{-1}$$

$$S_{d,1/2} = 0.3 \text{ cm}$$

$$S_{\mu/\rho} = 0.004 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$$

Iron: ($\rho = 7.86 \text{ g cm}^{-3}$)

$$\mu = 0.394 \text{ cm}^{-1},$$

$$d_{1/2} = 1.76 \text{ cm},$$

$$\frac{E}{\rho} = 0.055 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1},$$

$$S_p = 0.006 \text{ cm}^{-1}$$

$$S_{d,1/2} = 0.05 \text{ cm}$$

$$S_{\mu/\rho} = 0.001 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$$

Concrete: ($\rho = 2.35 \text{ g cm}^{-3}$)

$$\mu = 0.124 \text{ cm}^{-1},$$

$$d_{1/2} = 5.6 \text{ cm},$$

$$\frac{E}{\rho} = 0.055 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1},$$

$$S_p = 0.006 \text{ cm}^{-1}$$

$$S_{d,1/2} = 0.4 \text{ cm}$$

$$S_{\mu/\rho} = 0.004 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$$

Plexiglas: ($\rho = 1.116 \text{ g cm}^{-3}$)

$$\mu = 0.078 \text{ cm}^{-1},$$

$$d_{1/2} = 8.9 \text{ cm},$$

$$\frac{E}{\rho} = 0.055 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1},$$

$$S_p = 0.002 \text{ cm}^{-1}$$

$$S_{d,1/2} = 0.5 \text{ cm}$$

$$S_{\mu/\rho} = 0.003 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$$



التجربة الثانية قانون التريبع العكسي

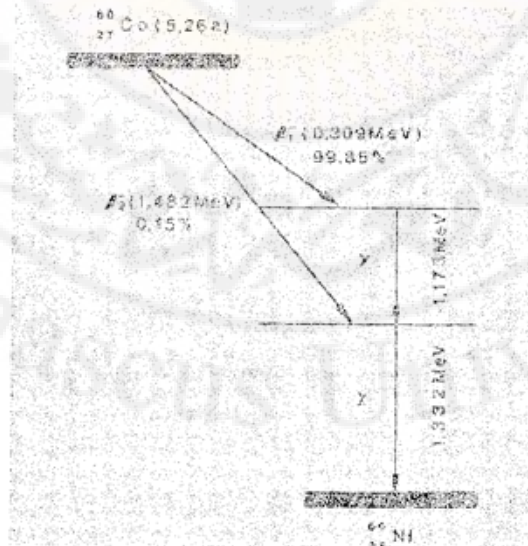
الهدف من التجربة: التحقق من خضوع أشعة غاما لقانون التريبع العكسي أي التحقق من تناقص الشدة الاشعاعية عكساً مع مربع البعد عن المنبع .

الأجهزة والأدوات المستخدمة :

أنبوبة غايغر -- عاكس نبضات -- عدادة(موقفة) -- مولد توتر عالي -- مسطرة قياس أبعاد -- أسطوانة رصاصية مثقوبة -- منبع لأشعة غاما ($^{60}_{27}Co$ أو $^{226}_{88}Ra$)

المبدأ النظري:

يملك عنصر الكوبالت المشع $^{60}_{27}Co$ دوراً (نصف عمر) قدره: $5.26 \cdot 10^3$ سنة ، ويتفكك مصدراً أشعة β متحولاً إلى عنصر النيكل $^{60}_{28}Ni$ المستقر كما في الشكل (١) ، وكما هو حال جميع العناصر المصدرة لأشعة β يقود التفكك إلى نواة في حالة مثارة تتحول إلى حالتها الأساسية بإصدار فوتونات أشعة غاما ذات طاقات متجانسة تتج طيفاً ذا خطين منفصلين واضحين كما في الشكل (١) .



الشكل (١) منطاط تفكك الكوبالت $^{60}_{27}Co$

إن الأشعة الضوئية وأشعة غاما من طبيعة واحدة فكلاهما إشعاع كهرومغناطيسي مكتمل (فوتونات) يخضع للعلاقة $E = hv$ حيث E هي طاقة الفوتون و v تواتر الإشعاع و h ثابت بلانك . فلو وضعنا منبعاً ضوئياً نقطياً في مركز كرة بلاستيكية شفافة متجانسة وكان المنبع يصدر فوتونات بمعدل N فوتون بالثانية الواحدة ، فمن السهل قياس الكثافة السطحية للفوتونات أي قياس عدد الفوتونات التي تسقط في كل ثانية على المتر المربع من سطح الكرة ، وتعطى بالعلاقة $I = \frac{N}{S}$ حيث S هي مساحة الكرة وتساوي $4\pi r^2$ حيث r هو نصف قطر الكرة وبالتالي $I_R = \frac{N}{4\pi r^2}$ وبما أن N و 4π ثابت فإن I_r تتغير متناسبة مع $\frac{1}{r^2}$ ويراد من هذه التجربة التثبت من هذه العلاقة .

يعتبر العداد (أنبوبة غايغر) من أهم الكواشف الإشعاعية القادرة على تسجيل إشعاعات ذات قدرة تأيينية ضعيفة.

يتألف العداد من أنبوب معدني مجهز بسلك مركزي دقيق معزول عن جدار الأنبوب. يحلأ الأنبوب، بعد إغلاقه بنافذة رقيقة من الميكا، بمزيج من غازات خاملة تحت ضغط 100 mbar. يطبق على الأنبوب فرق في الكمون U بين منبسطه، أي جدار الأنبوب، ومصعده، أي السلك المركزي، وذلك عن طريق مقاومة أومية عالية R . يكون الجهد الكهربائي المطبق عادةً من مرتبة بضعة مئات من الفولت وينبغي أن يبقى بعيداً عن الجهود التي تسبب حدوث انفراغ في الأنبوب.

تسبب الإشعاعات التي تدخل الأنبوب غير نافذته تأين ذرات الغاز فيه. و تنطلق الإلكترونات المتحررة بهذه الطريقة بسرعة عالية باتجاه السلك المركزي أي المصعد في حين تتجه الأيونات الموجبة الناجمة عن عملية التأين بسرعة منخفضة نحو جدار الأنبوب . تتسارع الإلكترونات في جوار السلك المركزي و تولد نتيجة تصادماتها مع ذرات الغاز حاملات شحنة جديدة، كما

تسبب إثارة هذه الأتومات فتحرر بدورها فوتونات لا تلبث أن تولد المزيد من التساين للغاز في الأنبوب . تولد حاملات الشحنة المتولدة في الأنبوب نبضة تيار تنتهي عندما تبلغ كل الأيونات مهبط الأنبوب. وينتج عن هذه النبضة هبوط جهد صغير في المقاومة الخارج حيسة R. يطبق هذا الهبوط على مدخل العداد الرقمي عبر المكثفة C.

عندما يكون الجهد المطبق على الأنبوب صغيراً فإن تزايد الشحنات على طريق الإلكترونات أو الأيونات يكون محدوداً و موضعياً (local). وإذا زيد الجهد المطبق على الأنبوب زاد انتشار هذا التزايد حتى يعم كامل الأنبوب. وأنداك تولد جميع الجسيمات المؤينة ، بغض النظر عن طبيعتها و مهما تكن طاقتها، نبضة جهد ماثلة. وعندها يصبح معدل العد counting rate الناتج عن تعريض الأنبوب منبع مشع مستقلاً عن الجهد المطبق بين مسريه. يقال عن الأنبوب الذي يعمل ضمن هذا المجال (معدل العد مستقل عن الجهد المطبق على مسريه العداد) اسم عداد غايفر-مولر . ويؤدي تجاوز الجهد المطبق الحد الأعظمي المسموح للعداد إلى حدوث انقراض كهربائي في كامل الأنبوب وهذا ما يعرض الأنبوب للتخريب فينبغي تجنب حدوث ذلك .

يتطلب تصميم أنبوب غايفر-مولر ابتكار طريقة لمنع الإلكترونات الثانوية الناشئة من تصادم الأيونات بجدار الأنبوب من توليد انقراض في الأنبوب، لذا تستخدم في أنابيب غايفر - مولر ذات الانعفاء الذاتي غاز إطفاء كالهالوجين الممزوج مع غازات حاملة.

طريقة العمل :

١ - قس المتوسط الحسابي N_0 لمعدل العد الطبيعي في الدقيقة الواحدة (بدون منبع مشع) /متوسط ثلاثة قياسات على الأقل/

٢- ضع المنبع المشع داخل الأسطوانة الرصاصية ثم ضع الأسطوانة بحيث يكسود ثقبها

على بعد

1 cm من نافذة أنبوبة غايفر .

٣- استعمل زمن تعداد يكفي للحصول على ٢٠٠٠ عدة تقريباً .

٤- أبعد الاسطوانة ليصبح ثقبها على بعد 2 cm من نافذة أنبوبة غايفر وكرر قياس

التعداد

لمدة زمنية متعاضدة مثل التي حددتها في الخطوة السابقة . ثم كرر العمل من أجل عشر

مسافات

متزايدة ورتب القياسات كما في الجدول أدناه . لاحظ أنه من أجل المسافات الأكبر

لا بد من

تعديل الزمن للحفاظ على الدقة الإحصائية ذاتها ، كما يجب الأخذ في الحسبان بعد المنبع

عن الثقب (نصف قطر الاسطوانة الرصاصية R) وكذلك بعد نافذة أنبوبة غايفر عن مركز

الأنبوبة (حوالي d=2 cm) عند حساب البعد الفعلي للمنبع المشع عن أنبوبة غايفر .

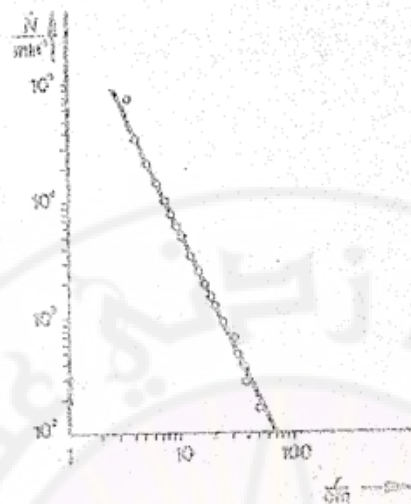
المسافة المثبتة $r' (cm)$	التعداد (عدة في الدقيقة) N_s	التعداد الصحيح $N = N_s - N_0$	البعد الصحيح $r(cm) = r' + R + d$
1			
2			
10			

٥- ارسم على ورق لوغاريتمي الخط البياني للتعداد الصحيح N بدلالة البعد r واستنتج منه

قيمة b في العلاقة : $\ln N = A + b \ln r$ كما في المثال التالي :

بحساب ميل المستقيم نجد : $b = -2.07 \pm 0.01$ وهذا يثبت تحقق قانون

التربيع العكسي .



جامعة دمشق
Damascus University



الملاحقات

وحدات النظام العالمي USI

الوحدة مقدار مرجعي ثابت و معين لقياس المقادير ذات نفس الخصائص

الوحدات الرئيسية في النظام العالمي للوحدات :

المقدار	الوحدة	الرمز	تعريف
مسافة	متر	m	مسافة تساوي ١٦٥١٧٦٣,٧٣ مرة طول موجة
		e	تنتشر في الفراغ لإشعاع مناسب لانتقال ذرة الكريبتون ٨٦ من المستوى الثاني للطاقة إلى المستوى الخامس
كتلة	كيلو غرام	Kg	كتلة النموذج الدولي للكيلو غرام
زمن	ثانية	S	مدة زمنية تساوي دور الإشعاع المنبعث أثناء انتقال ذرة السيزيوم ١٣٣ من حالتها الأساسية إلى أقرب مستوى طاقة
شدة التيار الكهربائي أمبير		A	هو شدة التيار الكهربائي المار في ذائنين مستقيمين و متوازيين مقطوعهما دائري و مهمل بالنسبة لطولهما و تفصل بينهما مسافة متر واحد و الذي يحدث في الفراغ قوة شدتها ٢,١٠ نيوتن في المتر الواحد من الطول
درجة الحرارة	كلفن	K	جزء من ١/٢٧٣,١٦ درجة حرارة حيث تتواجد الحالات الثلاث للماء في آن واحد وفق السلم الدولي لدرجة الحرارة.
كمية المادة	مول	Mol	كمية المادة لمجموعة تحتوي على عدد من المكونات الأساسية يساوي عدد الذرات

الموجودة في ١٢ غرام من الكريون ١٢

الشدة الضوئية لشعاع وارد عموديا على مساحة قدرها ١/٦٠٠٠٠٠ م ² من جسم أسود في ظروف حيث درجة حرارة تساوي درجة تجمد البلاتين و ضغط يساوي ١٠١٣١٥ باسكال	Cd	كانديلا
		شدة ضوئية

الوحدات المشتقة :

المقدار الفيزيائي	الاسم	Nom	الاسم	الوحدة	صيغة التعريف
السرعة الخطية	-V	Vitesse linéaire	~	m.s ⁻¹	$V=dx/dt$
السرعة الزاوية	ω	Vitesse angulaire		rad.s ⁻¹	$\omega=d\theta/dt$
التسارع الخطي	a	Accélération linéaire		m.s ⁻²	$a=d^2x/dt^2$
التسارع الزاوي	α	Accélération angulaire		rad.s ⁻²	$\alpha=d^2\theta/dt^2$
التردد	N	Fréquence	الهرتز	Hz	$N=1/T$
النبض	ω	Pulsation		rad.s ⁻¹	$\omega=2.\pi.N$
القوة	F	Force	النيوتن	N	$F= m.a$
العمل	W	Travail	الجول	J	$W=F.d.\cos\theta$
الطاقة	E	Enèrgie	الجول	J	

$P=dW/dt$	ω	الواط	P	Puissance	القدرة
$p=F/S$	pas	الباسكال	p	Préssion	الضغط
$Q=I.t$	C	الكولومب	Q	Quantité d'électricité	كمية الكهرباء
$U=W/Q$	V	الفولت	V	Potentiel électrostatique	الجهد الكهربائي
$E=U.d$	$V.m^{-1}$		E	Champ électrostatique	المجال الكهربائي
$Q=C.U$	F	الفاراد	C	Capacité	السعة
$U=R.I$	Ω	الأوم	R	Résistance	المقاومة
$F_m= q .V.B$	T	التسلا	B	Champ magnétique	المجال المغناطيسي
$\Phi=B.S$	ω	الفبيير	Φ	Flux magnétique	التدفق المغناطيسي
$\Phi=L.I$	H	الهنري	L	Coefficient d'auto induction	معامل التحريض الذاتي

علاقة	الرمز	الوحدة	
$1\mu\text{m}=10^{-6}\text{m}$	μm	ميكرومتر	الطول
$1\text{f}=10^{-9}\text{m}$	$\text{\AA}$	الفرمي	
$1\text{\AA}=10^{-10}\text{m}$	$\text{\AA}$	الأنغستروم	
$1\text{l}=10^{-3}\text{m}^3$	l	لتر	الحجم
$1\text{cm}^3=1\text{ml}$	cm^3	سنتيمتر مكعب	
$1\text{A}=10^3\text{mA}$	A	الأمبير	الكهرباء
$1\text{V}=10^3\text{mV}$	V	الفولط	
$1\text{cal} = 4.18 \text{ J}$	cal	الكالوري	الطاقة
$1\text{wh}=3600 \text{ J}$	wh	واط ساعة	
$1\text{ev}=1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$	ev	الإلكترون فولط	

علاقة	الرمز	الوحدة	
$1\text{a} = 100 \text{ m}^2$	a	آر	المساحة
$1\text{ha}=100 \text{ a}$	ha	هكتار	
$1\text{g}=10^{-3}\text{Kg}$	g	الغرام	الكتلة

1q=100 Kg	q	القنطار	
1t=10 ³ kg	t	طن	
1w=10 ⁻³ Kw	w	الواط	القدرة
	Kw	الكيلو واط	
1atm=10 ⁵ pas	atm	الآتموسفير	الضغط
1pas=1N.m ⁻²	pas	الباسكال	
1bar = 1atm	bar	البار	
76cm Hg=1atm	cm Hg	سنتيمتر من الزئبق	

جدول يعطي بعض الوحدات الضوئية

المقدار	الوحدة	رمزها	الوحدة الطاقية
كمية الضوء	لومين. ثانية	Lm.s	J الجول
التدفق الضوئي	لومين	Lm	W واط
شدة الإضاءة	لومين / متر مربع	Lx	$\frac{W}{m^2}$ واط / متر مربع
الشدة الضوئية	كانديلا أو الشمعة لومين / ستيراديان	Cd	$\frac{W}{sr}$ واط / ستيراديان

لومين / متر مربع . ستيراديان

لومين / متر مربع . ستيراديان

بعض العلاقات الرياضية المفيدة

١- عندما تكون θ صغيرة ومقاسة بالراديان يكون :

$$\tan \theta \cong \sin \theta \cong \theta$$

$$\cos(\alpha \mp \beta) = \cos \alpha \cos \beta \mp \sin \alpha \sin \beta \quad -٢$$

$$\sin(\alpha \mp \beta) = \sin \alpha \cos \beta \mp \cos \alpha \sin \beta \quad -٣$$

$$\cos^2 \theta + \sin^2 \theta = 1 \quad -٤$$

$$\cos^2 \theta = \frac{1 + \cos 2\theta}{2} \quad -٥$$

$$\sin^2 \theta = \frac{1 - \cos 2\theta}{2} \quad -٦$$

عوامل التحويل

عامل التحويل هو نسبة مقدارين من نوع واحد ، فليس له إذن وحدة ويستخدم للانتقال من وحدة لأخرى . فعامل التحويل 12in/1ft والذي نقرؤه (يوجد اثنا عشر إنشاً في قدم واحد) يمكن استخدامه لتحويل 10 ft إلى إنشات بالضرب مباشرة بالعامل وحذف وحدتي القدم .
ولتحويل 15 in إلى أقدام . يجب قلب عامل التحويل وضوحاً للحصول على النتيجة المرغوبة. فنضرب بالعامل 1ft/12in والذي نقرؤه (يوجد في قدم واحد اثنا عشر إنشاً) .
وإذا استخدم عامل التحويل استخداماً خاطئاً ، أضحى اختصار الوحدات غير ممكن . ويشير ذلك إلى ضرورة قلب عامل التحويل، فلتحويل السرعة من mi.hr^{-1} إلى m.sec^{-1} نتبع ما يلي :

$$1 \frac{mi}{hr} \times \frac{1 hr}{3600 sec} \times \frac{5280 ft}{1 mi} \times \frac{12 in}{1 ft} \times \frac{2.540 cm}{1 in} \times \frac{1 m}{100 cm} =$$

$$= 0.4470 m.sec^{-1}$$

مثال آخر :

$$30 in = 30 in \left(2.540 \frac{cm}{in} \right) = 76.2 cm$$



الأجزاء والمضاعفات للوحدات

الرمز	معامل التضعيف	اسم الكسر أو المضاعف
T	10^2	Tera تيرا
G	10^9	Giga جيجا
M	10^6	Mega ميغا
K	10^3	kilo كيلو
h	10^2	Hector هكتو
da	10	Deka ديكا
d	10^{-1}	deci ديسي
c	10^{-2}	Centi
m	10^{-3}	Milli ملي
μ	10^{-6}	Micro ميكرو
n	10^{-9}	Nano نانو
p	10^{-12}	Pico بيكو
a	10^{-18}	Atto أتو

الرموز اليونانية

A	α	ألفا
B	β	بيتا
Γ	γ	جاما
Δ	δ	دلتا
E	ε	إيپسilon
Z	ζ	زيٹا
H	η	إيتا
Θ	θ	ثيتا
K	κ	كابا
$\wedge$	λ	لامبدا
M	μ	ميو
N	ν	نيو
Ξ	ξ	إكزي
π	π	باي
P	ρ	رو
Σ	σ	سيجما
T	τ	تاو
Φ	ϕ	فاي
X	χ	كاي
Ψ	ψ	بسي
Ω	ω	أوميغا



المصطلحات العلمية

A

Accomodation	مطابقة
Achromatic	الالونية (اللازيفية)
Achromaticprism	المواشير الالونية (اللازيفية)
Amplitude	السعة
Angle	زاوية
Critical~	زاوية حرجة (حدية)
Incidence~	زاوية الورود
Reflection~	زاوية الانعكاس
Refraction ~	زاوية الانكسار
Anode	مصعد
Apostilb (asb)	أبو ستلب
	(واحدة لقياس الكثافة الضوئية)
Astigmatism	اللانقطية
Axial	محوري

B

Bifocal	ثنائي المحرق
---------	--------------

C

Candal (cd)	شمعة (واحدة لقياس شدة الضوء)
Catode	مهبط
Choroidia	المشيمية (مشيمية العين)

Color

لون

D

Defects of Vision

عيوب الرؤية

Density

كثافة

Density of light

كثافة الضوء

Deviation

انحراف

Minimal~

انحراف أصغري

Diffraction

انعراج

Grating~

شبكة الانعراج

Dispersion

تبدد

Distance

بعد (مسافة)

E

Electron

الالكترون

Absorbed ~

الالكترونات ممتصة

Auger~

الالكترونات أوجر

Back Scattered ~

الالكترونات مرتدة

Primary “-

الالكترونات أولية

Secondary~

الالكترونات ثانوية

Eye

عين

Eye Piece

عينية

Eye Ring

حدقة العين

spectral Sensibility of Eye

الحساسية الطيفية للعين

Equations

معادلة

F

Field of View	حقل الرؤية
Light Flow	تدفق الضوء (التيار الضوئي)
Radiation Flux	تدفق الاشعاع
Focal Plane	مستوي محرق
Focus	محرق
Function	تابع

Geometrical	هندسي
Geometrical Optics	ضوء هندسي
Grating	شبكة

Illumination	إضاءة، إنارة
Image	خيال
Index	معامل
Refraction ~	قرينة انكسار
Intensity	شدة
Illumination ~	شدة الاضاءة (الانارة)
Ray~	شدة الاشعاع
Intensity of Light	شدة الضوء
Interference	تداخل
Isotropicmedium	وسط متماثل الاتجاهات

L	طول
Length	

Wave~	طول الموجة
Lens	عدسة
Thin~	عدسة رقيقة
Thick~	عدسة سميكة
Crystal	الجسم البلوري
Light	ضوء
Complex~	ضوء مركب
Monochromatic~	ضوء وحيد اللون
Natural~	ضوء عادي
Visible~	ضوء مرئي
Light Rays	أشعة ضوئية
Lumen	لومين (واحدة لقياس تدفق الضوء)
Luminescence	تألق
Catodo~	تألق مهبطي
Lux (lx)	لوكس (واحدة لقياس شدة الإضاءة)

M

Magnification	تكبير
Linear~	تكبير خطي
Axial~	تكبير محوري
Magnifier	مكبره
Microscope	مجهر
Electron~	مجهر إلكتروني
Mirror	مرآة
Spherical~	مرآة كروية
Myopia	حسر البصر

N

Newton's Rings

حلقات نيوتن

Nodal planes

مستويات عقدية

Node

عقدة

Normal

ناظم

Nox (nx)

نوكس

(واحدة لقياس الشدة الضوئية للظلام)

C

Object

جسم

Object Point

نقطة مضيئة

Objectiv

جسمية

Opaque

عاتم

Optical Instrument

أجهزة بصرية

Optical Path

مسار ضوئي

Optical System

جملعة ضوئية

Optics

علم الضوء

Order

رتبة الهدب

P

Parallel — sided Plate

صفحة متوازية الوجهين

Path difference

فرق المسير

Phase

طور (صفحة)

Phase difference

فرق الطور

Phot (ph)

فوت (واحدة لقياس شدة الاضاءة)

Photometer	فوتومتر (مقياس شدة الإضاءة)
Photometry	الإضاءة
Plane Surface	سطح مستو
Principal Plane	مستوي أصلي
Prism	موشور
Propagation of Light	انتشار الضوء
Power	طاقة قدرة
Dispersion ~	قدرة تبديدية
Resolving~	قدرة تحليلية
R	
Ray	شعاع
Refraction	انكسار
Refraction Spherical Surface	كاسر كروي
Refractometer	مقياس انكسار
Reflection	انعكاس
Total~	انعكاس كلي
Total Internal~	انعكاس كلي داخلي
Reflecting Telescopes	الراصدات (المرقب)
Retina	شبكة العين
Reversibility of Light	رجوع الضوء

S

Scot (sc)	سكوت
(واحدة لقياس الكثافة الضوئية للظلام)	

Scotopic (Twilight) Vision	الرؤية الغسائية (الليلية)
Spectrometer	مقياس الطيف
Spectroscope	مطياف
Direct Vision~	مطياف الرؤية المباشرة
Spectrum	طيف
Spherical Surface	سطح كروي
Wave Surface	سطح موجة
Source	منبع
Source of Light	منبع ضوئي
Steradian	ستراديان
	(واحدة لقياس الزاوية المجسمة)
Stilb (sb)	ستيلب
	(واحدة لقياس الكثافة الضوئية)
Stigmatism	تناقضية (نقطية)
Spectrum	طيف
	V
Visibility	الوضوحية
	W
Wave	موجة
Wave front	صدر الموجة



المراجع العلمية

- ١- الدكتور وجيه السمان وزملاءه، الفيزياء الحديثة للجامعات ، الجزء الثاني (الضوء و الإشعاع)، كتاب مترجم، منشورات جامعة دمشق ١٩٨٢.
- ٢- تجارب في الفيزياء- د.عدنان محاسب - منشورات جامعة دمشق -١٩٨٨
- ٣- تجارب في الاهتزازات والأمواج- د. طاهر تزي دار- د.توفيق قسسام- محمد صفوح موصلي- كلية العلوم- جامعة دمشق - ١٩٩٠
- ٤- منشورات شركتي في-ففي ولايبولد للتجارب العملية في الفيزياء

اللجنة العلمية

أ.د. بسام المغربي

أ.م.د. سهام طرابيشي

أ.م.د. محمد عبد الحفيظ

الدقق اللغوي

أ.د. فائق كوك

حقوق الطبع والترجمة والنشر محفوظة لمديرية الكتب والمطبوعات