الفيزياء العملية (3)

قسم الفيزياء

السنة الثانية

منشورات جامعة دمشق
كلية العلوم

الفيزياء العملية (3)

الدكتور
محمد سعيد محاسنة
أستاذ في قسم الفيزياء

الدكتور
كنج الشوفي
أستاذ مساعد في قسم الفيزياء

الدكتور
أحمد اليحيى
مدرس في قسم الفيزياء

صالحة الطباع
مشرفة على الجوانب التطبيقية في قسم الفيزياء

منى العسكري
مشرفة على الجوانب التطبيقية في قسم الفيزياء

جامعة دمشق

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفهرس

الموضوع	رقم الصفحة
المقدمة	7
أ- أجهزة القياس	9
الحقول المغنطيسية للتيار الكهربائي	29
التحريض المغنطيسي	41
دراسة الممانعة R-C-L على التسلسل في دارة تيار متناوب	47
دراسة الممانعة R-C-L على التفرع في دارة تيار متناوب	63
دورة البطاء المغنطيسي	71
تأثير درجة الحرارة على كل من خصائص الوصلات الثنائية P-N والمقاومات	81
قياس الشحنة النوعية للإلكترون e / m باستخدام صمام توموسون	87
المفعول الكهرضوئي الداخلي (الخلايا الشمسية)	99
مقدمة في القياسات الحرارية	105
الحرارة النوعية	109
السعة الحرارية	115
دورة المحرك الحراري العكسية (المبرد)	127
المجمع الشمسي	147
الناقلية الحرارية للمواد الصلبة	157
درجة الحرارة الحرجة لمادة سائلة	165

قياس درجة حرارة منبع ساخن اعتماداً على قانون ستيفان بولتزمان	175
التسخين بالإشعاع	187
محرك الهواء الحار	195
الظواهر المرافقة في الدارات RCL - RL – RC	213
بعض المقادير الفيزيائية	238
قائمة المصطلحات	259
المراجع	393

Damascus University

مقدمة

يعتبر كتاب الفيزياء العملية (3) لطلاب السنة الثانية، فيزياء ، ثمرة من ثمرات الخطة الدرسية الجديدة التي أقرت في العام الدراسي 2007/ 2008 والتي فصلت الجزء العملي الملحق للمقررات النظرية في الخطة الدرسية القديمة و اعتبرته مقررا منفصلا لوحده كأي مقرر من مقررات الخطة الدرسية. و كان الهدف من هذا الفصل إعطاء أهمية خاصة للجزء العملي ليكتسب الطلاب مهارات تجريبية تتعمق من خلالها مفاهيم الأسس الفيزيائية النظرية.

يتناول هذا الكتاب تجاربا في الكهرباء و المغنطيسية و الترموديناميك بالإضافة إلى مقدمة تستعرض أهم أجهزة القياس المستخدمة في تلك التجارب . و قد اتبع في عرض التجارب اسلوب عام وموحد تضمن عرض الغاية من التجربة يليه تمهيد نظري يوجز المبادئ التي تعتمد عليها التجربة مع أهم العلاقات و القوانين المستخدمة فيها. و بعدها تم عرض و تعداد للأجهزة المستخدمة مع الصور التوضيحية لها و مبدأ القياس فيها. بعدئذ كتبت مراحل العمل للتجربة التي ينبغي على الطالب إتباعها بدقة للحصول على النتائج المطلوبة . و قد أضيفت في نهاية الكتاب بعض الملاحق التي تحتوي على الثوابت الفيزيائية الهامة مع قائمة بالمصطلحات العلمية باللغتين العربية و الانكليزية .

أخيرا يسرنا أن نتقدم بهذا الجهد المتواضع إلى أعزائنا الطلاب راجين من الله أن يعود عليهم بالفائدة و المعرفة. و لا يسعنا بالختام إلا أن نتقدم بالشكر و الامتنان لجميع من ساهم في إعداد التجارب و إخراج هذا الكتاب.

المؤلفون

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

أ – أجهزة القياس

بما أن المقادير في الترموديناميك الكلاسيكي إحصائية، وتهتم بحالة الجملة عموماً (الحالتان الابتدائية والنهائية)، فإن أجهزة القياس يمكن أن تكون بسيطة وغير معقّدة، وهي :

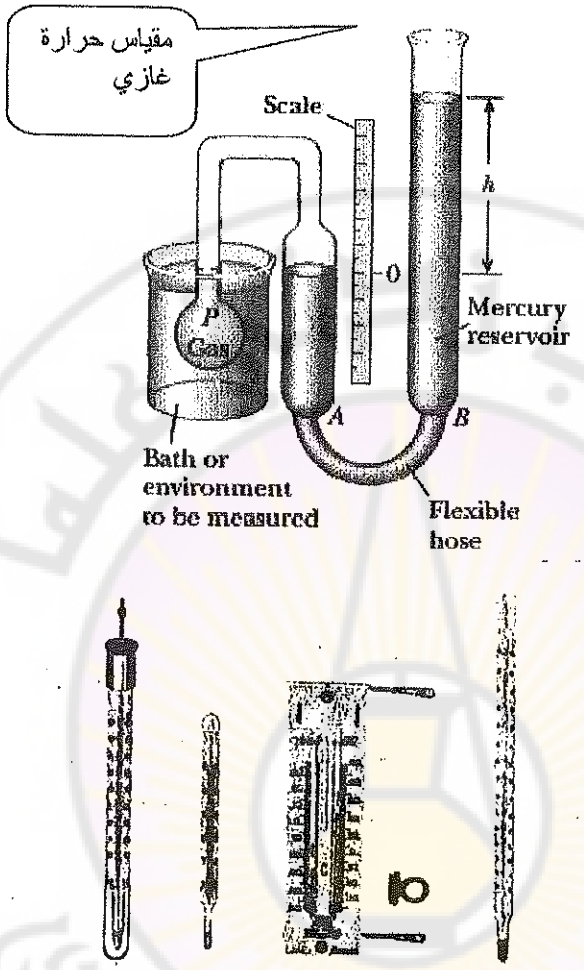
1 – مقياس درجة الحرارة T : أجهزة القياس التقليدية تقيس مستوى الحرارة في المادة بمقارنة ذلك مع معاملات التمدّد للسوائل (زئبق – كحول ..) أومعاملات التمدد للمواد الصلبة (المعادن ...) فتكون زيادة الطول في مادة مقياس درجة الحرارة وحدة القياس المكافئة.

2 – مقياس الضغط P : و يعتمد على قيمة القوة المؤثّرة في سطح محدّد. وهي مستعملة في حالة السائل (الدراسات الهدروليكية) والغازات .

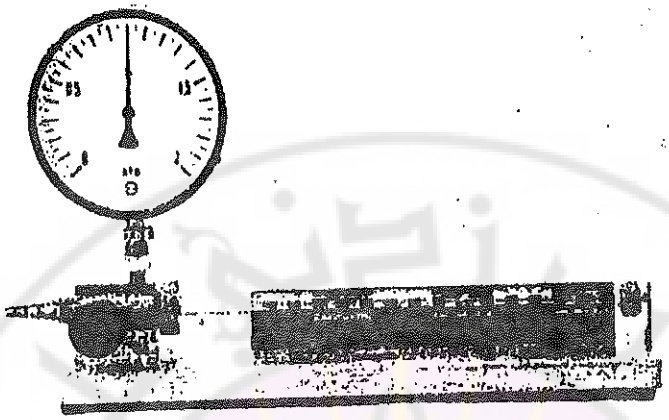
3 – مقياس الحجم V : يتم عادة بقياس أبعاد الجسم، ويمكن استعمال مقاييس الكثافة أيضاً، ولكن في النهاية ما هي إلا قياس للأبعاد .

4 – كمية المادة n : تقاس كمية المادة في الجملة إما بالوزن m أو بالكثافة ρ أو بالحجم V وتحوّل ضمن علاقات بسيطة إلى عدد المولات.

إن الأجهزة التقليدية لقياس درجة الحرارة هي مقياس درجة الحرارة الزئبقي الذي يتم معايرته نسبة لدرجة تجمد الماء ودرجة غليانه، وترجع دقة التدريج إلى دقة الصنع من حيث مستودع المادة والأنبوب الشعري الذي يتمدّد فيه السائل. ومن أجهزة قياس درجة الحرارة المزدوجة الكهرحرارية، و مبدأ القياس في المزدوجة يقوم على قياس فرق الكمون بين طرفي المزدوجة، و تتم معايرة هذا المقياس ضمن منحني معايرة غير خطي في الحالة العامة. ومعظم الأجهزة الحديثة تعتمد مبدأ المزدوجة الحرارية لقياس درجة الحرارة.



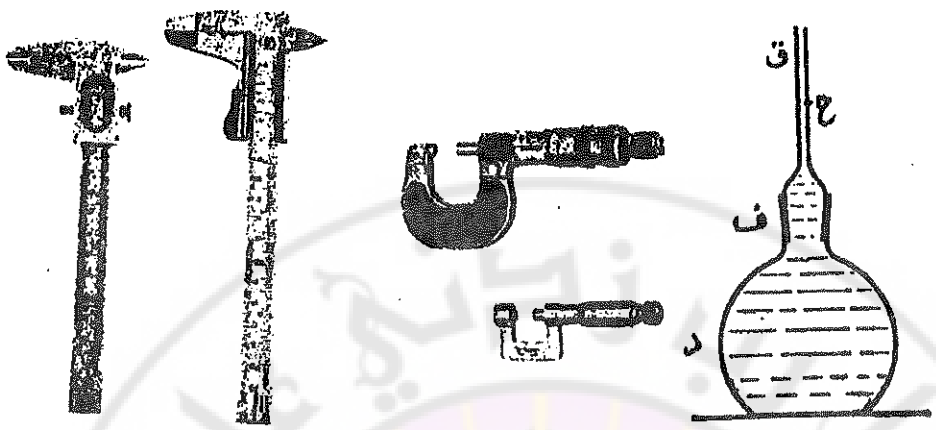
الشكل (1) : صورة لمقاييس درجة حرارة .



الشكل (2) : صورة مقياس ضغط .

مقاييس الضغط لم تتغير كثيراً ، وما زالت بصورتها الرئيسية مستعملة في معظم التجهيزات لقياس ضغط الهواء أو السائل (هدروليك) غير أن الإلكترونيات أيضاً غَزَت هذا المجال ، حيث تعتمد أجهزة الضغط الرقمية على بلورات يتغير الجهد بين طرفيها بتغير الضغط . وهي دقيقة في مجالات محدّدة، وفي الأسواق أيضاً الآن مقاييس ضغط تعتمد حساسات ضغط مطاطية تعمل على نفس المبدأ الإلكتروني .

مقاييس الحجم تعتمد على المساطر والأجهزة المشتقة منها (الورنية، والقدم القنوية ...) ، وتُقاس الحجوم غير المنتظمة بوزنها إذا كانت كثافتها معروفة ، أو بوزن الماء المزاح عند غمر المادة الصلبة في الماء مثلاً، ثم يُضرب وزن الماء بالكثافة الحجمية للماء.يبين الشكل (3) بعض أدوات القياس المستخدمة.



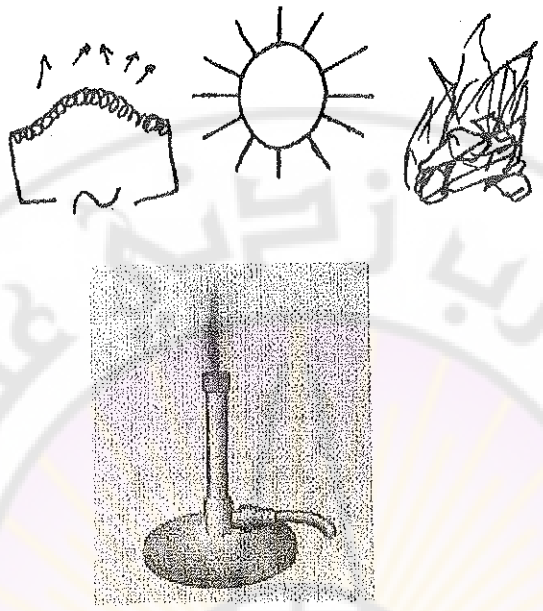
الشكل (3)

ب – *المنابع الحرارية*

تُقدّم المنابع الحرارية من عدّة مصادر :

1 – الاحتراق

كاحتراق الغاز والفحم والسوائل النفطية والكحول وما شابه، ولكن مثل هذه المنابع يصعب تقدير الكثافة الطاقية المقدّمة، ويصعب تنظيم تدفقها، ولذلك فهي تستعمل لتسخين حمّام مائي أو زيوت أو شموع، حيث تُساعد هذه الطريقة في تنظيم التدفق الحراري من جهة، وفي مراقبة كميّة الحرارة المتدفقة اعتماداً على قيمة السعة الحرارية للسائل .



الشكل (4) : بعض أنواع المنابع الحرارية.

2 – التسخين الكهربائي

يعتمد التسخين الكهربائي على أثر جول للتيار الكهربائي، حيث يمر التيـــار I في سلك مقاومته R والجهد بين طرفيه V لمدة زمنية مقدارها t، فينشر السلك طاقة حرارية قيمتها:

$$E = V \cdot I \cdot t$$

ومن ميزات هذه الطريقة إمكانية برمجة عملية التسخين والتحكم بها، وإمكانية وضع أدوات التسخين في أماكن صغيرة، أو داخل المادة وتصميمها بما يناسب . لأن المسخن مادّة معدنية مقاومة يمكن تشكيلها حسب الطلب .

3 – التسخين بالإشعاع

يحمل الإشعاع الكهرمغنطيسي طاقة تتناسب عكساً مع طول الموجة وبالتالي هناك مجال محدّد من الأطوال الموجية تحمل الطاقة الحرارية ويمكنهـــا القيـــام

بالتسخين . وهي تبدأ من الأطوال الموجية تحت الحمراء إلى الأمواج المكروية، والقانون الأساسي الذي يصف درجة حرارة وكمية الطاقة الإشعاعية هو قانون ستيفان بولتزمان:

$$E = \varepsilon \sigma T^4$$

حيث σ ثابت بولتزمان، و ε الاصدارية أو درجة الاسوداد، حيث أن ε = 1 من أجل الجسم الأسود المثالي (تام الامتصاص)، و ε = 0 من أجل الجسم العاكس المثالي (تام العكس).

من ميزات طريقة التسخين هذه التسخين عن بعد وإمكانية مراقبة العملية ضوئياً وباستخدام كواشف كهرمغنطيسية للتحكّم والقيادة ، والقانون يسمح بمعرفة درجة حرارة الأجسام الساخنة من قياس الطيف الضوئي لها، أو معرفة كمية الطاقة التي يمتصها الجسم (دون تلامس) ، أو التي يصدرها خلال مدة من الزمن.

ج - *عطالة القياس الحراري*

أُخذ مصطلح العطالة الحرارية من ميكانيك نيوتن ، وهو يعبّر عن استجابة الجسم الذي نؤثر عليه بقوة ما لفعل تلك القوة، فالتأثير لا يظهر لحظياً، ولا بد من صرف جزء من القوة لبدء الحركة، وكذلك إيقاف الحركة لا يقطع آثارها لحظياً، وإنما بعد فترة الاستجابة التي يتم خلالها صرف جزء من الطاقة الحركية إلى شكل آخر. كذلك لا تستجيب المادة لحظياً لكميّة الحرارة التي تتدفق إليها أو تخرج منها،و بالتالي لا يظهر تغير درجة حرارتها مباشرة فلا بد من مرور وقت لتتوقف العملية أو تقلع . لذلك فلا نتوقع من أجهزة قياس درجة الحرارة والضغط أن تقيس درجة الحرارة أو كمية الضغط مباشرة، بل بعد فترة من الزمن، ولأن مادة وشكل مجسات القياس هي المسؤولة عن ذلك، فنعرف معامل عطالة الموصلية الحرارية وهو يتعلق بالزمن بالمعادلة التالية:

$$\alpha = \frac{\lambda}{C_P} t_0$$

حيث t_0 زمن الاستجابة، λ الموصلية الحرارية، و C_p السعة الحرارية بثبات الضغط.

وعند استعمال أجهزة قياس (T أو P) يحاول المجرّب استعمال أجهزة ذات استجابة عالية وسريعة.

يتمثّل المعنى الفيزيائي لهذه الظاهرة بأن مادة مقياس الحرارة تأخذ جزءا من الحرارة التي تقيس مستواها إلى أن ترتفع درجة حرارتها، وتتمدد لتشير إلى مستوى درجة الحرارة، فتكون قد صرفت جزء من الطاقة الواصلة على سعتها الحرارية الكلية (جملة + ميزان الحرارة) ثم على التمدد وبعد ذلك تشير إلى مستوى درجة الحرارة المناسبة. فالزئبق في مستودعه له سعة حرارية معروفة لابد له من أخذها أولاً ثم يبدأ التمدد في الأنبوب الشعري فربط ما بين طول التمدد ودرجة الحرارة لمواد عيارية اصطلاحية، والتمدد أيضاً لا يتم دفعة واحدة وإنما بسرعة تمدد تتعلق بالمادة ولزوجتها وما شابه من معيقات. ويحدث شئ من هذا في المزدوجات الكهرحرارية التي تكون محمية بمواد عازلة كهربائياً وحولها غلاف ، وتتميّز بسعات حرارية ومعاملات نقل وموصلية خاصّة تؤثر على زمن الاستجابة.

و ما يقال عن زمن الاستجابة نجده في أجهزة قياس الضغط أيضاً التي تعتمد على خواص المواد التي تنقل الضغط إلى المؤشر أولاً وعلى زمن استجابة المؤشر لتلك الإشارة، وسرعة انتقال الضغط في المواد في أحسن الأحوال لا تكون أكبر من سرعة الصوت. وهكذا في كل أجهزة القياس.

بالمقابل هناك إجراءات سهلة يمكن اتخاذها للتقليل من هذا الأثر، وطرائق يمكن اتباعها لتحديد دقّة القياس، مثلاً في مقاييس درجة الحرارة يستعمل زئبق نقي مستودعه صغير وجدار الزجاج حوله رقيق قدر الإمكان ، ومن نوع

(خليطة) مختارة لهذا الغرض. فإذا احتاجت التجربة مستودعاً أكبر من الزئبق أو أن الحرارة عالية جداً أو منخفضة يحاول المجرّب بدء القياس بعد استقرار مقياس درجة الحرارة، وأن لا ينقل المقياس بسرعة من مكان إلى آخر، وإنما بالتدريج قدر الإمكان ، وهكذا.

د – ***رصد الظاهرة تجريبياً***

أثناء رصد الظاهرة لا بد من تسجيل المكان والزمان، وماذا يحدث في هذه الظاهرة. وتكون الظاهرة هي التابع مثل (التوتر السطحي للسوائل) Y، والمتغيرات هي العوامل المؤثرة على ذلك التوتر، مثل نوع السائل ρ، وسطح السائل A، ودرجة الحرارة T، والضغط P، فتصمم التجربة دائماً بحيث يتم تثبيت كل المتغيرات والإبقاء على متحول واحد فقط، مثلاً نثبت ρ و A و T ، ونُبقي على P. فنقيس التوتر السطحي للسائل بدون تغيير ρ ولا A و T ونغيّر P فقط وننشئ جدولاً يحوي قيم Y بتغير P وبقية القيم ثابتة، أي (Y ~ P) ونبحث عن العلاقة بينهما بمعالجة الأرقام أو بالرسم البياني . ثم نثبّت P ونغيّر ρ بتغيير نوع السائل ونرسم (Y ~ ρ) ثم (Y ~ T) ثم (Y ~ A) ، وبالنتيجة نحصل على التابع الذي يشرح الظاهرة كلها :

$$Y = Y(P, T, A, \rho)$$

ونسمي هذه الطريقة بطريقة فصل المتغيرات.

ولتثبيت بعض المتغيرات أو تغيير بعضها نضطر لإجراءات تجريبية خاصة فتثبيت درجة الحرارة يتطلب العزل، وتثبيت السطح يكون بثبات أبعاد الجملة ولكن تغير السطح يتطلب أن يتحرّك أحد الجدران مثلاً وهكذا.

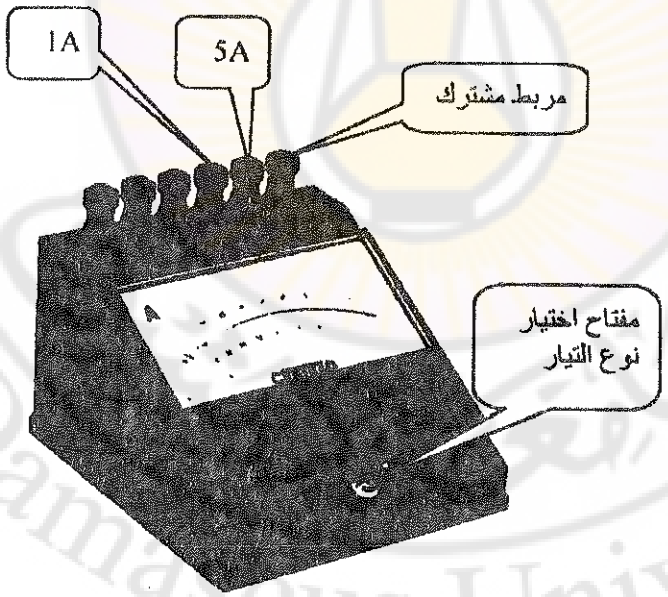
وبعد تصميم التجربة وخطواتها على المجرّب استخدام قواعد عامة في القياس لتحسين دقة التجربة، وهي قواعد تتعلق بالمجرّب من جهة وبأجهزة القياس ومعالجة الأرقام من جهة أخرى.

ولأن هدف كل ذلك هو إجراء قياسات دقيقة، وتجنّب الأخطاء الممكنة، فإن القواعد يمكن أن تشرح ضمن فقرة الأخطاء التجريبية.

مقياس الأمبير

التيار الكهربائي هو بالتعريف عبارة عن جريان للشحنات الكهربائية في الناقل. و بالتالي فإن مقياس الأمبير هو الجهاز الذي يقوم بقياس معدل جريان الشحنات. لذا يجب أن يمر التيار الكهربائي في هذا المقياس، و بالتالي يجب وصله على التسلسل في الدارة الكهربائية بين مكونات هذه الدارة.

نظرا" لوجود نوعين من التيار الكهربائي: التيار المستمر DC و التيار المتناوب AC ، لذا يجب معرفة نوع التيار المار في الدارة، و من ثم وضع مقياس الأمبير على الوضعية المناسبة لنوع التيار عن طريق المفتاح المخصص لهذا الغرض، الشكل (6).

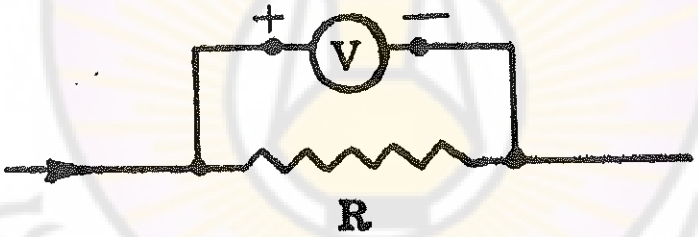


الشكل (6)

يمكن استخدام مقياس الأمبير لقياس مجالات متعددة من التيارات الكهربائية عن طريق مآخذ متعددة بحيث يسمح كل مأخذ قياس شدة تيار محددة الشكل (6). يوجد بشكل دائم مأخذ مشترك يرمز له عادة بالرقم (0) و المآخذ الباقية يرمز لها بأرقام يشير كل منها إلى القيمة العظمى التي يمكن قياسها من هذا المأخذ.

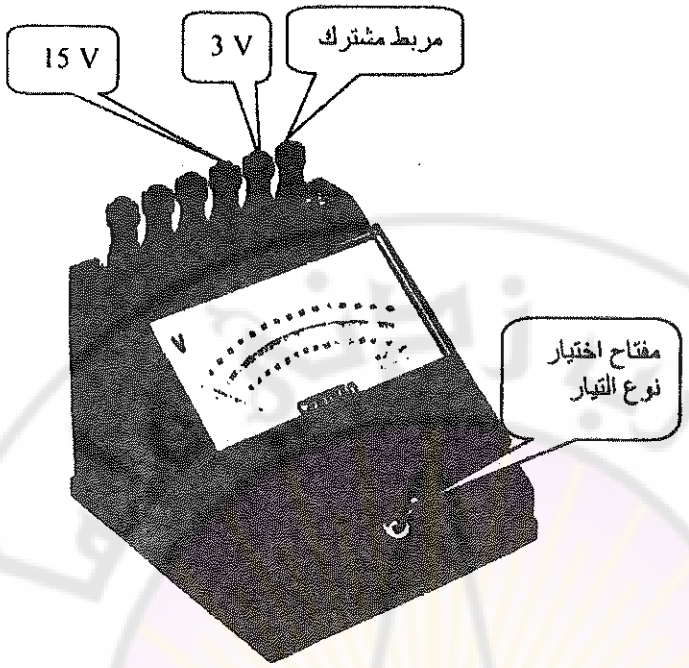
مقياس الفولط

يستعمل مقياس الفولط لقياس فرق الكمون (التوتر) بين نقطتين من دارة كهربائية تحتويان على أداة كهربائية ما مثل المقاومة أو الوشيعة أو المكثفة ...الخ. و لقياس فرق الكمون بين طرفي عنصر من عناصر الدارة يجب وصل مربطي مقياس الفولط بين طرفي ذلك العنصر كما في الشكل (7). أي أن هذا المقياس يجب وصله على التفرع (التوازي) بين طرفي العنصر المطلوب.



الشكل (7)

يمكن استخدام مقياس الفولط لقياس مجالات متعددة من فروق الكمون الكهربائية عن طريق مآخذ متعددة بحيث يسمح كل مأخذ قياس قيمة محددة الشكل (8). يوجد بشكل دائم مأخذ مشترك يرمز له عادة بالرقم (0) و المآخذ الباقية يرمز لها بأرقام يشير كل منها الى القيمة العظمى التي يمكن قياسها من هذا المأخذ.

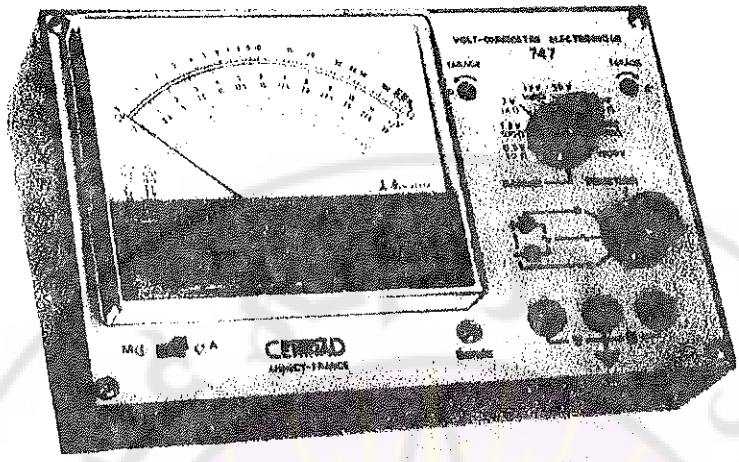


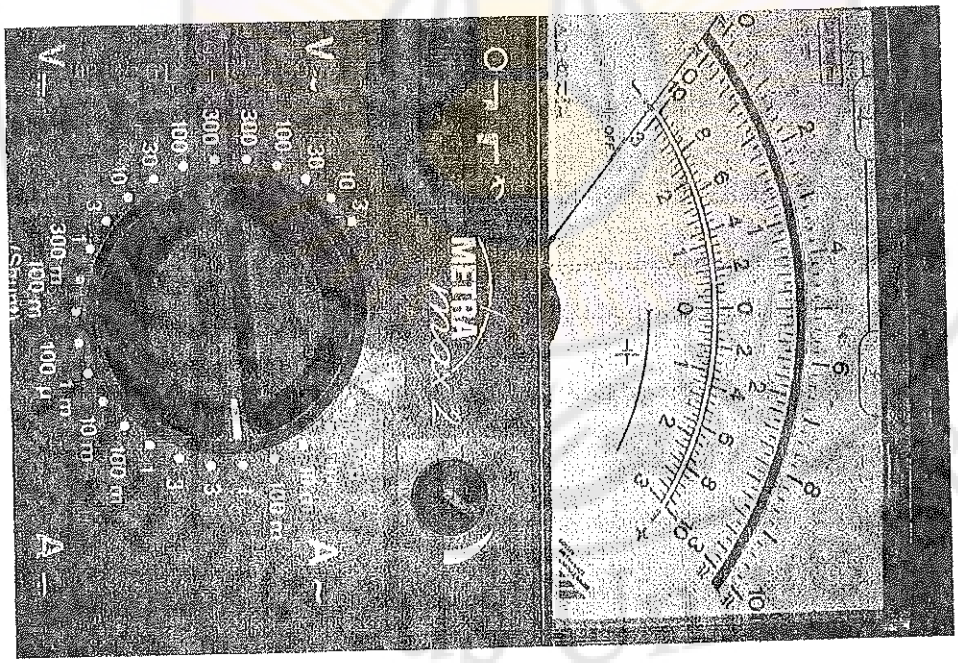
الشكل (8)

كما يجب معرفة التيار الكهربائي هل هو مستمر DC أو متناوب AC ، و وضع مقياس الفولط على الوضعية المناسبة عن طريق المفتاح المخصص لهذا الغرض، الشكل (8).

مقاييس متعددة الأغراض

في الوقت الحاضر أصبحت توجد هناك مقاييس حديثة تقوم بقياس عدة مقادير وبجهاز واحد و لكن بتحويله من مقدار الى آخر عن طريق استخدام مفتاح يقوم بهذا التحويل. مثلا يمكن قياس كل من شدة التيار و التوتر (فرق الكمون) و المقاومة و السعة ....الخ، و ذلك بالجهاز بنفسه و الذي يدعى باسم" آفو-متر". و يمكن أن يكون لهذا المقياس أشكال مختلفة كما في الشكل (9).


747
CENTRAD

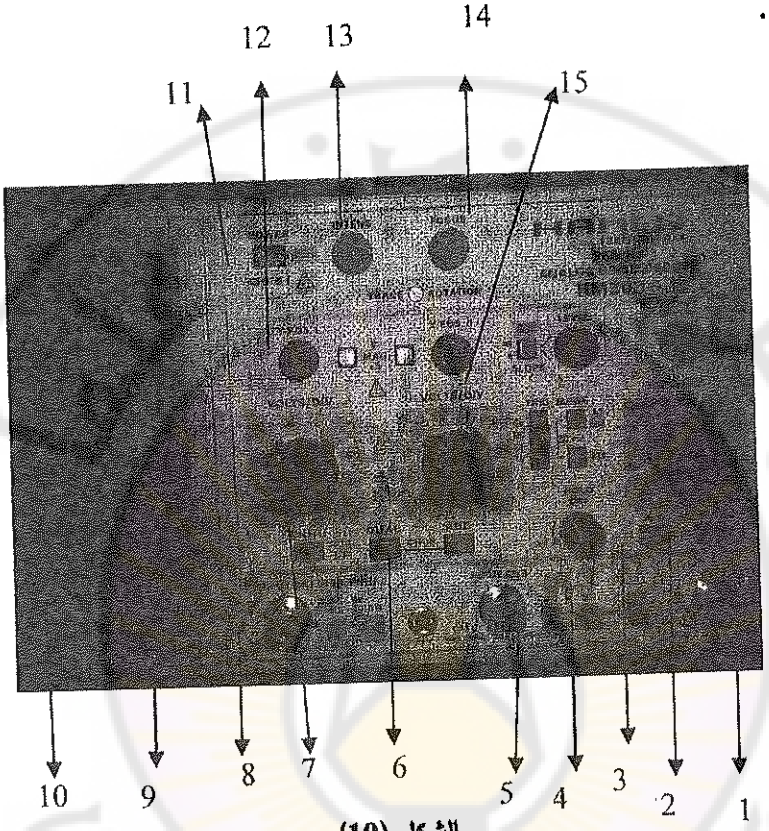

METRIX

الشكل (9)

راسم الاهتزاز المهبطي (Cathode Ray Oscilloscope)CRO

إن مقاييس الفولط و الأمبير العادية و الرقمية توضع في الدارة لقياس قيمة رقمية فقط للتوتر أو التيار في الدارة. غير أنه في بعض الحالات يلزم معرفة شكل المنحني البياني لتغير المقدار المدروس اضافة الى القيمة العددية للمقدار المدروس . لذلـــك فإن راســـم الاهتزاز المهبطي يقدم لنا البديل لمقاييس الأمبير و الفولط العادية الذي يظهر الصورة للمتحول المدروس على شكل مخطط بياني تابعا للزمن . يعد راسم الاهتزاز المهبطي من أهم الأجهزة المستخدمة في التجارب الكهربائية و الالكترونية، و في صيانة الأجهزة الالكترونية. يبين الشكل

(10) شكل هذا الجهاز و الذي يتم استخدامه في جميع التجارب في هذا الكتاب.



الشكل (10)

من الشكل (10) نجد أن هذا الجهاز يتألف من الأجزاء التالية:

1- مفتاح التحكم بقاعدة الزمن .Time/Div و هو مقسم الى مجموعة من القيم توافق مقدار وحدة القياس على محور الزمن الأفقي، و تقدر القيم بالميلي ثانية ms أو المكروثانية μs. كما يمكن للمفتاح المحوري الموجود بداخله تغيير هذه القاعدة بصورة مستمرة بين المجموعة الواحدة.

2- مفتاح الانزياح الأفقي .X Pos و هو يحرك الاثر المرتسم على الشاشة بأكمله وفق المحور الأفقي للزمن.

3- مربط دخل من أجل اشارة ما مختلفة عن قاعدة الزمن على محور السينات.

4- مفتاح تركيب حركتين اهتزازيتين متعامدتين X-Y.مع حذف الزمن.

5- مربط دخل من أجل إشارة ما على محور العينات الثاني(القناة الثانية) Input ch II .

6- مفتاح التحكم بقيم الانحراف الشاقولي .Volts/Div للقناة الثانية. كما يمكن للمفتاح المحوري الموجود بداخله تغيير هذه القاعدة بصورة مستمرة بين المجموعة الواحدة.

7- مفتاح التحكم بقيم الانحراف الشاقولي .Volts/Div للقناة الأولى. كما يمكن للمفتاح المحوري الموجود بداخله تغيير هذه القاعدة بصورة مستمرة بين المجموعة الواحدة.

8- مربط دخل من أجل إشارة ما على محور العينات الأول (القناة الأولى) Input ch I .

9- زر اختيار نوع الإشارة و إظهارها كاملة أو إظهار جزئها المتناوب Ac/Dc.

10- الشاشة التي يظهر الأثر المدروس عليها.

11- زر التشغيل Power.

12- مفتاح الانزياح الشاقولي Y Pos. I و هو يحرك الأثر المرتسم على الشاشة بأكمله وفق المحور الشاقولي للقناة الأولى.

13- زر التحكم في شدة إضاءة البقعة الضوئية على الشاشة.

14- زر تحكيم (تبئير) البقعة الضوئية على الشاشة.

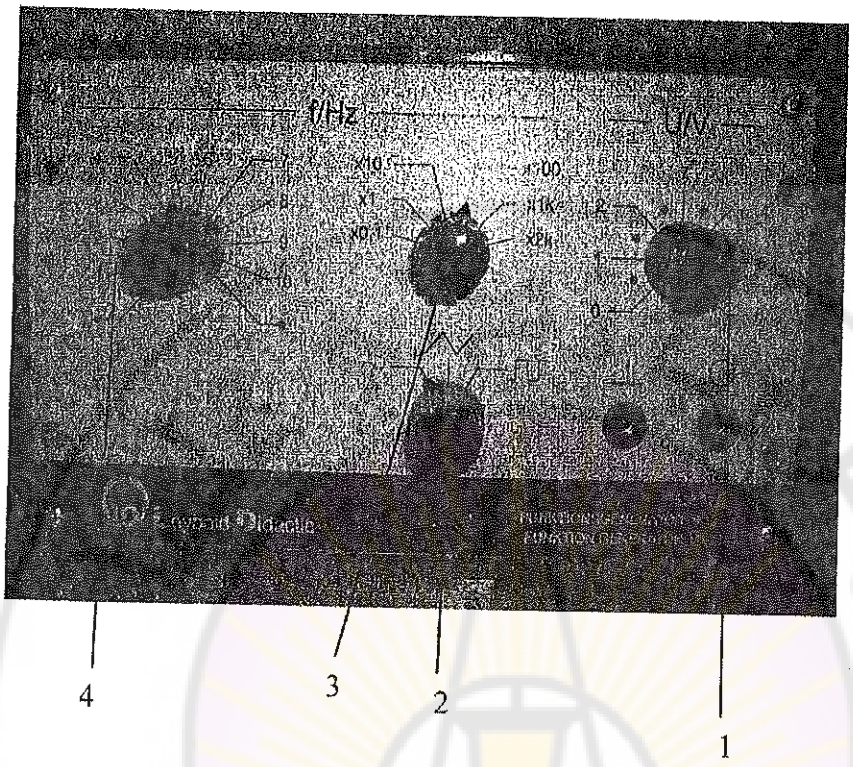
15- مفتاح الانزياح الشاقولي Y Pos. II و هو يحرك الأثر المرتسم على الشاشة بأكمله وفق المحور الشاقولي للقناة الثانية.

مولد الاشارة

يعد مولد الاشارة من العناصر الأساسية في الدارات الكهربائية و الالكترونية . فهو يغذي الدارة بموجة ذات تواتر وشكل و سعة محددة يمكن التحكم بها وفق ما هو مطلوب في الدارة. و من ثم القيام بدراسة ما يطرأ على هذه الإشارة في عناصر الدارة المختلفة و ذلك باستخدام راسم الاهتزاز المهبطي. يبين الشكل (11) أحد أشكال مولدات الإشارة المستخدمة. و هو يتألف من الأجزاء التالية:

1- مفتاح التحكم في سعة الإشارة المستخدمة.
2- مفتاح اختيار شكل الإشارة المطلوبة. جيبية أو مستطيلة..الخ.
3- مفتاح اختيار مجال التواترات المطلوبة.
4- مفتاح ضبط التواتر المستمر ضمن المجال المختار.

Damascus University



الشكل (11)

هـ - *الأخطاء التجريبية*

تُقسم الأخطاء التجريبية عادة إلى (أخطاء نظامية ، وأخطاء غير نظامية). والأخطاء النظامية : تتعلق بالجهاز والحيود عن الشروط النظامية، مثلاً حيود الصفر عن قيمته، استجابة الجهاز للتغيرات بسبب العطالة الميكانيكية أو اللزوجة وما شابه، وهي أخطاء يمكن تجاوزها بطريقتين إما بمعايرة الجهاز، وإعادة تأشيرة الصفر إلى الصفر في حالة انعدام المؤثر (وكثير من أجهزة القياس تحوي أداة إعادة الصفر). أو بإضافة هذا الانزياح في الصفر أو المعايرة للقياس باستمرار أو طرحه من النتائج النهائية وغير ذلك.

والأخطاء غير النظامية تتعلق بالأشخاص (المجرب) أو تغير درجة الحرارة في الجو والضغط، أو تغير حركة الهواء في الغرفة ، أو حركة الأشخاص من اهتزاز للأرضية أو تغير توزع الكهرباء الساكنة في الغرفة وما شابه، وكثير من هذه الأخطاء يصعب تجنبها، ولكن تقدّر أهميتها بالخبرة وبأخذ إجراءات مناسبة، وحماية أجهزة التجربة من المؤثرات الخارجية. فإذا كان تغير درجة حرارة الجو مؤثرا" في التجربة وأجهزة القياس تجري التجربة بأسرع ما يمكن، وإذا تعذّر ذلك تُحمى التجهيزات وتثبت درجة الحرارة ضمن غرفة الحماية.

وعموماً يمكن تقديم بعض النصائح المفيدة لتجنب الأخطاء النظامية وغير النظامية :

1 – الانتباه إلى وضع صفر الجهاز .

2 – بعد تهيئة التجربة ووضع جهاز القياس استشر المشرف على الجلسة في صحة التهيئة وجاهزية أجهزة القياس للعمل.

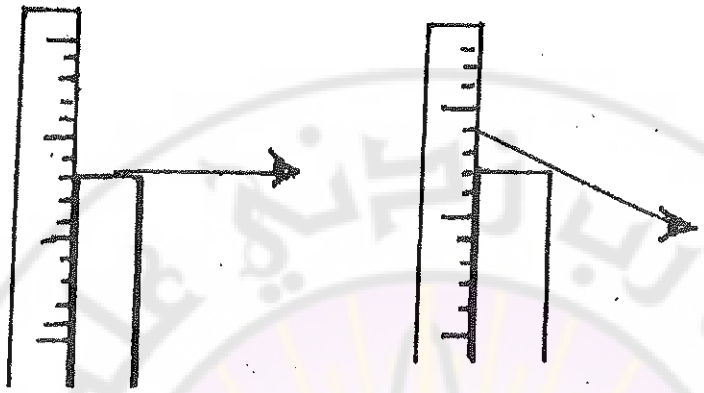
3 – الانتباه إلى سرعة استجابة الجهاز للقياس، فلا يتم القياس حتى يستقر مؤشر القياس على الوضع الجديد.

4 – تؤخذ التغيرات في التجربة متناسبة مع قدرة ومجال عمل الجهاز.

5 – تُسجّل أي ملاحظات أو شذوذات ملفتة للنظر تظهر على جهاز القياس أمام القيمة المسجلة ليسهل العودة إليها أثناء تحليل النتائج.

6 – إذا كانت التجربة مؤلفة من عدّة مراحل، فتحلل نتائج كل مرحلة ونستخلص منها المطلوب قبل الانتقال للمرحلة التالية، لأن ذلك يسمح بتقدير جودة أداء أجهزة القياس قبل إجراء كل التجارب.

7 – النظر إلى مؤشر جهاز القياس بصورة عمودية على الجهاز وليس بطريقة مائلة ، ويبين الشكل (5) الخطأ الذي يرتكبه المجرب عند النظر بصورة مائلة على مؤشر جهاز القياس.



الشكل (5) : أخطاء المجرب أثناء النظر غير العمودي .

و – الأرقام المعنوية

يتطلب تسجيل أرقام القياس الأمانة الكاملة ، فلا يمكن تسجيل 0,1mm بمسطرة أصغر تدريجة فيها تساوي 1mm، ولذلك يجب أن نكتب المرتبة الأكبر فالأصغر حتى الوصول إلى أصغر تدريجة فقط. وكل ما يكتب عن مرتبة أصغر من ذلك أرقام غير صحيحة ولا معنى لها. إذن تتحكّم تدريجات المؤشر بعدد الأرقام التي نقرأها.

إذا كانت المسطرة المدرجة مقسّمة إلى 100 تدريجة، وهي بطول 1m،فهذا يعني أن كل تدريجة بطول 1cm. فإذا قسمنا الأطوال نقول 86cm وقد يسمح برقم تقديري، لأن 1cm كبير ويمكن تقديره بالعين المجرّدة فنقـول مثلاً 86,5 أو 86,2، فالقيمة 0,5 أو 0,2 تقديرية مشكوك في صحتها.

أما إذا كانت المسطرة نفسها مدرّجة إلى 1000تدريجة ، أي كل تدريجة 1mm، فتُقرأ مباشرة، ومن الخطأ قراءة (0,3) ، و ذلك لأن 1mm صغيرة فلا يُسمح بتقدير أجزائها، ويكون الشك الأعظمي في قراءة قيمة 1mm هو نصف التدريجة، ولأن الشك يعني زيادة أو نقصاناً نقول إن الشك في القياس هو $\pm$ 0,5 mm .

الحقول المغنطيسية للتيار الكهربائي

الغاية من التجربة :

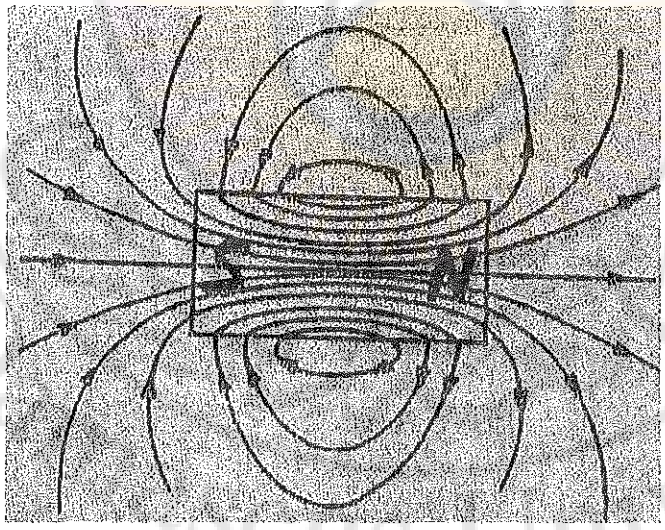
1- قياس الحقل المغنطيسي الناتج من مرور تيار كهربائي في ناقل مستقيم .

2- قياس الحقل المغنطيسي الناتج من مرور تيار كهربائي في ناقل دائري.

3- قياس الحقل المغنطيسي الناتج من مرور تيار كهربائي في ملف ناقل حلزوني. (تطبيقات على قانون بيو-سافار).

تمهيد نظري :

تعد المنطقة التي تحيط بالمغنطيس منطقة حقل مغنطيسي magnetic field ،ويمكن تخطيط الحقل المغنطيسي بوساطة خطوط التأثير المغنطيسي (الشكل 1) وهي تشبه خطوط القوى الكهربية ويدل اتجاه المماس لخط التأثير المغنطيسي على اتجاه الحقل عند نقطة التماس ، كما تتخذ كثافة خطوط التأثير المغنطيسي دلالة على شدة المجال المغنطيسي أو كثافة التدفق المغطيسي (التحريض المغنطيسي).



الشكل(1)

والعلاقة بينهما في الخلاء تحدده العلاقة التالية :

$$B = \mu_0 H \qquad (1)$$

حيث: μ_0 نفاذية الفراغ Permeability

H شدة الحقل المغنطيسي

B شدة التحريض المغنطيسي

ويسمى عدد خطوط التدفق التي تنفذ عموديا من خلال سطح ما بالتدفق المغناطيسي Φ وهو يمثل العدد الكلي لخطوط القوى التي تخترق سطحا ما ، فإذا كان التحريض المغنطيسي B منتظماً وناظمياً على سطح مساحته S فإن

$$\phi = B.S \qquad (2)$$

وفي حال كان الناظم على السطح يصنع زاوية مقدارها θ مع اتجاه خطوط القوى فإن المعادلة (2) تصبح

$$\Phi = B.S\cos\theta \qquad (3)$$

أما إذا كان السطح غير منتظم الشكل فيمكن تقسيمه إلى عناصر متناهية في الصغر dS بحيث يكون الشكل التفاضلي للعلاقة(3) هو :

$$d\phi = BdS\cos\theta \qquad (4)$$

يبين الجدول التالي وحدات المقادير H, B, ϕ, μ_0, S

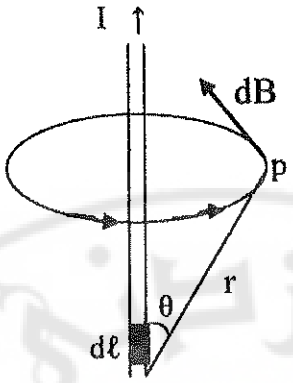
المقدار	النظام العالمي SI	
B	ويبر/م^2=تسلا	$Wb/m^2\ (T)$
H	آمبير/متر	A/m
ϕ	ويبر	Wb
μ_0	ويبر / آمبير – متر	Wb/Am
S	متر^2	m^2

دُرست كل من الظاهرة المغنطيسية والظاهرة الكهربية بصورة منفصلة لسنوات عديدة دون ملاحظة أي علاقة بينهما، حتى لاحظ العالم اورستد عام 1820 انحراف الإبرة المغنطيسية نتيجة لمرور تيار كهربائي في سلك قريب منها، وبعد هذا الاكتشاف تبين أن المجالات المغنطيسية تتولد نتيجة لمرور التيار الكهربائي حتى بالنسبة للمغناطيس الدائم، فتعزى مغنطيسيته لوجود تيارات كهربية صغيرة سببها حركة الشحنات داخل ذرات المادة .

قانون بيو–سافار :

تمكن العالمان بيو وسافار عام 1820م من استنتاج معادلة رياضية يمكن بوساطتها حساب المجال المغنطيسي لأي دارة كهربائية :

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{Id\ell\sin\theta}{r^2} \qquad (5)$$



الشكل(2)

dB التحريض المغنطيسي الناتج من عنصر طولي $d\ell$ من سلك يمر فيه تيار شدته I و ذلك في نقطة P تبتعد عن عنصر الطول مسافة r ، θ هي الزاوية بين $d\ell$ و r (الشكل2) و $\mu_0=4\pi\times10^{-7}$ wb/Am نفاذية الخلاء.

تطبيقات قانون بيو وسافار :

يمكن تطبيق العلاقة (5) على كل من الحالات التالية :

1. **حالة مرور تيار شدته I في سلك مستقيم في نقطة تبعد عنه مسافة b :**

$$B=\frac{\mu_0}{2\pi}\frac{I}{b} \qquad (6)$$

2. **حالة مرور تيار شدته I في سلك دائري نصف قطره R فالحقل المتحرض في نقطة تبعد X عن مركز السلك الدائري:**

$$B=\frac{\mu_0}{2}\frac{IR^2}{(R^2+x^2)^{3/2}} \qquad (7)$$

وفي حالة $X=0$ نحصل على الحقل المتولد في مركزالسلك(الحقل) :

$$B=\frac{\mu_0}{2}\frac{I}{R} \qquad (8)$$

3. <u>حالة مرور تيار شدته I في ملف حلزوني</u> :

أ – في مركز الملف (في منتصفه) :

$$B=\mu_0\frac{NI}{\ell}=\mu_0 nI \qquad (9)$$

حيث N عدد لفات الملف، ℓ طول الملف n عدد اللفات في وحدة الطول

ب – في نهاية الملف يكون:

$$B=\frac{\mu_0}{2}\frac{NI}{\ell} \qquad (10)$$

ملاحظة :

يمكن الحصول على العلاقات (6) و (7) و (9) و (10) من تطبيق قانون آمبير للربط بين الحقل المتحرض ومصدره . وينص هذا القانون على :

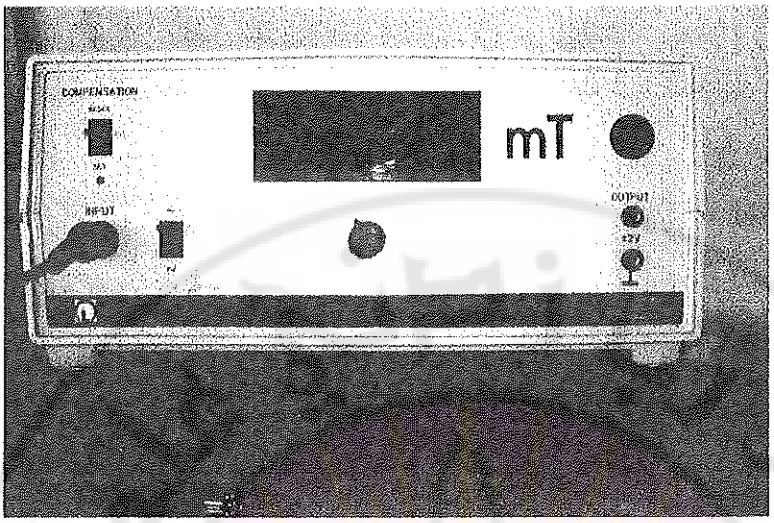
التكامل الخطي للتحريض المغنطيسي B حول مسار مغلق يساوي مجموع التيارات داخل هذا المسار مضروبا في معامل نفوذية الخلاء أي ان :

$$\oint B\cos\theta\, d\ell=\mu_0\sum i=\mu_0 I$$

حيث $d\ell$ عنصر الطول من المسار المغلق و $B\cos\theta$ مركبة التحريض المغنطيسي في اتجاه العنصر $d\ell$.

<u>الأدوات والأجهزة المستخدمة :</u>

– جهاز تسلامتر (مقياس شدة الحقل المغنطيسي) الشكل (3)



الشكل (3)

- مجسات مغنطيسية
- وحدة تغذية
- قاعدة
- قاعدة مدرجة
- ناقل مستقيم ،مجموعة نواقل حلقية ، وشيعة (ملف)
- **حامل ، ملاقط ، أسلاك توصيل**

مراحل العمل :

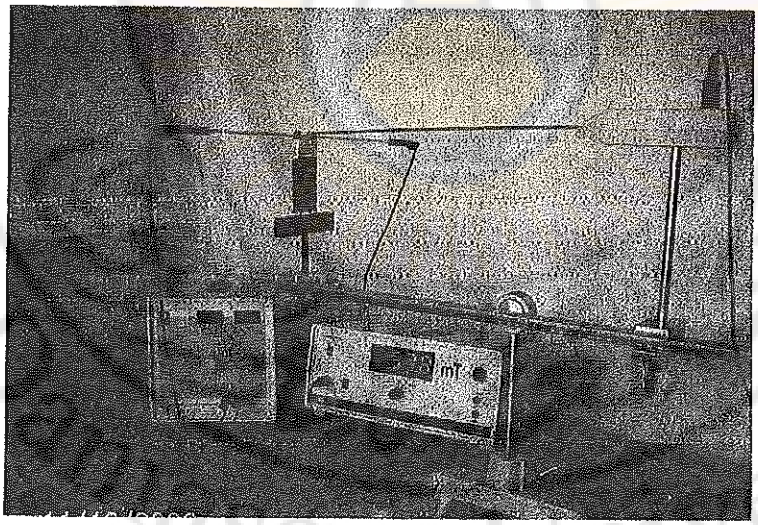
أولاً : دراسة شدة الحقل المغنطيسي المتولد من سلك خطي:

1) دراسة تغير شدة الحقل المغنطيسي B بتغير شدة التيار I المار في سلك

- ضع السلك على قاعدته .
- صل طرفي السلك بمأخذ التيار المستمر من المغذية.
- ضع المجس المناسب بحيث يتلامس مع منتصف السلك وبشكل عامودي عليه عندئذ يكون البعد الفعلي عن منتصف السلك $d = 3mm$ بسبب سماكة السلك والرأس المدبب في نهاية المجس.

- صل المجـــس بجهاز التسلا mT مع وضع المؤشر على المجـــال 200 (انظر الشكل 4)
- ينبغي ألا يتجاوز التيار المار في السلك عن $20A$.
- قم بتغيير شدة التيار بدءاً من الصفر وبزيادة $2A$ في كل مرة ثم اقرأ شدة الحقل الناتج .
- ثبت النتائج في جدول كالتالي:

$B(mT)$	$I(A)$



الشكل (4)

- ارسم بيانيا تحولات B بدلالة I واحسب ميل المنحني
- احسب μ_0 من الميل وقارنها مع القيمة النظرية ثم احسب الارتياب فيها.

2) **دراسة تغير شدة الحقل المغنطيسي بتغير البعد عن منتصف السلك عند تيار ثابت :**

- ثبت التيار المار في السلك عند $I = 20A$
- حرك المجس خطوة خطوة وأقرا المسافة على مسطرة المجس $b = S + 3mm$
- نظم جدولا كالتالي :

$S(mm)$	$B(mT)$	$b = S + 3mm$
0		
1		
40		

- ارسم تحولات B بدلالة b ما هو شكل المنحني ؟
- ارسم تحولات B^{-1} بدلالة b ما هو شكل المنحني؟

ثانياً : دراسة الحقل المغنطيسي المتولدمن حلقة دائرية :

أ. **تغير شدة الحقل المغنطيسي B بتغير شدة التيار I مع تثبيت نصف قطر الملف الدائري R**

- استبدل الحلقة بالناقل المستقيم
- صل أطراف الحلقة بالأسلاك إلى وحدة التغذية
- صل المجس إلى الجهاز mT مع وضع رأسه في مركز الحلقة وبنفس مستواها .

- غيّر شدة التيار I بدءاً من 0 ولغاية $20A$ بخطوة $2A$ ثم إقرأ شدة الحقل المغنطيسي عن طريق جهاز mT
- ثبت النتائج في جدول كالتالي :

$I\ (A)$	$B\ (mT)$

- ارسم بيانيا تحولات B بدلالة I
- عيّن بيانياً μ_0 وقارنها مع القيمة النظرية وعين الارتياب في حسابها.

ب . اعد الدراسة السابقة مع تثبيت شدة التيار $I = 20A$ من أجل ملفات مختلفة الأقطار وذات لفة واحدة.

ثبت النتائج في جدول كالتالي:

R	$B(mT)$

ارسم بيانيا تحولات B مع R^{-1} ماذا تستنتج؟

جـ . دراسة الحقول المتحرضة من ملفات متساوية القطر مختلفة في عدد اللفات مع ثبوت التيار $I = 20A$

ثبت النتائج في جدول كالتالي :

$B(mT)$	N عدد الفات

ارسم بيانيا تحولات B بدلالة X ،ماذا تستنتج ؟

د- دراسة شدة الحقل المغنطيسي B من أجل أبعاد مختلفة عن مركز حلقة معينة ذات لفة واحدة

-رتب جدولا كالتالي بحيث تأخذ عشر قراءات مختلفة على الأقل مع تغيير X فيها كل مرة

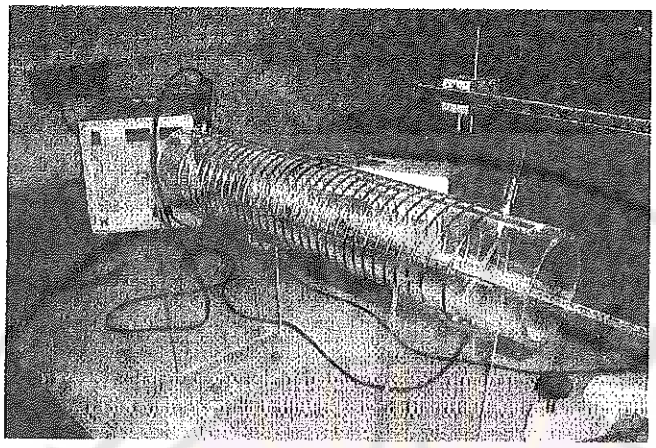
B	X

-ارسم بيانيا تحولات B بدلالة X انظر العلاقة (7)

ثالثاً: دراسة شدة الحقل المغنطيسي المتولد عن ملف حلزوني (انظر العلاقتين (9) و(10)

1-ضع رأس المجس في منتصف الملف الحلزوني المحمول على قاعدته حسب الشكل (5)

2-قس شدات الحقل المتحرض B من أجل تيارات مختلفة



الشكل(5)

3- ضع النتائج في جدول كالتالي:

$I\ A$	B_{ex}	B_{th}
3		
6		
15		

4-ارسم منحني تغير B التجريبية بدلالة I واحسب ميل المنحني. ماذا تستنتج؟

5- احسب B_{th} نظريا من العلاقة (9)

6-أعد العمل عندما يكون رأس المجس في نهاية الملف الحلزوني(انظر العلاقة 10)

7-ناقش النتائج وحدد الارتياب في حساب μ_0

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

التحريض المغنطيسي

الغاية من التجربة:

1. دراسة تأثير كل من شدة التيار و التردد في الملف المحرض في القوة المحركةالكهربائية المتولدة في الملف المتحرض
2. دراسة العلاقة بين عدد اللفات في الملف المتحرض و القوة المحركة الكهربائية المتولدة فيه

تمهيد نظري:

اكتشف فارادي بتجاربه إمكانية توليد قوة محركة كهربائية من خلال تغير التدفق المغنطيسي عبر الملف.

فاذا مرَ تيار كهربائي في ملف C فإنه يتولد في ملف آخر A موجود في الحقل المغنطيسي الذي ينتجه الملف C قوة محركة كهربائية بتحريك الملفين بالنسبة لبعضهما أو بتغير مقدار التيار في الملف C و يمكن تحقيق ذلك من خلال إحدى العمليات التالية:

a) استخدام مقاومة متغيرة لتغيير التيار المار في الملف C
b) فتح التيار و إغلاقه
c) استخدام منبع تغذية تيار متناوب في الملف C

سنقوم في هذه التجربة بتحقيق الفقرة الأخيرة (c)

من المهم الإشارة إلى أن القوة المحركة الكهربائية المتحرضة في ملف تتعلق بسرعة تغير التدفق $d\Phi/dt$ و بعدد اللفات على الملف و بمساحة المقطع العرضي للملف.

إن الحقل المغنطيسي المحرض الناتج من ملف عدد لفاته n وطوله l تعطى بالعلاقة(1) :

$$B = \mu_o n \frac{I}{l} \qquad (1)$$

حيث : I- شدة التيار المارفيه

μ_0- الثابت المغنطيسي. و يعطى التدفق المغنطيسي بالعلاقة(2):

$$\phi = \oint_A \vec{B} \cdot d\vec{s} \qquad (2)$$

وفي الحالة الخاصة عندما يكون Bعموديا" على عنصر السطح $\vec{B} \perp d\vec{s}$ و B ثابت تؤول العلاقة (2) الى الشكل:

$$\phi = A \cdot B \qquad (3)$$

A سطح المقطع العرضي للملف المتحرض . ولما كانت القوة المحركة الكهربائية المتحرضة تعطى بالعلاقة:

$$U = -n' \frac{d\phi}{dt} \qquad (4)$$

حيث n' عدد لفات الملف المتحرض. وإذا كانت شدة التيار المتناوب المار في الملف المحرض هي من الشكل:

$$I = I_o \sin \omega t \qquad (5)$$

حيث :

$$\omega = 2\pi f \qquad (6)$$

f التواتر. باستخدام العلاقات (1) و(3) و(5) نجد بسهولة التدفق Φ:

$$\phi = A\mu_o \frac{n}{l} I_0 \sin \omega t \qquad (7)$$

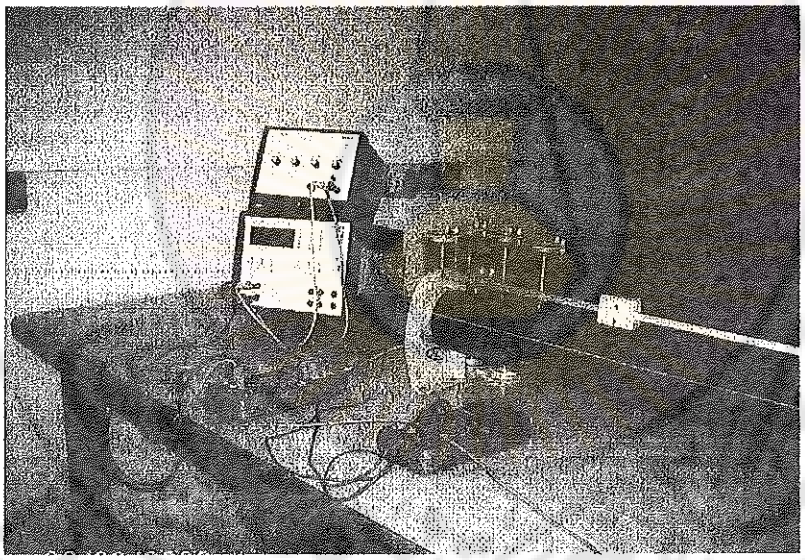
بتعويض (7) في (4) نجد:

$$U = -A\mu_o \frac{n' \cdot n}{l} \omega I_o \cos \omega t \qquad (8)$$

حيث U القوة المحركة الكهربائية المتحرضة في الملف الثانوي و تقاس بالفولط وفي تجربتنا تقاس هذه القوة المحركة الكهربائية بمقياس الفولط الذي يربط بين طرفي الملف المتحرض.

الأدوات و التجهيزات المستخدمة :

- ملف رئيسي محرض طوله 750*mm* وعدد لفاته 485 لفة
- مجموعة ملفات تحريضية ثانوية ذات أطوال ومقاطع و عدد لفات مختلفة
- مولد إشارة متعدد النمط
- عداد إلكتروني رقمي
- مقاييس أمبير وفولت رقمية .



الشكل(1)

مراحل العمل:

أولاً: دراسة علاقة شدة التيار المار في الملف الرئيسي المحرض مع القوة الكهربائية المتحرضة (فرق الجهد المتحرض) في الملف المتحرض

يتم وصل التجربة كما هو مبين في الشكل(1) باتباع الخطوات التالية:

1-صل طرفي الملف المحرض إلى مخرج منبع الإشارة عن طريق مقياس الأمبير على التسلسل ، انظر الشكل(1)

2-صل طرفي الملف الصغير (المتحرض) بين طرفي مقياس الفولت على المجال2V مع مراعاة وضع مقياس الفولت لقياس التيار المتناوب

3-ضع الملف المتحرض ذو القطر 41mm ضمن الملف المحرض الكبير

4-صل مخرج منبع التواترات إلى مدخل العداد الإلكتروني مع مراعاة التأريض

5- اضبط العداد ليقيس تردد الإشارة المستخدمة بالضغط على الزر function عدة مرات حتى يضيء المؤشر بجانبFREQ و يضيء مؤشر KHz على الشاشة الأمامية للعداد

6-اضغط على الزر start حتى يضيء مؤشر فوق الزر في حال كان العداد صحيحاً سيظهر العداد قيمة تردد الإشارة المتولدة عن مولد الإشارة

7-قم بإعداد مولد الإشارة للحصول على إشارة بين 1KHz و 12KHz و ذلك باستخدام الزر(7) function لضبط مجال التردد المطلوب على الـ10^3KHz

8- ضع مؤشر مقياس الأمبير على التيار المستمر ثم اضبط شدة التيار المستمر على الصفر بتدوير زرoffset على مولد الإشارة ثم أعِدْ المؤشر على التيار المتناوب.

9-اضبط التردد على نحو 10KHz و ذلك باستخدام الزر Amplitude (4) في مولد الإشارة وسجل قيمة الجهد المتحرض في الملف الموضوع داخل الملف المحرض في جدول كالتالي:

I(mA)	5	10	15	20	25	30
U (mV)						

ملاحظة:يجب الانتباه إلى عدم تجاوز التيار المحرض 30mA حتى لا نجهد مولد الإشارة

يوضع الملف المتحرض في منتصف الملف المحرض

10-احسب الخطأ المرتكب في الجهد .

11-ارسم المنحني البياني لتحولات U(mv) بدلالة I(mA) على ورقة لوغارتمية . ماشكل المنحني البياني الناتج

ثانياً:دراسة علاقة التردد في الملف المحرض مع الجهد المتحرض

1-ثبت التيار المار في المحرض على 30mA (مع الانتباه دوماً إلى تعديله)

2-قم بتغير التردد في المجال(1→12KHz)

3-سجل النتائج في الجدول التالي

I=30mA	F(KHz)	1	2	-----	11	12
	U (mv)					

4-ارسم المنحني البياني لتحولات U(mv) بدلالة f(KHz) على ورقة لوغارتمية. ما شكل المنحني البياني الناتج

ثالثاً:دراسة علاقة عدد اللفات في الملف المتحرض مع الجهد المحرض:

6-ثبت التيار المار في المحرض على 30mA و التردد على 10KHz

7-سجل النتائج في الجدول التالي

ملاحظة:استخدم ملفات ذات عدد لفات n مختلف و أنصاف أقطار متماثلة

d=41mm	
n	U (mv)
d=26mm	
n	U (mv)

8-ارسم المنحني البياني لتحولات U(mv) بدلالة n على ورقة لوغارتمية ما شكل المنحني البياني الناتج.

رابعاً:دراسة علاقة نصف القطر في الملف المتحرض مع الجهد المحرض

1-ثبت التيار المار في المحرض على 30mA و التردد على 10KHz .

2-قم بتغيير نصف قطر الملف المتحرض وقس الجهد المحرض.

3-سجل النتائج في الجدول التالي.

n=300	
d(mm)	U (mv)

4-ارسم المنحني البياني لتحولات U(mv) بدلالة d(mm) على ورقة لوغارتمية. ما شكل المنحني البياني الناتج؟

Damascus University

دراسة الممانعة R- C- L على التسلسل في دارة تيار متناوب

الغاية من التجربة:

-حساب الممانعة Z

-تعيين فرق الطور φ

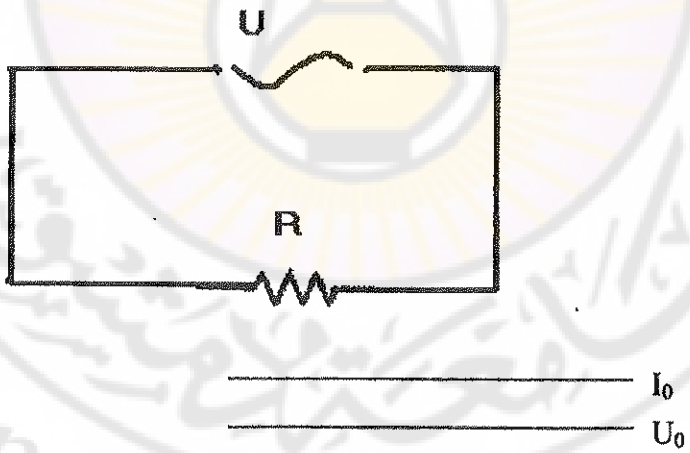
-تحديد التواتر f_r في حالة التجاوب(الطنين)

تمهيد نظري:

لدى تطبيق جهد متناوب $U = U_o \cos(\omega t)$ بين طرفي مقاومة أومية R فإن القيمة اللحظية لشدة التيار المار فيها هي: $I = I_o \cos(\omega t)$

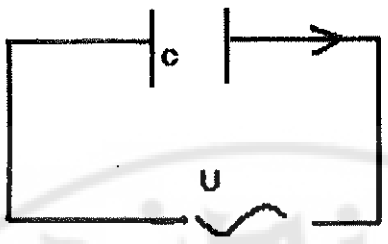
حيث U_o و I_o تمثل السعات العظمى

وفي هذه الحالة يكون فرق الطور(الصفحة) معدوماً بين الجهد و التيار(انظر الشكل1)



الشكل(1)

أما في حالة المكثفC ، الشكل(2),فإن قيمة الشحنة q على المكثف هي:



الشكل(2)

$q = cU = cU_0 \cos \omega t$ ، حيث c سعة المكثف. وبماأن شدة التيار $I = \frac{dq}{dt}$ فان :

$$I = -\omega c U_o \sin(\omega t) = \frac{U_o}{X_c} \cos(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

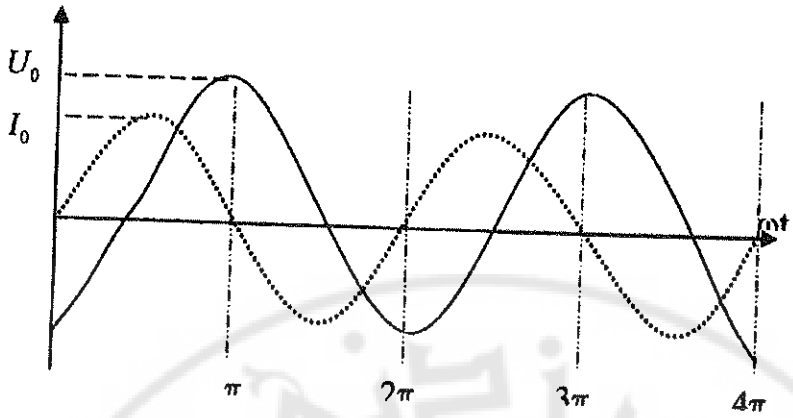
$$I = I_0 \cos(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

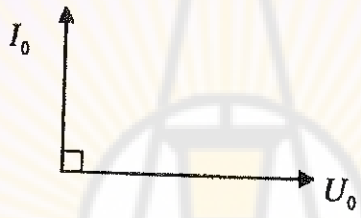
حيث:

$$I_o = \frac{U_o}{X_c} \quad , X_c = \frac{1}{\omega c} = \frac{1}{2\pi f c}$$

f هو تواتر المنبع المتناوب للجهد ، و X_c الرد السعوي أو المقاومة السعوية ووحدته هي الأوم ويمثل مقاومة المكثف للتيار المتناوب.

نرى على الشكل(3) تمثيل كل من I , U بدلالة ωt والتمثيل المتجهي لكل من U_o ، I_o حيث يكون التيار متقدما عن الجهد بزاوية قدرها -90^o $\frac{\pi}{2}$

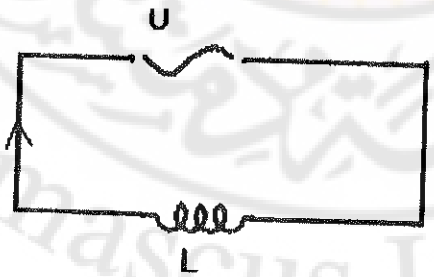




الشكل (3)

حالة ملف ذو تحريض ذاتي L :

عندما نصل ملفا" ذا تحريض ذاتيL بين طرفي منبع الجهد المتناوب وفي حالة المقاومة الأومية للملف مهملة (الشكل(4)) فإن التدفق المغناطيسي الناتج من



الشكل(4)

مرور التيار I يولد قوة محركة كهربائية عكسية مقدرها $\varepsilon = -L\frac{dI}{dt}$

وبتطبيق قاعدة كيرشوف الثانية على الدارة (الشكل(4)) ينبغي أن يكون :

$$U + \varepsilon = 0$$

أي إن:

$$U - L\frac{dI}{dt} = 0$$

ومنه: $$dI = \frac{U_o}{L}\cos(\omega t)\,dt$$

وبالمكاملة نحصل على:

$$I = \frac{U_o}{L}\int \cos(\omega t)\,dt$$

$$= +\frac{U_o}{\omega L}\sin(\omega t)$$

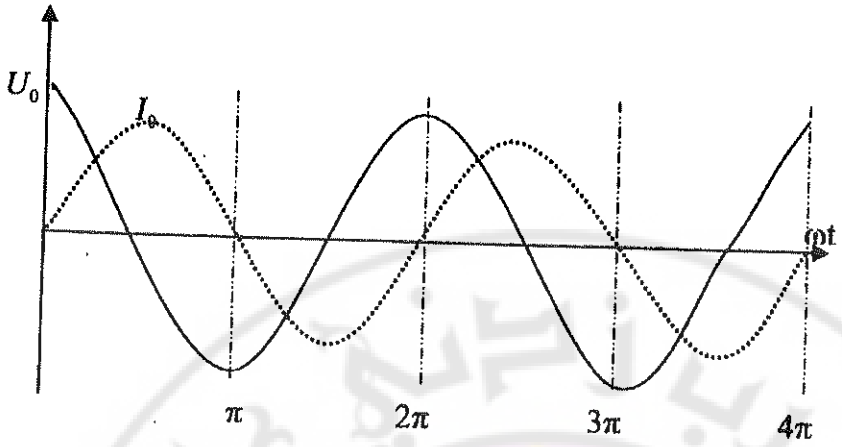
$$= \frac{U_o}{\omega L}\cos(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

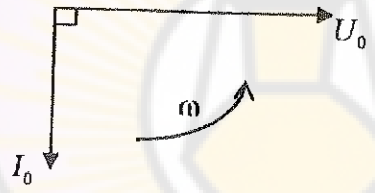
$$= I_0 \cos(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

حيث: $$I_o = \frac{U_o}{\omega L} = \frac{U_o}{X_L}$$

$X_L=\omega t$ يسمى بالرد التحريضي وهي تمثل مقاومة الملف للتيار المتناوب وهي تختلف عن المقاومة الأومية وواحدتها الأوم Ω.

نمثل على الشكل (5) منحني تغير I, U مع ωt ونرى أن هناك فرق في الطور قدره $\frac{\pi}{2}$ حيث أن التيار يتأخر عن الجهد بزاوية قدرها $\frac{\pi}{2}$ وسبب هذا التأخر هو تولد قوة دافقة كهربائية ذاتية لها تيار كهربائي يعاكس تيار المنبع.





الشكل(5)

R-C على التسلسل:

عند وصل المكثف على التسلسل مع مقاومة أومية(انظر الشكل (6)) فإنه يمر التيار بنفسه في كل من المقاومة والمكثف ويمكن كتابة التيار بالشكل :

$$I = I_o \cos(\omega t + \varphi_s)$$

حيث φ_s فرق الطور عند بدء الزمن. أما الجهد بين طرفي المقاومة R فهو:

$$U_R = R I_o \cos(\omega t + \varphi_s)$$

والجهد بين طرفي المكثف يكون:

$$U_c = X_c I_o \cos(\omega t + \varphi_s - \frac{\pi}{2})$$

ومجموع الجهدين هو:

$$U_s = \sqrt{R^2 + X_c^2}\, I_o \cos(\omega t)$$

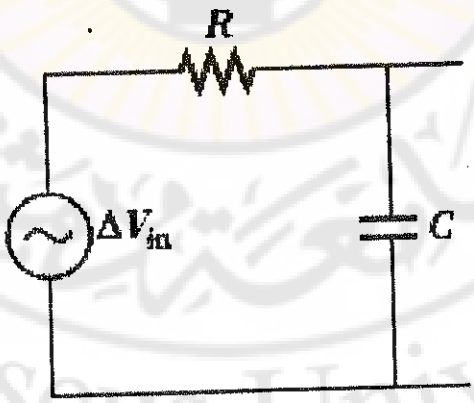
ويساوي قيمة الجهد المطبقة على الدارة أصلاً حيث :

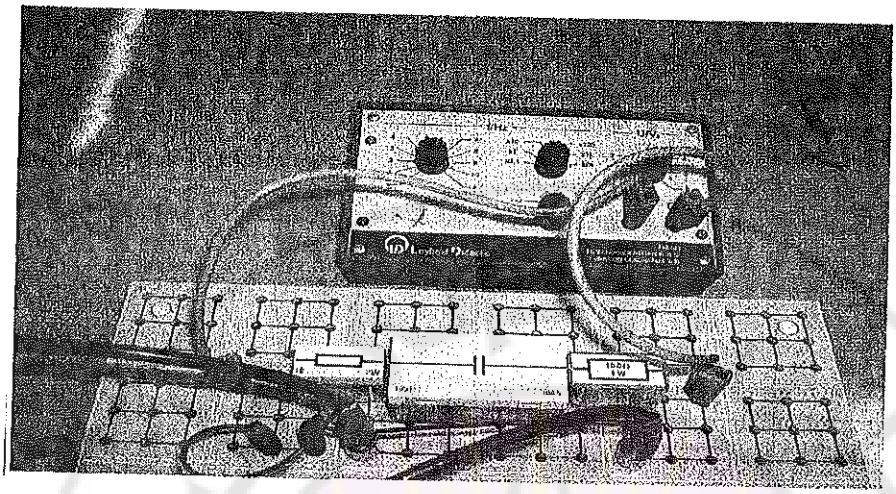
$$U_o = \sqrt{R^2 + X_c^2}\, I_o \qquad tg\varphi_s = \frac{X_C}{R}$$

وبالتالي تكون ممانعة الدارة في حالة ربط المقاومة الأومية مع المكثف على التسلسل هي :

$$Z_s = \sqrt{R^2 + X_c^2}$$

والتيار هنا متقدم عن الجهد بزاوية $\frac{\pi}{2}$





الشكل(6)

R-Lعلى التسلسل:

عند وصل الملف على التسلسل مع مقاومة أومية(انظر الشكل (7)) فإن نفس التيار يمر في كل من R , Lوالذي يكتب بالصيغة :

$$I = I_o \cos(\omega t - \varphi_s)$$

حيث φ_s فرق الطور عند بدء الزمن. أما الجهد بين طرفي المقاومة R فهو:

$$U_R = R I_o \cos(\omega t - \varphi_s)$$

والجهد بين طرفي الملف يكون :

$$U_L = X_L I_o \cos(\omega t - \varphi_s + \frac{\pi}{2})$$

أمامجموع الجهدين يكون :

$$U_s = \sqrt{R^2 + X_L^2}\, I_o \cos(\omega t)$$

ويساوي قيمة الجهد المطبق ولهذا فإن :

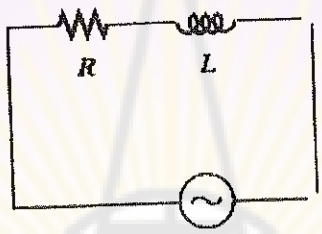
$$U_o = \sqrt{R^2 + X_L^2}\, I_o$$

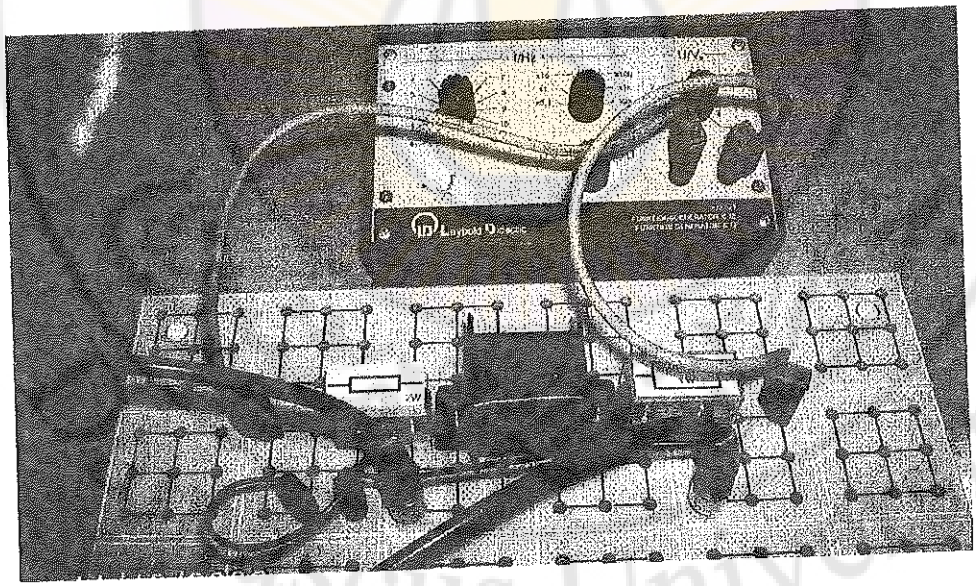
$$tg\varphi_s = \frac{X_L}{R}$$

وبالتالي تكون ممانعة الدارة في هذه الحالة هي :

$$Z_s = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

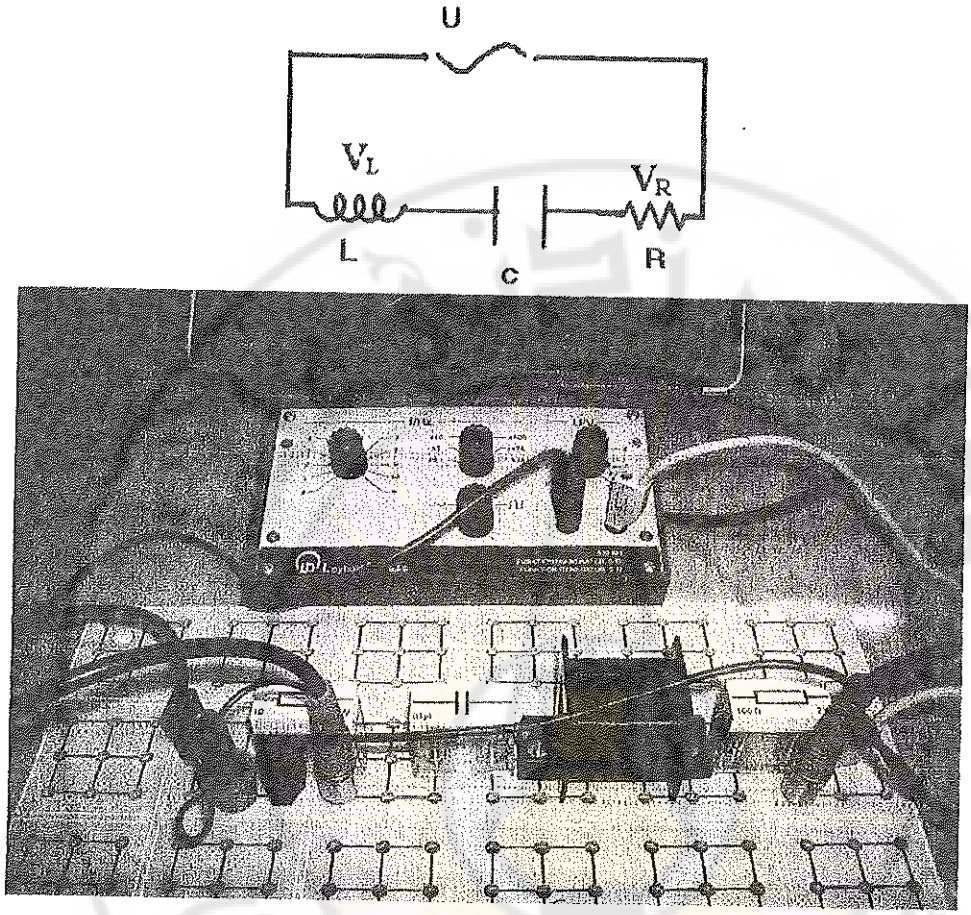
والتيار هنا متأخر عن الجهد بزاوية $\frac{\pi}{2}$





الشكل(7)

مقاومة وملف ومكثف متصلة على التسلسل : R-C-L (الشكل(8)



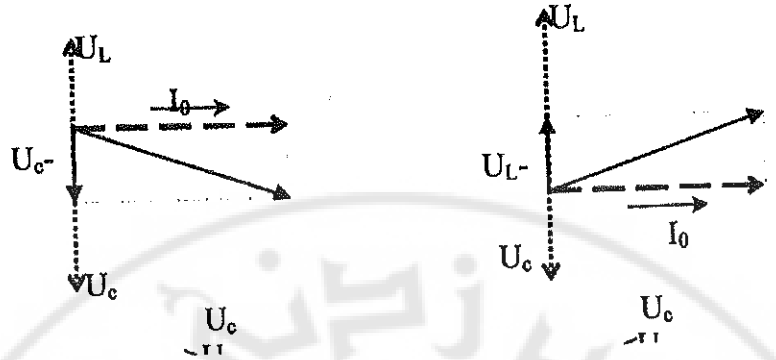
الشكل(8)

$$U = IR + \frac{q}{c} + L\frac{dI}{dt}$$

يلزم هنا ثلاثة مركبات للجهد لمرور التيار في الدارة :

المركبة $U_R = I_o R$ لمرور التيار في المقاومة وهي في اتفاق طوري مع التيار

المركبة $U_L = I_0 \omega L$ لمرور التيار في الملف وتكون متقدمة على التيار بزاوية $\pi/2$ الشكل(9). المركبة $U_c = I_0/\omega c$ لمرور التيار في الملف وتكون متأخرة عن التيار بزاوية $\pi/2$ الشكل(9)



الشكل(9)

وبالتالي تكون محصلة المركبات الثلاثة هي :

$$U_o = \left[U_R{}^2 + (U_L - U_C)^2\right]^{1/2}$$

$$U_o = \left[R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega c})^2\right]^{1/2} I_0$$

وبما أن: $U_o = I_o Z$ نجد:

$$Z = \left[R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega c})^2\right]^{1/2}$$

$$tg\varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega c}}{R}$$

حيث Z ممانعة الدراة و φ فرق الطور وحسب التمثيل المتجهي نلاحظ انه عندما:

- $X_L > X_c$

يكون التيار متأخراً عن الجهد بزاوية φ وقيمته اللحظية :

$$I = I_o \sin(\omega t - \varphi)$$

- $Xc > X_L$

يكون التيار متقدماً على الجهد بزاوية قدرها φ وقيمته اللحظية :

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

- وعندما تتساوى X_c و X_L أي $X_L = Xc$ تكون الممانعة أصغر ما يمكن $X_c - X_L = 0$ وقيمتها عندئذٍ تساوي R وتكون قيمة التيار أكبر ما يمكن $(I = U/R)$ و $\varphi = 0$

ويقال في هذه الحالة إن الدارة في حالة رنين وفرق الجهد على المقاومة I_0R يساوي جهد المصدر U_o.

وفرق الجهد على الملف $I_o X_L$ يساوي قيمته على المكثف $I_o X_c$ ويعاكسه في الاتجاه وبالتالي يلغي كل منهما الآخر .إذن شرط التجاوب:

$$\omega_r L = \frac{1}{\omega_r c}$$

$$2\pi f_r L = \frac{1}{2\pi f_r c}$$

حيث: $f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ التردد الذاتي للدارة

الأدوات والأجهزة المستخدمة:

1. راسم إشارة
2. علبة وصل
3. منبع جهد متناوب
4. مقاومات ، مكثفات ، ملفات
5. أسلاك توصيل

مراحل العمل

أولاً:دراسة الدارة R-C

1) صل الدراة المؤلفة من مكثف C و مقاومة أومية ومنبع الجهد المتناوب U على التسلسل كما في الشكل(6) على أن تكون$R=100\Omega$ ويمكن ربط المقاومة الأومية المعيارية $R_m=1\Omega$ على التسلسل لسهولة حساب $U_m/1\Omega=I_0$ حيث U_m الجهد بين طرفي المقاومة المعيارية R_m والتي تمثل السعة العظمى التي تظهر على شاشة الراسم.
2) صل القناة الأولى من راسم الإشارة Channel I بين طرفي المقاومة R_m و القناة الثانية Channel II بين طرفي المكثف و المقاومة $R=100\ \Omega$ مع المقاومة المعيارية مراعياً وصل الطرف الأرضي بين الوصلتين من جهة واحدة.
3) اضبط جهاز راسم الإشارة بحيث تكون الإشارتان الداخلتان منطبقتين على المحور X.
4) راع القيم المناسبة لمفتاح التضخيم للقناة الأولى والثانية على الراسم بحيث تكون سعة الإشارة واضحة وكذلك بالنسبة لمفتاح تضخيم الزمن وهذا يتوقف على اختيار كل من قيمة سعة المكثف والتواترات f المستخدمة .
5) اضبط السعة العظمى للجهد المطبق بحيث يكون $U_0=5V$
6) قس I_0 كماهو مبين في(1)
7) من المنحنيات الظاهرة على شاشة راسم الإشارة يتم قياس Δt الانزياح الزمني الظاهر بين المنحنيين عند مرورهما من محور الفواصل(الزمن) .
8) احسب φ وX_c وZ من العلاقات التالية:

$\varphi_s=360\ \Delta t/T$ و $X_c=1/\omega c$ و $Z_s=U_0/I_0$

حيث T دور الاهتزازة: $T=1/f$ و f التواتر و $\omega=2\pi f$

U_0 السعة العظمى للجهد بين طرفي الدارة كلها وتؤخذ من راسم الاشارة وحددها بحيث تكون 5V.

9) دون نتائج القياسات والحسابات في الجدول التالي:(بالإمكان عدم التقيد بقيم سعة المكثف)

$\frac{f}{\text{Hz}}$	$\frac{T}{ms}$	$\frac{c}{\mu F}$	$\frac{I_o}{mA}$	$\frac{\Delta t}{ms}$	$\frac{\varphi}{\text{deg.}}$	$\frac{X_c}{\Omega}$	$\frac{Z}{\Omega}$
2000		1 0.1					
1000		1 0.1					
500		1 0.1					
200		1 0.1					
100		1 0.1					

10) ارسم المنحني $Z_s(X_c)$ و $\varphi_s(X_c)$

11) تأكد من نتائجك في تعيين φ و Z باستخدامك العلاقتين:

12)

$$tg\varphi_s = \frac{X_c}{R}$$

حيث: $Z_s = \sqrt{R^2 + X_c^2}$ R=100 Ω

12)اكتب ملاحظاتك حول نتائجك كافة.

ثانياً: L -R على التسلسل

مراحل العمل:

1) استبدل المكثفة بالوشيعة (اختر الوشيعة1000 لفة ذات $R_l = 18\Omega$ وL=17mH)

2) كرر الخطوات نفسها التي ذكرت في أولاً مع استخدامك العلاقات التالية:

$$tg\varphi_s = \frac{X_L}{R}$$

$$Z_s = \sqrt{R^2 + X_L^2} \quad , \quad X_L=\omega L$$

3)املأ الجدول التالي:

$\frac{f}{Hz}$	$\frac{T}{ms}$	$L=17mH$	$\frac{I_o}{mA}$	$\frac{\Delta t}{ms}$	$\frac{\varphi}{deg.}$	$\frac{X_L}{\Omega}$	$\frac{Z}{\Omega}$
2000							
1000							
500							
200							
100							

ثالثاً L -C – R على التسلسل

مراحل العمل:

1) صلL و R و C على التسلسل مع منبع الجهد باختيارك R=100 Ω و C=4,7μF والملف ذا لفة N= 1000 وf=1000Hz مع إضافة المقاومة المعيارية $R_m = 1\Omega$

2) صل القناة الأولى من راسم الإشارة ChannelI بين طرفي المقاومة R_m والقناة الثانية ChannelII بين طرفي المكثف والملف والمقاومة (الدارة كاملة) مراعياً وصل الطرف الأرضي بين الوصلتين من جهة واحدة،كما هو مبين في الشكل(8).

3) اضبط جهاز راسم الإشارة بحيث تكون الإشارتان الداخلتان منطبقتين على المحورX.

4) من المنحنيات الظاهرة على شاشة راسم الإشارة يتم قياس Δt الانزياح الزمني الظاهر بين المنحنين عند مرورهما من محور الفواصل (محور الزمن)

5) احسب $I_0=U_m/R_m$ حيث U_mالسعة العظمى التي تظهرعلى شاشة الراسم فيمايتعلق بالمقاومة R_m .

6) احسب Z تجريبياً من العلاقة : $Z=U_0/\ I_0$ ،حيث U_0السعة العظمى التي تظهرعلى الشاشة فيما يتعلق بالدارة كلها وحددها بحيث تكون 5V.

7) احسب Z نظرياً من العلاقة:

$$Z=\left[R^2+(\omega L-\frac{1}{\omega c})^2\right]^{1/2}$$

8) احسب (التجريبية) من العلاقة: $\varphi=360\ \Delta t/T$

9) احسب (النظرية) من العلاقة :

$$tg\varphi_s=\frac{\varpi L-\frac{1}{\varpi c}}{R}$$

10) احسب التواتر f_r الذي يتم عندها حالة التجاوب(السعة للجهد U_m يكون أعظميا)

11-ناقش النتائج المقاسة والمحسوبة .

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

دراسة الممانعة R- c -L على التفرع في دارة تيار متناوب

الغاية من التجربة:

-حساب الممانعةZ

-تعيين فرق الطور φ

التمهيد النظري

أولا: الدارة R- c على التفرع:

عند وصل مكثفة مع مقاومة أومية على التفرع فإن الجهد نفسه يكون مطبقاً بين كل من المكثفة والمقاومة .فإذا كان الجهد المطبق هو من الشكل :

$$U = U_o \cos(\omega t) \qquad \text{حيث} \quad \omega = 2\pi f$$

فإن التيار المار عبر المقاومة الأومية هو:

$$I_R = \frac{U_o}{R}\cos(\omega t)$$

بينما يكون التيار المار عبر المكثفة هو :

$$I_c = \frac{U_o}{X_c}\cos(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

ويكون في هذه الحالة مجموع التيارين :

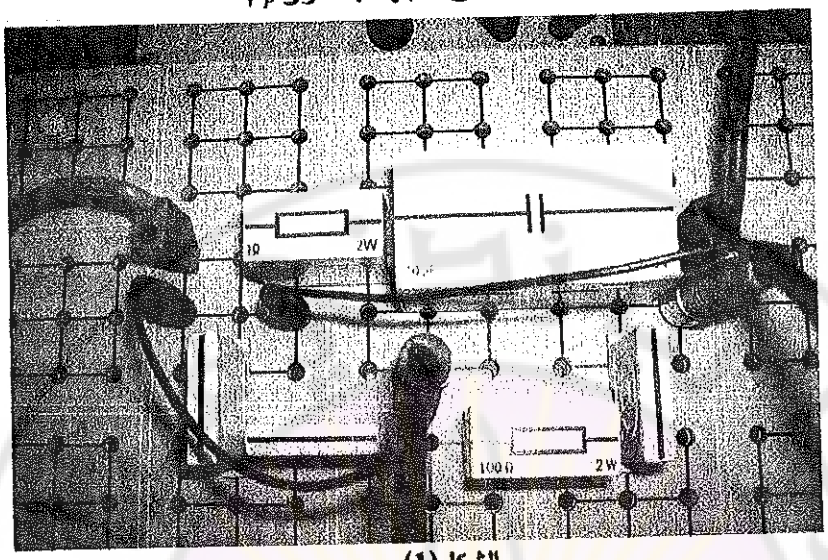
$$I_p = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \frac{1}{X_c^2}}\, U_o \cos(\omega t + \varphi_p)$$

حيث: $tg\varphi_p = \frac{R}{X_c}$

وعندئذٍ تعطى ممانعة الدارة Z_p بالعلاقة :

$$\frac{1}{Z_p} = \left(\frac{1}{R^2} + \frac{1}{X_c^2}\right)^{1/2}$$

في هذه الحالة يكون التيار متقدماً عن الجهد بالطور φ_P .



الشكل(1)

الادوات والاجهزة المستخدمة:

1-راسم إشارة

2-علبة وصل

3-منبع جهد متناوب

4-مجموعة مقاومات،مكثفات،وملفات

5-أسلاك توصيل

مراحل العمل :

1. صل الدارة المؤلفة من مكثف C ومقاومة أومية على التفرع كما في الشكل (1) على أن تكون R = 100 Ω مع ربط مقاومة على التسلسل $R_m = 1\Omega$ مع المكثف نفسه قيمتها 1Ω لسهولة حساب $I_0=U_m/1\Omega$ حيث U_m الجهد بين طرفي المقاومة المعيارية R_m وتمثل السعة العظمى التي تظهر على شاشة الراسم.

2. صل طرفي مأخذي منبع الجهد المتناوب بين طرفي المكثفة والمقاومة المعيارية R_m .

3. صل القناة الأولى من راسم الإشارة channel I بين طرفي المقاومة R_m والقناة الثانية .

channel II بين طرفي المكثفة و R_m الموصولين على التسلسل مراعياً وصل الطرف الأرضي بين الوصلتين من جهة واحدة .

4. اضبط جهاز راسم الإشارة بحيث تكون الإشارتان الداخلتان منطبقتين على المحورX.

5. راع القيم المناسبة لمفتاح التضخيم للقناة الأولى والثانية على الراسم بحيث تكون سعة الإشارة واضحة وكذلك بالنسبة لمفتاح تضخيم الزمن وهذا يتوقف على اختيار كلٍ من قيمة سعة المكثفة والتواترات f

6. اضبط السعة العظمى للجهد المطبق على $U_0 = 5V$

7. من المنحنيات الظاهرة على شاشة راسم الإشارة يتم قياس Δt الانزياح الزمني الظاهر بين المنحنيين عند مرورهما من محور الفولصل (الزمن).

8. احسب φ و X_c و Z من العلاقات التالية:

$$Z_\mu = U_0 / I_0 \quad ، \quad X_c = 1/\omega c \quad ، \quad \varphi = 360^0 \Delta t / T$$

حيث T دور الاهتزازة ، $T = 1/f$ و $\omega = 2\pi f$ ،

U_0 السعة العظمى للجهد بين طرفي الدارة كلها وتؤخذ من راسم الاشارة.

9. دون نتائج القياسات والحسابات في الجدول التالي: (بالإمكان عدم التقيد بقيم سعة المكثف)

Damascus University

$\frac{f}{Hz}$	$\frac{T}{ms}$	$\frac{c}{\mu F}$	$\frac{I_o}{mA}$	$\frac{\Delta t}{ms}$	$\frac{\varphi}{\text{deg.}}$	$\frac{X_c}{\Omega}$	$\frac{Z}{\Omega}$
2000		1 0.1					
1000		1 0.1					
500		1 0.1					
200		1 0.1					
100		1 0.1					

10. ارسم المنحني $Z\,(X_c)$ و $\varphi(X_c)$

11. تأكد من نتائجك في تعيين φ و Z باستخدامك العلاقتين:

$$tg\varphi = \frac{X_c}{R}$$

$$\frac{1}{Z_P} = \left(\frac{1}{R^2} + \frac{1}{X_c{}^2}\right)^{1/2} \quad ، \quad R = 100\Omega \text{ حيث}$$

12. اكتب ملاحظاتك حول نتائجك كافة.

ثانياً:الدارة R- L على التفرع

عند وصل مقاومة أومية R مع ملف على التفرع فإن الجهد المطبق على كلٍ منهما هو نفسه U الخارج من المنبع وإذا كان الجهد المطبق هو من الشكل :

$$U = U_o \cos(\omega t)$$

فان التيار المار عبر المقاومة الأومية هو :

$$I_R = \frac{U_o}{R}\cos(\omega t)$$

بينما يكون التيار المار عبر الملف هو :

$$I_L = \frac{U_o}{X_L}\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

و مجموع التيارين هو :

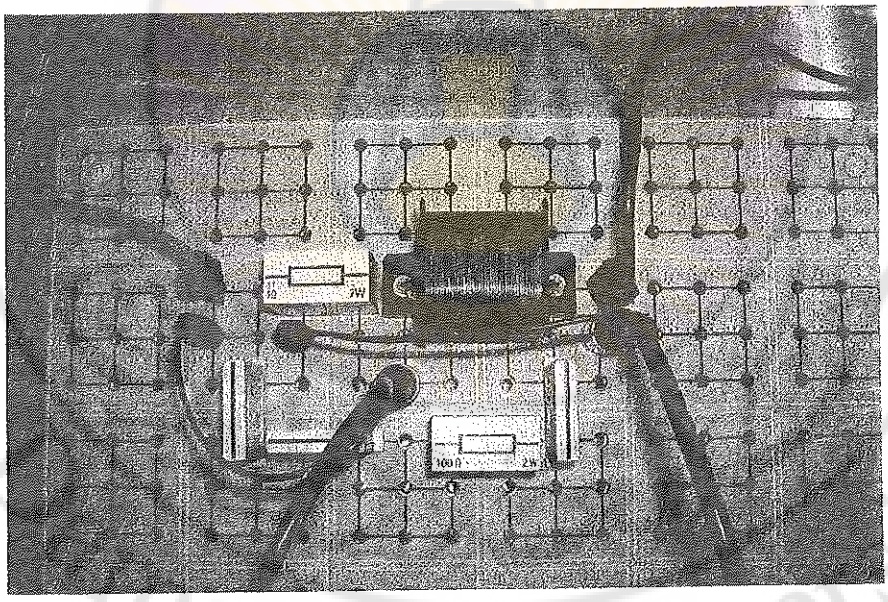
$$I_p = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \frac{1}{X_L^2}}\, U_o \cos(\omega t + \varphi_p)$$

حيث: $tg\varphi_p = \frac{R}{X_L}$

وعندئذٍ تعطى ممانعة الدارة Z_p بالعلاقة :

$$\frac{1}{Z_P} = \left(\frac{1}{R^2} + \frac{1}{X_L^{\,2}}\right)^{1/2}$$

وفي هذه الحالة يكون الجهد متقدماً عن التيار بفرق الطور φ_P



الشكل(2)

مراحل العمل

1. صل الدارة المؤلفة من ملف ومقاومة اومية على التفرع كما في الشكل(2) على أن تكون

$R=100\ \Omega$ مع ربط مقاومة على التسلسل مع الملف نفسه و قيمتها $R_m=1\Omega$ لسهولة حساب $I_0=U_m/1\Omega$ ،حيث U_m الجهد بين طرفي المقاومة المعيارية R_m ويمثل السعة العظمى على شاشة الراسم.

2. صل منبع الجهد المتناوب بين طرفي الملف والمقاومة المعيارية R_m (انظر الشكل (2))

3. أعد المراحل السابقة كافة التي مرت في حالة مكثفة ومقاومة أومية على التفرع علما بأن:

$$\frac{1}{Z}=\left(\frac{1}{R^2}+\frac{1}{X^2{}_L}\right)^{1/2} \qquad \text{و} \qquad X_L=\omega\, L$$

مع تدوين نتائج القياسات والحسابات في الجدول التالي :

$\frac{f}{\text{Hz}}$	$\frac{T}{ms}$	$L=17mH$ ،1000لفة	$\frac{I_o}{mA}$	$\frac{\Delta t}{ms}$	$\frac{\varphi}{\text{deg.}}$	$\frac{X_L}{\Omega}$	$\frac{Z}{\Omega}$
2000							
1000							
500							
200							
100							

4-ارسم المنحنيين $Z(X_L)$ و $\varphi(X_L)$

5-تأكد من نتائجك في تعيين φ و Z باستخدامك العلاقتين:

$$\frac{1}{Z_p}=\left(\frac{1}{R^2}+\frac{1}{X_L^2}\right)^{1/2} \qquad \text{و} \qquad tg\varphi=\frac{X_L}{R}$$

حيث $R=100\Omega$

6- اكتب ملاحظاتك حول النتائج كافة.

جامعة دمشق Damascus University

وقل رب زدني علما
Damascus University

دورة البطاء المغنطيسي

الغاية من التجربة:

1. الحصول على دورة البطاء المغنطيسي للحديد
2. تعيين المغنطيسية المتبقية
3. تحديد شدة الحقل القاهر

تمهيد نظري:

ترتبط شدة الحقل المغنطيسي الخارجي H مع شدة التحريض المتولد في وشيعة موجودة في الخلاء B_0 بالعلاقة التالية :

$$B_0 = \mu_0 H \qquad (1)$$

حيث H:يتناسب طردا مع شدة التيار المار في الوشيعة

μ_0:الثابت المغنطيسي أو نفوذية الخلاء permeability

ويساوي $4\pi 10^{-7}$ Web /A.m

ويقاس B_0 بـ Web $/m^2$ و H بـ A/m

وعند وضع نواة حديدية داخل الوشيعة فإن قيمة التحريض المغنطيسي تزداد نتيجة لتوليد حقل تحريضي ذاتي خاص بالنواة B_i بحيث يصبح التحريض الكلي:

$$B=B_0+B_i \qquad (2)$$

وتبين التجربة أن:

$$B_i = \chi B_0 \qquad (3)$$

حيث χ تدعى بالطواعية المغنطيسية والتي هي عبارة عن النسبة بين شدة التمغنط I و B_0 أي إن:

$$\chi = \frac{I}{Bo} = \frac{1}{\mu oH} \qquad (4)$$

وشدة التمغنط هي العزم المغنطيسي لواحدة حجم الجسم :

$$I = \frac{M}{V} \qquad (5)$$

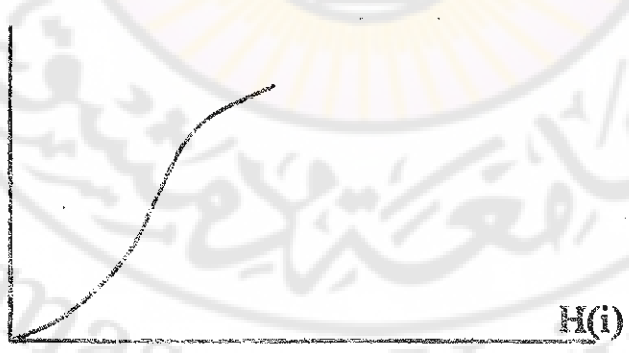
M العزم المغنطيسي المكتسب للمادة و v حجمها وبالتالي فإن العلاقة(2) تصبح بالشكل النهائي

$$B = \mu_r \mu_o H = \mu H$$

حيث $\mu_r = 1 + \chi$ تسمى بنفوذية الوسط المغنطيسي النسبية، و μ النفوذية المطلقة.

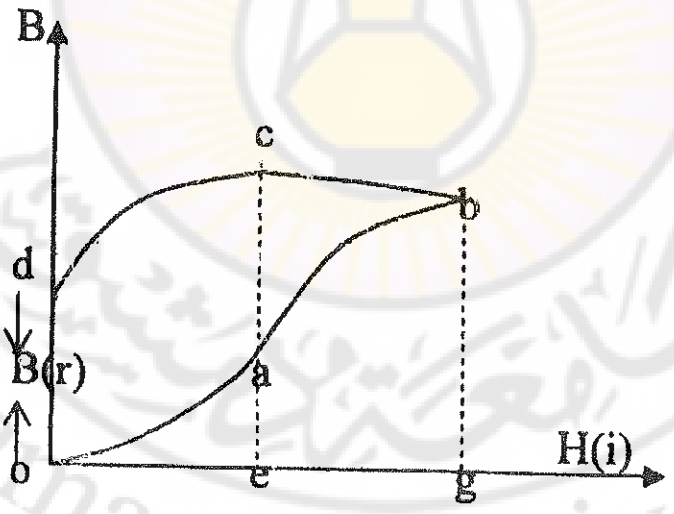
سنتعرف في هذة التجربة على حواص صنف محدد من المواد تلك التي تحتفظ بتمغنطها حتى في غياب الحقل المغنطيسي الخارجي وأكثر هذه المواد انتشارا هو الحديد ، لذا يطلق على هذا النوع من المواد بالمغانط الحد يدية . وينتمي إلى هدا النوع من المغانط بشكل رئيسي الحديد، النيكل ، الكوبالت و خلائطها و مركباتها

وتكون علاقة تمغنط هذه المواد الحديدية بشدة الحقل H لاحظة (نظر الشكل1)



الشكل(1)

إن منحني التمغنط في الشكل ( ) يعبر عن العلاقة بين الحقل المتحرض في المادة B و بين شدة الحقل المغنطيسي H أو شدة التيار المار في الشيعة i . ويمكن الحصول على الشكل (1) شريطة أن تكون العينة الحديدية غير ممغنطة سابقا وأن تكون شدة الحقل المغنطيسي (أي التيار) قد زيدت بالتدريج ابتداء من الصفر . إن التحريض المغنطيسي B في المادة(النواة الحديدية) لاتتعلق بشدة الحقل المغناطيسيH فقط بل تتعلق بالماضي المغنطيسي للمادة. فللمادة شيء شبيه (بالذاكرة) المغنطيسية وهي (تذكر) أنها كانت قد تمغنطت وستبقى هذه المغنطة متبقية فيها حتى بعد انقطاع الحقل Hعنها. إن هذا السلوك للمادة الحديدية يبينه الشكل(2).لنفرض أن شدة الحقل المغنطيسي H قد زيدت بدءا" من الصفر وحتى النقطةg من المحور الأفقي والتي تقابل القيمة الاعظمية للحقل المتحرضB الشكل (2)(شريطة أن تكون المادة الحديدية غير ممغنطة سابقا) ومع إنقاص شدة الحقل



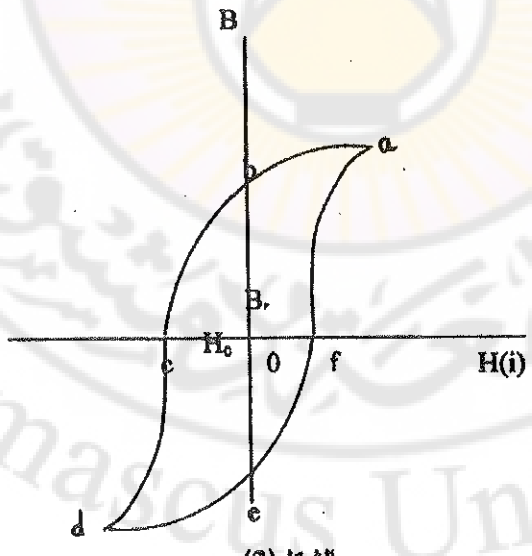
الشكل(2)

تدريجيا حتى النقطة e فإن منحني التمغنط يمر بالنقاط oabc حيث نلاحظ قيمتين مختلفتين من أجل B عند قيمة واحدة للحقلH المقابلة للنقطة e وعند متابعة نقصان شدة الحقل (عن طريق نقصان شدة التيار او الفولت) إلى الصفر فإن منحني التمغنط يتابع سيره حتى النقطة dالتي عندها ينعدم الحقل المغناطيسي الخارجي Hبينما $B = B_r$ التي تسمى المغنطيسية المتحرضة المتبقية في المادة .فالمادة الحديدية أصبحت مغنطيسا دائما وإن هذا السلوك للمادة الحديدية يسمى بالبطاء أو التأخير حيث أن المنحني B(H) لا ينطبق لدى تناقص Hعلى جزءه العائد لقيم H المتزايدة .

ولإزالة المغنطيسية المتبقية في العينة B_r لا بد من تطبيق حقل مغنطيسي H معاكس لجهته في المراحل السابقة.

و تسمى شدة الحقل H التي يصبح عندها $B_r = 0$ بشدة الحقل القاهر H_c.

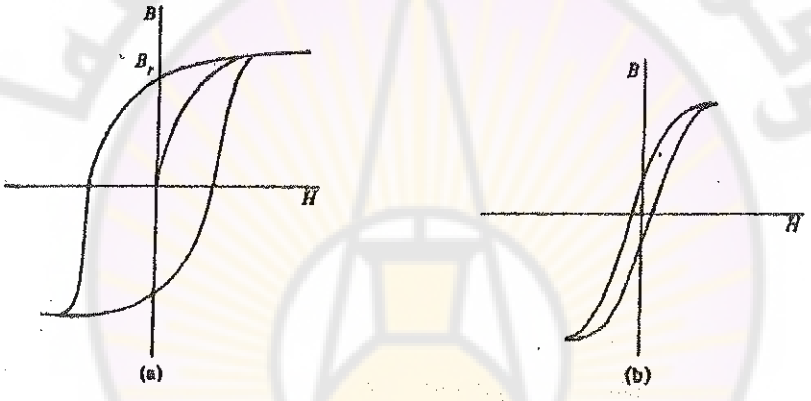
وان الاستمرار بزيادة قيمة H سلبا ثم تناقصه بالاتجاه نفسه حتى انعدام الحقل (انعدام التيار) نحصل على الشكل (3) حتى النقطة e و عند عكس اتجاه الحقل من جديد وزيادته بالتدريج ايجابا نحصل على الجزءea على نفس الشكل وبالنتيجة يمكن الحصول على دورة البطاء كاملة كما في الشكل(3).



الشكل(3)

إن القيمتين oc ,of للحقل على دورة البطاء تمثلان الحقل المغنطيسي العكسي القاهر واللازم لإعادة تمغنط المادة الى الصفر بعد أن تكون العينة قد تمغنطت حتى الاشباع.

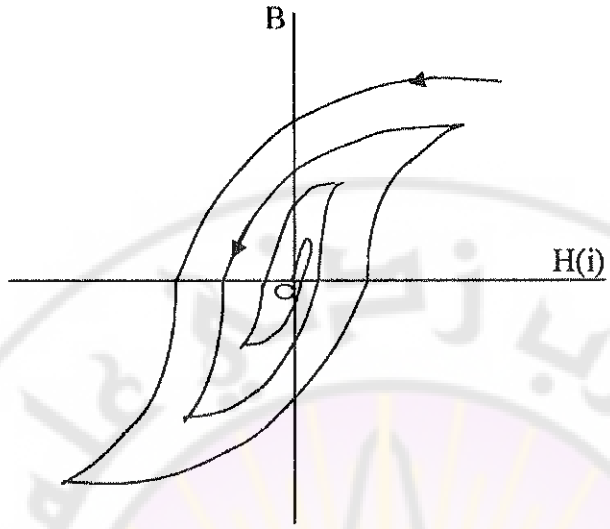
إن السطح داخل دورة البطاء(العروة)يمثل فقدان الطاقة على شكل حرارة داخل المادة عندما تتمغنط وتزال مغنطتها. وكلما كان السطح أكبر كان فقدان الطاقة أكبر.إن عروة البطاء تكون ضيقة للحديد اللين وتكون عريضة للحديد القاسي(الفولاذ) كما في الشكل(4).



الشكل(4)

تصنع المغانط الدائمة من مواد حديدية قاسية وهي ذات مغنطيسية متبقية عالية وحقل قاهر كبير،بينما تستخدم المواد الحديدية اللينة في قلوب المحولات حيث يكون فقدان الطاقة ضئيلا.

ملاحظة: من الممكن إزالة تمغنط العينة بعكس تيار المغنطة عدة مرات مع إنقاص قيمتة (i) في كل مرة عن سابقتها وهكذا فإن العينة تمر بمنحني بطاء يلتف متقاربا بالتدريج من نقطة الابتداء O كما في الشكل (5).ويمكن في هذه الحالة تطبيق جهد متناوب (تيار متناوب)

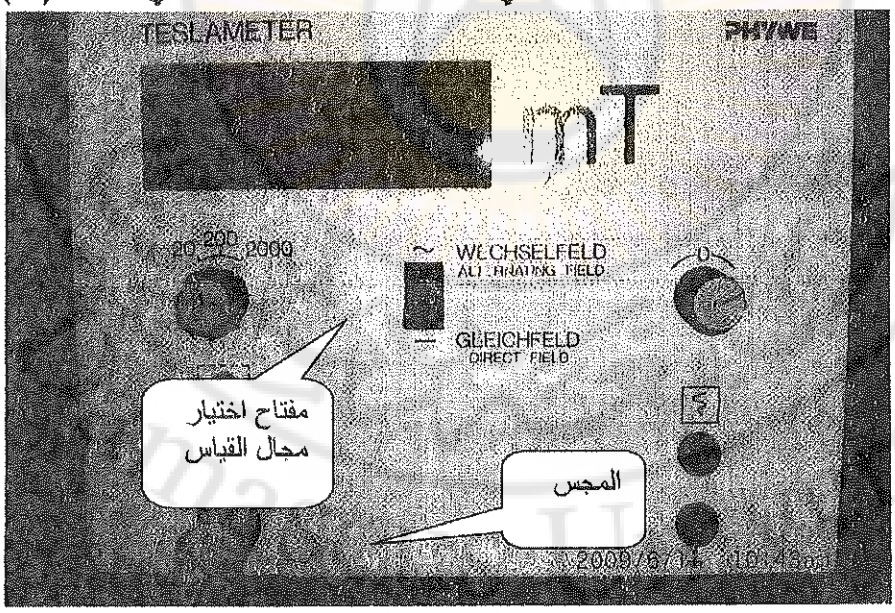


الشكل(5)

الادوات والاجهزة المستخدمة:

1- وحدة تغذية للملف الابتدائي يمكن أن تعطي تيارا مستمرا أو متناوبا

2- مقياس الحقل المغنطيسي المتحرض m T المبين في الشكل (6).



الشكل (6)

3- ملف اولي وملف ثانوي ونواة حديدية وحافظة

4- مجس

5- مقاومة متغيرة

6- قاطعة عاكسة لاتجاه التيار

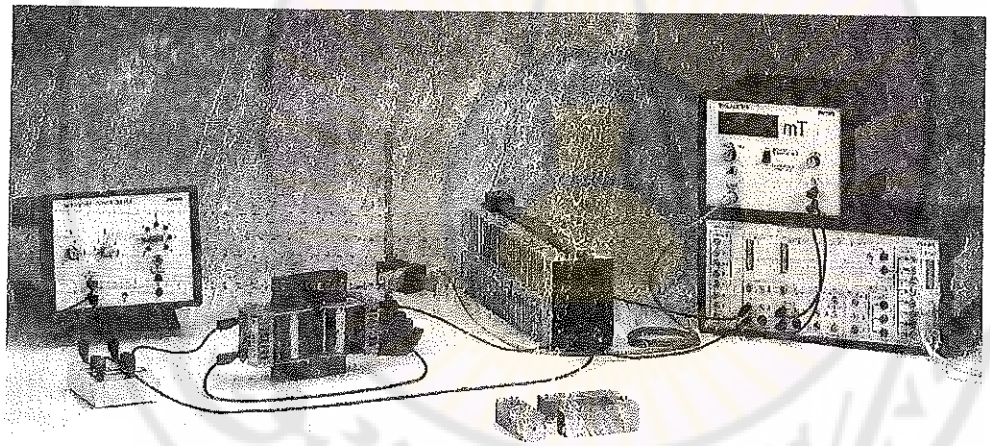
7- وصلة بينية للحاسب

8- حاسب

9- اسلاك توصيل

مراحل العمل:

1. صل دارة تغذية الوشيعتين بالتيار المستمر عن طريق عاكسة التيار والمعدلة على التسلسل كما في الشكل (7)



الشكل(7)

2. صل الوصلة البينية للحاسب مع كل من المعدلة ومقياس التسلا mT بحيث يكون وصل طرفي المعدلة

بـــAnalog In I ووصل Analog In II الى مقياس التسلا .

3. ضع المجس تحت الحافظة وصله بمقياس التسلا.

4. تأكد من أن العينة (النواة الحديدية) غير ممغنطة وإذا كانت ممغنطة قم بتنفيذ ما جاء في الملاحظة انفا مستخدما منبع التيار المتناوب مع الانتباه الى تصفير مقياس الفولت على منبع التغذية مسبقا.
5. تأكد من سلامة وصل الدارة الشكل (7) وتصفير كل من جهاز التسلا mT ومقياس الفولت (على واجهة المنبع) وإزالة المغنطة المتبقية في النواة الحديدية
6. شغل برنامج القياس (Mesur) من على سطح مكتب الحاسب عندئذ تظهر بقعة حمراء على يسار شريط الأدوات اضغط عليها بالفأرة
7. اضغط start
8. زد الجهد على علبة التغذية بدءا" من الصفر حتى يبلغ الجهد قيمتة الأعظمية وذلك ببطء وبشكل تدريجي
9. عند نهاية مجال الجهد قم بإنقاصه ببطء شديد حتى الصفر
10. غير اتجاه العاكسة لكي يتغير اتجاه التيار (أوعكس اتجاه الحقل المغناطيسي)
11. أعد العمليتين 8-9 بدقة
12. قم من جديد بتغير اتجاة العاكسة وأعِد العملية 8 فقط
13. اضغط بالماوس على stop
14. أعد الجهد الى الصفر
15. من قائمة mesurment (القياس) اختر export data – copy to dipbord export– Ok
16. اختر برنامج Exelمن ابدأ ايقونة program.
17. اختر العمودين المناسبين B. C واختر لصق .
18. اضغط زر رسم المنحنيات ثم SCALLER - NEXT - NEXT – finish - As new sheeit NEXT

19. بعد هذه العمليات ينبغي أن ترى رسم دورة البطاء المغنطيسي على شاشة الحاسب

20. حدد من دورة البطاء كلاً من حقل التحريض في حالة الإشباع H والحقل المتبقي B_r .

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

وقل رب زدني علما
Damascus University

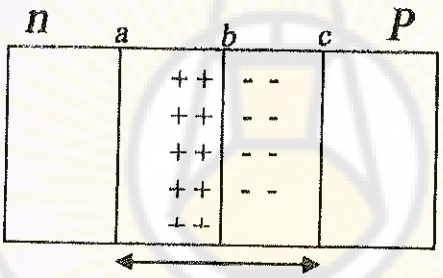
تأثير درجة الحرارة على كل من خصائص الوصلات الثنائية *p-n* والمقاومات

الغاية من التجربة:

1. قياس المقاومة لعدد من العناصر الإلكترونية والكهربائية، كتابع لدرجة الحرارة.
2. قياس فرق كمون التماس للوصلة *p-n* كتابع لدرجة الحرارة.

تمهيد نظري:

إن تماس نصفي ناقلين مختلفين بالناقلية يمثل أساساً لعمل أجهزة أنصاف النواقل. ويدعى حد التماس بين نصفي ناقلين أحدهما ذات ناقلية الكترونية *n-type* والآخر ثقبية *p-type* بالوصلة *p-n* (ديود) (انظر الشكل1) .



الشكل (1)

في منطقة التماس (ℓ) تنتقل الالكترو نات من نصف الناقل *n* إلى نصف الناقل *p* بينما تتحرك الثقوب في الاتجاه المعاكس، فتتشكل في المجال *ab* من نصف الناقل *n* شحنة موجبة زائدة ، بينما تكون الشحنة السالبة في المجال *bc* من نصف الناقل *p*. عندئذ يتولد في منطقة التماس حقل كهربائي شدته E_{np} يعيق هذا الحقل الانتقال التالي لحوامل الشحنة (الالكترونات) من اليسار إلى اليمين والثقوب من اليمين إلى اليسار. إن ثخانة الطبقة ℓ للوصلة *p-n* كالجرمانيوم

والسيلكون تشكل حوالي 10^{-4}-10^{-5} cm ويمثل فرق كمون التماس الذي يعد حاجزاً كمونياً لحوامل التيار عدة أعشار من الفولت. وتستطيع الإلكترونات والثقوب التغلب على ذلك الحاجز في درجات الحرارة المرتفعة.

سندرس في هذه التجربة تأثير درجة الحرارة على كل من مقاومات بعض المواد $R= f(T)$ وعلى فرق كمون التماس في الموصلات الثنائية (الديودات) $U= f(T)$ وتحقيقاً لذلك يتم تغطيس مجس خاص يحوي هذه العناصر (المقاومات والوصلات الثنائية) داخل حمام مائي يتم التحكم بدرجة حرارته بدقة حيث تقاس درجة الحرارة والمقاومة على فترات متباعدة.

<u>الأدوات والأجهزة المستخدمة:</u>

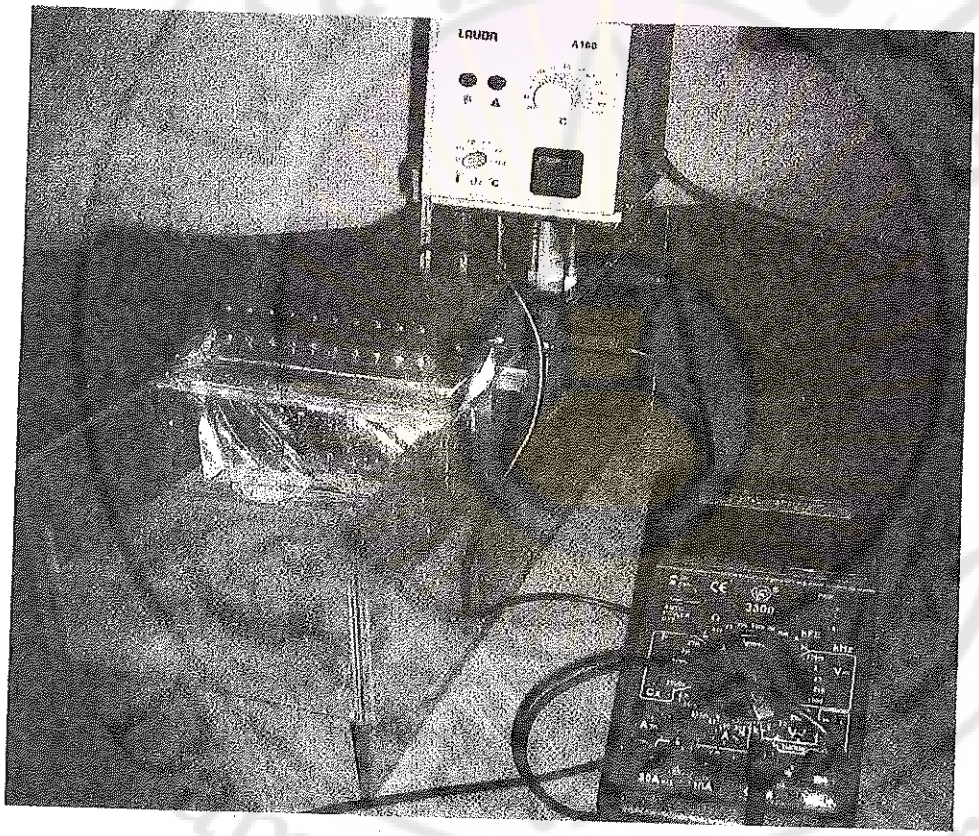
- مجس غاطس يحتوي على العناصر المدروسة.
- ترموستات غاطس.
- حوض للترموستات مع مجموعة اكسسوارات له.
- مقياس جهد(كمون) رقمي متعدد المجالات.
- وحدة تغذية (0-12 v)
- مقياس درجة الحرارة T
- مقاومة كربونية 1w,4.7KΩ
- قاعدة توصيل للعناصر.
- أسلاك توصيل.
- أكياس حماية.

<u>مراحل العمل:</u>

1. **<u>تحديد تابعية المقاومة لعناصر مختلفة بالنسبة لدرجة الحرارة R= f(T)</u>**

- صل عناصر التجربة كما هو مبين في الشكل (2) مع مراعاة وضع المقياس على وضعية قياس الأوم.

- ضع لوحة القياس الحاوية على المقاومات والديودات المختلفة ضمن كيس الحماية من الماء.
- املأ حوض الترموستات بالماء البارد.
- شغل الترموستات من زر التشغيل الأساسي (الأخضر).
- ضع زر اختبار درجة الحرارة على $25\ C^0$.
- انتظر حتى ثبات درجة الحرارة على مقياس الحرارة.



الشكل(2)

- سجل درجة الحرارة وقيم المقاومات المختلفة في جدول كالتالي:

درجة الحرارة T	R(Cu)	R(C)	R(Met)	R(NTC)	R(PTC)
25					
30					
35					
↓					
90					

- ارسم المنحنيات المميزة لكل من هذه العناصر على الورقة الميليمترية نفسها(المقاومة بدلالة درجة الحرارة $R= f(T)$. ماذا تستنتج؟

2-تحديد تابعية فرق كمون التماس للديودات المختلفة بالنسبة لدرجة الحرارة

- صل عناصر التجربة كما هو مبين في الشكل (2) مع مراعاة وصل الديود في اللوحة على التسلسل مع المقاومة (47KΩ) وضع المقياس الرقمي على وضعية قياس الكمون.
- أعد ملء الحوض بماء بارد جديد مع ضرورة الانتباه إلى أن الترموستات سيكون ساخناً جداً لدى فكه من الحوض فيجب الحذر الشديد عند التعامل معه.

- أعد الخطوات نفسها في التجربة السابقة وسجل النتائج في جدول كالتالي:

درجة الحرارة T	الكمون(U) لـ Ge	الكمون(U) لـ Si	الكمون(U) لـ $Z_{6.8}$	الكمون(U) لـ $Z_{2.7}$
25				
30				
35				
↓				
90				

- ارسم المنحنيات المميزة لكل من هذه العناصر(الكمون بدلالة درجة الحرارة). $U = R(T)$، ماذا تستنتج ؟

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

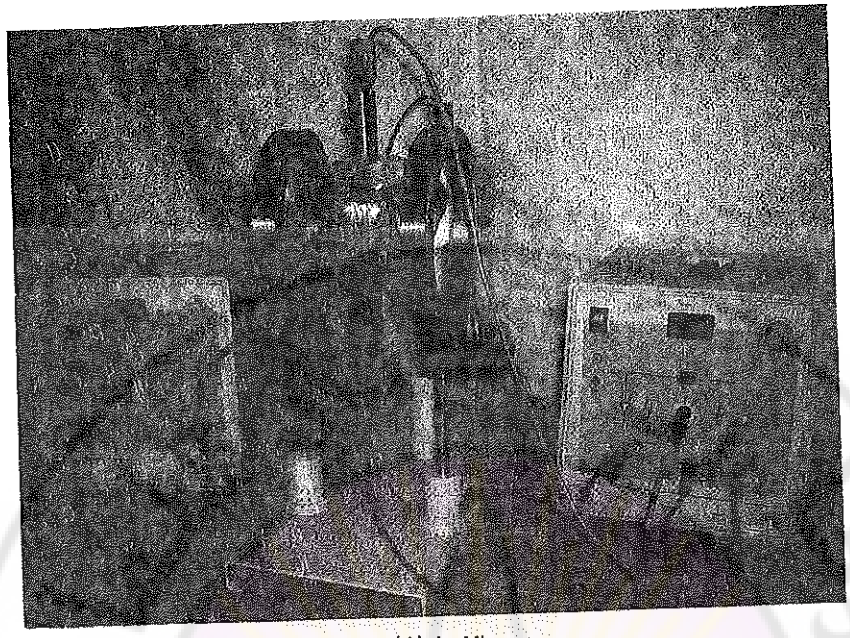
قياس الشحنة النوعية للإلكترون e/m
باستخدام صمام تومسون

الغاية من التجربة :

التعرف على الصمام واستخدامه في قياس الشحنة النوعية للإلكترون e/m بطريقة انحراف الإلكترون بتطبيق حقل كهربائي وحقل مغناطيسي

تمهيد نظري :

يبين الشكل (1) رسماً لصمام تومسون حيث يتكون من أنبوب زجاجي أحدث فيه خلاء شديد ولحمت بداخله مساري معدنية توصل بمنابع التغذية. في داخل الجهاز يوجد فتيلة معدنية لتوليد الحزمة المهبطة (الالكترونات) عن طريق التسخين و تسرع الالكترونات الصادرة بتطبيق جهد كهربائي عالٍ فتسلك الالكترونات مسارا مستقيما حتى تصل بين صفيحتين متوازيتين يطبق بينهما حقل كهربائي عمودي على مسار الإلكترونات ثم يطبق حقل مغناطيسي عمودي على اتجاه الحقل الكهربائي عن طريق وشيعتي هلمولتز. و يمكن مشاهدة انحراف الإلكترونات على شاشة مطلية بمادة متألقة



الشكل(1)

إن الحقل الكهربائي (الجهد الحارف) يؤدي الى حرف حزمة الالكترونات بحيث يكون مسارها قطعاً مكافئاً وفقا للعلاقة :

$$y=\frac{1}{2}at^2=\frac{eE}{2m}\cdot\frac{x^2}{\upsilon^2} \qquad (1)$$

حيث $F = e\,E$ القوة الكهربائية ، E شدة الحقل الكهربائي الحارف و هو يساوي : $E=\frac{u_p}{d}$ حيث : u_p الجهد الحارف بين الصفيحتين المتوازيتين و d البعد بين الصفيحتين تتعين السرعة الابتدائية التي يدخل بها الإلكترون بين الصفيحتين نتيجة للتسارع المطبق من العلاقة :

$$\frac{1}{2}m\upsilon^2 = eu_A \qquad (2)$$

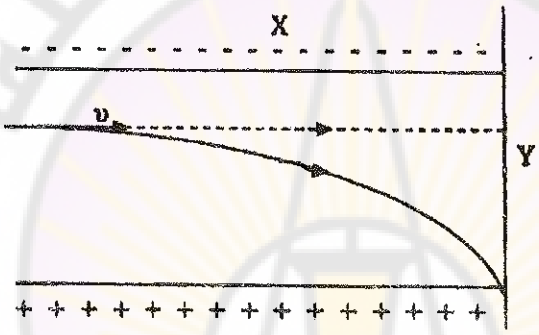
U_A الجهد المسرع

e و m كتلة الإلكترون وشحنته على الترتيب

x انحراف حزمة الالكترونات وفقا للمحور الأفقي

y انحراف حزمة الالكترونات وفقا للمحور العمودي على المحور الأفقي.

يوضح الشكل (2) انحراف حزمة الالكترونات عند اجتياز الحقل الكهربائي بين الصفيحتين وكذلك كلٍ من x و y.



الشكل(2)

بتعويض (2) في (1) نحصل على العلاقة :

$$y = \frac{u_p}{4u_A d} x^2 \qquad (3)$$

لدى تطبيق حقل مغناطيسي B عموديا على اتجاه الحقل الكهربائي و على اتجاه السرع الابتدائية للالكترونات فإن الالكترونات تنحرف لترسم جزءا من مسار دائرة وفقاً للعلاقة :

$$r = \frac{x^2 + y^2}{2y} \qquad (4)$$

حيث

$$r = \sqrt{\frac{2mu_A}{eB^2}} \qquad (5)$$

$$\Rightarrow \frac{e}{m} = \frac{2u_A}{r^2 B^2}$$

تحسب r و B من العلاقتين (4 و6) لحساب الشحنة النوعية e/m

r نصف قطر المسار ($\frac{mV^2}{r} = eVB$)

إن شدة الحقل المغناطيسي B الذي يتولد من وشيعتي هلمولتز يعطى بالعلاقة :

$$B = 0.72\mu_0 \frac{NI}{R} \qquad (6)$$

حيث: N عدد لفات وشيعة هلمولتز

R نصف قطر الوشيعة

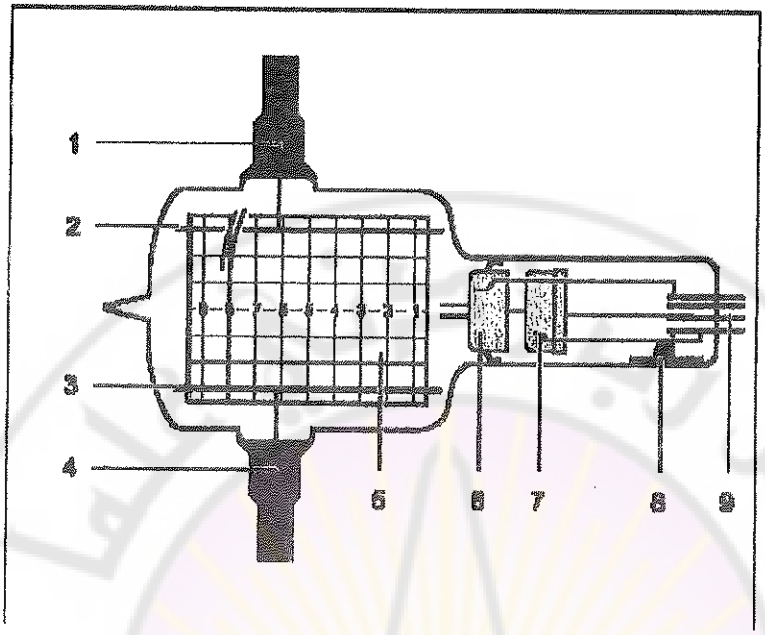
I شدة التيار المار بالوشيعتين

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\ Wb/A.m$ الثابت المغناطيسي

<u>الأدوات والأجهزة المستخدمة :</u>

- أنبوب تومسون
- وحدتي تغذية لكل من الجهد المسرع والجهد الحارف
- وشيعتي هلمولتز
- وحدة تغذية لوشيعتي هلمولتز
- وحدة تغذية للفتيلة
- أسلاك توصيل

تفاصيل الأجزاء الداخلية في جهاز تومسون والمنابع المستخدمة والجهود المطبقة



Instruction sheet 555 624

Electron deflection tube (555 624)

1 Connection for upper deflecting electro
2 Upper deflecting electrode
3 Lower deflecting electrode
4 Connection for lower deflecting electroc
5 Screen
6 Anode
7 Cathode cap
8 Getter mirror (for maintaining the vacu
9 Pin base (for electron gun contacting)

Damascus University

1 Description

The electron deflection tube enables the deflection of electrons in electric and magnetic fields to be studied quantitatively and the velocity and the specific charge of the electrons to be estimated.

The electric deflection takes place in the field of two capacitor plates which are built in the tube. The magnetic deflection is achieved by the magnetic field of a pair of Helmholtz coils.

The course of the ray is displayed on a screen with a cm grid.

2 Technical data

Heating voltage *U*F: 6-6.5 V~ (rec.: 6.3 V~)
Heating current *I*F: approx. 1.5 A at 6.3 V
Anode voltage *U*A: 1.5-5 kV
Max. capacitor voltage: 10 kV
Plate distance (geometric): 50 mm
Screen: 90 mm · 50 mm
Pressure: <10-6 hPa
Diameter: 90 mm
Total length: 270 mm
Mass: 250 g

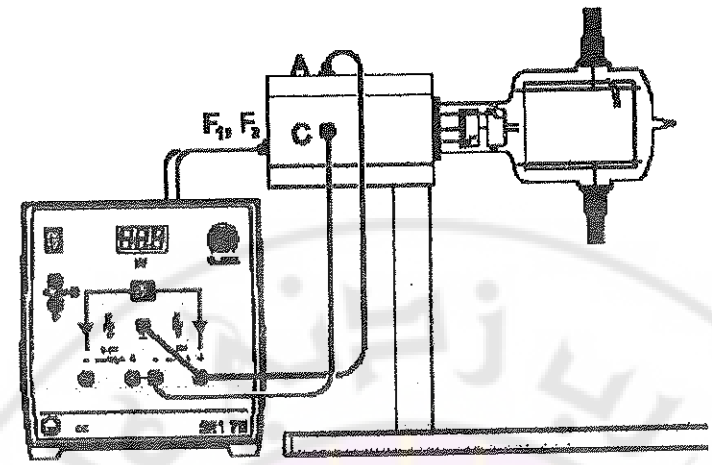
Safety notes

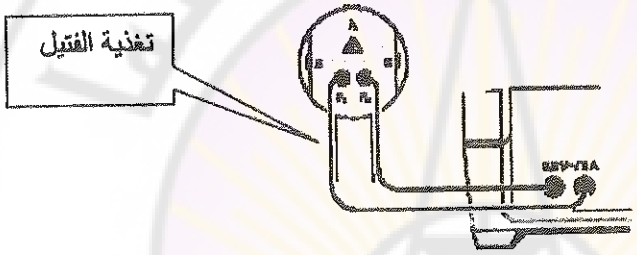
When the electron deflection tube is operated at high voltages over 5 kV, X-rays are generated, whose dose rate is below the permissible limit according to the German X-ray regulations if the current-limited high-voltage power supplies 10 kV (521 70) referred to in this instruction sheet are used.

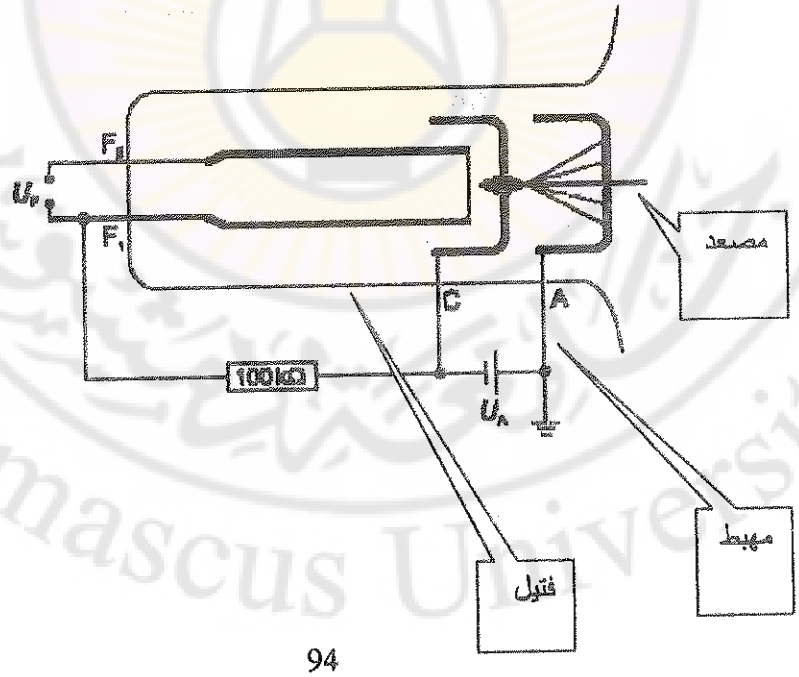
The connection of the electron deflection tube with grounded anode given in this instruction sheet requires a

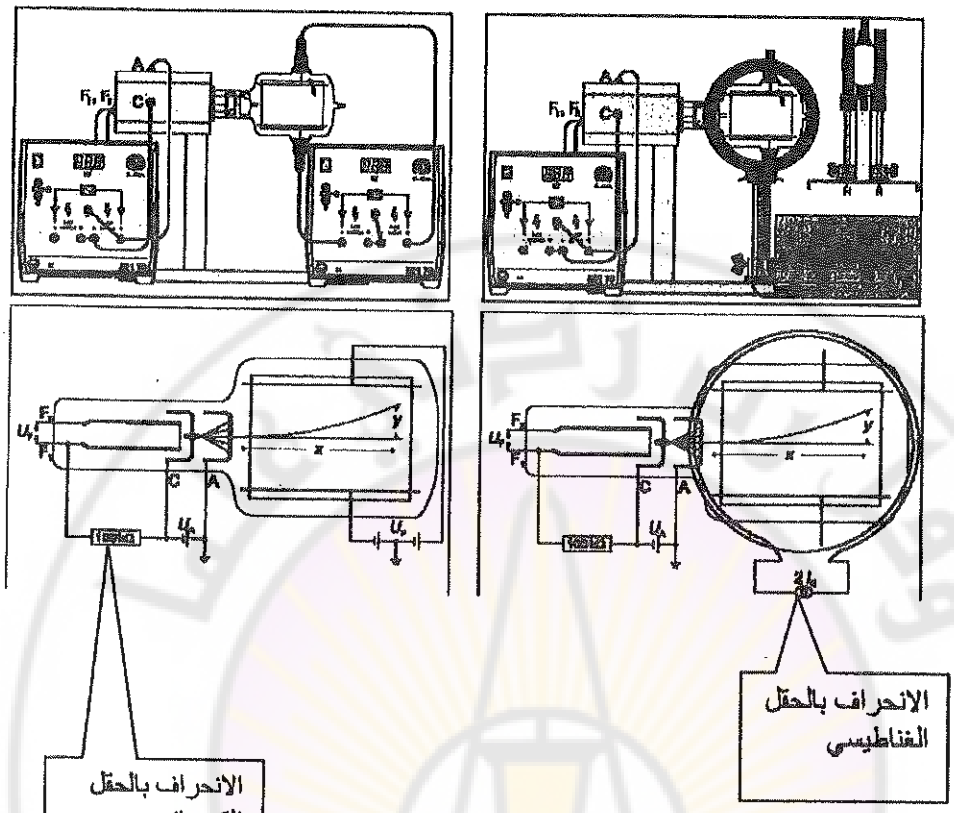
high-voltage enduring voltage source for the cathode heating.
- Do not operate the electron deflection tube with high voltages over 5 kV.
- Use no other power supplies than high-voltage power supplies 10 kV (521 70) for the anode and electrode voltages.
Danger of implosion: the electron deflection tube is a highvacuum tube made of thin-walled glass.
- Do not expose the Electron deflection tube to mechanical stress, and connect it only if it is mounted in the tube stand.
- Treat the contact pins in the pin base with care, do not bend them, and be careful when inserting them in the tube stand.
- Treat the connections of the deflecting electrodes with care.
During operation, the Electron deflection tube is heated by the cathode heating:
- If necessary, allow the Electron deflection tube to cool down before dismounting
The Electron deflection tube may be destroyed by voltages or currents that are too high:
- Keep to the operating parameters given in the section on technical data.

Damascus University


A
F_1, F_2
C


تغذية الفتيل
A
F_1 F_2


F_2
U_H
F_1
C
A
100kΩ
U_A
مصعد
مهبط
فتيل



مراحل العمل:

أولاً: مشاهدة الانحراف الناتج من تطبيق حقل كهربائي

1. طبق على الفتيلة جهداً مستمراً قيمته6.3 فولت لتسخينها وإصدار الإلكترونات فنرى على الفور توهج الفتيلة
2. طبق الجهد المسرع $u_A \leq 4kv$ وذلك بوصل المصعد A بالقطب الموجب للمولد والمهبط C للقطب السالب على ألا يزيد الجهد المسرع عن 4kv مع تأريض المصعد

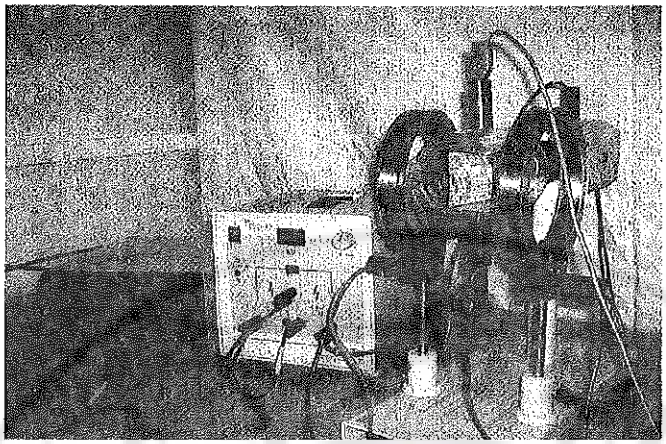
3. صل مأخذي الصفيحتين المتوازيتين بالجهد الحارف لمسير الإلكترونات $U_P<8kv$ بحيث لا يزيد الجهد الحارف عن 8kv وقم بتأريض القطب السالب
4. بعد الوصل الصحيح يُشاهد ضمن الأنبوبة الزجاجية المسار المنحرف للإلكترونات حيث يمكن تعيين كل من x و y من خلال المربعات المدرجة الموجودة بين الصفيحتين .
5. نظم جدولا كالتالي وقم بملئه وذلك بتغيير u_p بدءاً من 2.4 kv وحدد قيمة كلٍ من x,y في كل مرة.
(d = 5 Cm)
6. ارسم الخط البياني y بدلالة x^2

U_P					
x					
y تجريبياً					
$y=\frac{u_p}{4u_A\ d}x^2$ نظرياً					

7. احسب y النظرية وقارنها مع y التجريبية

ثانياً: انحراف حزمة الإلكترونات بتطبيق حقل مغناطيسي B :

1. افصل دارة الجهد الحارف للإلكترونات (انظر الشكل3)



الشكل (3)

2. ضع الجهد المسرع بحدود $U_P \leq 4\ kv$
3. ضع وشيعتي هلمولتز بحيث تحوي الأنبوب الزجاجي (الحبابة) وصلهما على التسلسل
4. صل طرفي الوشيعتين إلى منبع مستمر للتيار لوحدة التغذية بحيث لا يزيد التيار المار في الوشيعتين عن 2A
5. يظهر منحني عبارة عن دائرة نصف قطرها r وهو مسار الالكترونات من جراء تطبيق حقل مغناطيسي يعطى بالعلاقة (5)
6. نظم جدولا كالتالي :

I_A التيار المار في الوشيعة					
x					
y تجريبياً					
r يحسب من العلاقة (4)					
B يحسب من العلاقة (6)					
$\frac{e}{m} = \frac{2u_A}{r^2 B^2}$ من العلاقة (5)					

7. احسب القيمة الوسطية للنسبة e/m والتي تحدد الشحنة النوعية للالكترون

8. قارن القيمة المحسوبة تجريبيا مع القيمة المعروفة نظريا للنسبة e/m

9.حدد الارتياب في حساب e/m

ثالثاً : تطبيق الحقلين الكهربائي والمغناطيسي معاً

1. طبق الحقل الكهربائي من جديد بين طرفي الصفيحتين مع تطبيق الحقل المغناطيسي بحيث تكون القوتان الكهربائية والمغناطيسية متعاكستين ومتساويتين :

$$e E = e v B \qquad (7)$$

وهذا يتحقق عندما يصبح مسار الحزمة الالكترونية خطاً مستقيماً إلى حد ما

2. من العلاقتين (7) و (2) نحصل على العلاقة

$$\frac{e}{m} = \frac{u_p^2}{2u_a B^2 d^2} \qquad (8)$$

3. عوّض في هذه العلاقة قيمة كل من U_P, U_A المقروئتين على جهازي التغذية واحسب قيمة B من العلاقة (6) من أجل قيمة التيار I التي أصبح عندها المسار مستقيما علماً بأن

لفة N = 320 . R = 6.25 cm و d = 5 cm وبعدها احسب e/m من العلاقة (8)

4. قارن e/m المحسوبة بتطبيق حقل مغناطيسي فقط مع القيمة النظرية

5. احسب الارتياب في حساب e/m

المفعول الكهرضوئي الداخلي
(الخلايا الشمسية)

الغاية من التجربة:

1. التعرف على الخلايا الشمسية و مبدأ عملها وطريقة تجميعها لتكوين اللوحات الشمسية
2. دراسة المنحنيات المميزة $I=f(v)$ للعلاقة بين شدة التيار I المار في الخلية و الجهد بين طرفيها من أجل شدات مختلفة للضوء
3. دراسة تأثير شدة الإضاءة على العلاقة بين استطاعة الخلية P و المقاومة الداخلية للوصلة n-p في الخلية

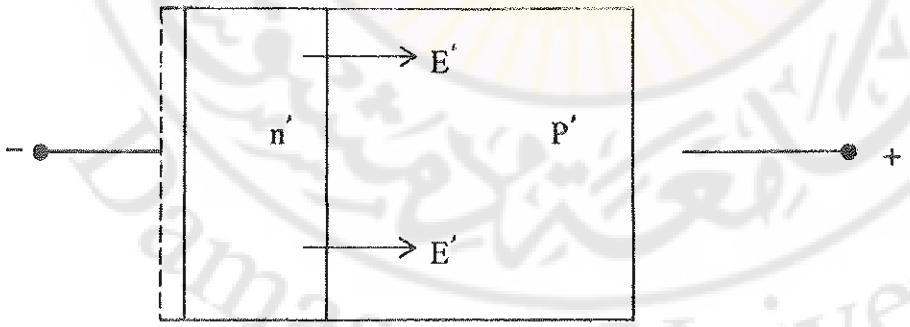
تمهيد نظري:

تتكون الخلية الشمسية كما هو موضح في الشكل (1) من ثلاثة أجزاء:

-قاعدة من السيلكون من نوع p-type تبلغ ثخانتها بضع مئات من الميكرونات و تؤلف القطب الموجب للخلية

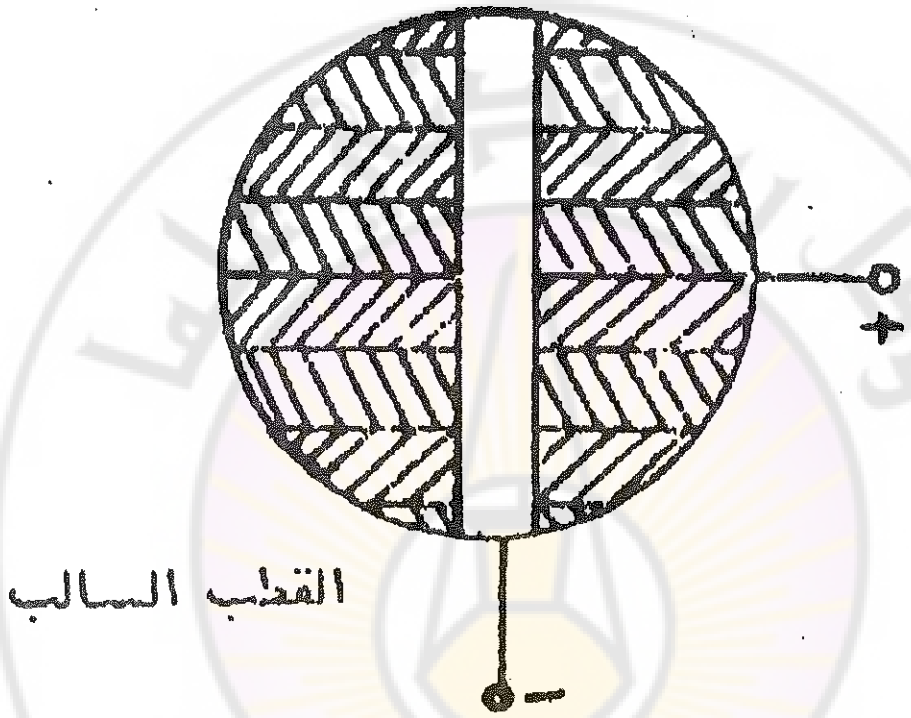
-طبقة رقيقة من السليكون نوع n-type لا تزيد سماكتها عن بضع ميكرونات

-شبكة معدنية مترسبة من السليكون نوع n-type و تؤلف القطب السالب للخلية



الشكل(1) مقطع في خلية شمسية

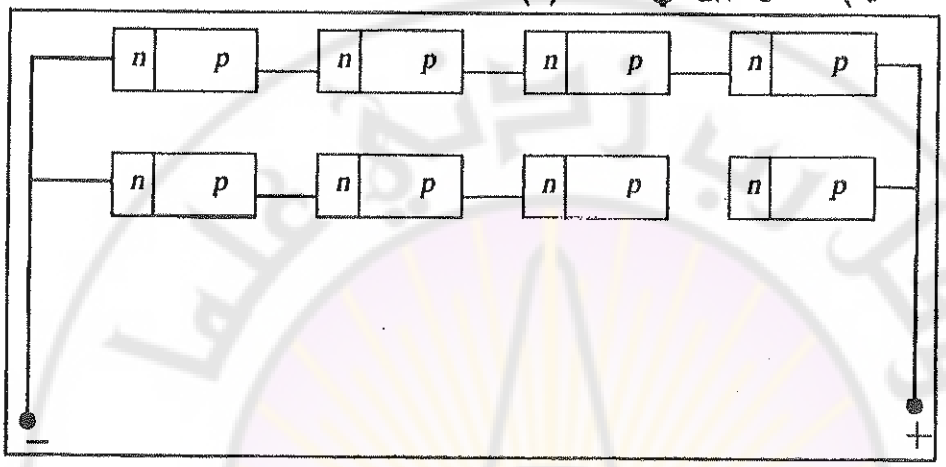
و غالباً ما تأخذ الخلية الشمسية شكلاً دائرياً كما في الشكل (2) الذي يظهر المقطع الأمامي لخلية شمسية.



الشكل(2) منظر أمامي لخلية شمسية تظهر فيه الشبكة المعدنية

عندما يسقط الضوء على سطح الخلية يخترق طبقة السليكون الرقيقة n-typ و يبلغ منطقة التماس n-p (الوصلة n-p) فتكتسب حوامل الشحنة (الالكترونات و الثقوب) طاقة تمكنها من التغلب على حاجز كمون التماس فتتحرك الالكترونات باتجاه معاكس للحقل الداخلي للوصلة n-p (أي باتجاه الشبكة المعدنية) بينما تتحرك الثقوب باتجاه الحقل الداخلي للوصلة n-p مما يسبب مرور تيار كهربائي في الدارة الداخلية و الذي تقاس شدته عن طريق مقياس أمبير و تزداد شدة التيار بازدياد شدة الضوء الوارد على الخلية.

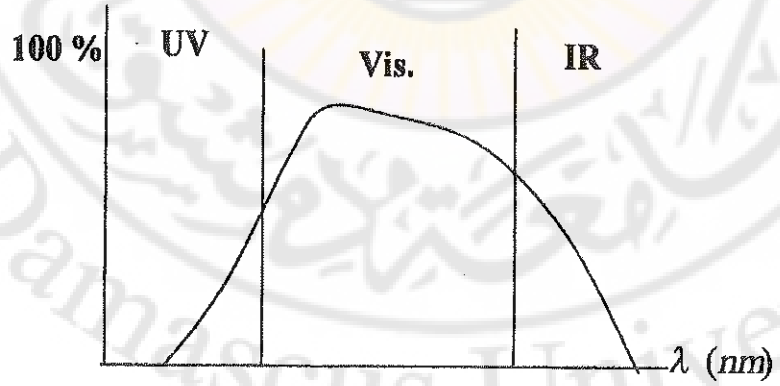
ويمكن جمع الخلايا مع بعضها على التسلسل لتعطي جهداً كهربائياً عالياً ، كما يمكن جمع الخلايا مع بعضها على التفرع لتعطي تياراً كهربائياً عالياً الى حد ما. و غالباً تجمع الخلايا على التسلسل و على التفرع معاً (ليتكون ما يسمى اللوحة الشمسية)كما هو مبين في الشكل (3)



الشكل(3) تجمع الخلايا على التسلسل و على التفرع

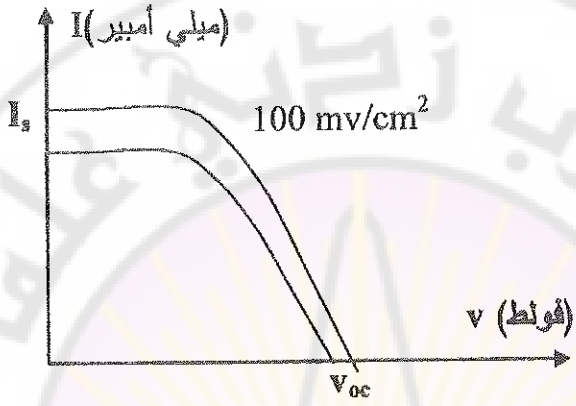
لكل خلية أو لوحة شمسية نوعان من المزايا هي:

<u>ميزات طيفية</u>:وهي تختلف باختلاف استجابة الخلية للضوء الوارد فهي أعظمية مثلا في منطقة الضوء المرئي كما هو واضح في الشكل(4)



الشكل(4)

<u>ميزات الجهد و التيار</u>: وهذا ما سندرسه من خلال التجربة، حيث تعطى هذه الميزات تيار الخلية بدلالة الجهد بين طرفيها و حسب شدة ضوء الشمس الوارد مقدرا(mv/cm^2) كما هو موضح بالشكل (5)



الشكل(5)

نسمي نقطة تقاطع المنحني مع محور التيار I_s:تيار الدارة المقصورة. أما نقطة تقاطع المنحني مع محور الجهد فتسمى V_{oc} جهد الدارة المفتوحة و يلاحظ ان I_s أشد تغيراً من V_{oc} بتغير شدة الإضاءة .

الأجهزة والأدوات المستخدمة:

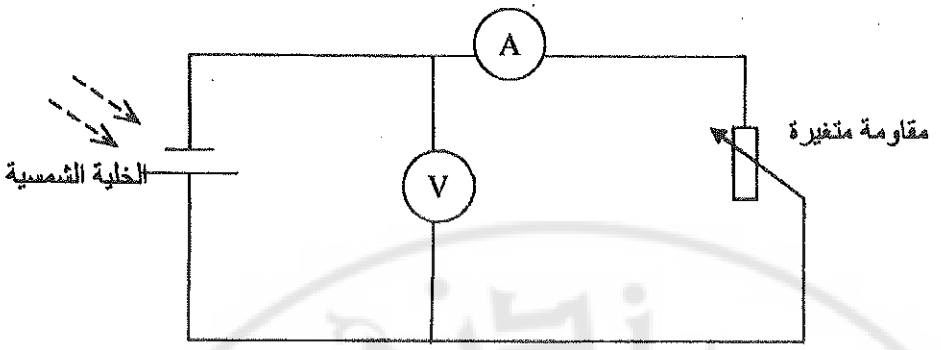
خلية شمسية ، مصباح -مقياس فولط ومقياس أمبير

-مقاومة متغيرة (أومعدلة)- لوحة توصيل -أسلاك

مراحل العمل:

<u>أولاً</u>:دراسة المنحنيات المميزة I=f(v) من أجل شدات ضوئية مختلفة(بتغير البعد بين المنبع و الخلية)

1- صل الدارة كما هو مبين في الشكل(6)



الشكل(6)

2- ضع المصباح على بعد عن الخلية بمقدار d=20cm

3- سجل قراءة كل من شدة التيار I و الجهد v عند أوضاع مختلفة للمقاومة المتغيرة مبتدئاً بقيم صغيرة (A→G) في الجدول التالي :

d=20cm

R الخارجية	G	F	E	D	C	B	A
I(mA)							
V(v)							

4- ارسم الخط البياني لتحولات I(mA) بدلالة V أي I=f(V)

5- عين شدة تيار الدارة المقصورة (I_g) وجهد الدارة المفتوحة (V_{oc})

6- أعد التجربة من أجل بعد اخر بين المنبع الضوئي و الخلية الشمسية و ليكن d=25cm مراعياً تسلسل الخطوات 3,4,5 مع رسم الخط البياني لتحولات I(mA) بدلالة V على نفس الورقة الميليمترية(الخطوة الرابعة) ، ماذا تستنتج؟

ثانياً:حساب استطاعة الخلية P ودراسة العلاقة بين P و المقاومة الداخلية للخلية R :

1- استخدم الدارة نفسها

2- ثبت المقاومة المتغيرة على الوضع d مثلاً حتى يثبت التيار عند قيمـــة معينة و لتكن 30mA

3- غير البعد بين المصباح الضوئي و الخلية بحيث تأخذ قيم شدة التيار 30;25;20;15;.....

4- قس في كل مرة الجهد الموافق بين طرفي الخلية

5- سجّل النتائج في الجدول التالي:

رقم التجربة	I(mA)	V(mv)	P=VI	R=V/I Ω
1	30			
2	25			
3	20			
	. .			
	2			

6- ارسم الخط البياني لتحولات P بدلالةR (المقاومة الداخلية) ،ماذا تستنتج؟

7- حدد من على الخط البياني P_{max} و قارن هذه القيمة بالجداء $I_s V_{oc}$ عند نفس الشروط (فيما يتعلق بالبعد بين المصباح و الخلية)

8- ارسم الخط البياني لتحولات P بدلالة V

9- ارسم الخط البياني لتحولات P بدلالة I

10-اكتب ملاحظاتك و استنتاجاتك.

مقدمة في القياسات الحرارية

لوصف أي علم رياضياً يجب أن تكون له مجموعة من التوابع والمتحولات الخاصة ومتحولات مساعدة للدراسة، و بعض الثوابت الضرورية التي ينبغي حسابها. ولكل علم أيضاً منهجه الخاص في البحث عن القوانين التي تحكم الظواهر موضوع بحثه، وأساليب تطبيقها في الواقع .

تبدأ مواضيع الفيزياء الحرارية من علم الترموديناميك باستعمال جملة من الإحداثيات المتمثلة في الضغط P والحجم V ودرجة الحرارة T والانتروبية S وعدد المولات n، والطاقة الداخلية U، وتكون حالة الجملة في علم الترموديناميك تابع من الشكل :

$$f(P, V, T, S, U) = 0$$

ترتبط المتحولات الإحداثية لهذا التابع في التحولات التوازنية و يمكن استخدام توابع مكان المتحولات و بالعكس، و ما يحكم حالة الجملة هو عدد المتحولات المستقلة الكافية لوصف الجملة. و في الظروف المثالية تمثل بمعادلة من الشكل :

$$f(P, V, T) = 0$$

نعرف من هذه التوابع ، قانون الغاز الكامل، و التي هي من الشكل :

$$PV = nRT$$

و بالتالي فإن عدد المتحولات المستقلة في حالة الغاز الكامل اثنان ويكون الثالث تابعا لهما. و كذلك علاقة فاندرفالس التي هي من الشكل:

$$\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = nRT$$

ونلاحظ أن هذه المقادير يمكن قياسها للجمل الكبيرة (نسبة للذرات والجزيئات) و هي تمثّل وسطي إحصائي لخواص ذرات أو جزيئات لحجم ما من الجملة.

أ – الضغط P

هو إحداثي يصف وسطي القوى الداخلية أو الخارجية التي تؤثّر في جدران الوعاء نتيجة تصادم الذرات أو الجزيئات، و يولد اختلاف الضغط بين منطقتين حركة في المادة الحرّة بحيث تميل الجملة لتساوي الضغوط فيما بين أجزائها، مثل حركة الكتل الهوائية وتيارات الماء في المحيطات، وتيارات الحمل قرب الموقد وفي وعاء الطهي، وفي الأوعية المغلقة، والقوارير وما شابه، فهي حركة انتقال المادة من منطقة ذات ضغط مرتفع إلى منطقة ذات ضغط منخفض.

ب – الحرارة T

إحداثي يصف وسطي الطاقة الحركية للذرات أو الجزيئات المكونة للمادة والتي تتحرّك عشوائياً في الحالة العامّة، وفي الحد الفاصل بين منطقتين مختلفتين بدرجات الحرارة تتصادم الذرات أو الجزيئات ، وتتبادل الطاقة الحركية حتى يعتدل وسطي كميات الحرارة، ويحدث أثناء ذلك تدفق للطاقة متجهة من المنطقة ذات درجات الحرارة الأعلى، إلى المنطقة ذات درجات الحرارة الأخفض.

ج – الحجم V

إحداثي يعبّر عن حجم المادة المدروسة، وتغيراتها هي تغيرات في الأبعاد الحقيقية بين مراكز ذرات أو جزيئات المادة المكونة.

د – عدد المولات n

المول هو وحدة قياس كمية المادة، ويسهل تحويلها إلى عدد ذرات أو كتلة أو حجم بمساعدة مفاهيم الكثافة ρ والوزن الغرامي M وعدد أفوغادرو N.

مثلاً الوزن الغرامي لجزيء الهدروجين H_2 هو 2g ، أي إن وزن مول واحد من جزيئات الهدروجين هو 2g، وكل مول يحوي عدد أفوغادرو من الذرات أو الجزيئات، إذن 2g من H_2 تحوي $6,02 \cdot 10^{23}$ جزيء، وحجم هذا

الغاز في الشروط النظامية letter 22,4 . وهذا صحيح من أجل كل الغـازات ، ويفيد عدد المولات في السوائل والمواد الصلبة إذا استعملنا قيمة كثافة المادة ρ .

و نظراً لصعوبة دراسة الجمل بثلاث متحولات (P, V, T) تدرس الجمـل الترموديناميكية عادةً في إطار ثلاث حالات خاصّة رئيسية :

أ – متساوي الدرجة، أي لا تتغير درجة الحـرارة أثنـاء التحـول الترموديناميكي dT = 0.

ب – متـساوي الحجـم، أي لا يتغيـر الحجـم أثنـاء التحـول الترموديناميكي dV = 0.

ج – متساوي الـضغط ، أي لا يتغيـر الـضغط أثنـاء التحـول الترموديناميكي dP = 0.

ويمكن عملياً تحقيق ذلك بإجراء التجارب بتحولات شبه سكونية، أي التغيرات فيها بطيئة جداً أو صغيرة القيمة .

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الحرارة النوعية

الغاية من التجربة : قياس الحرارة النوعية لمواد صلبة

تمهيد نظري :

عند تقديم كمية من الحرارة Q لجسم ما فإن درجة حرارته ترتفع بمقدار ΔT .
إن نسبة Q على ΔT تسمى بالسعة الحرارية للجسم ويرمز لها ب C أي أن :

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \qquad (1)$$

ووحداتها هي حريرة / درجة حرارة مئوية

وإذا كانت $\Delta T = 1$ فان السعة الحرارية عندئذ هي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة الجسم درجة مئوية واحدة .

إذا كانت كتلة الجسم هي m فان نسبة السعة الحرارية على الكتلة m تسمى بالسعة الحرارية النوعية أو اختصارا بالحرارة النوعية والتي تعرف على إنها = كمية الحرارة اللازمة لرفع حرارة وحدة كتلة المادة درجة واحدة .

$$c = \frac{Q}{m\Delta T} \qquad (2)$$

ومن هذه العلاقة نكتب :

$$Q = c\,m\,.\,\Delta T = c\,m\,(T_2 - T_1) \qquad (3)$$

وواحدة الحرارة النوعية هي حريرة /كغ درجة مئوية.

يمكن قياس الحرارة النوعية للمواد عن طريق استخدام المسعر المائي الذي هو عبارة عن وعاء معدني ذي جدران رقيقة A ومزود بغطاء يمر منه ميزان حرارة B وعادة يحاط المسعر بغلاف عازل للحرارة D انظر الشكل (1).

الشكل (1)

والطريقة المتبعة لقياس الحرارة النوعية لمادة صلبة هي التالي :

تسخن كتلة محددة m_s من المادة التي يراد قياس حرارتها النوعية في فرن أو حمام بخاري ولتكن درجة حرارة المادة بعد التسخين T_s وحرارتها النوعية المطلوب قياسها C_s . وإذا كانت كتله المسعر m وحرارته النوعية c وكتلة الماء داخل المسعر m_1 ودرجة الحرارة الابتدائية للمسعر مع الماء الموجـود فيه T_1. بعد وضع المادة الصلبة في المسعر تصبح درجة حرارة التوازن T_0.

وحسب قانون انحفاظ الطاقة يمكن أن نكتب :

$$m_s c_s (T_s - T_0) = m_{(1)} \times 1 (T_0 - T_1) + mc(T_0 - T_1)$$

أو

$$m_s c_s (T_s - T_0) = (m_1 + mc)(T_0 - T_1) \qquad (4)$$

علماً بأن : الحرارة النوعية للماء = 1حريرة/غرام.درجةمئوية

يمكن من هذه العلاقة حساب C_s حيث إن جميع عناصر العلاقة معلومة

ملاحظة : يمكن أن تعد mc في العلاقة (4) تكافئ زيادة كتلة الماء بالقدر mc لذا يسمى هذا المقدار بالمكافئ المائي للمسعر.

الأدوات والاجهزة المستخدمة :

(1) حمام مائي يحتوي على فتحتين الأولى لوضع ميزان الحرارة والثانية توجد في منتصف الوجه العلوي للحمام المائي لوضع الأسطوانة النحاسية ، حيث أن هذه الأسطوانة مفتوحة من الطرفين واحدهما مشطوف بزاوية 45° لوضع المادة الصلبة المراد قياس حرارتها النوعية .

(2) ميزان حرارة

(3) ميزان عادي

(4) كرات صلبة(زجاج ورصاص)

(5) مخلط زجاجي (لخلط الماء مع الكرات من اجل التوازن الحراري) .

مراحل العمل :

1-املأ الحمام المائي بالماء حتى منتصفه تقريبا

2- زن الوعاء الداخلي للمسعر فارغا ولتكن كتلته mغرام، ثم املأ الوعاء الداخلي من المسعر لحو ثلثه ماء وزنه من جديد ولتكن كتلته مع الماء m_2غرام

فتكون كتله الماء الذي بداخله m_1 غ أي: $m_1 = m_2 - m$

3- ضع كمية لا تقل عن 20 غ من كرات الرصاص في الأسطوانة وهي m_s ثم ضعها في الحمام المائي مع الانتباه إلى وضع الأسطوانة داخل الحمام المائي بحيث يكون وجهها المشطوف من الداخل حتى لا تسقط الكرات المدروسة من فتحه الحمام المائي

4- ضع ميزان الحرارة داخل الحمام المائي بالمكان المحدد له A داخل السدادة المطاطية

5- سخن الكرات الصلبه لفترة كافيه داخل الحمام حتى تستقر درجة الحرارة عند t_s.

6- قس درجة حرارة الماء في الوعاء الداخلي للمسعر بعد التخليط جيدا ولتكن t_1 (وهي درجة حرارة الماء ووعاء المسعر قبل إدخال الكرات المسخنة إليه)

7- ضع الوعاء الداخلي للمسعر تحت ثقب علبة الحمام المائي ثم أدر الأسطوانة B حتى تسقط الكرات الساخنة داخل المسعر بسرعة وحرك جيدا المزيج وسجل درجة حرارة التوازن ولتكن t_0

8-احسب الحرارة النوعية للمادة الصلبة c_s بالتعويض في العلاقة(4) مع العلم بأن السعة الحرارية النوعية لمادة المسعر هي:

c=0,09 حريرة/غرام.درجة مئوية لمادة الألمينيوم

c=0.22 حريرة/غرام.درجة مئوية لمادة النحاس

9- نظم نتائجك في جدول كالتالي

رقم التجربة	m_s غرام	M2 غرام	m غرام	T_1 درجة مئوية	T_s درجة مئوية	T_0 درجة مئوية	حريره c غرام × درجة مئوية
1							
2							
							القيمة الوسطية

10- احسب الارتياب والأخطاء المرتكبة في قياس الحرارة النوعية c من العلاقة (4)

11- أعد التجربة السابقة من أجل كرات الزجاج مراعيا المراحل كافةً.

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

السعة الحرارية

الغاية من التجربة

1- حساب السعة الحرارية للماء.

2- حساب السعة الحرارية لسائل مجهول باستخدام سعة حرارية لمادة معلومة.

3- حساب السعة الحرارية لمادة صلبة مثل المعادن

تمهيد نظري

يختلف المعنى الفيزيائي لكمية الحرارة التي تدخل في جسم مادي عن الدلالة الفيزيائية لدرجة الحرارة المقاسة، ولا يبدأ الجسم بالسخونة إلا بعد أن يأخذ طاقة حرارية بقدر سعة المادة المستعملة من الحرارة، وكلما زادت كمية المادة لزم كمية حرارية أكبر ارفع درجة حرارتها، وهذا ما نسميه بالسعة الحرارية.

تعرف السعة الحرارية لمادة ما بأنها كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة المادة درجة مئوية واحدة، تؤخذ قريبة من درجة حرارة الغرفة. ونقدّرها بالوحدة $J/^0K$ أو [cal/C°].

تتغير السعة الحرارية للمواد وخاصة الموائع و الغازات بتغير درجة الحرارة وتغير الضغط. وهذا التغير يتبع علاقات تجريبية بعضها معروف كما في حالة الماء وبخار الماء وما شابه. أما من أجل الأجسام الصلبة فإن السعة الحرارية لها تكون ثابتة في درجات الحرارة المرتفعة و تساوي السعة الحرارية المولية الى المقدار :

$C_m = 3R = 25\ J/mol^0.K$ (وهي السعة الحرارية من أجل مول واحد من المادة و هي مستقلة عن نوع المادة) و هذه العلاقة تعرف بقانون دولنغ- بتي.

لرفع درجة حرارة الجسم يجب اعطاؤه كمية من الحرارة (طاقة حرارية)، و هذه الكمية عادة تكون متناسبة مع مقدار تغير درجة حرارة الجسم، و بالتالي يمكن التعبير عن ذلك رياضيا بالعلاقة:

$$\Delta Q = C\Delta T \qquad (1)$$

حيث ΔT- مقدار تغير درجة حرارة الجسم مقدرة ب K^o أو C^o. و ΔQ- كمية الحرارة اللازمة لتغيير حرارة الجسم بالمقدار ΔT. أما معامل التناسب بينهما C- فانه يتعلق بالمادة المدروسة، و يدعى بالسعة الحرارية للمادة. و بالتالي نستطيع تعريف السعة الحرارية للمادة وفقا للعلاقة (1) بأنها حاصل قسمة كمية الحرارة المقدمة للجسم ΔQ على مقدار تغير درجة حرارته ΔT. أو بالعلاقة :

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T} \qquad (2)$$

من المعلوم أنه عند مزج سائلين مختلفين بدرجة حرارتيهما سوف يحدث بينهما توازن حراري بعد فترة زمنية محددة. و بالتالي يصبح للمزيج درجة حرارة واحدة و لتكن T_m. فإذا فرضنا أن درجة حرارة السائل الساخن الأول هي T_1 و درجة حرارة السائل الثاني الأقل حرارة هي T_2. فإن كمية الحرارة المنتقلة من السائل الساخن الى السائل البارد تعطى بالعلاقة:

$$Q_1 = C_1(T_1 - T_m) \qquad (3)$$

أما كمية الحرارة الممتصة من قبل المادة الباردة تعطى بالعلاقة:

$$Q_2 = C_2(T_m - T_2) \qquad (4)$$

و عند حدوث التوازن الحراري بينهما تكون المعادلتان (3) و (4) متساويتين، إذ نستطيع أن نكتب:

$$\frac{C_1}{C_2}=\frac{T_m-T_2}{T_1-T_m} \qquad (5)$$

فعند معرفة السعة الحرارية للمادة العيارية و لتكن الماء مثلاً، نستطيع حساب السعة الحرارية لأي مادة أخرى باستخدام المعادلة (5).

من المعلوم أن الطاقة الحرارية التي نقدمها للجسم يمكن حسابها من خلال الطاقة الكهربائية المستخدمة و التي يمكن حسابها من العلاقة:

$$E=V.I.t \qquad (6)$$

حيث V- فرق الجهد (الكمون) المطبق بين طرفي المقاومة التي تعطي الحرارة للمادة المدروسة.و I-شدة التيار المار في الدارة، t- زمن تسخين المادة المدروسة بمقدار ΔT درجة . و بالتالي نستطيع باستخدام المعادلتين (1) و (6) أن نكتب:

$$V.I.t=C\Delta T \qquad (7)$$

إذ نستطيع من هذه المعادلة حساب السعة الحرارية بالعلاقة:

$$C=\frac{V.I.t}{\Delta T} \qquad (8)$$

حيث تقدر C في هذه العلاقة ب J/K^0 . أما اذا أردنا أن نقدر السعة الحرارية بواحدة : حريرة/ درجة. عندها تصبح المعادلة (8) بالشكل:

$$C(cal/^0K)=\frac{0.24V.I.t}{\Delta T} \qquad (9)$$

يحتاج إجراء التجربة إلى تجهيزات خاصة بهدف عدم ضياع كمية الحرارة المدروسة أو ضياعها في المواد. وأكثر الأجهزة استعمالاً في هذه الحالة هو المسعر.

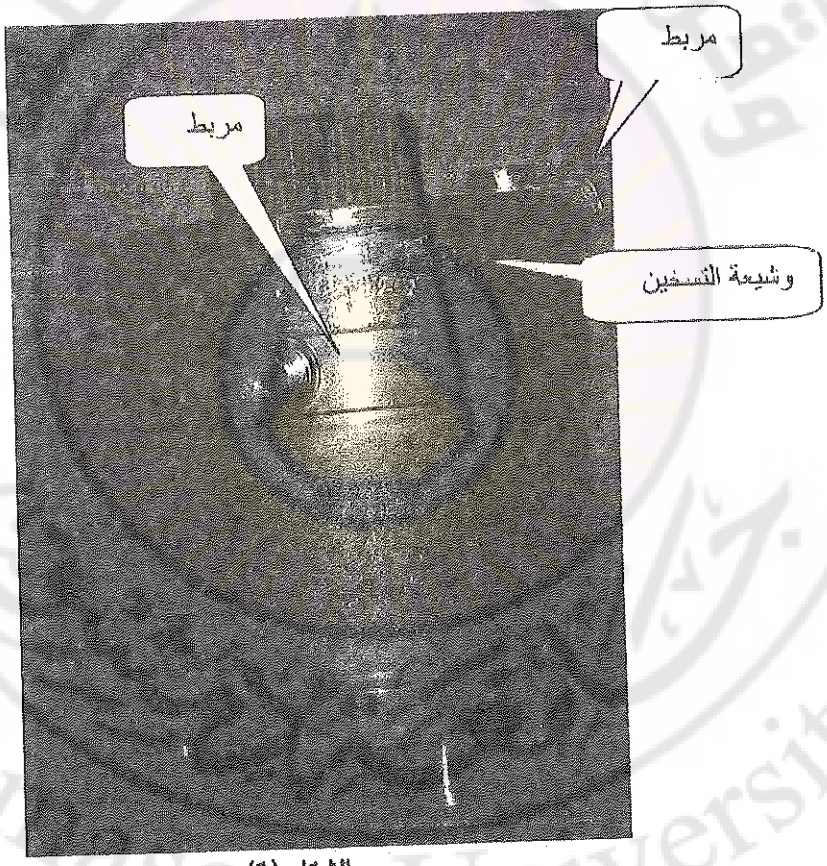
2 – الادوات والاجهزة المستخدمة

1 – مسعر مجهز بوشيعة تسخين (مقاومة أومية) كما في الشكل (2).

2 – مقياس درجة حرارة رقمي متعدّدة القنوات الشكل (6) أو زئبقي.

3 – وحدة تغذية كهربائية بتوتر منخفض.

4 – عدّة حواضن معدنية سميكة (ألمنيوم ونحاس) ذات تجويف مجهّز لحضن مجس حراري، ويتسع لعدّة غرامات من الماء، وعلى جداره الخارجي وشيعة للتسخين الشكل (1).



الشكل (1)

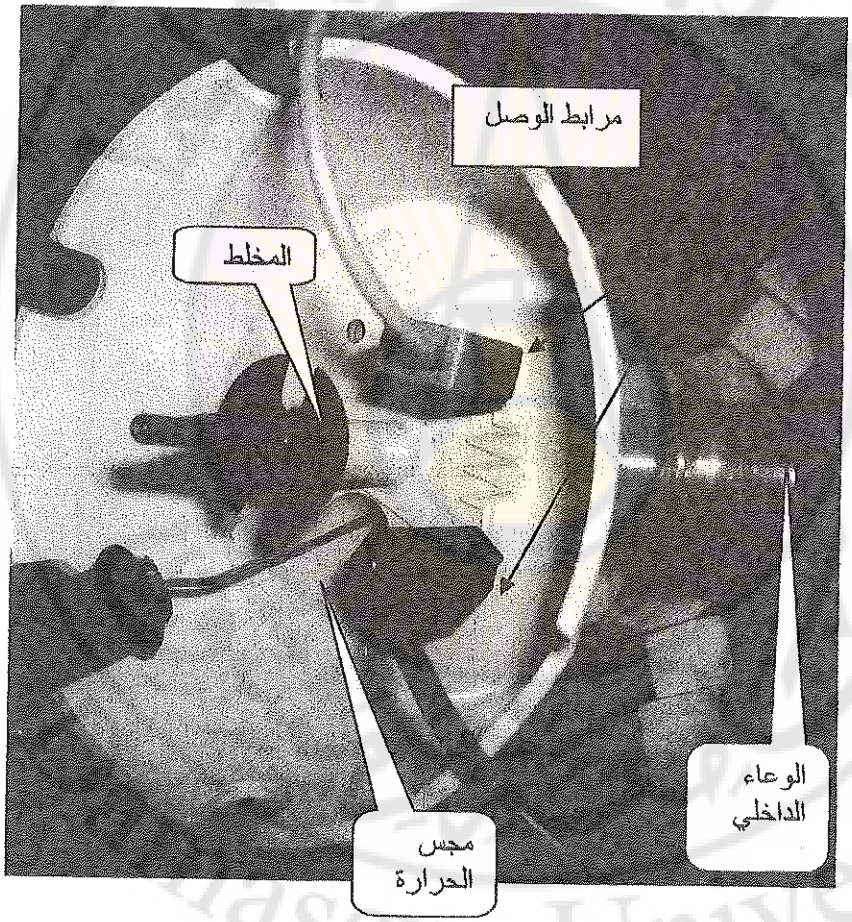
5– سائل مجهول لحساب سعته الحرارية (الكحول).

3 – مراحل العمل

أولا– حساب السعة الحرارية للماء

1 – خذ كمية من الماء (50ml = 50 g) بالوزن أو بالأنبوب المدرج.

2 – ضع الماء في ديوار المسعر (الوعاء الداخلي للمسعر) الشكل (2)، ثم ضع غطاء الوعاء الداخلي الذي يحتوي على وشيعة التسخين مع حلقة التحريك فوق الوعاء الداخلي بحيث يغمر السائل الوشيعة (إذا لم يتحقق ذلك قم بزيادة كمية الماء المستخدم).



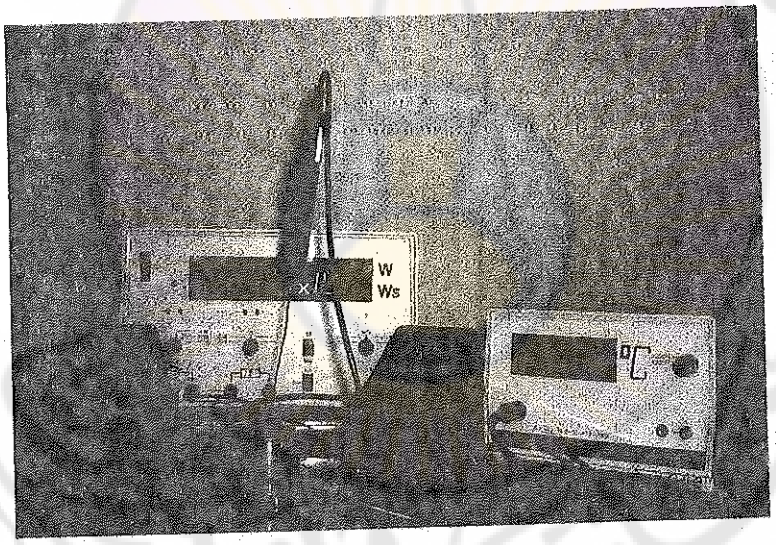
الشكل (2) : أجزاء المسعر المستعمل.

3 – صل المقاومة (وشيعة المسعر) إلى وحدة تغذية متغيرة الجهد ، عن طريق مقياس أمبير موصول على التسلسل مع المسعر لقياس شدة التيار في الدارة I.و مقياس فولط موصول على التفرع بين طرفي المسعر لقياس الجهد المطبق عليه V.

4 – شغّل مقياس درجة الحرارة الرقمي أو استعمل ميزان الحرارة الزئبقي.

5 – سجّل درجة حرارة الماء الموجود في المسعر قبل بدء التسخين و لتكن T_1.

6 – ابدأ بتغذية المقاومة (الوشيعة) بالتيار الكهربائي، و ابدأ بتعيير الزمن وانتظر إلى أن تصبح درجة حرارة الماء T_2، بحيث تكون $T_2 > T_1$ بحوالي أربع درجات، وأثناء ذلك سجّل قراءة مقياس الأمبير و كذلك قراءة مقياس الفولط.و سجّل النتائج في الجدول (1).



الشكل (3) : وصل المسعر إلى أجهزة التجربة.

7 – احسب السعة الحرارية للماء من العلاقة (8)

8 – أعد التجربة مرّة أخرى من أجل وزن ماء مختلف g(200 – 150 – 100) و ضع النتائج في مكانها من الجدول (1) و قم بحساب السعة الحرارية لكل حالة من العلاقة (8) .

الجدول (1)

رقم التجربة	وزن الماء m(g)	درجة الحرارة الابتدائية T_1	درجة الحرارة بعد التسخين T_2	تغير درجة الحرارة $\Delta T = T_2 - T_1$	زمن التسخين t(s)

تتمة الجدول (1) السابق

الجهد V بالفولط	التيار I بالأمبير	الطاقة الكهربائية P= V I t (J)	السعة الحرارية C(J/K)

ماذا تستنتج من قيم السعة الحرارية المحسوبة في الجدول (1)؟

ثانياً- حساب السعة الحرارية لمادة سائلة مجهولة بمزجها مع مادة معلومة.

1- ضع 100غرام من الماء في ديوار المسعر (الوعاء الداخلي للمسعر)، ثم ضع غطاء الوعاء الداخلي الذي يحتوي على وشيعة التسخين مع حلقة التحريك فوق الوعاء الداخلي بحيث يغمر السائل الوشيعة .

2- سخن هذه الكمية من الماء حتى الدرجة $T_1 = 40\ C^0$

3- خذ كمية من المادة المجهولة و لتكن 25غرام و درجة حرارتها T_2 مساوية الى درجة حرارة المختبر.

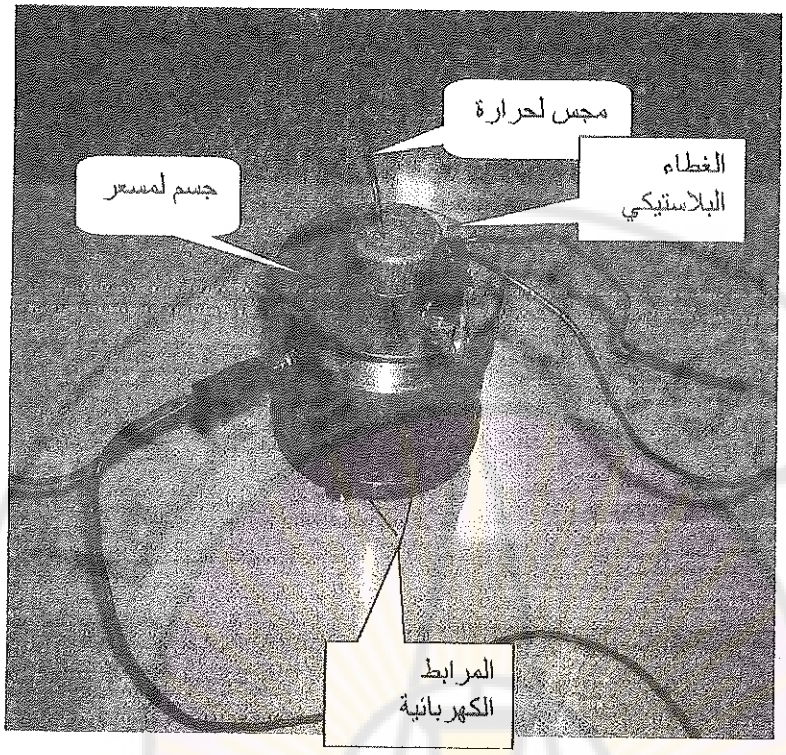
4- أضف المادة المجهولة إلى الماء الموجود في الوعاء الداخلي للمسعر و حرك المزيج حتى ثبات درجة حرارة المزيج، سجل هذه الدرجة و لتكن T_m. استخدم العلاقة (5) لحساب السعة الحرارية للمادة المجهولة، على اعتبار أن السعة الحرارية للماء معلومة من الفقرة السابقة.

ثالثاً- قياس السعة الحرارية لمادة صلبة .

لا يتغير تعريف السعة الحرارية عند استخدام مادة صلبة، ولكن المادة الصلبة ذات سعة حرارية أقل بمراتب من الموائع مما يدعو إلى استخدام إجراءات عزل وأجهزة قياس أكثر دقة.

في التجربة الحالية لدينا ثلاث اسطوانات من الألمنيوم والنحاس مختلفة في الطول. جدار الأسطوانات ثخين وفيه تجويف صغير للماء لوضع المجس الحراري أو المقياس الزئبقي. و على الجدار الخارجي وشيعة كهربائية بهدف التسخين الشكل (4).و لإجراء العمل التجريبي اتبع ما يلي:

1 – افتح الأسطوانة من غطائها البلاستيكي بالفتل وانزع العازل، تعرّف إلى داخل التجويف في الداخل فهو صغير ويتسع للقليل من الماء فقط، ستجد في قعره ثقب صغير مخصص لوضع المجس الحراري الشكل (4).



الشكل (4) : مخطط المسعر المستخدم.

2 – ضع قليلاً من الماء في التجويف وسجّل كميتها من الأنبوب المدرج الذي تصب منه الماء، وهي كمية يمكن إهمال ما تأخذه من حرارة.

3 – صل مقبصي الوشيعة على الأسطوانة إلى وحدة التغذية جهد منخفض باستخدام أسلاك الوصل الخاصة.

4 – صل جهاز قياس فرق الجهد على التفرع، ومقياس أمبير على التسلسل كما في الشكل (5). هذا إذا لم يتوفر مقياس استطاعة وعمل.

5 – طبق على الوشيعة جهدا حوالي 20V .

6 – عند بدء مرور التيار الكهربائي في الوشيعة أي في الزمن: $t = 0$ تكون درجة حرارة الاسطوانة المدروسة $T_1 = T_0$ (درجة حرارة الجو).

7- قم بتسجيل درجة حرارة الأسطوانة بعد 30 ثانية.

8 – احسب الطاقة الكهربائية E من العلاقة (6).

9- احسب السعة الحرارية للاسطوانة المدروسة من العلاقة :

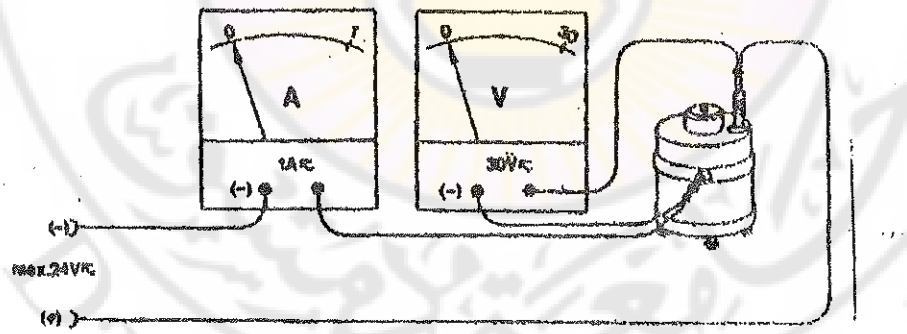
$$E = (C_k + C_w + C_t) \cdot \Delta T$$

C_k – السعة الحرارية للاسطوانة المدروسة .

C_w – السعة الحرارية لغرام واحد من الماء $C_w = 4.2\ J/^0K$.

C_T – السعة الحرارية لمقياس الحرارة (يمكن إهماله) وللمقياس الزجاجي وهي حوالي $5\ J/^0K$.

10- كرر العمل السابق من أجل الاسطوانات الأخرى و ضع النتائج في الجدول (2).



الشكل (5) : وصل عن طريق أجهزة جهد وتيار.

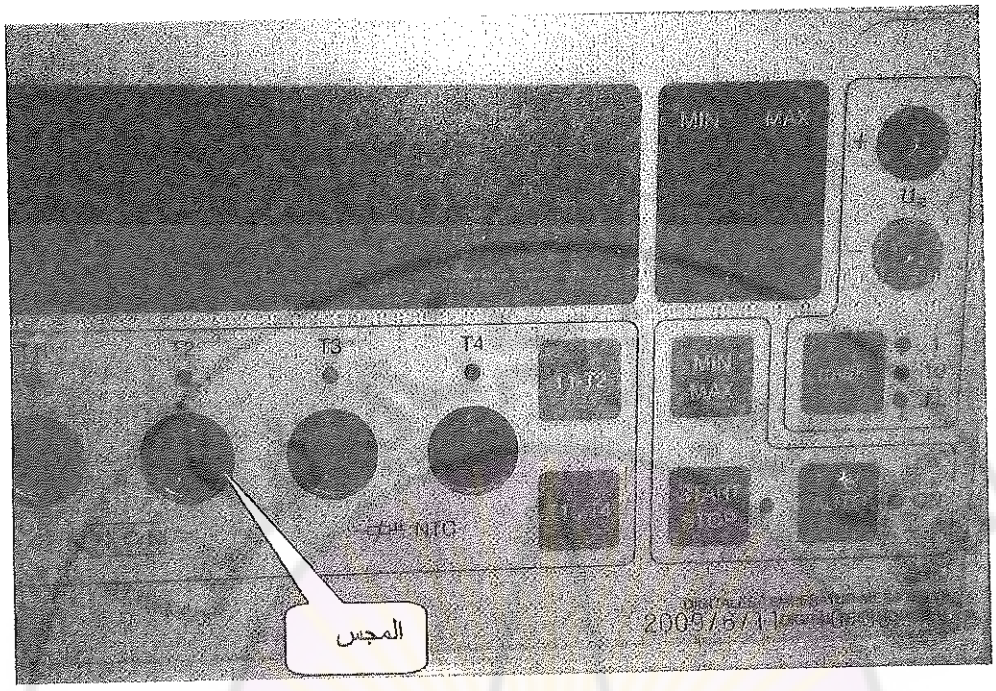
الجدول (2)

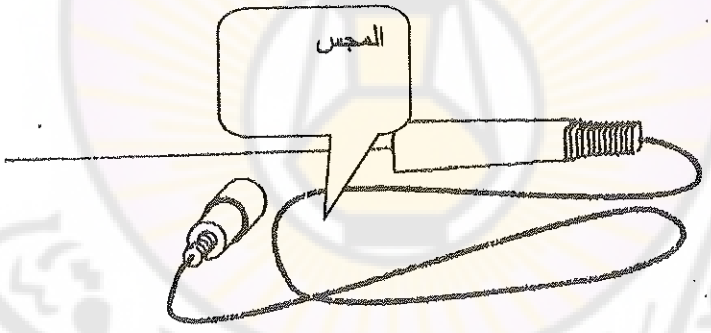
		$T_1 = T_0 (c^0)$				
رقم التجربة	نوع اسطوانة المسعر	t [s] زمن تسخين المسعر	T_2 $[C^0]$	$\Delta T = T_2 - T_0$	C $J/kg.k^0$	E (J)
1						
2						
3						
.						
.						

11 – سجل ملاحظاتك حول السعة الحرارية للمواد الصلبة والسائلة.

12 – احسب الارتياب في حساب السعة الحرارية للمادة الصلبة .

Damascus University





الشكل (6)

Damascus University

دورة المحرك الحراري العكسية (المبرد)

- الغاية من التجربة

1- حساب مردود عملية التبريد ودراسة تغيراتها.

2- قياس تغير الضغط P ودرجة الحرارة T في دورة مادة التبريد.

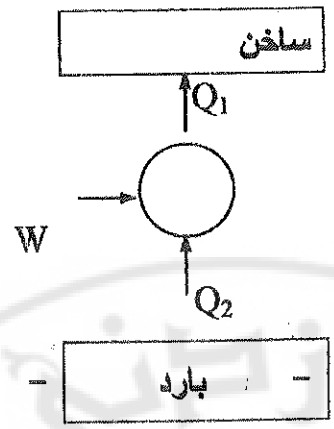
3- دراسة تغيرات درجة الحرارة في الوسط المبرد والوسط المسخن كتابع للزمن.

تمهيد نظري

تنتقل الحرارة بصورة طبيعية من الجسم الساخن (ذي درجة الحرارة المرتفعة) إلى الجسم الأبرد (الأقل درجة حرارة)، فإذا أردنا نقل الحرارة بالاتجاه المعاكس من الجسم البارد إلى الأسخن فإنه يتعين تقديم عمل من الجملة الخارجية إلى الجملة المدروسة أي أن هذه العملية لا تتم بصورة تلقائية. كما يحدث تماماً في حالة سقوط الماء من مستوى مرتفع إلى مستوى أخفض منه تلقائياً ودون تقديم عمل، لكن إذا أردنا نقل الماء من مستوى منخفض إلى أعلى فإنه يلزم تقديم عمل للماء لإنجاز ذلك، مثلاً كحمله بالأيدي أو باستخدام الناعورة أو الحبال أومضخة (محرك) كهربائي... الخ.

نسمي عملية نقل الطاقة أو المادة من مستوى طاقي منخفض إلى مستوي طاقي مرتفع بالضخ. وبالمثل نسمي عملية نقل الحرارة من جسم بارد إلى ساخن بالضخ الحراري، وأشهر مثال نعرفه في حياتنا العملية اليومية هو البراد الذي يعتبر مضخة حرارية وظيفتها نقل الحرارة من داخل حجرة البراد إلى خارجها الأكثر سخونة.

يمثّل مخطط عمل البراد بالمخطط التالي:



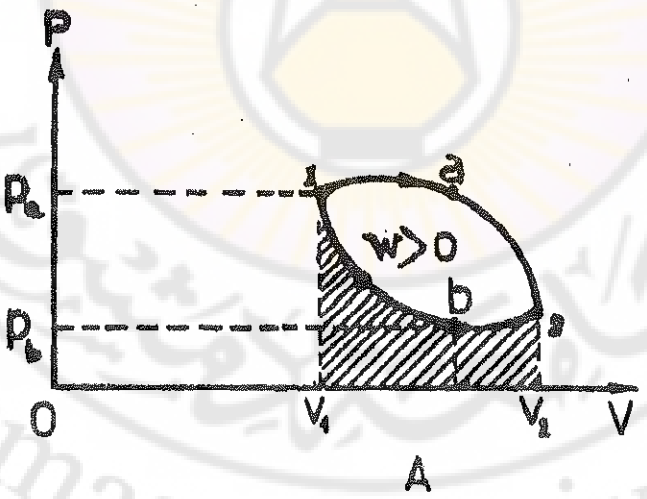
الشكل (1)

حيث: W – العمل المقدم من الجملة (الوسط) الخارجية.

Q_1 – كمية الحرارة المضافة الى الحجرة الساخنة.

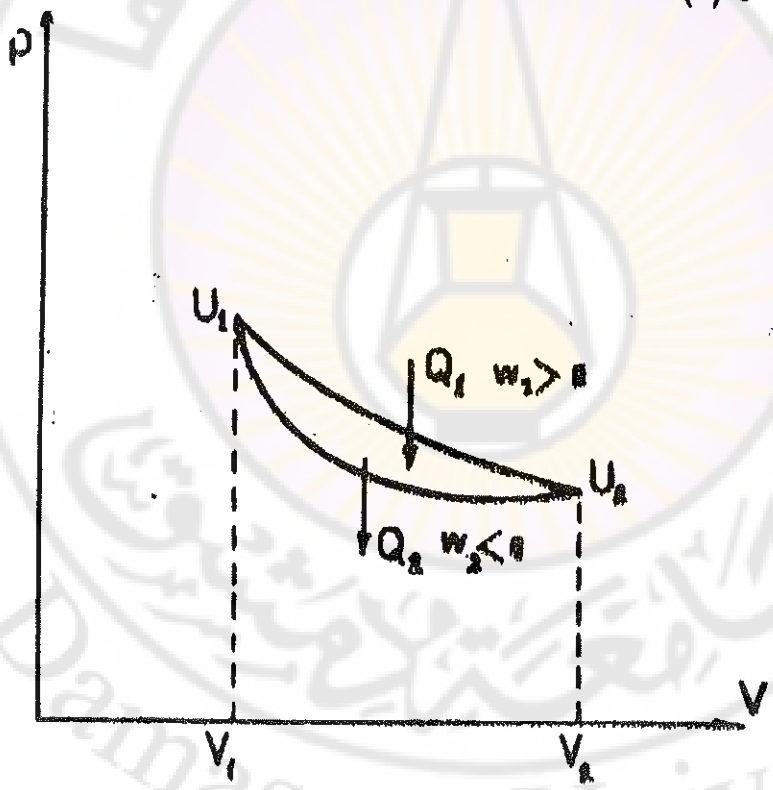
Q_2 – كمية الحرارة المسحوبة من الحجرة الباردة .

ويعرف التحول الدوري بأنه التحول الذي تعود بنتيجته الجملة الترموديناميكية الى حالتها الابتدائية عبر سلسلة من التحولات المتوازنة كما في الشكل (2).



الشكل (2)

و صفة الدورية تشترك فيها جميع التحولات الحرارية التي تجري في الآلات الحرارية. فإذا كانت الجملة الترموديناميكية (الغاز) تتمدد من الحجم V_1 الى الحجم V_2 ومن ثم تقلصت بالعكس من V_2 الى V_1 و ذلك بحسب الشكل (2)، فان العمل الكلي الناتج عن هذه الدورة يكون موجبا $W > 0$ لأن العمل الناتج من التمدد أكبر من العمل الناتج عن الانضغاط (التقلص) . و بالتالي نحصل من خلال هذه الدورة على عمل مفيد، قيمته تساوي الى مساحة سطح الدورة. من جهة ثانية ، و خلال عملية التمدد تمتص الجملة طاقة حرارية قدرها Q_1 ، كما تطرح خلال عملية التقلص كمية من الطاقة الحرارية قدرها Q_2، الشكل (3).



الشكل (3)

بحسب القانون الأول في الترموديناميك المعبر عنه بالعلاقة:

$$Q = \Delta U + W \qquad (1)$$

حيث ΔU تغير الطاقة الداخلية في تحول ما و Q كمية الحرارة المتبادلة و هي موجبة اذا أخذتها الجملة (المادة) و سالبة إذا أعطتها الجملة الى الوسط، و W العمل المقدم خلال التحول و هو موجب إذا أعطته الجملة الجملة

و بما أن المادة العاملة تعود الى حالتها الابتدائية ، فهذا يعني أن تغير طاقتها الداخلية معدوم، أي $\Delta U = 0$، و بالتالي يصبح شكل القانون الأول :

$$Q = W \qquad (2)$$

لكن : $Q = Q_1 - Q_2$، فتصبح المعادلة (2) بالشكل:

$$Q_1 - Q_2 = W \qquad (3)$$

و هذا المقدار موجب لأن $W > 0$ و بالتالي $Q_1 - Q_2 \rangle 0$ أي $Q_1 \rangle Q_2$.

إن الدورة المعرفة وفق الشكل (2) و التي تتم وفق اتجاه دوران عقارب الساعة تسمى **بالدورة الترموديناميكية المباشرة (الأمامية)**، و ينتج منها عمل مفيد. وهذه الدورة تقوم عمليا بنقل الحرارة من المنبع الساخن الى المنبع البارد. وقد جرت العادة على تقدير كفاءة المحرك (الآلة) الحراري أو جودة عمله من خلال ما يعرف **بمردود الدورة الترموديناميكية** التي يتم انجازها فيه. هذا المردود يعرف بنسبة العمل المفيد خلال الدورة W الى كمية الحرارة الممتصة من المحيط Q_1 ، وفق الشكل (2).و يعرف رياضيا بالعلاقة:

$$\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - |Q_2|}{Q_1} = 1 - \frac{|Q_2|}{Q_1} \qquad (4)$$

تبين المعادلة (4) أن المردود η دوما أصغر من الواحد أي $\eta < 1$.

عند تنفيذ الدورة السابقة في اتجاه عكس دوران عقارب الساعة، يكون عمل الانضغاط أكبر من عمل التمدد. عندها يجب بذل عمل خارجي على الآلة

الحرارية لإتمام عملها. و في هذه الحالة سوف تنتقل كمية من الحرارة Q_2 من المنبع البارد إلى المستقبل الحراري الساخن. و كذلك ينتقل العمل الخارجي المطبق على الجملة الى المنبع الساخن. و بالتالي نستطيع أن نكتب:

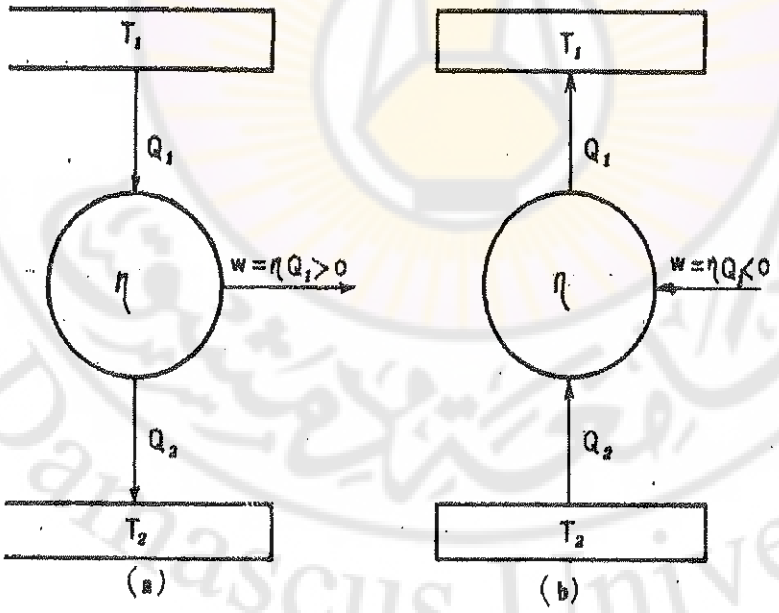
$$Q_1 = Q_2 + W \qquad (5)$$

حيث $W < 0$ و كذلك $Q_1 < 0$ بينما $Q_2 > 0$. لكن $|Q_1| > Q_2$. مثل هذه الدورة تسمى بالدورة العكسية. و هي الدورة المميزة لآلات التبريد.

تسمى فعالية (كفاءة) هذه الدورات **بمعامل التبريد** و نرمز له بالرمز φ و الذي يعرف بأنه النسبة بين كمية الحرارة المأخوذة من المنبع البارد Q_2 الى العمل المقدم من الوسط الخارجي W، أي:

$$\varphi = \frac{Q_2}{W} \qquad (6)$$

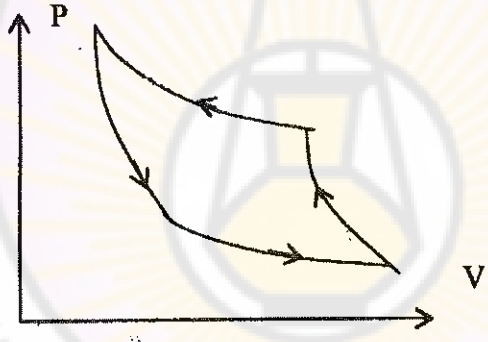
إن الرسم التخطيطي للآلات الحرارية التي تعمل في الاتجاه المباشر و الاتجاه العكسي مبينة في الشكل (4).



يمثل الشكل (4a) الدورة المباشرة التي تعمل بين المنبعين T_1 و T_2 ، حيث T_1 > T_2. بينما يمثل الشكل (4b) الدورة العكسية (التبريد) التي تعمل أيضا بين نفس المنبعين.

1 – دورة كارنو المثالية للبراد

يعمل البراد أفضل ما يمكن إذا أجرينا تحولات مغلقة للمادة العاملة تمثل بمجموعها دورة تسحب الحرارة من خزان حراري بارد وتلقيها في خزان حراري ساخن بالنسبة للأول، ويتم ذلك بالاستفادة من عمل خارجي يقدمه الوسط المحيط للجملة التي تقوم بهذه الدورة. وأفضل نموذج لها هو دورة كارنو العكوسة نفسها التي يمكن أن تعمل في الاتجاهين كبراد و محرك حراري حيث تقوم الجملة بتحولين متساويي الدرجة وتحولين كظومين كما في الشكل (5).



الشكل (5) :

دورة كارنو المثالية لمضخة حرارية (برّاد).

يحدث في هذه الدورة انضغاط كظوم ثم انضغاط متساوي الدرجة، و من ثم تمدد كظوم وتمدد متساوي الدرجة، حيث تعود الجملة إلى وضعها الابتدائي.

من جهة ثانية يمكن البرهان بسهولة على أن مردود الدورة التموديناميكية المباشرة لكارنو يعطى بالعلاقة:

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} \qquad (7)$$

حيث T- درجة الحرارة المطلقة مقدرة بالكلفن. أما معامل التبريد لدورة كارنو العكسية فإنه يرتبط مع مردود الدورة المباشرة بالعلاقة :

$$\varphi = \frac{1}{\eta} - 1 \qquad (8)$$

و منه فإن معامل التبريد يعطى بالعلاقة:

$$\varphi = \frac{T_2}{T_1 - T_2} \qquad (9)$$

حيث T_1 – درجة الحرارة المطلقة للمنبع الساخن. T_2- درجة الحرارة المطلقة للمنبع البارد.

ملاحظة: يتم حساب المردود في هذه التجربة من العلاقة (9) فقط.شريطة تقدير درجة الحرارة بالكلفن.

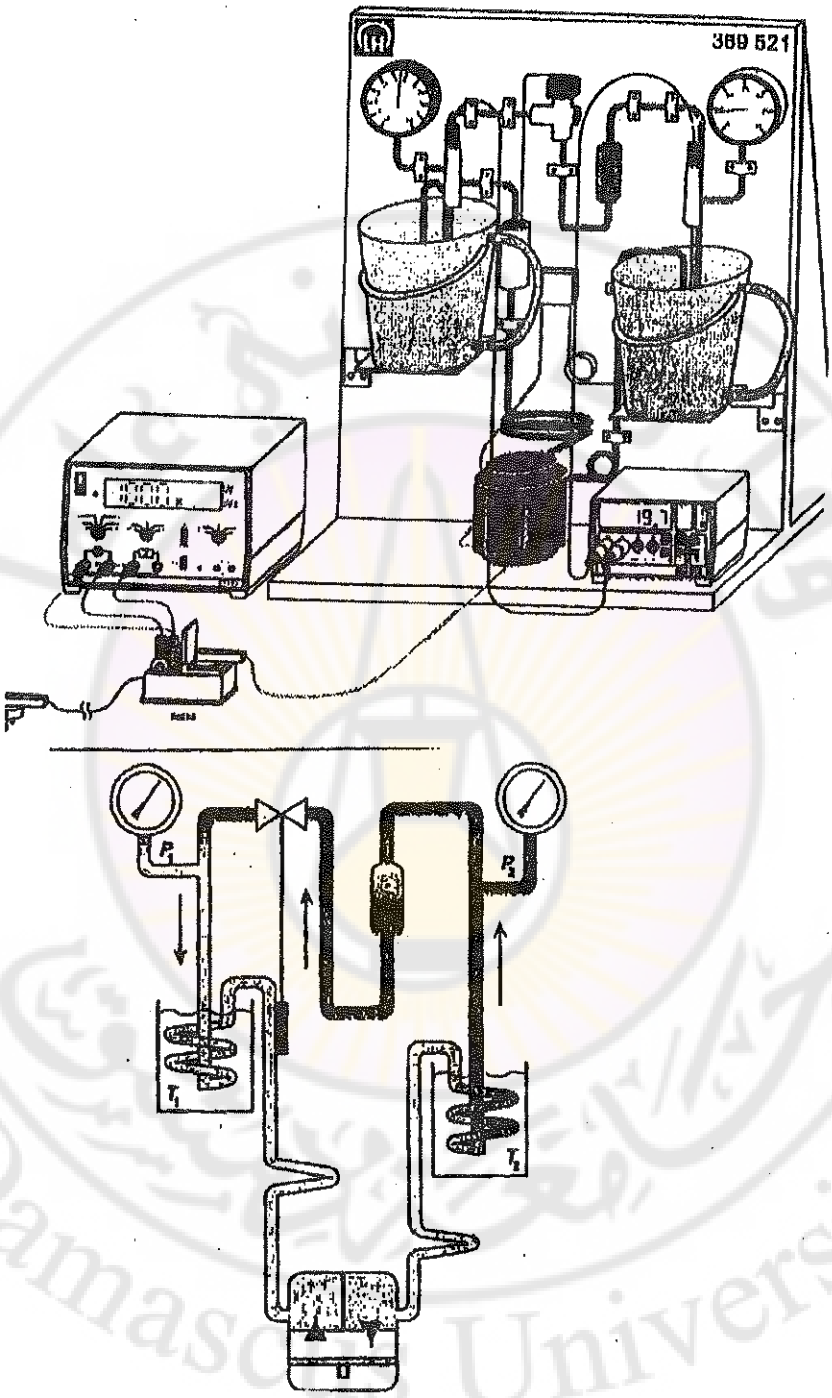
يقوم المحرّك الضاغط الكهربائي بضغط الغاز العامل (الفريون في البرادات القديمة) في شرطي التحولين (كظوم + متساوي الدرجة)، وأثناء ذلك تقدم للجملة كمية العمل W وتخرج كمية الطاقة Q_2 من المنبع البارد و تُلقى في الوسط الخارجي (الخزان الساخن)، وبنتيجة هذين التحولين يتميّع الغاز العامل ، ثم

يحدث التحولين التاليين في خانق مؤلف من فتحة صغيرة وأنابيب ضيقة فنحصل على الغاز من جديد، ولكن أثناء تمدّده يمتص حرارة من منطقة وجوده (وهي حجرة التبريد عادة)، فيبرد الخزان البارد أكثر ويتحول الفريون السائل إلى غاز مرّة أخرى ويدخل الضاغط الكهربائي في دورة جديدة.

يقوم مبدأ عمل البراد على استعمال مادة غازية مناسبة تحمل التيار الحراري المنقول بين الوسط المدروس والوسط الخارجي (حجرة البراد وهواء الغرفة)، حيث يعمل المحرك الكهربائي على ضغط الغاز حتى يتميع فيفقد جزءاً من طاقته الداخلية بالتحول من الحالة الغازية إلى الحالة السائلة، يدخل السائل إلى حجرة البراد التي تسمح له بالتمدد من أنبوب ضيق إلى شبكة من الأنابيب ذات قطر أكبر، مما يسبب ازدياد طاقة المادة داخل الأنابيب (بسحب كمية حرارة من غرفة البراد) متحولاً إلى غاز ثم يخرج من الحجرة ليضغطه المحرك من جديد (طارداً كمية من الحرارة إلى هواء الغرفة).

يبين الشكل (6) مخطط التجربة المطلوب تنفيذها لدراسة هذه العملية، والتي تسمح بإجراء الحسابات اللازمة. البنية الأساسية للمضخة الحرارية هي (محرك ضاغط)، (شبكة نقل الغاز العامل)، (مشعات حرارية)، (أدوات قيادة ومراقبة).
يبين الشكل (7) الأجزاء التي تتألف منها المضخة الحرارية على لوحة التجربة.

Damascus University



الشكل (7) أجزاء لوحة المضخة الحرارية (البراد) .

الأدوات والأجهزة المستخدمة

– لوحة المضخة انظر ملحق في نهاية التجربة للتعرف إلى أجزاء و مبدأ عمل اللوحة.

- وعاء ماء مبرّد سعة 5 ليتر لون أزرق.
- وعاء ماء مسخّن سعة 5 ليتر لون أحمر.
- أنبوبان طول 1 m قطر 6 mm.

– مقياس جول – واط لقياس الاستطاعة أو الطاقة.

– صندوق مقابض كهربائية ووصلات آمنة.

– مقياس درجة حرارة رقمي بأربع مآخذ ، مع المجسات الخاصة فيه.راجع الشكل (6) تجربة السعة الحرارية.

– مقياس زمن (ميقاتية)

مراحل العمل:

1. تأكد من امتلاء الوعاء الأزرق والأحمر بالماء لمستوى 4 لتر على الأقل، ويجب أن يكون المستويين متساويان ، ويفضّل إعادة ملء الوعائين بالماء عند بدء كل تجربة.

ملاحظة: إذا تطلب الأمر تنظيف الأوعية يسحب الرف من تحت كل وعاء ثم تنظف الأوعية وتعاد الى وضعها.

2. تأكد من وجود مجسات حرارية مثبتة في كل وعاء.
3. صل المجسات الحرارية إلى مقياس درجة الحرارة (وضع T_1 و T_2).

(هذه الخطوة غير لازمة في حال استعمال ميزان حرارة زئبقي).

4. تأكد من سلامة وصلات الكهرباء في صندوق المقابض لقياس الاستطاعة المستهلكة في المحرك الضاغط . ولا تغيّر الوصل إذا كانت العلبة موصولة سابقاً.توصل المقابض إلى مقياس الواط – جول للمآخذ I و V.

5. يتم ضبط قيم الصفر في مقياس درجة الحرارة ومقياس جول – واط.
6. يوضع مقياس درجة الحرارة بعد وصل المجسين T_1 و T_2 على وضع auto حيث يبدأ الجهاز بإعطاء قيمة T_1 ثم T_2 بالتناوب، وفي كل حالة يضيء ديود (مصباح) أحمر أعلى المجس الذي تعرض قيمته.
7. يوضع مقياس الاستطاعة على الوضع Run ، و V=300v ، و I= 3A والوظيفة علي قياس الاستطاعة W.
8. ابدأ بالقياسات متزامنة، أي نسجل الزمن بدءاً من لحظة وصل التيار الكهربائي للوحة، و درجة الحرارة في الوعائين الأزرق للماء البارد والأحمر للحار وتقاس استطاعة المضخة من مقياس الاستطاعة مباشرة.كذلك سجل قيم كل من p_1 (من مقياس الضغط الموصول مع الوعاء البارد). P_2 (من مقياس الضغط الموصول مع الوعاء الساخن). t_1 (درجة حرارة المادة العاملة و تقاس من مقياس الضغط الموصول مع الوعاء البارد و السلم المخصص لدرجة الحرارة).
9. تؤخذ القياسات كل دقيقتين ويُملأ الجدول (1) و نستمر بالقياس حتى وصول درجة حرارة الوعاء البارد إلى الصفر تقريباً:

الجدول (1)

الزمن t (دقيقة)	درجة حرارة الماء الساخن (الأحمر) T1 (C^0)	درجة حرارة الماء البارد (الأزرق) T2 (C^0)	ضغط الغاز العامل p_1	درجة حرارة المادة العاملة t_1	ضغط الحالة السائلة p_2	الاستطاعة الكهربائية P للمحرك
0						
2						
4						
6						
.						
.						

10 – أحسب كمية الحرارة التي يتم نقلها من الوعاء البارد الى الوعاء الساخن في الدورة الترموديناميكية أثناء عملية نقل ΔQ من الوعاء المبرّد إلى الوعاء المسخّن من العلاقة:

$$\Delta Q\,(J) = c\ m\ \Delta T$$

حيث: m – كتلة الماء في أحد الوعاءين (كل 1 لتر ماء يعادل 1 كغ تقريباً).

c – الحرارة النوعية للماء وهي تساوي: 1 $cal/g^0.k$ أو $4.18 \cdot 10^3\ J/kg^0.k$

بما أن المادة في الوعاء الأزرق والأحمر نفسها فيمكن إجراء الحساب السابق دون تصحيحات . أما ΔT – هي الفرق في درجة الحرارة بين الوعائين و الموافقة لنفس الفترة الزمنية للتجربة t، و هي تساوي $\Delta T = T_1(t) - T_2(t)$.

11– ارسم على ورقة ميليمترية واحدة تحولات كل من $T_1(t)$ و $T_2(t)$.

12– أحسب قيمة معامل التبريد φ من المعادلة (6) حيث: $W = P.\ t$ العمل الذي نقدمه للغاز العامل، و P الاستطاعة المسجلة على مقياس الواط – جول مباشرة من أجل الفترة الزمنية المعتبرة t.و Q_2 هي نفس ΔQ المحسوبة في الفقرة 10. و قارنه مع القيمة المحسوبة من العلاقة (9).

13– قم بحساب كل من ΔQ_1 كمية الحرارة التي يخسرها الوعاء الساخن و كذلك ΔQ_2 كمية الحرارة التي يكسبها الوعاء البارد و ذلك من أجل الفترة الزمنية نفسها، من العلاقة: $\Delta Q_2 = C\ m\ \Delta T2$ حيث ($\Delta T_2 = T_2(t) - T_2(0)$، وبالمثل ΔQ_1 . ثم ضع النتائج في الجدول (2):

الجدول (2)

الفترة الزمنية $\Delta t(s)$	الفرق بين درجتي الحرارة ΔT_1	الفرق بين درجتي الحرارة ΔT_2	ΔQ_1	ΔQ_2	φمن المعادلة(9)

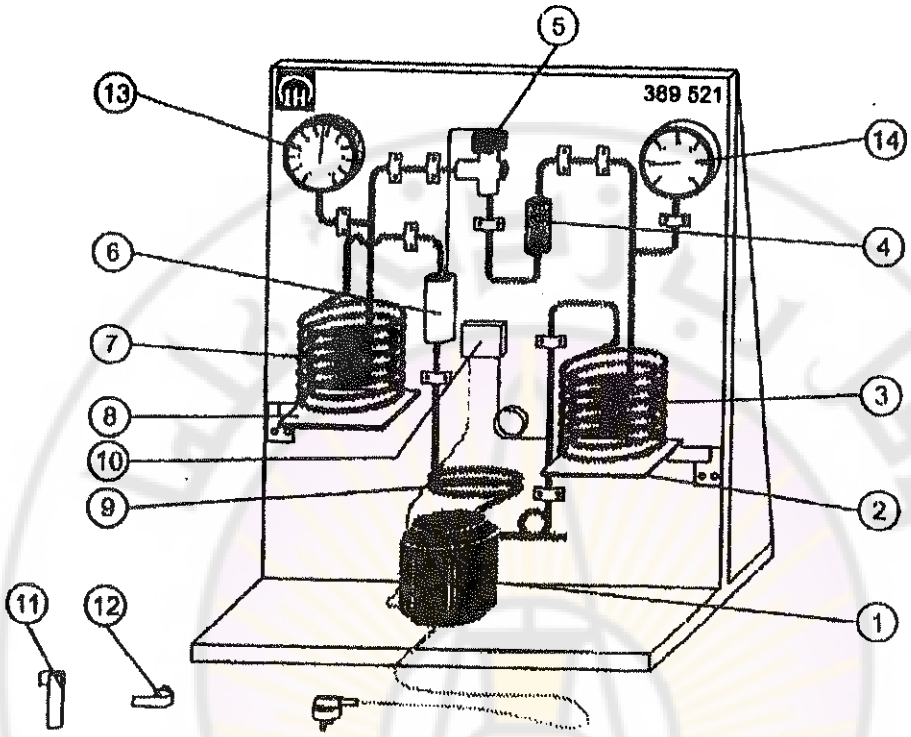
14- لاحظ أن $\frac{\Delta T_2}{\Delta t}$ يتناسب مع $\frac{\Delta Q_2}{\Delta t}$ وهو ما يمثل معدّل تدفق كمية الحرارة من الوعاء البارد إلى الساخن.

15- قارن بين $\frac{\Delta Q_1}{\Delta t}$ و $\frac{\Delta Q_2}{\Delta t}$ من أجل الفترات الزمنية نفسها وناقش الفرق هل يزيد أم ينقص ولماذا؟ .

16- ارسم على ورقة ميليمترية تحولات $\varphi(\Delta T)$ ، من الجدول (2).ماذا تلاحظ؟

- ناقش علاقة الضغط p مع درجة الحرارة T من معادلة الغاز الكامل، مع ملاحظة أن حجم الغاز داخل الأنابيب ثابت.
- ارسم تحولات كل من العلاقة $p_1(T_1)$، و $p_2(T_2)$ من الجدول (1) وناقش النتائج.

لوحة المضخة و التي تتألف من الأجزاء التالية الشكل (8):



الشكل (8)

1- ضاغط يعمل عند جهد 230V وتواتر 60/50 Hz ، استهلاك الطاقة 80W تقريباً عند التردد 50 .

2- رف مفصلي لحمل وعاء المياه (إناء أحمر).

3- وعاء المادة المميّعة بالحالة المسيلة سعة $8\ cm^3$ تقريباً. أنبوب نحاسي حلزوني.قطر 13 mm.

4- مصفاة جامعة.

5- صمام تمدد.

6- مجس حراري لصمام التمدد معزول حرارياً.

7- وعاء للمادة المبرّدة بالحالة الغازية بقطر 13 mm تقريباً.

8- رف مفصلي لحمل وعاء المياه (الإناء الأزرق).

9- وصلة حلزونية من أنبوب نحاسي بين الضاغط والمبادل الحراري.

10- مفتاح ضغط.

11- حامل بلاستيكي لمقياس الحرارة والمجس الحراري كوصلة مع أنابيب النحاس في دورة التبريد، وهو قطعتين تشد إلى أنبوب النحاس.

12- حامل قياس نحاسي مع طرف مسنن وثقوب بقطر 2 mm لتثبيت المجس الحراري مع أنابيب النحاس لدارة التبريد عند قياس درجة الحرارة.

13- مقياس ضغط لجهة الضغط المنخفض (يسار) و يتألف من السلالم التالية:

- المينا الداخلي يستعمل لقياس الضغط من 1- إلى 10+ بار.
- المينا الخارجي يستعمل لقياس الحرارة من 60- إلى 40+ درجة سيلسيوس.

14- مقياس ضغط لجهة الضغط المرتفع (يمين) و يتألف من السلالم التالية :

- المينا الداخلي يستعمل لقياس الضغط من 1- إلى 30+ بار.
- المينا الخارجي يستعمل لقياس الحرارة من 60- إلى 85+ درجة سيلسيوس.

ملاحظة : المينا المتوسطة في الجزئين 13 و 14 تستعمل في عمليات تبريد أخرى وهما لا يستعملان في هذه المضخة.

- وظيفة تجهيزات اللوحة

وظيفة الأجهزة على اللوحة هي:

- نقل الحرارة بالضخ من خزان درجة حرارته T_1 إلى خزان درجة حرارته T_2 يزداد بنتيجتها الفرق $(T_2 - T_1)$ بين درجتي حرارة الخزانين.

وتنتقل الحرارة بوساطة مادة التبريد عن طريق امتصاص الحرارة بالتبخير وإعطائها أثناء التكثيف.

- المستقبلات الحرارية هي أوعية مملوءة بالماء يتم عبرها تبادل الحرارة (الأجزاء 3 و 7 وأنابيب النحاس مغمورة فيها).

يضغط الضاغط 1 مادة التبريد بحالتها الغازية فتسخن المادة لدرجة محسوسة، ثم تبرد في أنابيب النحاس الحلزونية 3 وهي بحالتها المسيّلة والمكثفة. فتعبر حرارة المادة أثناء العملية من المادة المكثفة إلى الماء في الوعاء، ونتيجة هذهالعملية أن يتخلص الغاز العامل من كمية الحرارة التي يحملها من عملية التبخر والفائضة عن عملية الضغط في الضاغط.

- تهدئ المصفاة 4 الحالة السائلة للمادة المبرّدة الجياشة بسبب فقاعات الغاز المتبقية وبالتالي يتم ترشيحها، وتقوم بوظيفتها إضافة إلى كونها مجمع، لأنها تهيء مستوى السائل المطلوب بالتجميع بعد صمام التمدد 5. ويمر منه عادة فقاعات حرة تخرج من السائل المتجمع.

- يكون صمام التمدد بمثابة عداد للضاغط، وهو ينظم عملية تهيئة مادة التبريد للتبخر 7 حيث تتمدد مادة التبريد وتتبخر، هذا يستدعي هبوط سريع لدرجة الحرارة في العملية، وبالتالي يقوم بتعويض جزء من حرارته من وعاء الماء المبرّد، وبنتيجة هذه المرحلة سيسحب الغاز العامل كمية من الحرارة من الخزان البارد ويحملها معه إلى المضخة.

- تدخل المادة المبردة مرة أخرى بحالتها الغازية إلى الضاغط وتبدأ العملية من جديد ويحمي صمام التمدد 5 الضاغط من (صدمة السائل). أي تهدئة مادة التبريد بحالتها السائلة التي قد تصيب الضاغط بأعطال. تتم عملية تنظيم مادة التبريد للمبخر بوساطة مجس حراري 6 (تنظيم حرارة بصمام التمدد).

- يستعمل فرق درجة الحرارة بين الأنابيب الداخلة والخارجة للمبخّر في عملية التحكم إذا كانت تلك القيمة مثبتة سابقاً على صمام التمدد. ذلك أن الحرارة اللازمة للمبخر قليلة تنتجها مادة التبريد على حساب طاقتها الداخلية أو طاقة جريانها في الأنابيب.

- يغلق مفتاح الضغط 10 الضاغط عندما يبلغ الضغط في جهة المادة السائلة 16 بار (المفتاح يصبح باتجاه اليد اليسرى على المينا). هذا يحدث عندما تقوم مجموعة الحالة السائلة 3 بعملها دون وجود ماء في الوعاء حيث تتجاوز درجة الحرارة T_2>60 درجة سيلسيوس. في هذه الحالة لا يعود الضاغط للعمل في وحدة الضغط قبل وصول الضغط لقيمة 9 بار (على يمين المينا).

- تمنع مجموعة الأنبوب الحلزوني 9 تذبذب عملية الضغط عند مدخل الضاغط ومخرجه.

6 – مجس درجة الحرارة NiCr - Ni

المجس (هو مزدوجة كهرحرارية) يمكن استعماله لقياس درجات حرارة مستقرة للمواد المختلفة الشكل (9) ، يوصل مع مقياس درجة حرارة رقمي :

6 – 1– المواصفات التقنية

مادة المزدوجة الكهرحرارية NiCr – Ni

الحساسية 41 µr/C

المجال الحراري من 50– إلى +1200 درجة سيلسيوس

الارتياب في (375+ ... 40-) درجة سيلسيوس ± 1.5

في (1000+ ... 375) درجة سيلسيوس ± 0.4

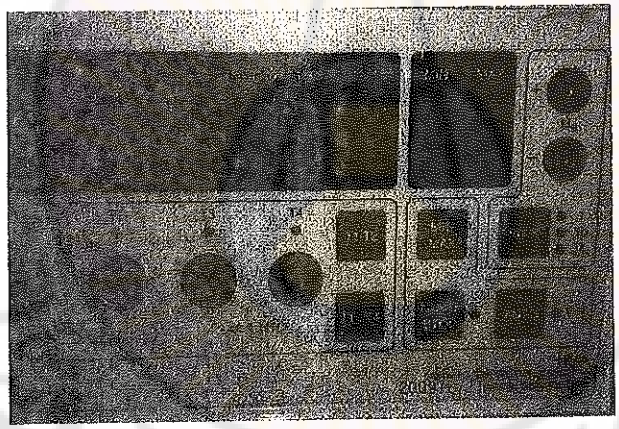
زمن الاستجابة 0.8 s للسائل.

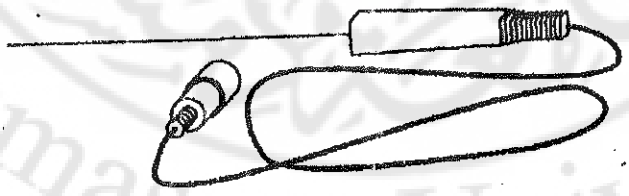
(الوصول إلى 99% من القيمة) 15 s في الغاز.

كبل الوصل 2 m

أبعاد مجس القياس طول 120 mm قطر 1.5 mm

طول الغطاء 220 mm دون الكبل.





الشكل (9) : مخطط المجس الحراري مع المقياس

- تحذيرات

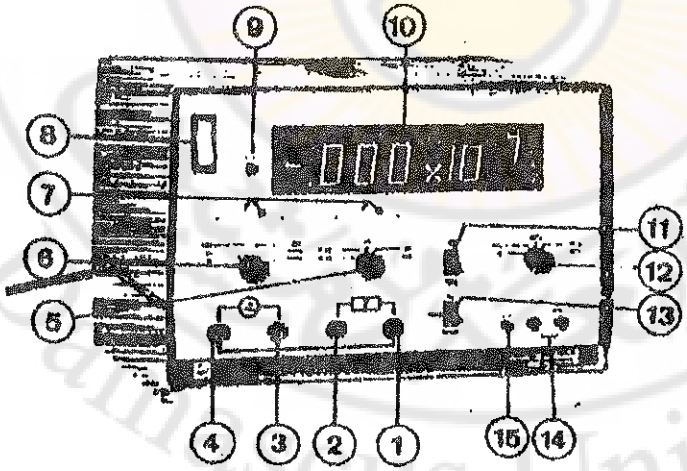
- لا تستعمل المجس لدرجات حرارة أكثر من 1000 درجة مئوية لفترة طويلة وعن الحرارة 1200 درجة يجب أن يتم القياس بسرعة.
- احم المجس الحراري بالغطاء البلاستيكي عند قياس درجة حرارة السوائل.

7 – مقياس الطاقة والاستطاعة

يستعمل هذا الجهاز الرقمي لقياس كل من الطاقة الكهربائية والعمل الكهربائي وجهدها في المجال بين (0.3-300V) وتيار (0.03-10A)، وضمن مجال قياس زمني من (s) 0.1 وحتى (h)2 ساعة تقريباً الشكل (10).

يستطيع المقياس قياس طاقة أقل من 10μW (وهي السماحية في معظم المجالات المستخدمة) وحتى kw (3)، وعن طريق مُكامل لمجال الطاقة الكهربائية من 8 kWs → 10 μWs .

يؤمن المخرج المنطقي إمكانية قياس مقادير رقمية وتسجيلها، وهو معزول كهربائياً عن دارة المقياس.



الشكل (10): مخطط مقياس الطاقة و العمل الكهربائيين

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

المجمع الشمسي

الغاية من التجربة

1 – استخدام الطاقة الشمسية لتسخين الماء.

2 – دراسة عملية (دورة) الحمل الطبيعية (بدون مضخة).

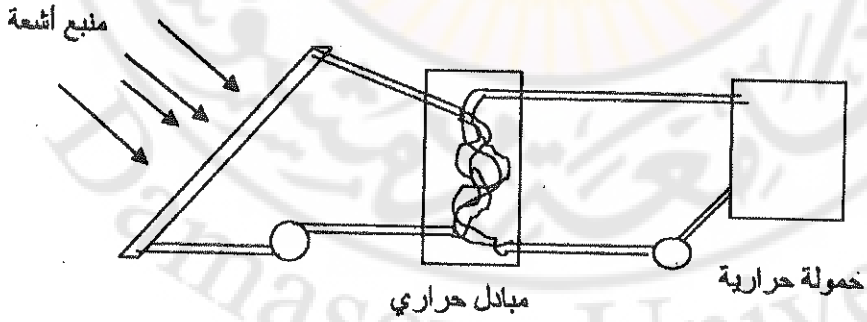
3 – دراسة عملية (دورة) الحمل القسرية (بمضخة).

تمهيد نظري

تقوم اللواقط الشمسية بتجميع طاقة الإشعاع الشمسي الحرارية والكهرمغنطيسية وإيصالها إلى المادة العاملة لنقلها أو تحويلها إلى شكل طاقي آخر.

المجمع المستوي ذو اللوح الأسود هو مجمع حراري يعتمد على مادة ماصة للطاقة تُصنع منها السطوح المجمعة فترتفع درجة حرارة السطح، وتنقل الحرارة من على السطح بناقل حراري كالماء مثلاً وتجمع في خزان خاص، وتزداد كمية الحرارة في الخزان ما دام سحب الطاقة من السطح الماص ممكنا و مستمراً.

وهكذا يمكن تراكم هذه الطاقة في خزان ماء حار حتى تبلغ درجة حرارة عالية تتجاوز في كثير من الأوقات 80 درجة مئوية.



الشكل (1) : مبدا مجمع الطاقه الشمسيه بالدورة المغلقة.

للاستفادة من هذه الطاقة الحرارية تُستخدم عادة دارة أخرى مستقلة تحوي ناقل حراري كالماء، يقوم بنقل الطاقة من الخزان الساخن عن طريق مبادل حراري على شكل أنابيب ملفوفة بداخله وهي الطريقة الشائعة لسهولة الصيانة وإمكانية التحكم الشكل (1).

من المعروف أنه عندما يسقط على المجمع الشمسي تيار طاقي إشعاعي شدته I_0 (كمية الطاقة الشمسية الواصلة الى واحدة السطح في واحدة الزمن)، يميل عن الناظم على سطح المجمع بزاوية θ، فإنه سوف يتوزع إلى عدد من التيارات الطاقية كما في الشكل (2)، وفقا لما يلي:

1 – طاقة منعكسة I_1.

2 – طاقة ممتصة من الغطاء الشفاف I_2 .

3 – طاقة ممتصة من الهواء بين المجمع والغطاء I_3 .

4 – طاقة منعكسة عن المجمع I_4 .

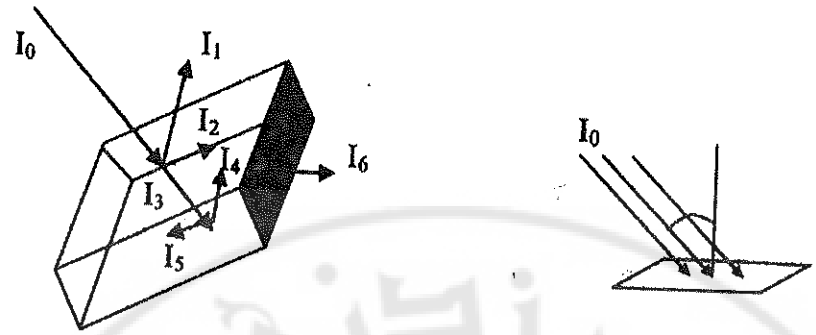
5 – طاقة ممتصة في مادة المجمع I_5 .

6 – طاقة يشعها المجمع بعد أن يسخن I_6 .

ان الطاقة الضوئية الممتصة في المجمع I_5 سوف تتحول الى طاقة حرارية تؤدي الى رفع درجة حرارة المجمع وفق علاقة ستيفان بولتزمان :

$$Q_0 = I_5 = \varepsilon \sigma T^4$$

حيث : σ ثابت ستيفان– بولتزمان، ε – اصدارية المادة (للجسم الأسود = 1، و للجسم المرآوي = 0). T – درجة حرارة السطح الأسود مقدرة بالكلفن.



الشكل (2) : زاوية ورود الأشعة، وتوزع التيار الطاقي الرئيسي.

هذه الطاقة الحرارية تنتقل إلى الحامل الحراري (الماء)، مما يرفع درجة حرارته، ويمكن حساب ارتفاع درجة الحرارة من العلاقة:

$$I_5 = C\,m\,\Delta T$$

حيث c–الحرارة النوعية للمادة الناقلة، وm – كتلتها، ΔT – مقدار ارتفاع درجة حرارة الناقل الحراري.

مبدأ دورة الحمل الحراري :

يدخل الماء من الوعاء إلى المجمع فتزداد درجة حرارته فتنقص الكثافة بسبب التمدد الحجمي ويتحرك إلى أعلى ويصب في الوعاء الخارجي من جديد ناقلاً كمية من الحرارة، والقوة الناتجة عن اختلاف الكثافات (المسببة للحركة) صغيرة جداً.

الأدوات والأجهزة المستخدمة

1- المجمع الشمسي: أبعاده هي 52X 41X7 cm

ملاحظات هامة حول المجمع

- لا تسخّن المجمع أبداً قبل ملئه بالماء.
- الحرارة الأعظمية الممكنة 60 درجة مئوية.

- الضغط الأعظمي الممكن 1 ضغط جوي (يقاس من فتحة سفلية).
- لا تصل المجمع الشمسي أبداً بتغذية الماء الرئيسية.
- لا تستعمل المجمع الشمسي بدون وعاء ضغط.
- أفرغ المجمع الشمسي من الماء بعد انتهاء التجربة.
- سعته من الماء $200Cm^3$.

2 – وعاء تفريغ مصنّع من مادة البلاستيك سعة 1 لتر.

3– لوح بلكسي غلاس (زجاج صناعي) لتغطية السطح الماص وعزلها حرارياً من مفعول البيت الزجاجي، أبعاده (44.5x32.5x0.3)Cm.

4 – قطع مطاطية عدد 6 (2 بدون ثقوب) 2 مع ثقب 1.5mm لاحكام مجسات درجة الحرارة أو بثقب 5mm لاحكام مقاييس الحرارة الزجاجية.

5 – أنابيب بلاستيك طول 1m (أنبوبان قطر 6mm، أنبوب قطر 8mm).

6 – نقاصات أنابيب (من 6mm إلى 8mm ومفرّغة ، أنابيب شكل T بقطر 6mm).

7– مقاييس درجة حرارة رقمية الكترونية مع المجسات المناسبة راجع الشكل (6) تجربة السعة الحرارية.

8– ساعة توقيت.

مراحل العمل

أولا – في حالة الدورة المفتوحة (الحمل)

1 –يتم تفريغ الوعاء البلاستيكي من الماء بإنزال مستوى الخزان وتفريغه(الشكل 3) ثم ضع مقياس الحرارة أو المجسات الحرارية مع المطاط المناسب في

مدخل السائل ومخرجه للحجرة، وانتبه إلى إغلاق الفتحات غير المستعملة بالقطع المطاطية غير المثقوبة.

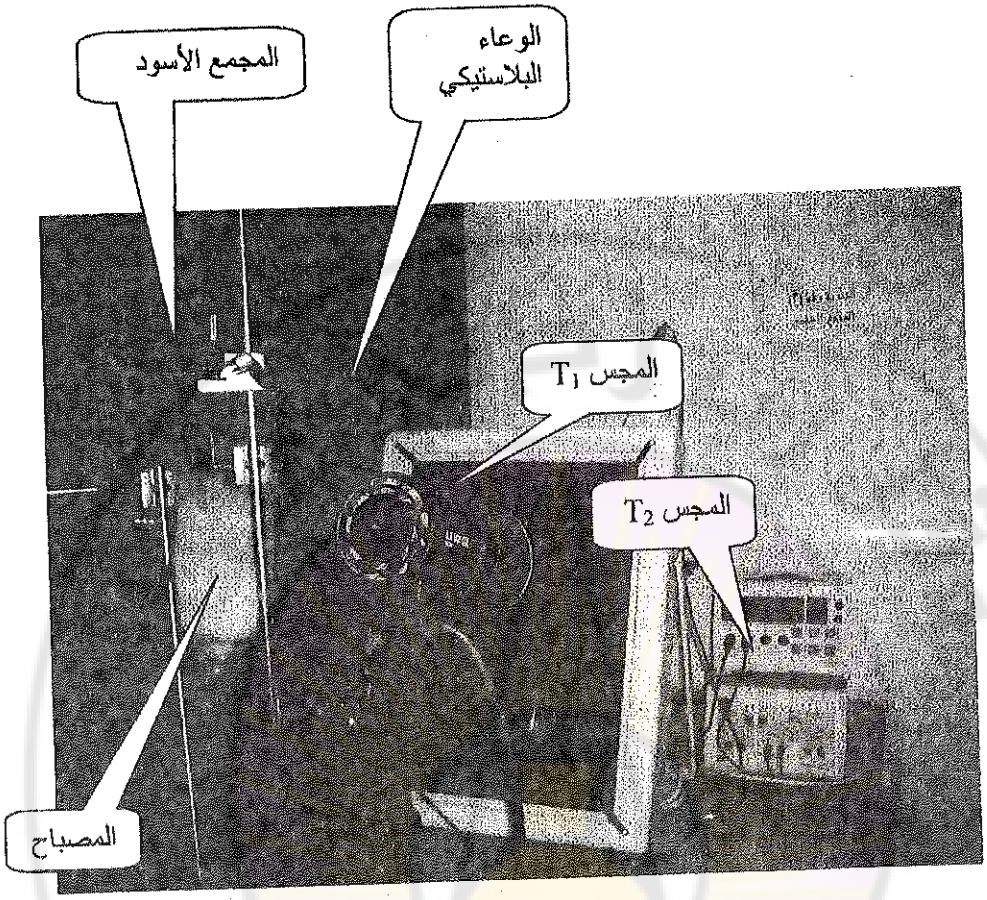
2 – اخفض مستوى وعاء التفريغ البلاستيكي إلى مستوى منخفض بالنسبة لفتحة لوح المجمع واملأه بالماء المناسب ثم ارفع الوعاء ببطء وراقب دخول الماء إلى المنظومة حتى العلامة الموجودة على المجمع، ويمكن تعليق الوعاء البلاستيكي على الأداة الخاصة (الحامل المعدني) كما في الشكل (3.). ان الرفع البطيء يقلل من وجود فقاعات الهواء.

3 – صل المضخة مع الانتباه إلى مدخل الماء ومخرجه، **وعادة تكون المضخة موصولة مسبقاً من قبل المشرفين.**

ملاحظة:لا تشغّل وحدة التغذية للمضخة قبل ملء الماء.

4 – ضـــع مصباح الإضـــاءة على وضعية إضاءة كاملة 500 W بتغذية 220 V، وعلى بعد 50 cm من سطح المجمع (يُحسب البعد ابتداءً من فتيل المصباح الداخلي، ويقدّر بعد الفتيل إذا لم يكن واضحاً)، ويكون المصباح عمودي على منتصف المجمع الحراري) .

5 – يبدأ تشغيل المصباح ومضخة الماء والمؤقت الزمني معاً. ونسجّل درجة الحرارة الابتدائية للماء في المجمع الشمسي الأسود T_1 , و في الوعاء البلاستيكي T_2 الموافقتان لبدء الزمن t_0 بعد معايرة جهاز قياس الحرارة على درجة حرارة الجو.



الشكل (3)

6 – سجّل القيم T_2 , T_1, t في الجدول (1) كل دقيقة مثلاً حتى بلوغ درجة الحراة في المجمع الشمسي الأسود أي T_1 حوالي 50 درجة سيلسيوس. (عند درجة الحرارة 60 درجة تتعطّل المضخة) .

الجدول (1)

الزمن t (دقيقة)	درجة الحرارة T_1	درجة الحرارة T_2	كمية الحرارة Q_1 للمجمع	كمية الحرارة Q_2 للوعاء البلاستيكي
1				
2				
3				
4				
5				
6				
.				
.				
.				
	50			

7 – ارسم المنحنيات $T_1(t)$ و $T_2(t)$ على ورقة واحدة وقارن بينهما.

8 – خذ قطعة خطيّة من المنحني $T_1(t)$ من الفقرة (7) واحسب منها مردود المجمع الحراري و قم بحساب Q كمية الحرارة التي يمتصها الماء في المجمع خلال الفترة الزمنية الموافقة للجزء الخطي المختار من العلاقة :

$$Q = Cm\,\Delta T$$

(m هي كتلة الماء في المجمع وهي تقريباً 1200 ml = 1.2 kg . و ΔT– مقدار تغير درجة حرارة المجمع الموافق للجزء الخطي للمنحني $T_1(t)$ الذي حددته في بداية هذه المرحلة. من جهة أخرى و بما أن قيمة السعة الحرارية للماء مساوية الى $C = 4{,}18.10^3$ j/kg.K. فان كمية الحرارة الممتصة خلال

زمن قدره Δt يوافقه تغير في الحرارة قدره ΔT الموافق للقطعة الخطية تحسب من العلاقة :

$$Q\,(W) = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{1{,}2\,.\,4{,}18.10^{3}\,.\,\Delta T}{\Delta t}$$

9- قم بحساب المردود الحراري للمجمع من العلاقة:

$$\eta = Q / E$$

E هي الطاقة التي يقدّمها المصباح المستخدم في التجربة.

إن وحدة قياس Q يجب أن تكون W/m^2 مثل وحدة E. أو يمكن تحويل وحدة الطاقة E الى الواط كما يلي: فإذا كانت شدة استطاعة المصباح $1000W/m^2$ فعلى بعد 50cm ومساحة المجمع المستخدم وهي $0.21\ m^2$ تكون استطاعة الأشعة الضوئية الواصلة E = 210 W .

10 – أعد التجربة لمتغيرات أخرى مثلاً (دون تشغيل المضخة) أو تغيير طاقة المصباح من 1000W الى 500W أو تغيير بعد المصباح عن اللوح الأسود للمجمع 50cm, 75cm, 100cm ،باعادة الخطوتين 7و8 لكل حالة.

11 – قدّر الاثيابات في كل مرحلةمن حساباتك.

ثانياً – الدورة المغلقة (القسرية)

ضع المضخة في طريق التيار المائي الحامل للحرارة من داخل المجمع الشمسي الى الخزان الحراري (الوعاء البلاستيكي) و ذلك لتسريع عملية نقل الحرارة . ثم قم بنفس الخطوات السابقة الواردة في الفقرة السابقة.

استعمال المضخة STE لتقوية الدوران

توصل مداخل المضخة إلى المقابض وتوصل إلى تغذية 20.....8 فولط متناوب (AC) (استعمل فقط توتر متناوب). لا تبدأ المضخة العمل من

تلقاء نفسها، املأها بالماء حتى مستوى العمل وعندما يمتلىء المجمع تمتلىء المضخة تلقائياً.

- انتبه إلى اتجاه دوران المضخة أثناء وصل المدخل والمخرج، إذا كانت موصولة فلا تغير فيها إلا بوجود المشرف على المخبر.
- – تستطيع المضخة STE ضخ حوالي $50\ cm^3$ من الماء في الدقيقة بشكل أعظمي ولارتفاع 1m .

Damascus University

وقل رب زدني علما
Damascus University

الناقلية الحرارية للمواد الصلبة

- الغاية من التجربة

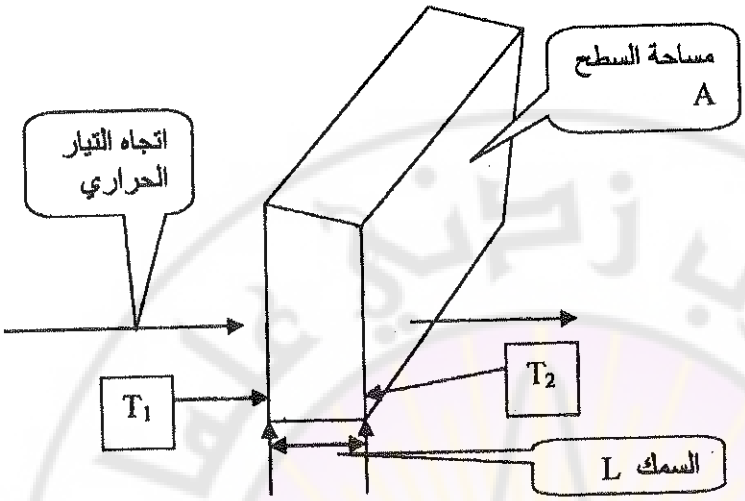
- حساب معامل الناقلية الحرارية للمواد البلاستيكية.
- حساب معامل الناقلية الحرارية للمواد الناقلة أو العازلة.
- دراسة تأثير ثخانة المادة على الناقلية الحرارية.

تمهيد نظري

تعرف الناقلية الحرارية بأنها عبارة عن عملية انتقال الحرارة عند حدوث تلامس مباشر بين جسمين مختلفين بدرجتي حرارتهما. أو تعرف بأنها انتقال الطاقة الحرارية من أحد طرفي الجسم ذي درجة الحرارة المرتفعة جراء تسخينه الى طرفه الأخر الأقل حرارة. و هذه الظاهرة مرتبطة بالحالة الصلبة للمواد فقط. بينما يتم النقل الحراري في الحالات الأخرى للمادة بطرق مختلفة مثل الحمل و الإشعاع.

تختلف الناقلية الحرارية للأجسام من جسم لآخر اختلافا كبيرا. إذ يمكن اكتشاف ذلك بسهولة بتجربة بسيطة عن طريق تسخين قطعة معدنية و ملاحظة سرعة انتقال الحرارة بين طرفيها و مقارنة ذلك مع تسخين قطعة مماثلة من مادة عازلة مثل السيراميك، الزجاج، ...الخ. اذ يتطلب انتقال الحرارة عبرها إلى فترة زمنية طويلة مقارنة مع المادة المعدنية. نستنتج مما سبق أن المعادن مواد جيدة النقل للحرارة، أما الزجاج و الخشب مواد رديئة النقل للحرارة.

يمثل الشكل (1) جسم على شكل متوازي سطوح، مساحة سطحه A، و سماكته L، و درجة حرارة الطرف الأول T_1، أما T_2 فهي درجة حرارة الطرف المقابل من الجسم، حيث نفترض في الحالة العامة أن: $T_1 > T_2$.



الشكل (1)

تبين التجربة أن تدفق الحرارة عبر الجسم يتناسب طردا مع مساحة سطحه A و فرق درجة الحرارة بين طرفيه (تدرج الحرارة) $\Delta T = T_1 - T_2$، و عكسا مع سماكة الجسم L. فاذا فرضنا أن Q كمية الحرارة المارة في الجسم خلال الزمن t ، وعندئذ نكتب:

$$\frac{Q}{t} = -\frac{\lambda.\Delta T.A}{L} = \frac{\lambda.(T_1 - T_2).A}{L} \qquad (1)$$

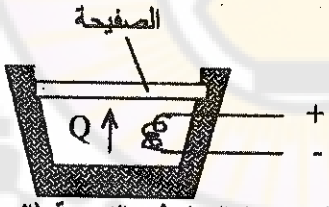
يسمى الثابت λ- معامل الناقلية الحرارية للمادة، و يقدر بواحدة هي: W/m. و يعرف بأنه كمية الحرارة التي تمر خلال وحدة الزمن من خلال وحدة السطح الذي سمكه واحدة الطول و الموافق لتدرج حراري قدره درجة واحـدة . و لكل مادة معامل ناقلية حرارية خاص بها و يرتبط بدرجة حرارة الجسم و هو يتعين عادة بالتجربة. و هو ما سنقوم بالتأكد منه تجريبيا.

لتأمين كمية حرارة مناسبة على أحد طرفي سطح الصفيحة التي نريد حساب ناقليتها الحرارية نحتاج إلى منبع طاقة حرارية ، إما بالتسخين أو بالإشعاع، ويمكن التسخين بوساطة التيار الكهربائي اعتماداً على أثر جول، فنستخدم مصباح أو مجموعة مقاومات كهربائية تصدر طاقة حرارية مكافئة للطاقة الكهربائية التي تمر بها، و التي تحسب من العلاقة:

$$Q(J) = V\ I\ .t \qquad (2)$$

حيث I – شدة التيار الكهربائي، V – فرق الكمون الكهربائي بين طرفي المسخن، t – الزمن اللازم لتسخين المنطقة. ونضع المسخن في حجرة صغيرة مناسبة معزولة حرارياً ليكون العمل المخبري مريحاً وكي نضمن أن Q ستتجه فقط وفق الجدار الذي يحوي الصفيحة المطلوب حساب ناقليتها الحرارية كما في الشكل (2).

عندما تصبح درجة حرارة سطح المادة الأول (الأسفل في الشكل 2) أعلى من درجة حرارة سطحها الثاني الأعلى يتدفق التيار الحراري من السطح الأسخن إلى السطح الأبرد. وتقوم المادة بإيصال الحرارة وفق ناقليتها الحرارية.



الشكل (2) : مقطع حجرة العمل في التجربة (الحجرة المعزولة).

– الأدوات والأجهزة المستخدمة

1 – حجرة قياس حرارية معزولة جيداً ومهيأة لوضع منبع حراري داخلي يعمل بالتيار الكهربائي ومجسات حرارية لقياس درجة الحرارة (انظر نهاية التجربة).

2 – وحدة تغذية بتوتر منخفض.

3 – مقياس درجة حرارة رقمي متعدد المجسات راجع الشكل (6) تجربة السعة الحرارية.

4 – مثبت لدرجة الحرارة رقمي وآلي.

5– مجسات لقياس درجة الحرارة.

6 – مجموعة من صفائح المواد العازلة.

7 – منبع ضوئي (مصباح) و مجموعة مقاومات.

8 – مقياس فولط و مقياس أمبير.

9 – ساعة توقيت.

مراحل العمل

1 – قم بوصل وحدة التغذية V 12 أو V 6، الى مربطي الحجرة المعزولة حراريا

(مربطي المصباح المسخن الموجود داخل الحجرة)

ملاحظة : يمكن أن تكون التجهيزات موصولة مسبقاً لذلك لا تحاول العبث بها.

2 – شغّل وحدة التغذية الخاصة بالمنبع الحراري (المصباح) المثبت داخل الحجرة وتأكد من أن المنبع يعمل. ثم أوقف عمل الوحدة مؤقتاً حتى الانتهاء من تهيئة الحجرة.

3 – ضع صفيحة الألمنيوم ذات الثخانة الصغيرة (0.3mm) كغطاء لحجرة القياس بحيث يكون وجهها الأسود إلى الأسفل.

4 – ضع المجس الحراري الأول أعلى صفيحة الألمنيوم من خلال الفتحة الخاصة من جانب حجرة القياس واغلق فتحة المجس بالسدادة المطاطية الخاصة.

5 – ضع صفيحة من البلاستك الأبيض ذات الثخانة 10mm ، وانتبه إلى ضرورة دخول المجس الحراري السفلي في القناة المحفورة في الصفيحة.

6 – ادخل المجس الحراري الثاني في مكانه أعلى الصفيحة و أغلقه بالسدادة المطاطية .

7 – ضع صفيحة أخرى من الألمنيوم ذات الثخانة الصغيرة (0.3mm) بحيث يكون وجهها الأسود إلى الأعلى.

8– ثبّت جميع الصفائح السابقة بوضع قطعة الرخام الثقيلة أعلى صفيحة الألمنيوم و ذلك لحدوث التماس المباشر بين جميع الأجزاء.

<u>تحذير :</u>

- لا ترفع الصفائح السابقة قبل سحب المجسات الحرارية بشكل كامل من الحجرة، لأن ذلك سوف يسبب عطب المجسات.
- لا ترفع الصفائح إلا باستخدام النازع الخاص بها لكي لا يسبب ضرراً وعطباً في حجرة القياس.

9 – شغّل وحدة تغذية المنبع الحراري (المصباح) واختار حالة 6 V ، عندما يبدأ المنبع بالعمل قس الجهد بين طرفي المنبع وكذلك التيار المار فيه باستخدام كل من مقياس الفولط والتيار.

10 – هيئ مقياس درجة الحرارة الرقمي على الوضعية الآلية.

11 – سجل كل من درجتي الحرارة T_1 و T_2 حيث T_1 درجة حرارة أسفل الصفيحة، T_2 درجة حرارة أعلى الصفيحة التي سمكها L في جدول خاص كل دقيقة. و انتظر حتى يصبح ΔT بين طرفي الصفيحة ثابتا تقريباً. وهي القيمة اللازمة لحساب معامل الناقلية الحرارية λ .

توقف عن القياس عند ثبات الفرق بين درجتي حرارة سطحي الصفيحة دون الاهتمام بالزمن.

12- احسب الاستطاعة الحرارية المنتقلة من وجه الصفيحة الحار إلى الوجه البارد، من كمية الحرارة التي أعطاها المصباح الكهربائي من العلاقة : $P = V \cdot I$ حيث V و I القيم المقاسة بواسطة مقياسي الفولط و الأمبير .

13- استخدم المعادلة (1) مع المعادلة (2) لحساب قيمة معامل الناقلية الحرارية λ للمادة المدروسة من العلاقة:

$$V.I = \frac{\lambda.(T_1 - T_2).A}{L} \qquad (3)$$

علما أن أبعاد الجسم المدروس هي: ($15 \times 15\ cm^2$)و ثخانته تؤخذ من العينة المدروسة مباشرة.

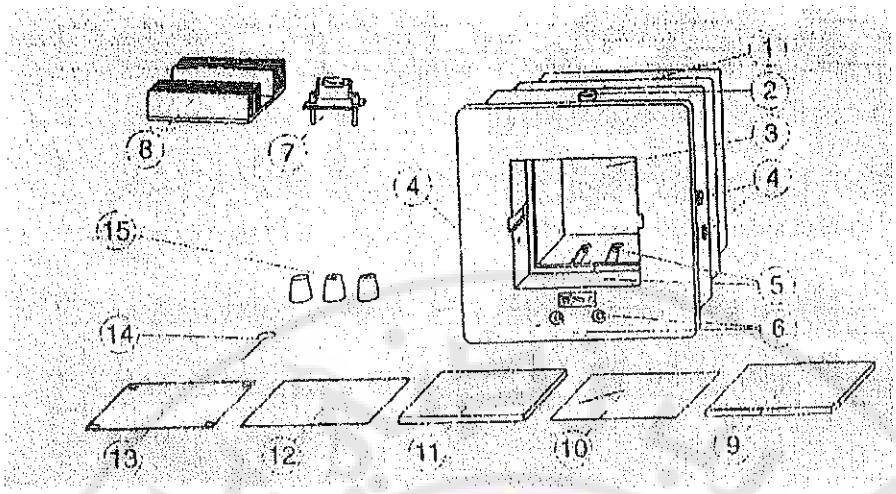
14 – أعد العمل السابق من أجل صفائح مختلفة أخرى بلاستيكية وخشب مضغوط وسيراميك وقم بحساب معامل الناقلية الحرارية λ لكل حالة من العلاقة (3).

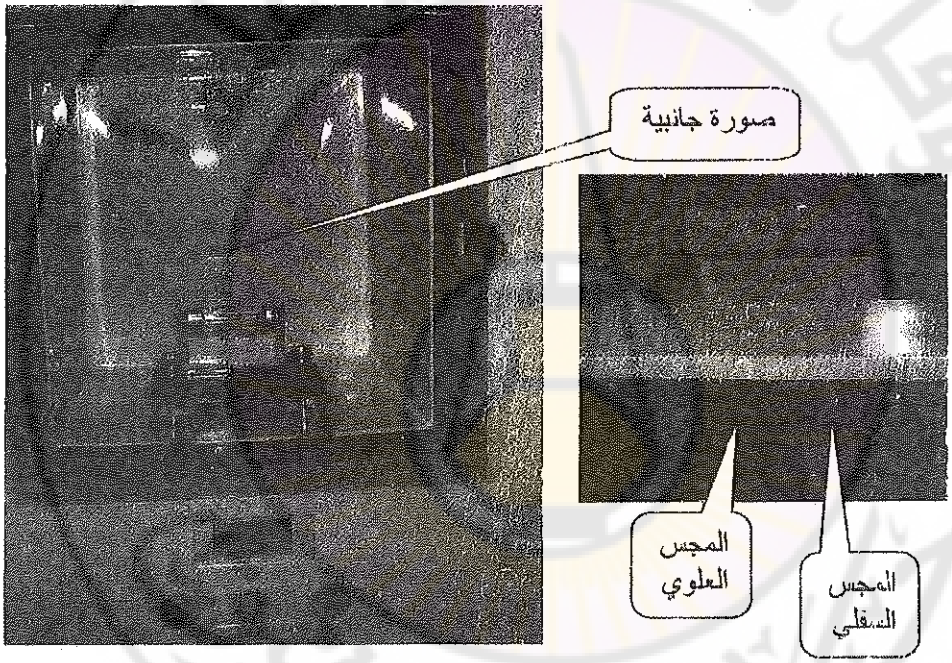
15 – أعد العمل السابق من أجل صفائح من المادة نفسها و لكن مختلفة بسماكتها وقم بحساب معامل الناقلية الحرارية λ لكل حالة من العلاقة (3).

16 – قدّر الارتياب $\Delta\lambda$ في كل تجربة .

حجرة العزل الحراري وملحقاتها:

تتألف الحجرة من عدّة مكونات رئيسية هي الشكل (3) :





الشكل (3)

1 – حجرة قياس كمية الحرارة مع غلاف عازل أبعادها (28x28x20) Cm.

2 – قناة لوضع مجس مقياس درجة حرارة هواء الغرفة.

3 – فتحة الحجرة Cm^2 (15x15) مع غطاء.

4 – قنوات لوضع مجسات درجة الحرارة ملامسين للصفائح أثناء التجربة.

5 – زوج من المقابص 4mm طول 50mm، لتثبيت لوحة المسخن عليها.

6 – زوج من المقابص 4mm لتأمين تغذية المسخن بالكهرباء (7) .

7 – لوحة التسخين بمصباح أنبوبي 10 W , 24 V مع حامل المصباح ذو المقابص للمآخذ (5).

8 – جسم تخزين الحرارة مصنوع من الألمنيوم وزن 500g.

9 – صفيحة من السيراميك بثخانة 11mm.

10 – صفيحة من الألمنيوم بثخانة 3mm.

11 – صفيحة من ستيروفوم بثخانة 10mm.

12 – صفيحة من بلاستيك زجاجي 1.5mm.

13 – صفيحة من بلاستيك زجاجي توصل مع الصفيحة (12) لدراسة العازلية بثخانة 1.5mm.

14 – نازع لرفع صفائح المواد المختلفة من حجرة القياس الحرارية (3).

15 – سدادات مطاطية عدد ثلاثة للقنوات المختلفة (4) .

بعض المقادير الفنية اللازمة

1 – الموصلية الحرارية لألواح البولي ستيرين 0.16 W/m k.

2 – مقاومة المسخن (دارة المقاومات حرارية) 6.8 = R، وتوتر أعظمي هي 12V. وتيار 1.8 A

3 – مساحة اللوحات Cm (15 x15) ثخانات مختلفة ، للبولي ستيرين lc .

درجة الحرارة الحرجة لمادة سائلة

الغاية من التجربة:

قياس درجة الحرارة الحرجة لمادة سائلة

تمهيد نظري

يعرف الغاز الكامل (المثالي) بأنه الغاز الذي تهمل فيه قوى التأثير المتبادل بين جزيئاته، كما يهمل فيه حجم جزيئات الغاز بالنسبة للحجم الكلي، و هذا الغاز يتبع معادلة الحالة ذات الشكل:

$$PV = nRT \qquad (1)$$

حيث P و Vضغط وحجم الغاز،nعدد المولات،Rثابت الغازات العام،Tدرجة الحرارة.

و كل غاز لا يحقق الشروط السابقة يعرف بالغاز الحقيقي. إذ يقترب أي غاز من المثالية كلما ارتفعت درجة حرارته و تناقص ضغطه. و أما في درجات الحرارة المنخفضة و الضغوط العالية، يبتعد الغاز عن المثالية و لا يصح عندها تطبيق المعادلة (1) عليه.

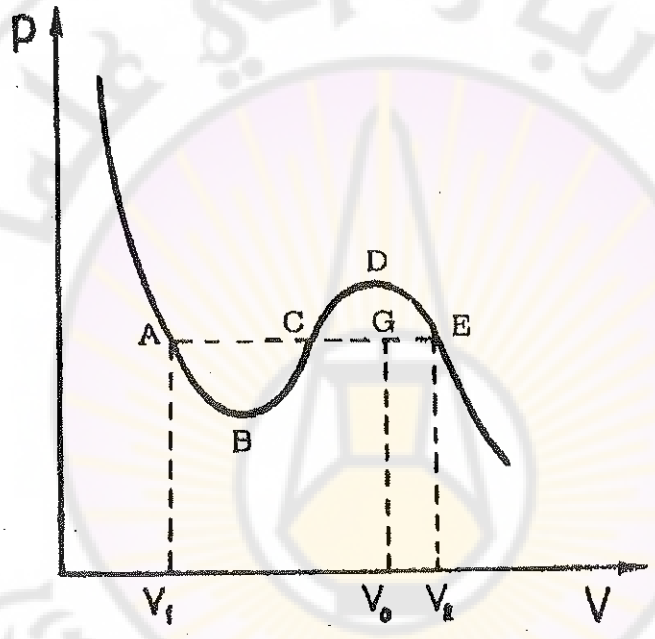
إن أبسط المعادلات التي تصف حالة الغازات الحقيقية هي معادلة فاندر–فالس الشهيرة التي تأخذ بعين الاعتبار التصحيح الناتج من الضغط و الحجم، و التي يعبر عنها رياضيا بالعلاقة:

$$\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = nRT \qquad (2)$$

حيث a و b– ثوابت تتعلق فقط بنوع الغاز المدروس. و هذه المعادلة يمكن كتابتها بالشكل التالي:

$$V^3-\left(b+\frac{RT}{P}\right)V^2+\frac{a}{P}V-\frac{ab}{P}=0 \qquad (3)$$

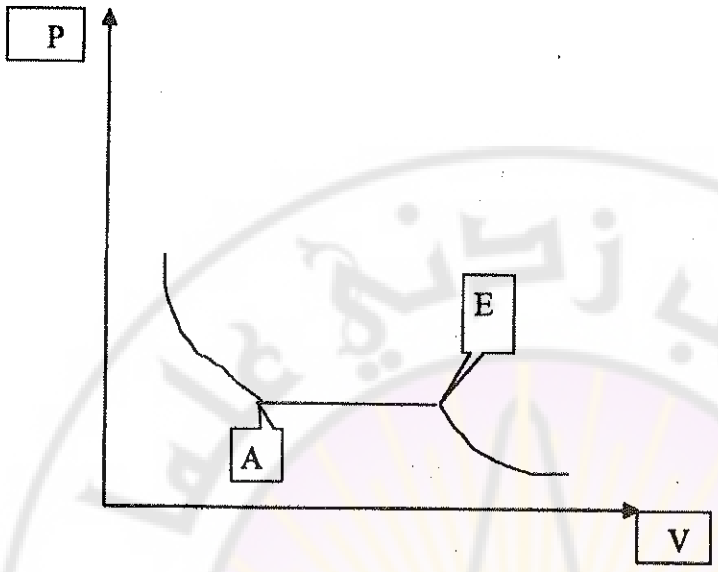
حيث افترضنا أن n = 1. لهذه المعادلة (3) ثلاثة جذور حقيقية أو جذر حقيقي واحد و اثنان تخيليان. ان تمثيل تغير ضغط الغاز الحقيقي الذي يتبع معادلة فاندر – فالس بدلالة حجمه من أجل درجة حرارة ثابتة مبين في الشكل (1):



الشكل (1)

و يسمى هذا المنحني منحني فاندر – فالس متساوي الدرجة.

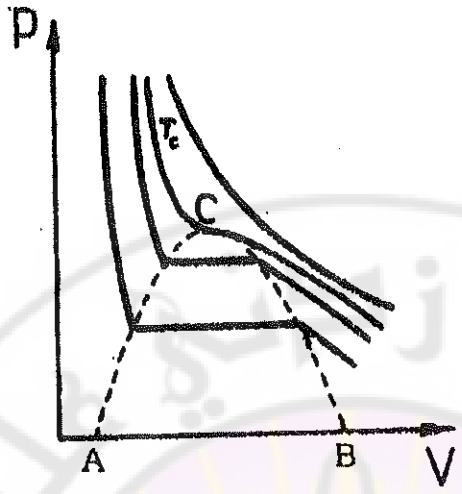
عند ارتفاع درجة حرارة الجملة تتناقص سعة انحناءات المنطقة ABDE من منحني فاندر – فالس متساوي الدرجة الشكل (1)، و تتحول في النهاية الى قطعة مستقيمة كما في الشكل (2).



الشكل (2)

إن الجزء الواقع على يمين النقطة E يمثل الطور الغازي، أما الجزء الواقع على يسار النقطة A يمثل الطور السائل.لذلك يمثل الجزء المستقيم AE الطور المزيج سائل-غاز تحت ضغط ثابت. و يحدد بحيث تكون المساحة تحته أي ABC تساوي الى المساحة فوقه أي .CDE.

و مع استمرار ارتفاع درجة حرارة الجملة فان القطعة المستقيمة AE تتناقص حتى تتحول الى نقطة انعطاف على المنحني P(V) ممثلة بالنقطة C الموافق لدرجة الحرارة T_c كما في الشكل (3). ان درجة الحرارة هذه التي توافق نقطة الانعطاف تسمى درجة الحرارة الحرجة و يرمز لها T_c. و في هذه النقطة يتحقق ما يلي:



الشكل (3)

$$\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_c = 0 \qquad (4)$$

$$\left(\frac{\partial^2 P}{\partial V^2}\right)_c = 0 \qquad (5)$$

فهي نقطة وحيدة و يقابل حجم المادة عند هذه الدرجة T_c حجما يسمى بالحجم الحرج V_c و كذلك الضغط يسمى بالضغط الحرج P_c.

إن قيم الإحداثيات الترموديناميكية هذه للجملة عند النقطة الحرجة C يعبر عنها بدلالة الثوابت a و b الواردة في معادلة فاندرفالس بالعلاقات التالية:

$$T_c = \frac{8a}{27Rb}\ ,\quad P_c = \frac{a}{27b^2}\ ,\quad V_c = 3b\ , \qquad (6)$$

3 – الأدوات والاجهزة المستخدمة

1 – غرفة الضغط الحاوية على مادة SF_6(انظر وصفها أخر التجربة).

2 – مصباح 6 V , 30W.

3 – حامل وحاضن المصباح.

4 – مجمع ضوئي .

5 – محول كهربائي 6 VAC , 12 VAC , 30 VA.

6 – فتحة ضوئية صغيرة.

7 – عدسة على الحامل ، بعدها المحرقي f = 100 Cm.

8 – موشور زاوية قائمة.

9 – حامل متعدد الوظائف.

10 – قاعدة حمل واسعة قاعدتها متباعدة.

11 – مثبت حراري للتسخين : دورة تسخين بمثبت من 30 إلى 100 درجة مئوية.

11–أنابيب وصل بلاستيكية.

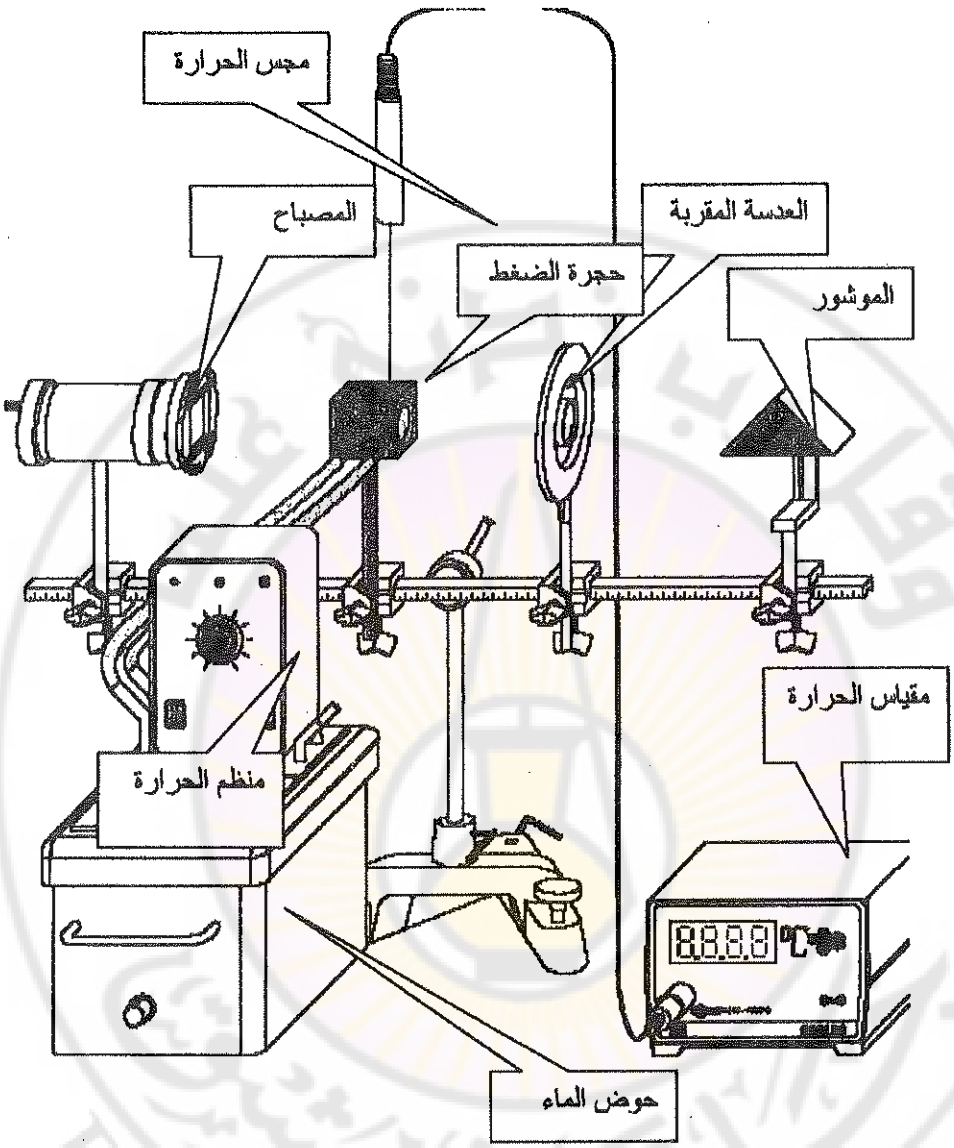
12–بيشر 400 ml.

14 – مقياس درجة حرارة رقمي بمدخل واحد راجع الشكل (6) تجربة السعة الحرارية.

– مجس كهرحراري Ni–NiCr.

مراحل العمل

– قم بترتيب أجزاء التجربة كماهو مبين في الشكل (4) .



الشكل (4)

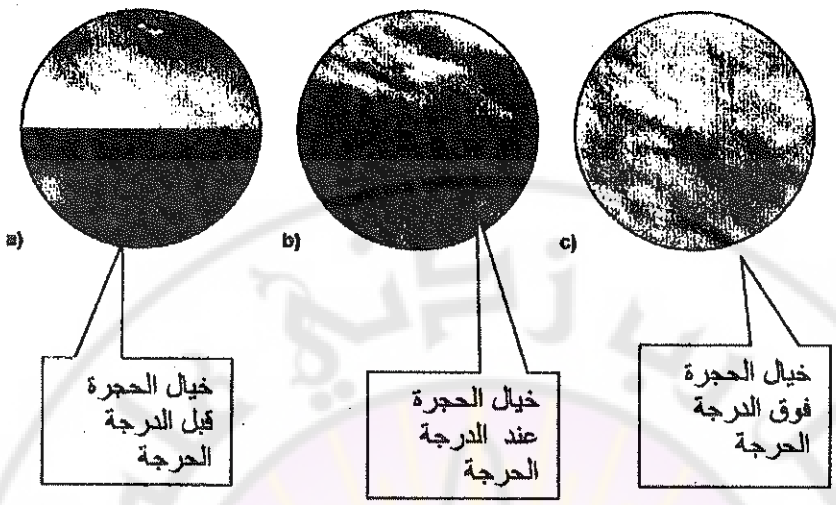
– تأكد من وصلات بخار الماء من الطرفين، إذا كانت غير متينة اطلب من المشرف إجراء اللازم.

– قبل وضع مجس درجة الحرارة في موضعه املأ التجويف بقليل من الماء، وضع السدادة المطاطية حول المجس الحراري.

- تأكد من صحة تركيز إضاءة المصباح ووضع العاكس قبل بدء التجربة. ووجود الأدوات على محور واحد (المنبع الضوئي، حجرة الضغط العالي، العدسة، الموشور القائم). وفي حال وجود خلل استشر المشرف على الجلسة للسماح بضبط الأدوات على المحور الضوئي.
- تأكد من وصل الماء الحار أو البخار إلى داخل الحجرة. من مسخّن الماء إلى الحجرة ثم إلى مجمع الماء المتكثف، أو عن طريق مثبت حرارة خاص.
- صل المصباح إلى وحدة التغذية (المحوّل)، وحرّك العدسة للحصول على تبئير جيد وبالتالي تحصل على خيال واضح للحجرة بما فيها على الجدار المقابل للجملة الشكل (a 5).
- عند تمام الاستعداد ابدأ بتسخين الماء، وراقب ارتفاع درجة الحرارة.

ملاحظة : بالقرب من درجة الغليان تتغير درجة الحرارة بسرعة. راقب الحالة بانتباه لأنه يصعب التحكم بها بالقرب من المرحلة الحرجة.

- في حال استخدام المثبت الحراري اعمل على درجة حرارة 40 درجة مئوية ثابتة، فإذا وصلت إليها زد درجة الحرارة المثبتة ببطء.
- قس درجة حرارة الحجرة عند الاقتراب من درجة الحرارة الحرجة وذلك عن طريق مراقبة خيال الحجرة على الجدار حيث يلاحظ بدء الغليان ، الشكل 5) (b و أوقف التسخين فوراً
- سجّل درجة الحرارة الحرجة التي تكون فيها الحالة السائلة والغازية معاً، وارسم الشكل الذي تلاحظه على الورقة، وراقبه بالعين مباشرة في الحجرة.
- اترك درجة الحرارة تتجاوز درجة الحرارة الحرجة وراقب حالة الاضطراب والجيشان، و لاحظ خيال الحجرة على الجدار وسجل ملاحظاتك



الشكل (5)

– سجّل درجة الحرارة الحرجة عند العودة (التبريد) أيضاً.

– أعد التجربة عدّة مرات منطلقاً من حالة استقرار السائل.

– ناقش النتائج واكتب القيم في جدول والقيمة النهائية على شكل قيمة وسطية.

الرقم	الدرجة الحرجة $T_c(K)$	الانزياح عن الوسطي	ملاحظات
1			
2			
3			
الوسطي			

- قدر الارتياب ΔT في حساب درجة الحرارة الحرجة.

- أحسب قيمة T_c من المعادلات (6) ، علما أن :

$R = 8.31\ J/mol^0.K$، $V_c = 200\ cm^3/mol$, $P_c = 49\ bar$ وقارن قيمتها بالقيمة التجريبية.

- أحسب عدد مولات المادة المستخدمة n.

- أجزاء حجرة الضغط العالي

حجرة الضغط العالي هي أهم قطعة من أجزاء تجربة تعيين درجة الحرارة الحرجة ، و هي مؤلفة من الأجزاء التالية :

1 – غرفة ضغط فولاذية مملوءة بالغاز بحالته السائلة، مع مجاري تسخين من نفس المعدن . تحوي على n مول من مادة SF_6.

2 – نافذة مراقبة زجاجية مقاومة للضغط العالي من الطرفين .

3 – ثقب مقياس درجة الحرارة أو المجس الحراري .

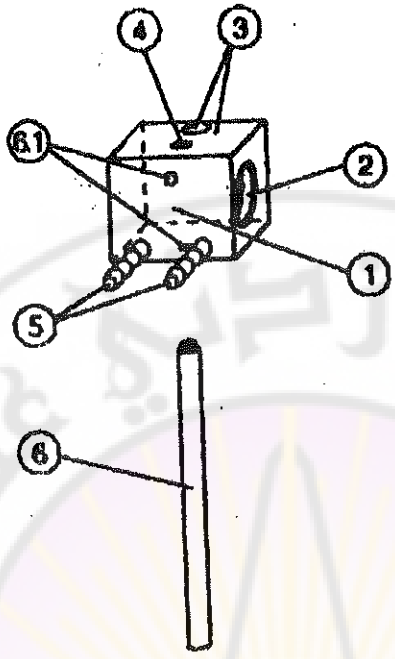
4 – برغي سدادة للغاز بحالته السائلة ولملء الغاز (لا تفتحه أبداً) .

5 – قنوات التسخين مدخل ومخرج ثخانة 8mm .

6 – قضيب حمل الحجرة، طول 130 mm، قطر 10 mm .

ويبين الشكل (6) الأجزاء الموصوفة:

Damascus University



الشكل (6) : مخطط أجزاء حجرة الضغط العالي.

Damascus University

قياس درجة حرارة منبع ساخن

اعتماداعلى قانون ستيفان بولتزمان

الغاية من التجربة

1 – حساب مقاومة سلك المصباح عند درجة حرارة الغرفة و درجة الصفر المئوي .

2 – قياس كثافة تدفق الطاقة من المصباح عند قيم مختلفة لجهد التسخين.

3 – التأكد من صحة قانون ستيفان بولتزمان.

تمهيد نظري

يربط قانون ستيفان بولتزمان بين درجة حرارة سطح المادة وكثافة الإشعاع الكهرمغنطيسي الصادر المرافق، ويُدرس في الفيزياء ضمن عنوان إشعاع الجسم الأسود، ولا يشترط في الجسم الأسود المثالي أن يكون لونه أسوداً، أو أن يكون بحالته الصلبة، فهو نموذج يعبر عن المادة التي تمتص كامل طيف الطاقة الإشعاعية الواردة، حتى وإن كانت الطاقة الإشعاعية ذات لون واحد (طول موجه محدد)، فنقول عن الغاز الذي يمتص طول الموجة 630mm أنه جسم أسود مثالي بالنسبة لطول الموجة 630mm إذا لم ينعكس عنه ولم ينفذ منه شيء.

أما من جهة منابع الإشعاع، فإن الجسم الساخن يصدر أشعة تتناسب مع درجة حرارته.اذ تستعمل قوانين إشعاع الجسم الأسود المثالي أيضا في هذه الحالة، و تكون كثافة الطاقة الاشعاعية E الصادرة عن سطح درجة حرارته T متناسبة مع T^4 وفق قانون ستيفان بولتزمان.

يمكن قياس درجة حرارة منبع حار بطرق مختلفة منها قياس شدة الأشعة الكهرمغنطيسية الصادرة عن المنبع بمقياس الشدة الضوئية، وقياس درجات الحرارة في الجوار ثم إجراء الحسابات. أي اعتبار المنبع الحار جسماً أسوداً

نطبق عليه نظرية بلانك في إشعاع الجسم الأسود، أو علاقة ستيفان بولتزمان التجريبية لدراسة درجة حرارة المنبع الحار.

نستعمل في هذه التجربة مصباحا كهربائيا متوهجاً أي مصباح يحول الطاقة الكهربائية إلى ضوئية، وتقاس شدة التوهج بمقياس شدة ضوئية U، وللتأكد من قوانين علاقة درجة حرارة المنبع المشع مع شدّة الإشعاع الكهرمغنطيسي نحسب درجة حرارة وشيعة التوهج (سلك المصباح) عن طريق قياس تغيرات مقاومة السلك بزيادة درجة حرارته.

فشلت الفيزياء التقليدية (الفيزياء قبل 1900م) في تفسير ظاهرة إشعاع الجسم الأسود وامتصاصه، لأنها اعتمدت مبدأ امتصاص واصدار الطاقة كتابع طاقي مستمر، و قد نجح العالم بلانك في تفسير هذه الظاهرة بافتراض أن الإشعاع الطاقي للذرات لا يكون مستمراً وإنما متقطّعاً، وهو عبارة عن وحدات من الطاقة الإشعاعية مساوية الى $E = h\nu$ ، حيث ν- هو تواتر الضوء الممتص أو الصادر، و h- ثابت بلانك.

إن تغير كثافة الطاقة dE للجسم الأسود (أي كمية الطاقة المشعة أو الممتصّة لكل وحدة مساحة عند درجة حرارة T وطول موجة λ في المجال $d\lambda$) يعطى بعلاقة بلانك التالية:

$$dE(\lambda,T) = \frac{2c^2 h\lambda^{-5}}{\exp(\frac{hc}{\lambda kT}) - 1} d\lambda \qquad (1)$$

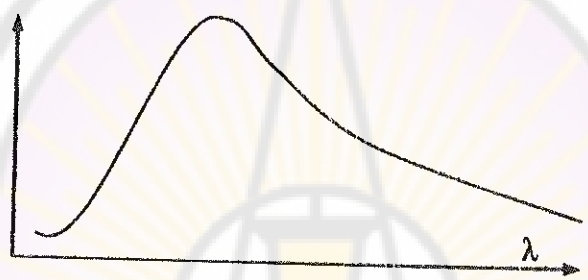
حيث c سرعة الضوء $3.00\ 10^8 m/s$. h: ثابت بلانك $6.62\ 10^{-34} J.S$. k: ثابت بولتزمان $1.381\ 10^{-23} JK^{-1}$ و T - درجة حرارة الجسم المدروس الممتص للطاقة أو المصدر لها.

بمكاملة العلاقة (1) بالنسبة لطول الموجة في المجال من $\lambda = 0$ إلى $\lambda = \infty$ نحصل على علاقة كثافة الاستطاعة كتابع لدرجة الحرارة و هو ما يعرف بقانون ستيفان بولتزمان:

$$E(T) = \frac{2\pi^5}{15}\frac{k^4}{c^2h^3}T^4 \Rightarrow E(T) = \sigma T^4 \qquad (2)$$

حيث: $\sigma = 5.6710^{-8}\, w.m^{-2}.k^{-4}$ يدعى ثابت ستيفان بولتزمان. كما تمثل E القدرة التي تشعها أو التي تمتصها واحدة السطح و هي تقدر بواحدة W/m^2 .

يبين الشكل (1) تابعية كثافة الطاقة الإشعاعية للجسم الأسود لطول الموجة الكهرمغنطيسية.



الشكل (1) : علاقة E مع λ.

وتعد معادلة ستيفان بولتزمان السابقة $E = \sigma T^4$ صحيحة أيضاً في الحالات التي أشرنا إليها في بداية التجربة حيث لا تكون الأجسام سطوحاً فقط ولا سوداء اللون تحديداً. أي يمكن تطبيقها من أجل الأجسام الرمادية حيث يكون معامل امتصاص السطح مرتبط بطول موجة الشعاع و هو أقل من الواحد. أما عند استعمال سطوح ليست سوداء يجب ضرب علاقة ستيفان بولتزمان المعادلة (2) بمعامل ابتعاد الجسم عن الأسود المثالي (ε) و الذي يسمى معامل الاصدارية، وقيمته تتراوح بين الصفر و الواحد.

$$E(T) = \varepsilon\sigma T^4 \qquad (3)$$

من أجل مسافة محددة بين فتيل المصباح و مقياس الشدة الضوئية تكون كثافة الاستطاعة التي تصل إلى مقياس الشدة متناسبة مع القوة المحركة الكهرحرارية U_{Therm} الناتجة عن مستقبل مقياس الشدة الضوئية، حيث يعتمد مقياس الإضاءة على الفعل الكهرحراري للضوء الساقط عليه ويحوله إلى جهد كهربائي V و يمكن أن تكتب:

$$U_{Therm} \sim T^4 \qquad (4)$$

أو بالشكل : $U_{Therm} = A.V$ و هي مقدرة بالواط. أما A فهو ثابت تناسب.

لنفرض أن الجسم A درجة حرارته T و اصداريته ε محاطا كليا بغرفة ذات درجة حرارة T_r حيث $T_r < T$ و لها نفس الاصدارية. ان الجسم A سوف يصدر اشعاعا بمعدل $\varepsilon\sigma T^4$ و سيمتص اشعاعا من الغرفة المحيطة به بمعدل $\varepsilon\sigma T_r^4$. عندئذ يكون صافي فقدان القدرة الاشعاعية الحرارية من أجل وحدة السطح هو:

$$E = \varepsilon\sigma(T^4 - T_r^4) \qquad (5)$$

$$U_{Therm} \sim (T^4 - T_r^4)$$

إن المعادلة (4) يمكن التعبير عنها بشكل دقيق بعلاقة من الشكل:

$$U_{Therm} = A\,\sigma\,T^4 \qquad (6)$$

بالنسبة لدرجة حرارة الفتيل فإنه ولدى رسم العلاقة بين كثافة الإشعاع (أو القوة المحركة الكهرحرارية) الذي تمثله قراءة مقياس الإشعاع وبين درجة الحرارة المطلقة التي نحصل عليها من مقاومة فتيل المصباح في كل حالة ، بالشكل اللغريتمي نحصل على علاقة خطية بين log U و (log T) من الشكل :

$$\text{Log } U_{Therm} = 4 \log T + \text{Const} \qquad (7)$$

إذا قسنا الشدة الضوئية من الاستطاعة الكهربائية المسجلة، فهي مقاسة بالواط، وفي هذه الحالة سيكون الثابت Const شاملاً لمجموع (log σ + log A) حيث A سطح المستقبل بالمتر المربع.

علاقة المقاومة بدرجة الحرارة

تحسب درجة الحرارة المطلقة للفتيل T = t + 273 عن طريق حساب مقاومة السلك R(t) المصنوع من التنغستين حيث t- هي درجة الحرارة مقدرة بدرجات سيلسيوس. ان مقاومة أي سلك تتغيرمع درجة الحرارة وفق القانون التالي:

$$R(t) = R_0 (1 + \alpha t + \beta t^2) \qquad (8)$$

حيث t هي درجة الحرارة مقدرة بدرجات سيلسيوس . وقد يكون سلوك المقاومة مع درجة الحرارة مختلفاً، وهذا يتعلق بالثابتين α و β وفي هذه الحالة تكون R_0: مقاومة الفتيل عند الصفر سيلسيوس وفي حالة مصباح التنغستين مساوية :

$$R_0 = \frac{R(t)}{(1 + \alpha t + \beta t^2)} \qquad (9)$$

حيث: $\beta = 6.7610^{-7} K^{-2} \quad \alpha = 4.8210^{-3} K^{-1}$

إن العلاقة (9) يمكن اختصارها للسهولة و ذلك نظراً لإهمال المقدار ($t\beta$)في المقام بحيث تصبح

$$R_0 = \frac{R(t)}{(1 + \alpha t)} \qquad (10)$$

بتعويض T = t + 273 في العلاقة السابقة (9) وحل المعادلة بالنسبة لـ T

نحصل على:

$$T = 273 + \frac{1}{2\beta}\left[\sqrt{\alpha^2 + 4\beta\left(\frac{R(t)}{R_0} - 1\right)} - \alpha\right] \qquad (11)$$

او باستخدام العلاقة المبسطة(10) نحصل على:

$$T = 273\frac{R(t)}{R_0} \qquad (12)$$

حيث $\alpha \approx 0.004 \approx \frac{1}{273}{}^0K$

يتم الحصول على قيمة R(t) أي مقاومة الفتيل في درجة حرارة الغرفة باستخدام قانون أوم، و ذلك من قياس قيم الجهد V والتيار I بين طرفي المصباح.و من ثم نقوم بحساب درجة حرارة المصباح T من العلاقة (12) بعد حساب قيمة R_0 من العلاقة (10).

أما قيمة الإشعاع فيتم الحصول عليها من خلال قراءة مقياس الجهد (الفولت) الموصول الى خرج المضخم الموصول إلى مقياس شدة الإضاءة مع مراعاة عامل الضرب المستخدم على المضخم ونقطة الصفر ومعامل التحويل الخاص بمقياس شدة الإضاءة.

الادوات والاجهزة المستخدمة

-مقياس شدة الإضاءة الحراري.

-أنبوب الحماية لمقياس شدة الإضاءة الحراري.

-مضخم إشارات كهربائية للقياس العام.

-وحدة تغذية متغيرة 15 V متناوب و 12V مستمر وتيار 5 A.

-حامل للمصباح E14 على عمود.

-مصباح ذو فتيل 6V و5A (E14).

-علبة وصل.

-مقاومة100 أوم ضمن علبة ومآخذ.

-منصة تجربة بطول 60 سم.

-قاعدة للمنصة البصرية قابلة لضبط الارتفاع والتوازن.

-حامل منزلق يركب على المنصة البصرية ارتفاع 30mm.

-مقياسان رقميان متعددا المجالات، للفولط والأمبير.

-أسلاك توصيل.

مراحل العمل

الجزء الأول : قياس مقاومة فتيل المصباح في درجة حرارة الغرفة.

1 - صل الدارة وفق الشكل (2). ابدأ الوصل من أحد أقطاب منبع التغذية .

2 - يتم وصل المقاومة 100 أوم أو معدلة ذات زالقة على التسلسل مع المصباح لتنظيم التيار والتحكم به بشكل أفضل. (ويمكن الاستغناء عنها إذا كانت قيم V صغيرة)، على ألاّ يحدث توهج في السلك بالاضافة الى مقياس آمبير ، ثم مقياس فولط على التفرع بين طرفي المصباح.

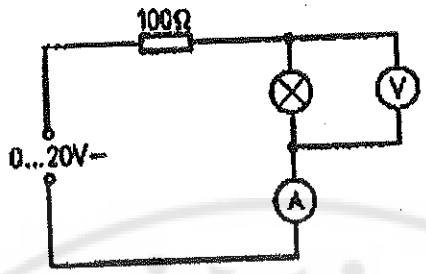
3 - صل تغذية المصباح بتيار مستمر.

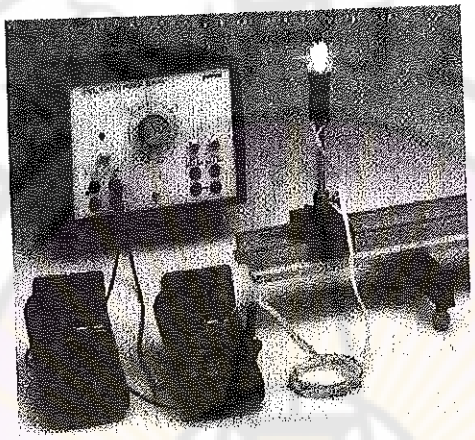
4 - غيّر قيمة التيار بمجالات صغيرة (تيارات لا تسبب توهج فتيل المصباح) مثلا 100 mA و200 mA .

5 - قيس قيم الجهد المطبق بين طرفي المصباح في كل مرة، ونسجّل النتائج في الجدول (1) .

6 - احسب مقاومة فتيل المصباح في درجة حرارة الغرفة (R(t من قانون أوم عدّة مرات بتغيير قيم I و V. ثم احسب ($R(t$ الوسطي والارتياب.

ملاحظة: (إن التيار المستخدم في كل الحالات يجب أن يكون صغيراً جداً بحيث يهمل الأثر الحراري)





الشكل (2) مخطط التجربة وتوضع الأجهزة.

الجدول (1)

التجربة	التيار A	الجهد V	المقاومة في درجة حرارة العمل
1			
2			
-			
-			

7- قم بعد ذلك بحساب قيمة المقاومة R_0 من العلاقة (10) بعد تعويض t بدرجة حرارة الغرفة

الجزء الثاني : قياس درجة حرارة فتيل المصباح، وشدّة الإشعاع الكهرمغنطيسي الناتج عنه .

1 – إضافة إلى دارة الشكل (2) . صل الدارة الخاصة بمقياس الشدة الضوئية حسب الشكل (3) مع الانتباه الى استخدام منبع الجهد المتناوب من وحدة التغذية لتغذية المصباح في هذا الجزء .

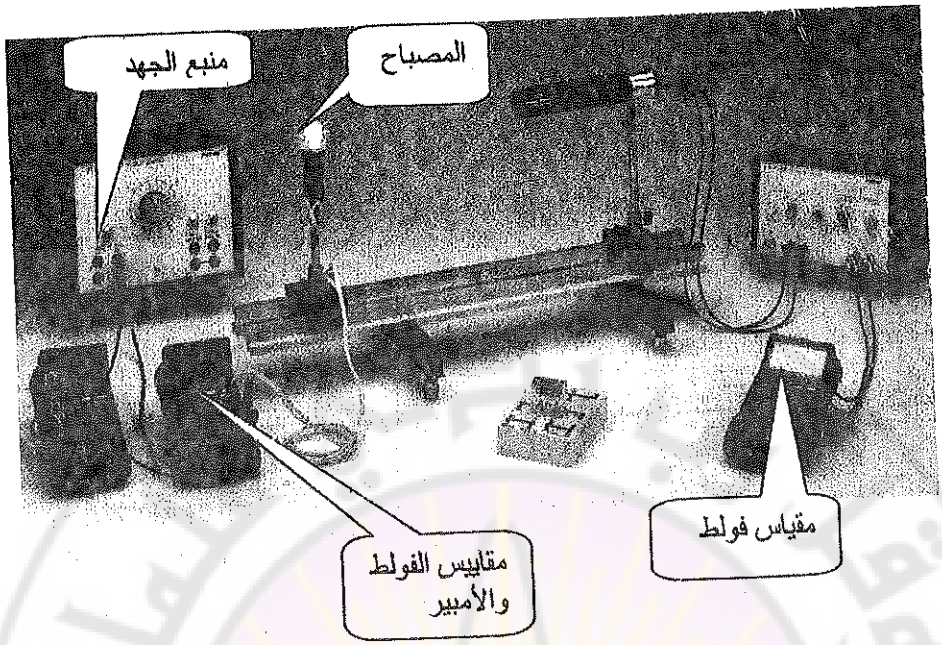
(يجب الانتباه إلى قيمة التيار الاسمي للمصباح هي 5A ولكن يمكن تشغيل المصباح عند تيار أعلى من القيمة الاسمية بقليل لفترة زمنية محدودة لا تتجاوز عدة دقائق).

2 – هيّئ أجهزة قياس شدّة الأشعة الضوئية، مستقبل ومضخم إشارة المستقبل.

3 – قس الشدّة الضوئية بمقياس mV على اعتبار المستقبل منبع إشارة كهربائية، أو يُستخدم مقياس شدّة ضوئية مباشرة، أو تُستخدم وحدة الوصلة البينيةالخاصّة بهذه التجربة لتسجيل V و I على الحاسب مباشرة بعد التضخيم.

4 – يستعمل المضخم بإدخال إشارة المستقبل إلى مدخله، وقياس مخرج المضخم بعد وضع زر التضخيم واختيار مرتبة التضخيم.

Damascus University



الشكل (3): توضع تجهيزات الجزء الثاني من التجربة.

5 – قبل البدء بتسجيل القراءات يتم تصفير النظام بحجب المصباح .

6 – طبّق جهد فولط واحد.

(يجب الانتظار دقيقة في كل مرّة يتم فيها تغيير الجهد للوصول إلى حالة الاستقرار)

7 – ضع مقياس الإشعاع على بعد حوالي 30 cm من المصباح وأدرها إلى اليمين واليسار بشكل بسيط للحصول على أعلى قيمة للجهد مع خرج المضخم (يضبط على تكبير 10^2 أو 10^3 و المضخم يستخدم في نظام انجراف منخفض 10^4أوم مع ثابتة زمنية 1 s.

8 – يوصل خرج المضخم إلى مقياس الفولط أوالوصلة البينية(interface) ان وجدت مع الحاسب .

9 – يتم إجراء عملية القياس كما يلي: يجب الانتباه إلى عدم وجود مصادر حرارية قريبة تؤثر على النتائج :

أ – قبل البدء بتسجيل القراءات يتم تصفير النظام بإبعاد المصباح مسافة كافية عن مقياس الشدة الضوئية.

ب – يتم استخدام زر ضبط الصفر لتصفير القياس.

10 – أكمل الجدول (2) التالي : بتسجيل قيمة الجهد وشدّة التيار وحساب المقاومة من قانون أوم، ودرجة الحرارة من العلاقة (10)، ثم دون قيمة فرق الكمون الناتج عن مقياس الشدة $U_{Thermal}$ من الجدول (2). و سجّل قيم لوغاريتم درجة الحرارة T والشدة الضوئية $LogU_{the}$ في الجدول (2).

الجدول (2)

$LogU_{Therm}$	U_{Therm} (فولط)	Log T	T (K)	R (Ω)	I (A)	الجهد (V)
						–
						–
						–
						–

11 – ارسم على ورقة لوغاريتمية تحولات Uبدلالة T. أو log U مع log T على ورقة ملمترية.

12 – احسب ميل المنحني الناتج وبين ماذا يمثل؟ ثم ناقش النتائج.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

التسخين بالإشعاع

الغاية من التجربة

- حساب كمية الحرارة الممتصة نتيجة التسخين بمنبع أشعة ثابت الطاقة والبعد.
- حساب ε إصدارية الجسم (emmissivity) لعدد من السطوح المعدنية أو سطح معدن واحد بألوان مختلفة أو درجات نعومة مختلفة

تمهيد نظري

يتميز التبادل الحراري الإشعاعي بانعدام التماس المباشر بين الأجسام . و حامل طاقة الاشعاع الحراري هو الأمواج الكهرطيسية التي تختلف في أطوال موجاتها. و التي تصنف وفقا لطول موجتها بالاشعة فوق البنفسجية ، و المرئية ، و تحت الحمراء. حيث تؤدي الأشعة تحت الحمراء دورا كبيرا في عملية التبادل الحراري.

من جهة ثانية، تتميز جميع الأجسام بأنها تصدر اشعاعات حرارية. أي إن الجسم يصدر الطاقة على شكل اشعاع عند درجات حرارة مختلفة عن الصفر المطلق. كذلك عند سقوط حزمة من الأشعة على جسم ما فإنه يمتص جزءاً منها ، و يعكس جزءاً آخر عن سطحه، كما يسمح بمرور جزء ثالث من خلاله لينتقل إلى جسم آخر.

إذا فرضنا أن Q_0 كمية الطاقة الإشعاعية الساقطة على الجسم، فإن كمية الطاقة الإشعاعية الممتصة من قبل الجسم هي Q_A ، و كمية الطاقة الإشعاعية المنعكسة عن سطح الجسم هي Q_R ، و كمية الطاقة الإشعاعية النافذة من خلال الجسم هي Q_D ، عندها يمكن أن نكتب:

$$Q_0 = Q_A + Q_R + Q_D \qquad (1)$$

بقسمة طرفي المعادلة (1) على Q_0 نحصل على :

$$1=\frac{Q_A}{Q_0}+\frac{Q_R}{Q_0}+\frac{Q_D}{Q_0} \qquad (2)$$

أو بالشكل:

$$1 = A + R + D \qquad (3)$$

حيث : A- القدرة الامتصاصية للجسم (ثابت الامتصاص).

R- القدرة الانعكاسية للجسم (ثابت الانعكاسية).

D- قدرة النفوذية للجسم (ثابت النفوذية).

وفقاً للعلاقة (3) نستطيع أن نصنف الأجسام في ثلاثة أنواع هي :

1- الجسم مطلق السواد: و هو الجسم الذي يكون من أجله الثابت A = 1، بينما الثابتين الآخرين R + D = 0. و هذا الجسم يمتص الطاقة الساقطة عليه بشكل كامل. و هو نادر الوجود في الطبيعة، و لكن هناك أجسام قريبة منه مثل الكربون النقي.

2- الجسم مطلق البياض (المرآوي): و هو الجسم الذي يكون من أجله الثابت R= 1، بينما الثابتين الآخرين A+ D = 0. و هو الجسم الذي يعكس الطاقة الساقطة عليه بشكل كامل، و هو نادر الوجود في الطبيعة أيضا.

3- الجسم الشفاف: و هو الجسم الذي يكون من أجله الثابت D= 1 ، بينما الثابتين الآخرين R + A= 0. و هو الجسم الذي يسمح بمرور كامل الأشعة الساقطة عليه. و بصورة عامة تعتمد قدرة الجسم على امتصاص أو عكس أو إمرار الطاقة الإشعاعية على نوعيته و حالة سطحه (خشن – أملس – الخ) ، و كذلك على طبيعة الأشعة الساقطة عليه.

لقد بين ستيفان أن الطاقة الاشعاعية للجسم المطلق السواد تتناسب طردا مع درجة حرارته من المرتبة الرابعة وفق العلاقة:

$$E=\sigma T^4 \qquad (4)$$

حيث σ- ثابت الاشعاع (ثابت ستيفان – بولتزمان)، و قيمته تساوي : $\sigma = 5.67x10^{-8}\ W/m^2.{}^0K^4$.

يختلف إشعاع و امتصاص الأجسام الحقيقية عما يمليه قانون ستيفان – بولتزمان (4) إذا ما قورنت بالجسم مطلق السواد. و لتعميم قانون ستيفان – بولتزمان على عمليات الاشعاع و الامتصاص للأجسام الحقيقية ، فقد أدخل مفهوم الجسم الرمادي. و هو الجسم الذي يشع أو يمتص أشعة الطيف كاملا و لكن بشدة أقل كثيرا مما هي عليه في الجسم الأسود. و في حالة الجسم الرمادي يمكن التعبير عن قانون ستيفان – بولتزمان بالعلاقة:

$$E=\varepsilon \sigma T^4 \qquad (5)$$

حيث الثابت ε- يمثل اصدارية الجسم. و هو يساوي $\varepsilon = 1$ من أجل السطح مطلق السواد، بينما يساوي $\varepsilon = 0$ من أجل السطح المرآوي.و بالتالي فاننا في هذه التجربة سوف نقوم بحساب قيمة هذا الثابت من أجل سطوح ذات ألوان(طبيعة) مختلفة.

الادوات والاجهزة المستخدمة

1 – صندوق معدني ذو ثخانة قليلة، وله غطاء يساعد على ملء الماء أو أي سائل بداخله وتنظيفه. ويحتوي على فتحة لوضع ميزان قياس درجة حرارة السائل داخل الوعاء. الوعاء المستخدم مصنوع من النحاس الأصفر طول ضلعه 12 cm (قم بقياس الطول). تطلى أوجه الصندوق الأربعة بألوان مختلفة بحيث يكون لكل وجه لون مختلف مثلاً: الأول بلون أسود والثاني رمادي والثالث

أبيض والرابع مرآوي، أو يمكن جعل الوجوه مختلفة باللعومة . انظـــر الشكل (1).

2 - مصباح كهربائي قوي قابل للتوجه وحصر إضاءته.

3- ميزان حرارة عشري زئبقي ، أو ميزان حرارة رقمي مع مجس حراري مناسب . راجع الشكل (6) تجربة السعة الحرارية.

- مراحل العمل

1- املأ الوعاء بكمية معروفة m من السائل (ماء نظيف مثلاً) ثم ضع ميزان الحرارة (الزئبقي أو الرقمي) في الماء عن طريق حامل بحيث لا يلامس ميزان الحرارة أحد السطوح، يرفع الصندوق عن الأرض بعازل كما في الشكل (1).

الشكل (1)

2 – سجل درجة حرارة السائل (T_0) الموافقة لبدء القياس (قبل التعرض للأشعة أي اللحظة (t_0).

3 – ضع الوجه الأسود مقابل مصباح من التنغستين ذو استطاعة معروفة وله مجمّع ضوئي انعكاسي أو يجمع الضوء بمجموعة ضوئية. واملأ الجدول (1) عن طريق تسجيل درجة الحرارة كل دقيقتين. بدءًا من لحظة إضاءة المصباح وحتى الوصول لدرجة حرارة لا تتغير كثيراً مع الزمن (حوالي نصف ساعة). (يتعلق هذا بدرجة حرارة المخبر التي تتغير من شهر لآخر أو لسبب اخر داخل المخبر).

4- أحسب كل من Qi , Wi , Ei بعد كل دقيقتين و ضع النتائج في مكانها في الجدول (1). حيث i ترمز الى رقم الخطوة الموافقة للزمن t وفق الخطوات التالية:

- احسب مقدار تغير درجة الحرارة الكلية للماء في الصندوق و لتكن ΔT، حيث $\Delta T = T - T_0$ ، هي درجة الحرارة النهائية، و T_0 درجة الحرارة قبل بدء التسخين.
- احسب كمية الحرارة التي اكتسبها الماء خلال فترة التسخين الكلية t، من العلاقة : $Q(J) = c\ m\ (\Delta T)$

حيث c– الحرارة النوعية للماء و تساوي: 4.18 J/ g.K.

- احسب الاستطاعة الحرارية من العلاقة : $W = Q / t$.
- احسب الطاقة الممتصة من قبل المادة من العلاقة : $E = W/S$ ، حيث S– مساحة سطح وجه الصندوق و الذي يساوي: $12 \text{ x} 12\ cm^2$.
- استبدل الماء الموجود داخل الصندوق ، و أعد العمل بالفقرات السابقة من أجل الوجوه الأخرى للصندوق و ضع النتائج في جداول مشابهة للجدول (1) لكل وجه على حده.

الجدول (1)

كتلة الماء = السعة الحرارية النوعية للماء = لون الوجه:

$E_i = W/S$ (w/m^2)	$Wi = \frac{Q}{\Delta t}$ (w)	$Qi = Cm\Delta T$ (J)	$\Delta T = Ti - T_0$	T	الزمن t(min)
					0
					2
					2
					6
					8
					.
					.30

5- ارسم على ورقة ميليمترية واحدة تحولات Q بدلالة الزمن t ، Q(t)، من أجل كل وجه. ماذا تستنتج؟

6- قم بحساب قيم ε_j لكل وجه من أوجه المكعب الأربعة من العلاقة:

$$\varepsilon_j = \frac{E_j}{E_1} = \frac{W_j}{W_1} = \frac{Q_j}{Q_1} \qquad (6)$$

حيث j يشير الى رقم وجوه المكعب. و ذلك على فرض أن مساحة سطح كل وجه من وجوه الصندوق متساوية و كذلك زمن التسخين واحد لكل الوجوه، و الدليل (1) في المعادلة (6) يشير إلى الوجه الأسود من المكعب. إن كمية

الحرارة المحسوبة في المعادلة (6) **تأخذ على كامل الفترة الزمنية لتسخين الوجه**(Δt -الزمن الكلي للتجربة) ضع نتائج الحساب في الجدول (2) :

الجدول (2)

الوجه	$W = Q/\Delta t$	ε من العلاقة(6)	الارتياب $\Delta\varepsilon$
الوجه الأسود			
الوجه الرمادي			
الوجه الأبيض			
الوجه المرآوي			

7- ارسم على ورقة لغريتمية واحدة تحولات E(T) من الجدول (1). و استنتج منه قيمة الثابت ε للسطح و قارنه مع القيمة المحسوبة في الجدول (2).

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

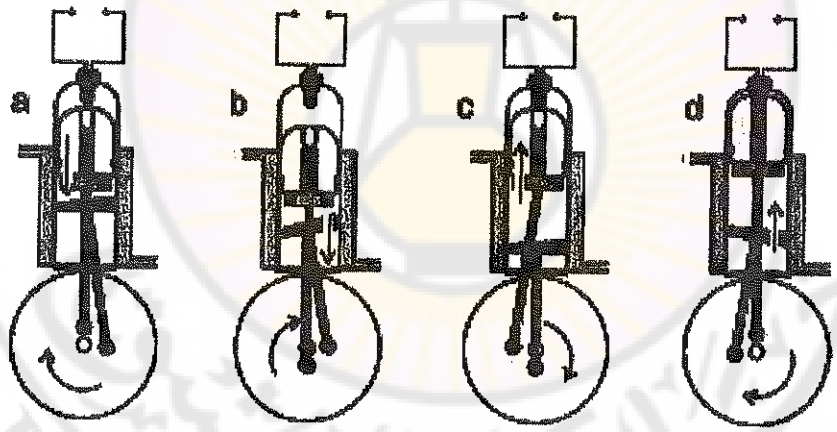
محرك الهواء الحار

الغاية من التجربة

- دراسة إحدى الدورات الترموديناميكية
- استعمال محرك الهواء الحار لتوليد العمل.
- دراسة محرك الهواء الحار كمضخة حرارية.
- استعمال الحاسب لرسم الدورة الترموديناميكية P(v) للمحرك.
- حساب العمل الناتج من الدورة.

التمهيد النظري

محرك الهواء الحار الذي وضعه روبرت سترلنغ 1816 هو أحد أشكال المحركات البخارية . ابسط مخطط لمثل هذه المحركات مبين في الشكل (1).

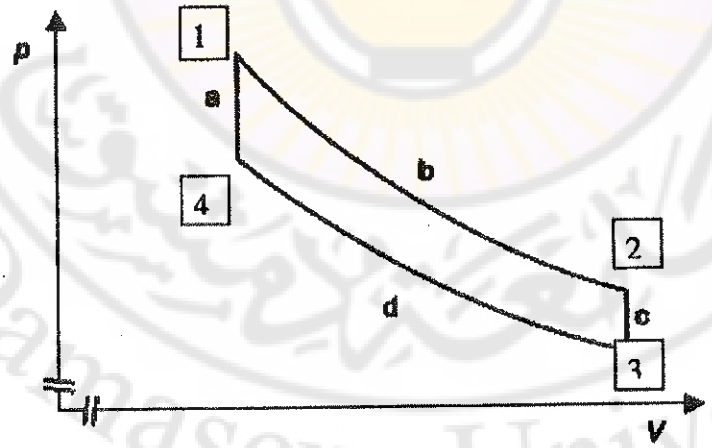


الشكل (1)

يتألف هذا النوع من المحركات عادة من مكبسين، متصلين من خلال عمودين ودولاب مشترك (الشكلان1و3) هما مكبس العمل و مكبس الإزاحة .

يدور مكبس الإزاحة متقدما في الطور على مكبس العمل ب 90^0 .عندما يكون مكبس العمل أعلى المركز (مركز الدولاب المتصل مع المكابس) تماما، يكون مكبس الازاحة يمين هذا المركز كالحالة a الشكل (1). و عندما يتحرك مكبس الإزاحة للأسفل يسبب إزاحة الهواء للأعلى إلى الجزء الساخن من أسطوانة المحرك. حيث يسخن الهواء ثم يتمدد و يدفع مكبس العمل للأسفل الحالة b الشكل (1) . و في أثناء حدوث ذلك ينتقل العمل الميكانيكي الى دولاب الحركة. أما عندما يكون مكبس العمل أسفل المركز (مركز الدولاب المتصل مع المكابس) تماما الحالة c الشكل (1)، فإن مكبس الإزاحة يتحرك الأعلى مما يسبب حركة الهواء للأسفل نحو الجزء البارد من اسطوانة المحرك، مما يؤدي الى تبريده و ضغطه بوساطة مكبس العمل كالحالة d الشكل (1) . و عندئذ يقدم العمل اللازم لانجاز هذه المرحلة (ضغط الغاز) من دولاب الحركة.

يمكن القول بتقريب مقبول أن الهواء يسخن و يبرد مع بقاء حجمه ثابت، في حين يتمدد الهواء و ينضغط بثبات درجة الحرارة. و بالتالي تتألف الدورة الترموديناميكية لمحرك الهواء الحار من المراحل التالية الشكل (2):



الشكل (2)

المرحلة الأولى:

تسخين متساوي الحجم "التحول a "، حيث يتم امتصاص كمية من الحرارة في هذه المرحلة . فيتغير الضغط $P_1 \rightarrow P_4$ و كذلك درجة الحرارة $T_1 \rightarrow T_2$ بينما يبقى الحجم ثابتا $V = const.$.

المرحلة الثانية:

تمدد متساوي الدرجة "التحول b "، عند درجة الحرارة العالية. $V_1 \rightarrow V_2$ و كذلك $P_1 \rightarrow P_2$ و $T_1 = const.$

المرحلة الثالثة:

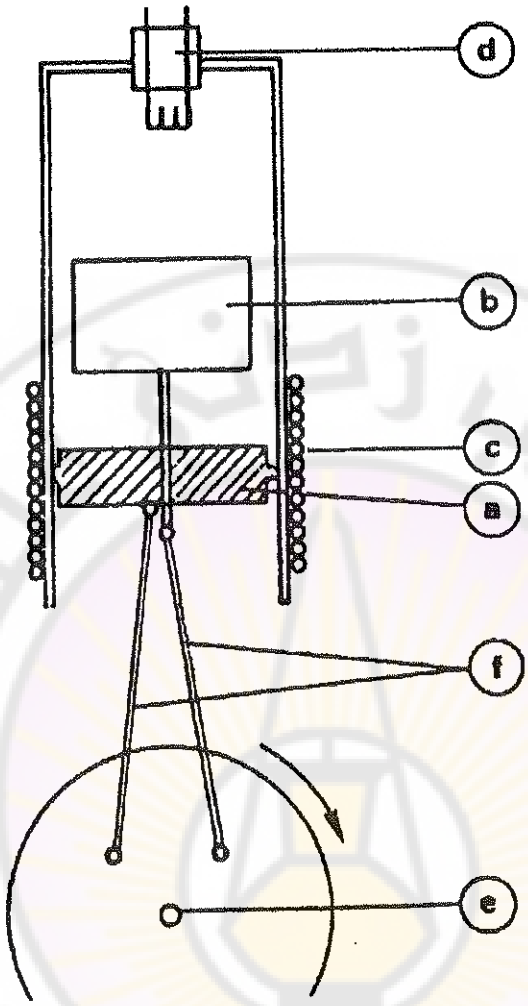
تبريد متساوي الحجم "التحول c" ، حيث يتم طرح كمية من الحرارة في هذه المرحلة . $T_1 \rightarrow T_2$ و كذلك $P_2 \rightarrow P_3$ أما $V = const$.

المرحلة الرابعة :

انضغاط متساوي الدرجة "التحول d"، ذو درجة الحرارة المنخفضة.
$V_2 \rightarrow V_1$ و $P_3 \rightarrow P_4$ بينما $T_2 = const$.

إن مثل هذه الدورة المبينة في الشكل (2) تدعى دورة سترلنغ و المحرك الذي ينجز هذه الدورة الترموديناميكية يدعى محرك سترلنغ . و الذي يتألف من الأجزاء المبينة في الشكل (3).

Damascus University



الشكل (3)

a- مكبس العمل

b- مكبس الإزاحة

c- ماء التبريد (النهاية السفلى)

d- وشيعة التسخين (النهاية العليا)

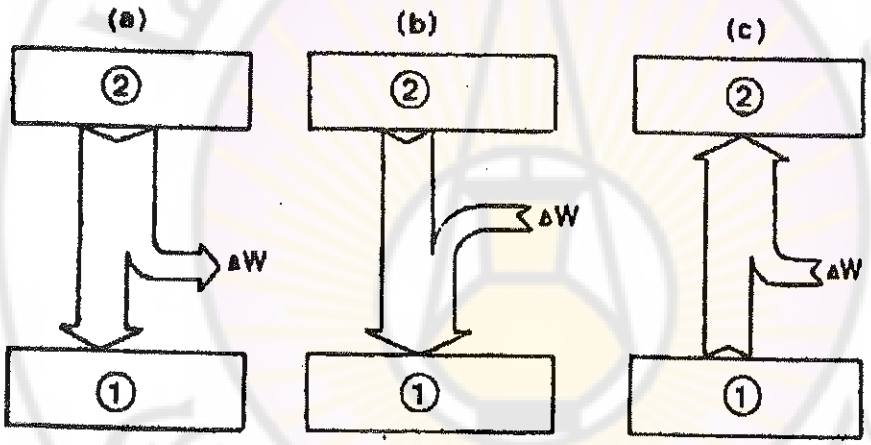
e- ذراع التدوير مع دولاب الحركة

f- قضبان التوصيل

Damascus University

و يعد هذا النوع من المحركات النموذج الأكثر شهرة لدراسة مبدأ المحركات الحرارية، و ذلك لكون عمليات تحويل الطاقة الحرارية الى ميكانيكية واضحة جدا و سهلة الفهم، ويستطيع أن يعمل باستخدام منابع حرارية مختلفة.

يمكن الإشارة إلى أن محرك سترلنغ يمكن أن يعمل كآلة تبريد إذا أوقف تسخين رأس اسطوانة المحرك و تم تغذية المحرك من محرك كهربائي خارجي حتى يدور المحرك منجزا الدورة الترموديناميكية المبينة في الشكل (2) و لكن في الاتجاه المعاكس. يظهر الشكل (4) مخططا لمحرك سترلنغ عندما يعمل محرك هواء حار (a) أو مضخة حرارية (b) أو كآلة تبريد (c).



الشكل (4)

الأجهزة والأدوات المستخدمة

1 – محرك الهواء الحار النموذجي، مؤلف من مكبسين متداخلين موصولين بدولاب كبير القطر كما في الشكل (3).

2 – محرك كهربائي مناسب لتحريك دولاب محرك الهواء الحار، مع دولاب صغير يدور 500 دورة في الثانية، تغذية 220V.

3 – وحدة تغذية وشيعة التسخين بتوتر منخفض ، انظر الملحق من هذه التجربة لمعرفة مواصفاتها وطريقة تشغيلها.

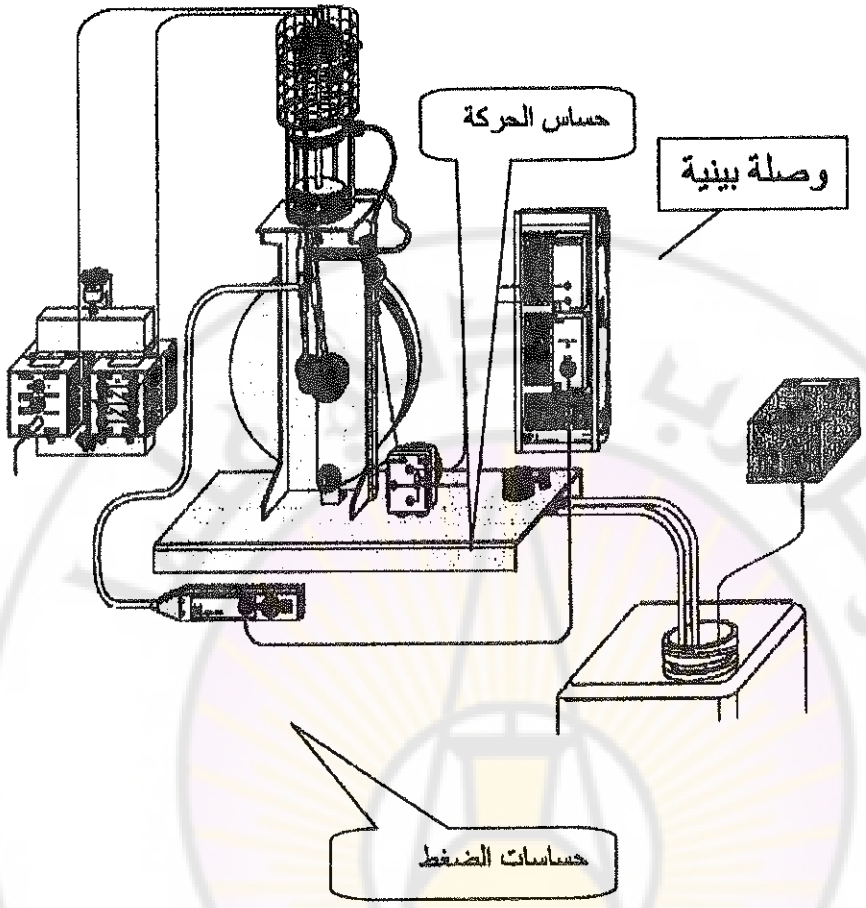
4 – غطاء للمحرك يحتوي على مقياس درجة حرارة زئبقي و باقي الملحقات ، انظر التفاصيل في الشكل (5) من الملحق.

6 – وصلات مياه التبريد للمحرك، كما يوضحها الشكل (6)، والتبريد مهم جداً لعمل هذا المحرك والمحافظة عليه.

7 – حساس قياس الضغط رقمي مع الملحقات، كما في الشكل (5).

8 – لوحـــة وصـــل بينية بين الحاسب والمحرك (interface) مبينة في الشكل (5) .

9 – حاسب مع برنامج CASSY.



الشكل (5) مخطط توصيل تجربة محرك الهواء الحار مع ملحقاته الرئيسية.

<u>مراحل العمل</u>

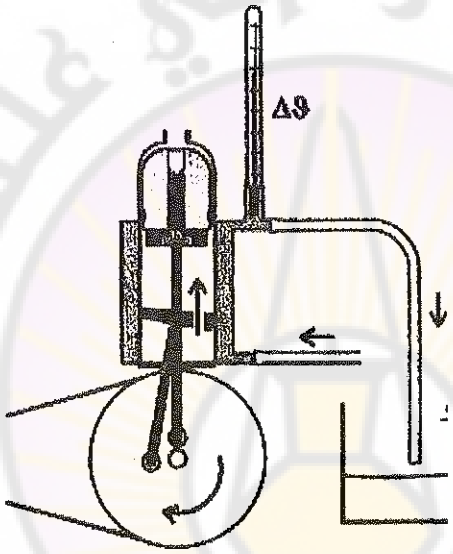
الجزء الأول:تحويل الحرارة الى عمل

1 – وصل دورة تبريد المحرك بالماء البارد

يمكن تبريد محرك الهواء الحار بطريقة مغلقة أو بطريقة مفتوحة، تستعمل مضخة صغيرة خاصة تسحب الماء من وعاء الماء البارد لتبريد محرك الهواء الحار بالطريقة المغلقة. وتعيد الماء إليه كما في الشكل(6) . وفي الطريقة

المفتوحة يوصل مدخل الماء إلى (صنبور الماء الرئيسي) ويعود الماء بعد التبريد إلى المصرف مباشرة.

1-صل الماء وافتح الصنبور مع مراقبة حركة الماء في غمد الأسطوانة وتأكد من خروج الماء من أنبوب الخرج. ولا تغيّر وصلات الماء دون استشارة المشرف .



الشكل (6) : طريقة تبريد محرك الهواء الحار بالماء.

2 – قم بتغطية رأس أسطوانة الرأس وشد البراغي الثلاثة على أن يكون الغطاء مع وشيعة التسخين، وأعد الغطاء الشبكي إلى مكانه.

3 – حرك المكبس ببطء باليد لتتأكد أن القمع النحاسي لا يصطدم بالوشيعة ولا يلامسها، إذا كان التوضع جيداً أغلق مخرج أنبوب حساس مقياس الضغط على قضيب المكبس بوساطة سدادة مطاطية.

ملاحظة : لا تتابع خطوات العمل أكثر من ذلك ما لم يسمح لك المشرف على الجلسة مباشرة العمل.

4 – دقق في حركة ماء التبريد، ثم صل التيار الكهربائي من وحدة تغذية التوتر المنخفض. وانتظر إلى أن تصبح الوشيعة حمراء حارّة.

5 – قم بتدوير دولاب محرك الهواء الحار مع عقارب الساعة (إذا كان الدولاب مقابلك) حتى يقلع المحرك، إذا لم يقلع المحرك بعد عدّة محاولات ابحث عن مشكلة أخرى غير دوران الدولاب.

6 – إذا تطلب الأمر إيقاف العمل أطفئ الوشيعة قبل كل شيء، ولا تشغّل المحرك إلا بعد بضع دقائق.

7 – صل جهاز مقياس آمبير على التسلسل مع وشيعة المحرّك، وسجّل قيمة التيار، وقس زمن خمس دورات مثلاً في الجدول التالي :

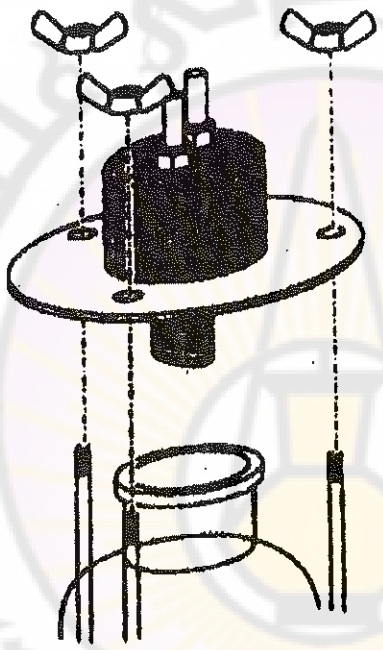
شدة التيار	زمن عدد من الدورات	ملاحظات

8 – لا حظ أشواط المحرّك وتأثير زيادة شدّة التيار على سرعة المحرك، وكيف تتغير درجة حرارة الوشيعة في الأعلى في كل شوط، وفسّر ما تراه وسجّل الملاحظات المناسبة عن محرك ستيرلينغ.

<u>الجزء الثاني:نقل الحرارة بتقديم عمل ميكانيكي للمحرك</u>

1 – بعد أن تكون الوشيعة قد بردت فك براغي التثبيت الثلاثة في الأعلى وركّب الغطاء الثاني الذي يحوي اسطوانة يثبت عبرها ميزان حرارة

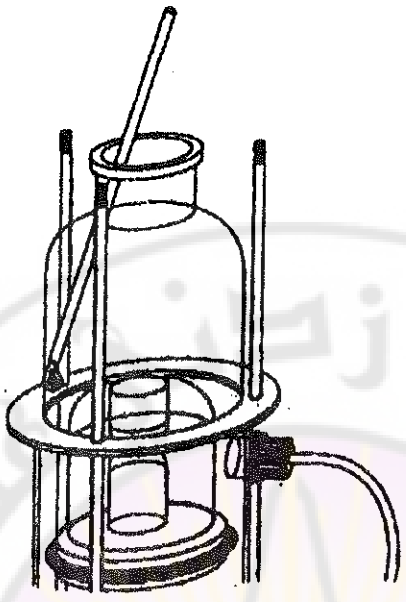
زئبقي، ولا تدع الميزان يدخل إلى مسافة أكبر من طول وشيعة التسخين. ويبين الشكل (7) طريقة نزع غطاء الرأس في الجزء الأول .الشكل (8) يبين شكل الرأس الجديد.



الشكل (7)

2 – ركب الإطار المطاطي على بكرة دولاب محرك الهواء الحار وعلى بكرة المحرك الكهربائي و هي بكرة أصغر من الأولى، وصل التغذية الكهربائية للعلبة مباشرة.

ملاحظة : اطلب من المشرف على الجلسة التأكد من تهيئة التجربة والسماح بإجرائها.



الشكل (8) : شكل الغطاء المهيأ للجزء الثاني من التجربة.

3 – راقب دورة الماء، وعند استقرارها شغّل محرك البكرة الصغيرة، وعند عمله يقدم عملاً ميكانيكياً لمحرك الهواء الحار، وهذا العمل يؤدي إلى جعل المحرك يعمل على ضخ الحرارة من حجرة مكبس الإزاحة إلى حجرة مكبس الحركة، وبنتيجته تنخفض درجة الحرارة.

4 – سجل هبوط درجة الحرارة كل دقيقة وثبتها في جدول.

5 – كرّر الخطوات السابقة من أجل سرعة عالية و متوسطة ومنخفضة للمحرك الكهربائي وناقش معدل تغير درجة الحرارة في حجرة المكبس العامل بدلالة الزمن.

6 – أطفئ المحرك وانتظر قليلاً ثم شغله بجهة دوران معاكسة للأولى، وسجل تغير درجة الحرارة مع الزمن . سجل ماذا تلاحظ و قارن ذلك مع الخطوة رقم 4. فسر ماذا يحدث.

الجزء الثالث: رسم الدورة الترموديناميكية

مراقبة التجربة حاسوبياً

- صل الماء وافتح الصنبور مع مراقبة حركة الماء في غمد الأسطوانة وتأكد من خروج الماء من أنبوب الخرج .
- قم بتوصيل محرك الهواء الحار الى الحاسب عن طريق الوصلة البينية مثبتا وصل الحساسات بالشكل الصحيح.
- نحتاج في التجربة إلى حساس ضغط، وإلى حسّاس حركة (صعود وهبوط المكبس)، وهما يتوضعان على لوحة الوصل مع الحاسب كما هو مبين في الشكل (5).

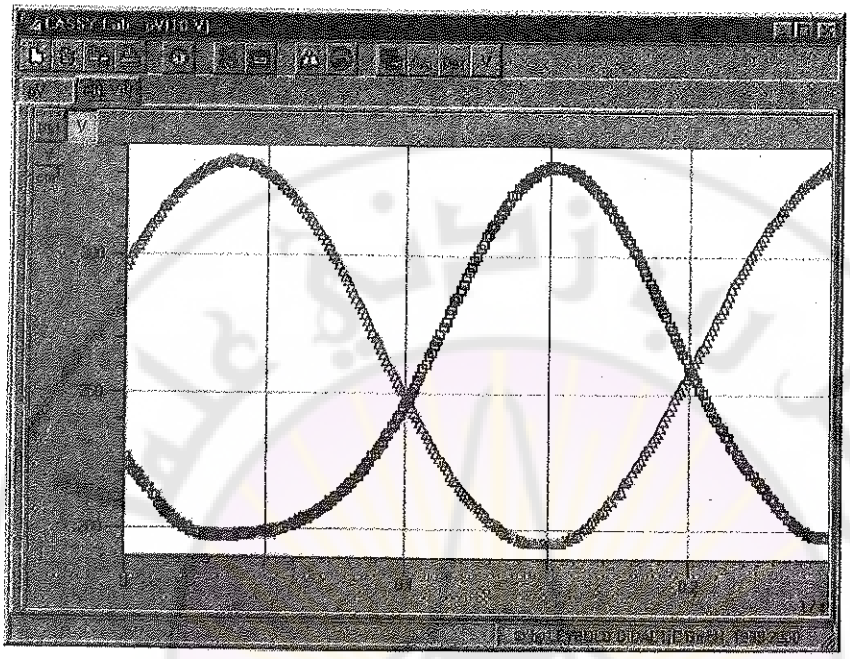
- البرنامج CASSY:

يُنصّب برنامج التشغيل تحت اسم CASSY ونجده على سطح المكتب أو في قائمة ابدأ. عند فتح البرنامج تظهر نافذة التحكم والإعداد الخاصّة المبينة في الشكل (9)، وتظهر لوحة تفعيل الأجهزة الموصولة للقياس (حساس الضغط PB1 و حساس الإزاحة SA1). يتم تفعيل مكان كل حسّاس بالضغط على مكانه بمؤشر الفأرة مرتين، ونتأكد من التفعيل بتغير شكل منطقة المجس في اللوحة إلى لون آخر وما يشير إلى أنها مفتوحة(دلالة المحور pB1 يتغير لونه من رمادي غامق الى رمادي فاتح حسب الشكل 9).

1 – اضغط مرتين على محور الضغط في النافذة المعروضة أو من اللوحة الداخلية، وهو المحور (pB1) ، حدد مجاله من – 200hPa إلى +2000hPa.

إذا كنا قد ضغطنا على الزر pB1 في شريط الأدوات تظهر نافذة صغيرة لحالة المجس الذي يتعلق بهذا المقدار، فإذا حركنا المكبس وأنبوب

الضغط الموصول إلى فتحته في قضيب المكبس تتغير قيمة المقدار pB1 على الحاسوب أي أن الإعداد صحيح.



الشكل (9) : نموذج لصورة نافذة البرنامج.

2 – قبل إعداد محور الحجم V ضع نقطة تعليق المكبس أسفل مركز الدوران بحيث يكون لدينا $S_0 = V0 = 10\ Cm3$. إن المقدار V لا يقاس بحساس خاص به مباشرة، وإنما بحركة المكبس ، ولذلك تحتاج إلى علاقة لتحويل ما يتحسسه المجس إلى مقدار الحجم، وهذا يتم في البرنامج بفتح لوحة من اللوائح FET (parameter/formula) ومن النافذة التي تظهر اضغط (setting) فتفتح النافذة إمكانات أخرى لكتابة العبارة الجديدة.

3 – اكتب مكان اسم التابع quantity وهو الحجم (Volume) وفي مكان الرمز Symbol رمز الحجم مثلاً V، وفي مكان الوحدة وحدته

الفيزيائية وهي هنا Cm^3 تكتب (Cm^3) . ثم في مكان كتابة العبارة (formula) تكتب العبارة:

$$(sA1 - s_0)*28.3 + 195$$

عوض قيمة s_0 التي بدأنا معها الحركة، مثلاً $s_0 = 10\ Cm^3$ كما مرّ سابقاً، حافظ على حالة الأحرف في العبارة بالتنسيق والشكل الذي تراه، لأن تغيير حجم الحرف أو نمطه يسبب خطأ في التنفيذ.

4 – أكد النافذة السابقة واضغط "display" من إمكانات اللوحة (setting) واختر منها أسماء المحاور من المنسدلة لكل محور، المحور V ← X، والمحور Y ← pB1.

5 – شغل محرّك الهواء الحار كما تدربت عليه في الجزء الأول إذا عمل المحرك كما ينبغي ، ابدأ بتشغيل البرنامج.

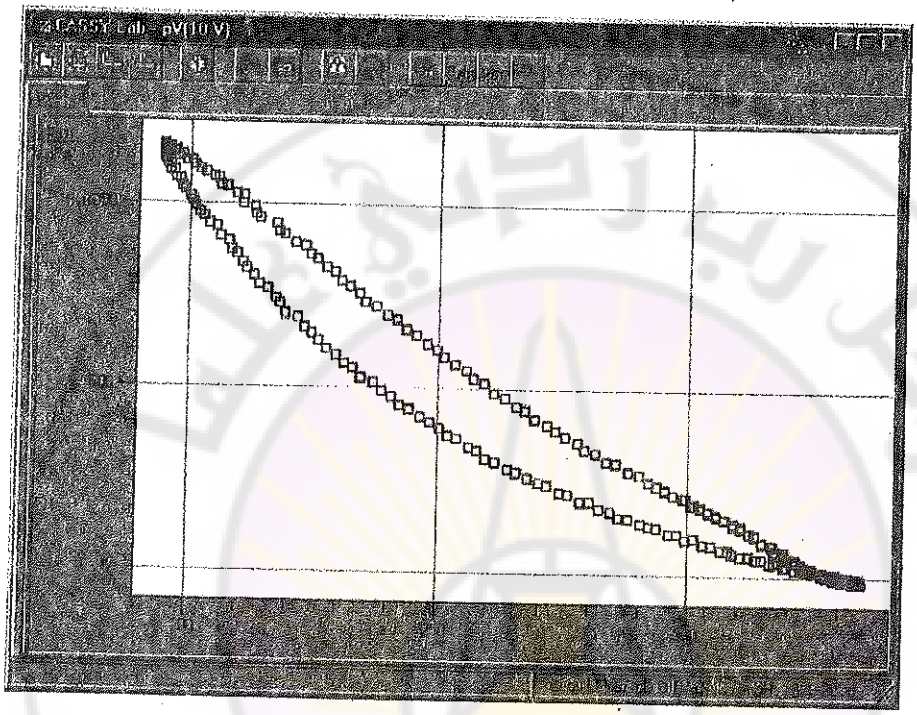
6– أدخل المقادير التالية إلى البرنامج من (Automatic Recording) للمجال الزمني بين كل قياسين، وليكن 1 ms، وعدد القياسات وليكن 250. ثم اضغط الزر من شريط الأدوات لتشغيل البرنامج، أو الزر F9 من لوحة المفاتيح. تظهر قيم P , V المسجلة.

7 – بعد التأكد من صحة رسم البرنامج للمخطط الذي يظهر كما يبينه الشكل (10)، غيّر عدد نقاط التسجيل إلى (500) كما في الخطوة (6) وغيّر كمون التسخين من 6V إلى 8V. وأعد الخطوة (6) مع تغير كمون التسخين إلى 16V وسجّل ملاحظاتك. قارن شكل الحلقة الناتجة مع حلقة محرك سترلنغ. ماذا تلاحظ؟

8 – احفظ نتائجك التي حصلت عليها بملف خاص من قائمة File.

9 – قم بحساب العمل الميكانيكي الذي أنجزه محرك الهواء الحار عن طريق البرنامج CASSY مباشرة من أجل قيم الكمون المستخدمة في الخطوة (6)

و (7). وذلك بأن تضغط على الزر اليميني للفأرة (mouse) وتختار منها (حساب التكامل Calculate integral)، وحدد المنطقة التي تريد حساب التكامل فيها، وليكن كل المنحني (الحلقة الناتجة) كما يظهر في الشكل (10)



الشكل (10) :مخطط الدورة التي يظهرها البرنامج

10- املأ الجدول التالي:

توتر التسخين (V)	العمل الميكانيكي (J)
4	
8	
14	
18	

سجل القيم وناقش النتيجة . وارسم منحني العمل ((W(V)).

11- يمكن رؤية تغير كل من الحجم برسم V(t) أي تغير الحجم مع الزمن من البرنامج بتغيير المحاور كما رأينا سابقاً، ثم الضغط مع الزمن. كما هو مبين في الشكل (9).

ملاحظات الأمان

لا يعمل محرك الهواء الساخن من تلقاء نفسه، فهو بحاجة إلى كمية حرارة (من الوشيعة الكهربائية في هذه الحالة)، ولذلك من الممكن ألاّ تكفي الطاقة الحرارية المقدمة للمحرك ليقلع ويتغلب على مقاومات الحركة في المكبس ومفاصل الحركة. ولذلك لا بد من :

1 – استيعاب خصائص محرك الهواء الحار وأجزاءه.

2 – لا تستمر في تسخين هواء حجرة المكبس العامل إذا كان المحرك كسولا وبطيئا .

3 – تأكد دائماً من ثبات المحرك وأجزاءه المثبتة سابقاً.

4 – إذا توقف المحرك افصل الكهرباء عن الوشيعة مباشرة.

5 – اختبر سلامة نواقل الحركة والأجزاء المتمفصلة عند كل تجربة.

6 – لا تكشف أجزاء المحرك المغطاة إلا بوجود المشرف.

7 – لا تشغل محرك الهواء الساخن دون تبريد، وراقب تدفق وحركة ماء التبريد كلما أمكن ذلك.

8 – لا ترفع درجة حرارة الماء لأكثر من 30 درجة مئوية في مكان تبريد الاسطوانة.

9 – سخّن وشيعة التسخين لدرجة حرارة عالية –حرارة اللون الأصفر) فقط عندما يعمل المحرك بسرعة، ولا تطبق درجة حرارة عالية ثابتة في عمليات مستمرة لفترة زمنية طويلة.

انتبه : تصبح أجزاء رأس الأسطوانة ومقابس الوصلات ساخنة جداً أثناء التشغيل الطويل.

10 – ركب شبكة حماية الأسطوانة.

11 – دع محرك الهواء الحار يبرد قبل إزالة كبلات الوصل أو قبل تبديل غطاء أسطوانة الرأس.

Damascus University

وقل رب زدني علما
Damascus University

((الظواهر المرافقة في الدارات RC ، RL ، RCL))

عند تغذيتها من منبع تيار مستمر

الغاية من التجربة :

بناء شبكات رباعية الأقطاب مكونة من (مقاومة و مكثفة، مقاومة و تحريضية ، مقاومة ومكثفة وتحريضية) ثم قياس مميزاتها بدلالة التواتر لدى تطبيق موجة توتر مستطيلة

تمهيد نظري :

إذا جرى تيار متغير(t) i في عناصر خطية كالمقاومات والمكثفات والتحريضيات فان العلاقة التي تربط بين هذا التيار و التوتر المتشكل بين كل عنصر منها تعطى بالشكل التالي :

بالنسبة للمقاومة

$$V_R(t) = Ri(t) \qquad (1)$$

بالنسبة للمكثفة

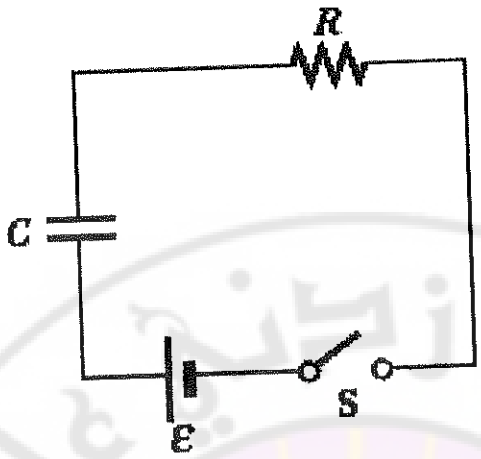
$$V_C(t) = \frac{q(t)}{C} = \frac{1}{C}\int i(t)dt \qquad (2)$$

بالنسبة للتحريضية

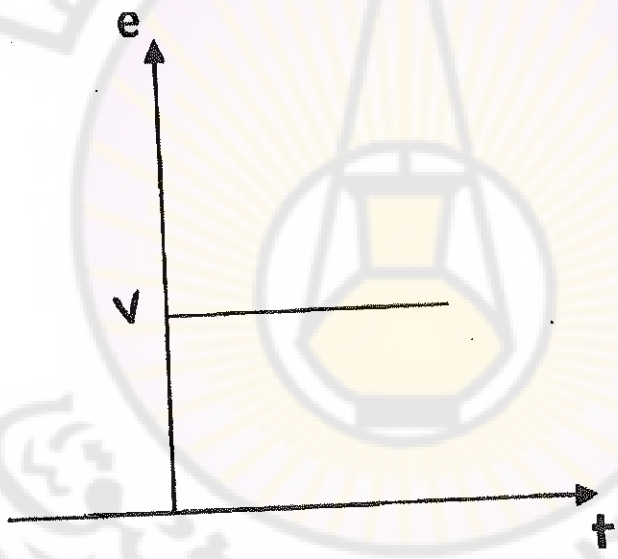
$$V_L(t) = L\frac{di(t)}{dt} \qquad (3)$$

أولا: حالة الدارة RC :

لتكن الدارة المبينة في الشكل (1) والمكونة من RوC موصولة على التسلسل مع منبع التغذية ، ولنفرض أن المنبع يعطي إشارة على شكل نبضات مستطيلة وذات سعة ثابتة V كما في الشكل(2)



الشكل (1)



الشكل (2)

تشير الدراسة النظرية إلى أن فرق التوتر المتشكل بين طرفي أي عنصر من الدارة يتعلق بحالة تشغيل الدارة.

ففي حالة الشحن : يكون لدينا في كل لحظة حسب الشكل (1) :

$$V = V_C + V_R \qquad (4)$$

حيث V مقدار ثابت حسب الشكل (2). و المعادلة (4) يمكن كتابتها بالشكل:

$$V=\frac{1}{C}\int idt+Ri$$

و باشتقاق هذه المعادلة نحصل على:

$$\frac{i}{C}+R\frac{di}{dt}=o$$

و بعد فصل المتحولات و المكاملة يكون لدينا:

$$i=\frac{V}{R}e^{-t/\tau} \qquad (5)$$

حيث $\tau = RC$ وتدعى بالثابتة الزمنية للدارة. و بالعودة إلى العلاقة (4) يكون:

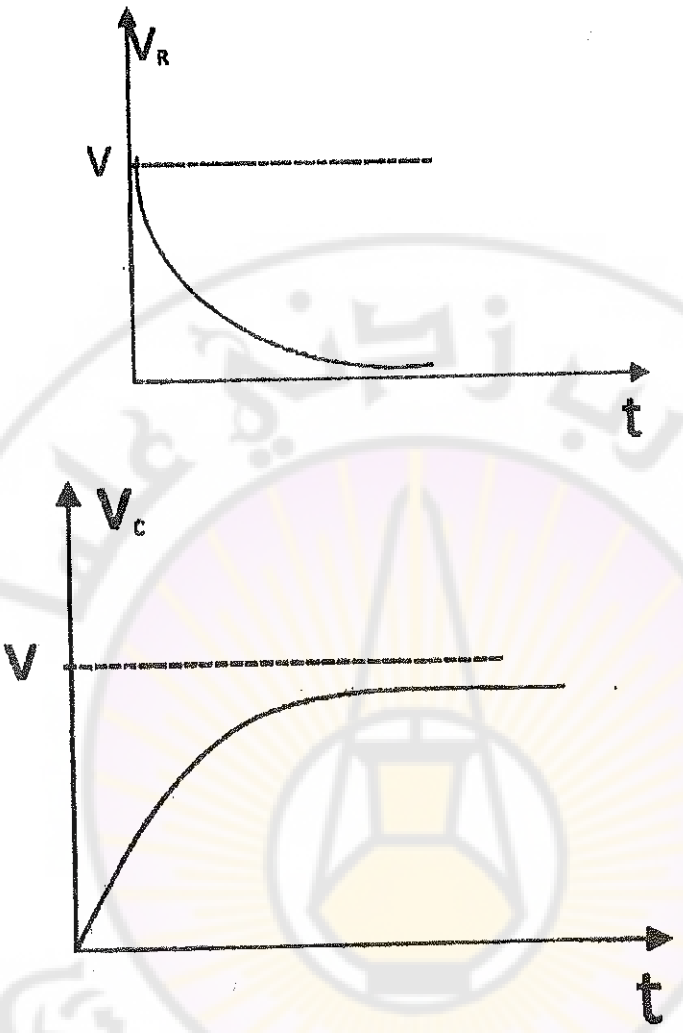
$$V=V_C+Ve^{-t/\tau}$$

$$V_C=V(1-e^{-t/\tau}) \qquad (6)$$

أما التوتر بين طرفي المقاومة:

$$V_R=Ri(t)=Ve^{-t/\tau} \qquad (7)$$

يبين الشكل (3) المنحنين الممثلين لكل من $V_R(t)$ و $V_C(t)$



الشكل(3)

أما في حالة التفريغ: يكون لدينا :

$$V_C(t) = V e^{-t/\tau} \qquad (8)$$

$$V_R(t) = V(1 - e^{-t/\tau}) \qquad (9)$$

يمكن عد الموجة المستطيلة $\prod$ عمليتا شحن و تفريغ.

ثانياً حالة الدارة RL: في الدارة الموصولة على التسلسل الشكل (4) يكون:

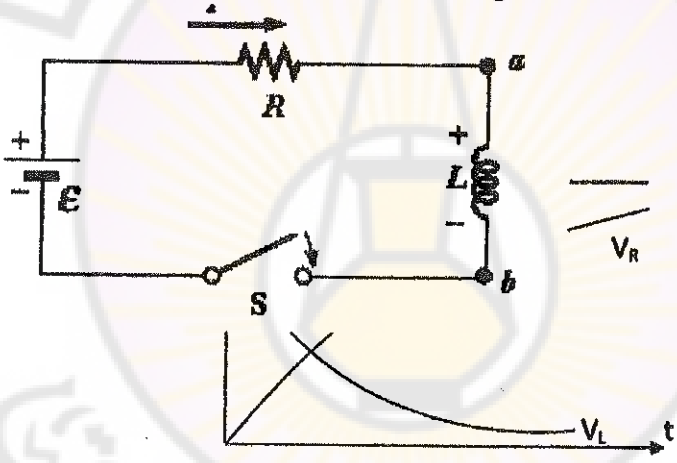
$$L\frac{di}{dt}+Ri=V \qquad (10)$$

تدل الدراسة النظرية أن التوترين V_L , V_R يعطيان بعد مكاملة العلاقة (10) بالعلاقتين التاليتين:

$$V_R(t)=V(1-e^{-t/\tau}) \qquad (11)$$

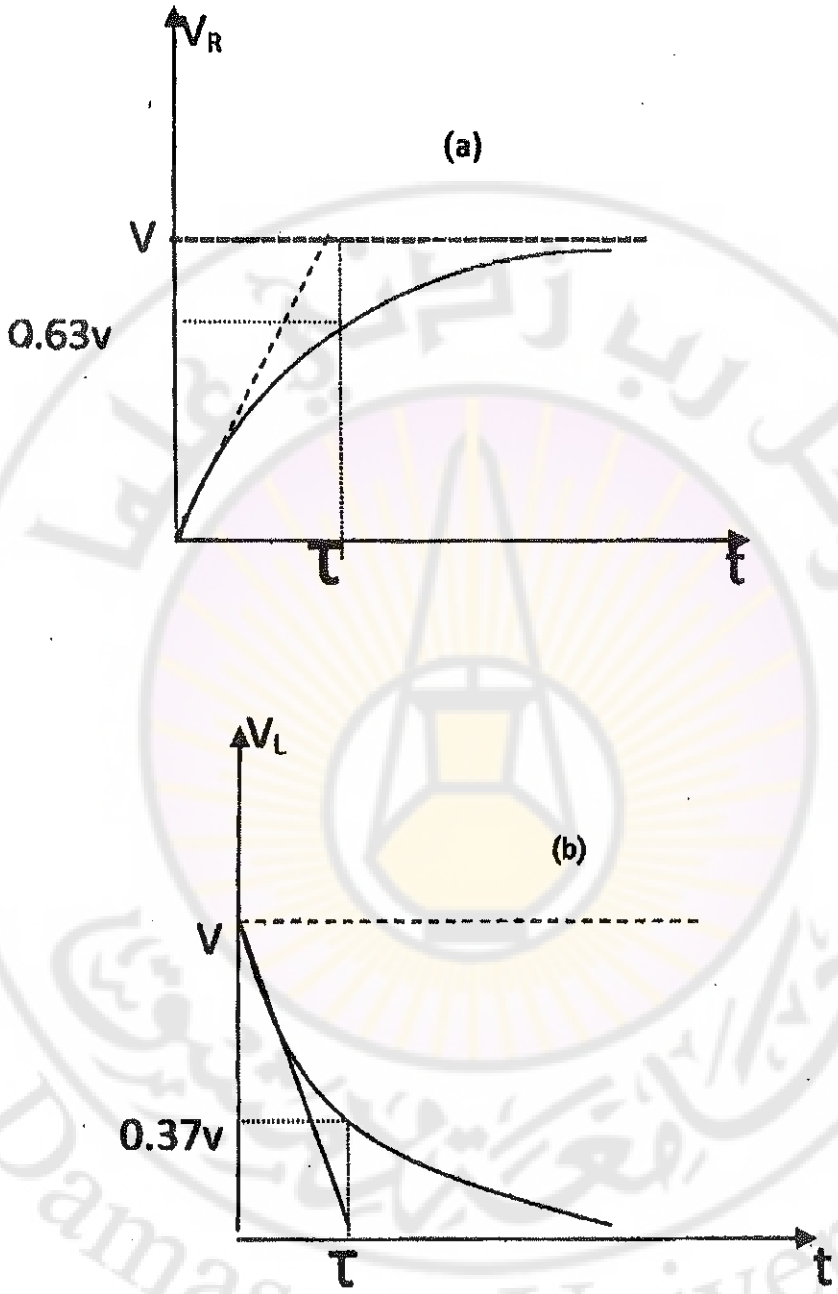
$$V_L(t)=L\frac{di}{dt}=\frac{L}{R}\cdot\frac{dV_R}{dt}=Ve^{-t/\tau} \qquad (12)$$

حيث $\tau=L/R$ وتدعى بالثابتة الزمنية للدارة. ويمثل الشكل(4) تغيرات كل من V_RوV_L مع الزمن .



الشكل (4)

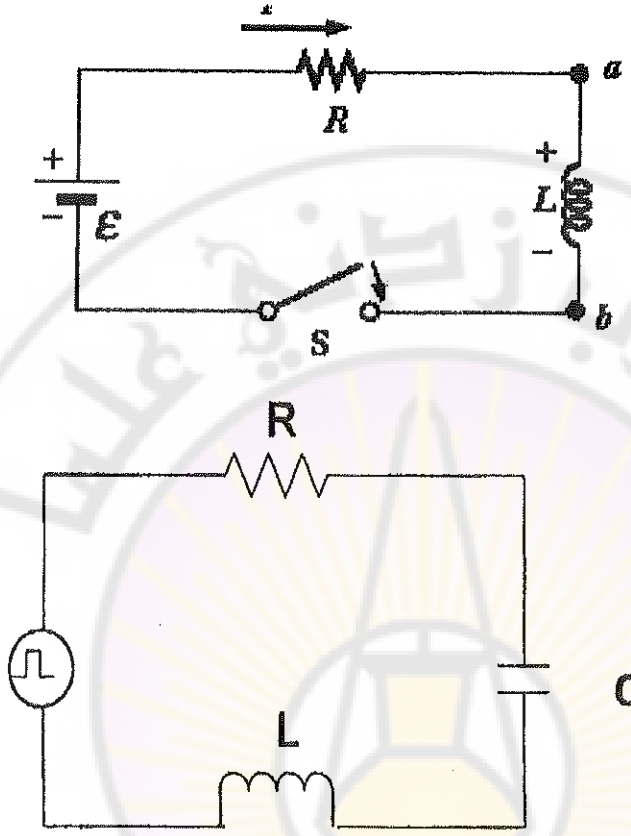
وتعين الثابتة الزمنية τ تجريبيا من التمثيل البياني لكل من $V_R(t)$و$V_L(t)$ ، فإذا عوضنا في العلاقتين (11)و (12) يكون $t = \tau$ و $V_R=0.63V$ و $V_L=0.37V$ على الترتيب وعلى هذا الأساس يمكن الحصول من المنحنيات التجريبية على قيمة τ (انظر الشكل5 a وb)



الشكل(5)

ثالثاً: حالة الدارة RCL: الموصولة على التسلسل

بفرض أن الإشارة المطبقة على الدارة المبينة في الشكل (6)



الشكل (6)

على شكل نبضات مستطيلة وذات سعة ثابتة v كما في الشكل(2) تشير الدراسة النظرية أن الدارة تخضع لإحدى الأنظمة التالية و ذلك تبعا لإشارة المقدار :

$$\Delta = R^2 - \frac{4L}{C}$$

حيث Δ هو المميز في حل مشتق المعادلة التالية :

$$V = \frac{1}{C}\int idt + Ri + l\frac{di}{dt}$$

الذي يكتب بالشكل :

$$L\frac{d^2i}{dt^2}+R\frac{di}{dt}+\frac{i}{C}=0$$

أو بالشكل :

$$\frac{L}{R}\frac{d^2i}{dt^2}+\frac{di}{dt}+\frac{i}{RC}=0 \qquad (13)$$

المعادلة (13) هي عبارة عن معادلة تفاضلية نفرض أن حلها من الشكل:

$$i=i_0\,e^{\omega t}$$

حيث ω عدد عقدي. و بعد التعويض في العلاقة (13) نحصل على:

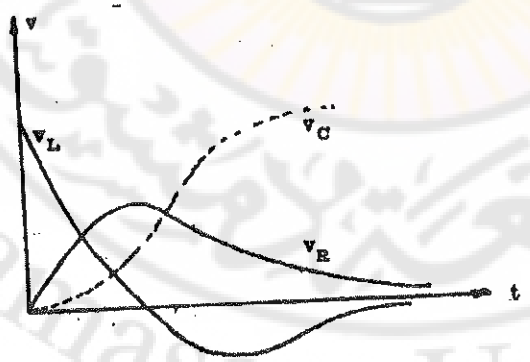
$$L\omega^2+R\omega+\frac{1}{C}=0 \qquad (14)$$

و هي معادلة من الدرجة الثانية بالنسبة للمجهول ω و مميز هذه المعادلة هو:

$$\Delta=R^2-\frac{4L}{C} \qquad (15)$$

و حسب قيمة المميز Δ يكون لدينا الأنظمة التالية:

1- النظام المتخامد اللادوري : في هذا النظام $\Delta>0$ ويوضح الشكل (7) تغير التوترات V_L، V_C ، V_R مع الزمن .



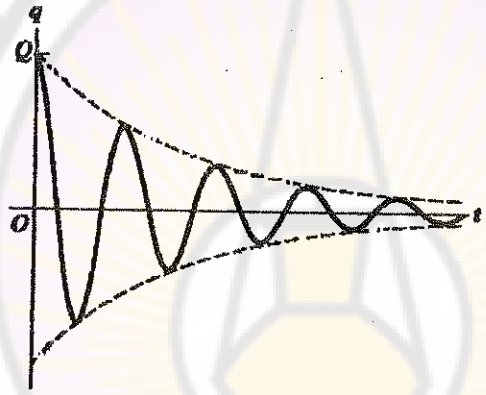
الشكل(7)

2- النظام المهتز المتخامد : في هذا النظام يكون $\Delta < 0$ ويعطى التوتر بين طرفي المكثفة بالعلاقة :

$$V_C(t)=\left[1-\left(Cos\,\omega t+\frac{\sin\omega t}{T_1\omega}\right)\right]e^{-t/\tau_1} \qquad (16)$$

حيث $\tau_1=\frac{2L}{R}$ و $\omega=\frac{1}{2L}\left(4\frac{L}{C}-R^2\right)^{1/2}$

إن $V_C(t)$ هي موجة جيبية متخامدة بتواتر ثابت وبسعة متناقصة أسيا الشكل (7A) حيث تعين كل من T_1 و ω تجريبيا على المنحني ومن ثم استنتاج كل من R, C, L



الشكل (7A)

3- النظام الحـــرج : في هذا النظام يكون $\Delta = 0$ ويمكن دراسة تحولات $V_R(t)$ ، $V_o(t)$ ، $V_L(t)$ و معرفة أشكالها

أولاً: الدراسة التجريبية للدارة RC :

الأدوات و الأجهزة المستخدمة :

1- لوحة وضع عليها مقاومة ($50K\Omega$) ومكثفة سعتها ($220\mu F$) مع قاطعة ثلاثية لدراسة الدارة RC أثناء التغذية من منبع مستمر .

2- كما توجد علـــى اللوحة مقاومة (2,2KΩ) ومكثفة سعتها (0, 0 6 µF)
لدراسة الدارة RC أثناء التغذية بمنبع يعطي نبضات مستطيلة.

3- مولد إشارة

4- وحدة تغذية تعطي توترا مستمرا (5 v ، 1, 5 A)

5- راسم اهتزاز مهبطي

6- مقياس متعدد الأغراض

7- ساعة بعداد ثواني

8- مقابس ملائمة للراسم و المولد – أسلاك توصيل

ولا بد من الإشارة قبل البدء بالعمل إلى <u>الملاحظات التالية</u> :

ضرورة استخدام راسم الاهتزاز المهبطي في كل القياسات المطلوبة عند القيام بنقل أثار المنحنيات V_R ، V_C V_L المرتسمة على شاشة راسم الاهتزاز إلى ورقة ملمترية جعل راسم الاهتزاز المهبطي على الوضع DC أثناء العمل مع ربط أرض راسم الاهتزاز بأرضي المنبع المولد للإشارة الأخذ بعين الاعتبار المقاومة الداخلية لمولد الإشارة والتي تساوي 600Ω عند إجراء الحسابات الضرورية .

<u>تغذية الدارة RC من منبع ذي توتر مستمر :</u>

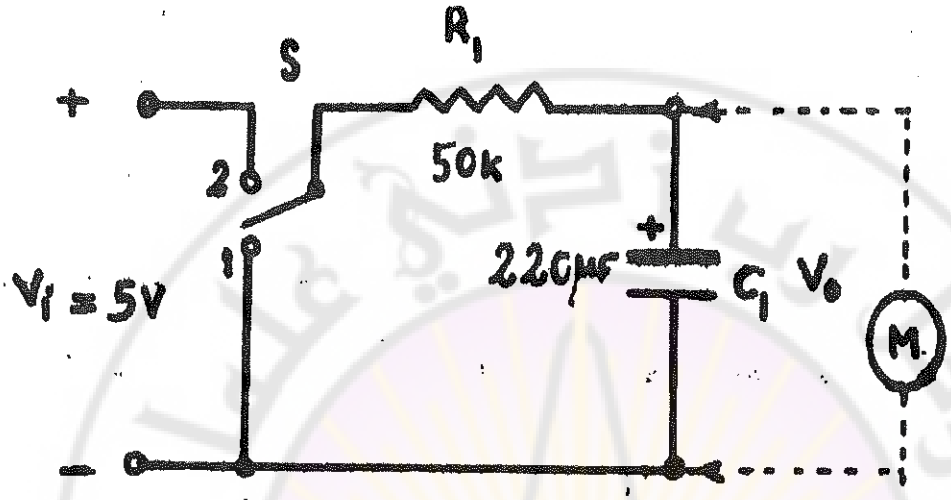
أ- شحن المكثفة من خلال مقاومة :

1- استخدم اللوحة الخاصة بالتجربة للدارة المبينة في الشكل (8)

2- صل بين طرفي المكثفة مقياس فولط ذو مقاومة عالية .إن القاطعة S ينبغي أن تكون في الوضع (1) الذي يظهر على الشكل وذلك قبل بدء التجربة.

3- انقل القاطعة S في لحظة البدء إلى الوضع الآخر (2) فتبدأ عملية شحن المكثفة . إن عملية الشحن تكون بطيئة من أجل القيم المختارة لكل

من المقاومة و المكثفة بحيث نستطيع أخذ قراءات في الأزمنة المبينة في الجدول (1)



الشكل(8) يمثل التركيب المستخدم في شحن وتفريغ مكثفة خلال مقاومة من منبع توتر مستمرD.c

الجدول(1) يمثل توتر الشحن V_c بدلالة الزمن (أثناء الشحن)

t (s)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	60	70
V_c(v)												

4- راقب مقياس الفولط بدءا من لحظة نقل القاطعة S إلى الوضع الأخر وسجل قراءات التوتر V_c بين طرفي المكثفة التي يشير إليها عند كل زمن مسجل في الجدول (1)

5 - استخدم معطيات الجدول (1) لإنشاء تمثيل بياني لتحولات توتر الشحن V_c بدلالة زمن الشحن t على ورقة ملمترية

ب- تفريغ المكثفة المشحونة خلال مقاومة

1. استخدم الدارة نفسها المبينة في الشكل(8)
2. ضع القاطعة Sفي الوضع (2) الذي يسمح بوصل المقاومة R إلى منبع التغذية المستمرة من أجل عملية الشحن ، وانتظر عدة دقائق قبل نقلها إلى الوضع (1) ،حيث تبدأ عملية التفريغ .
3. أنقل القاطعة S إلى الوضع (1) ، وسجل قراءات مقياس الفولت V_c عند الأزمنة المبينة في الجدول (2)
4. استخدم معطيات الجدول (2) لإنشاء تمثيل بياني لتحولات توتر التفريغ V_c بدلالة زمن التفريغ t على ورقة ميلمترية ، أو على الورقة الميلمترية التي رسمت عليها منحني الشحن ، وبذلك يمكن رؤية المنحنيين معا
5. احسب الثابتة الزمنية للدارة RC من الشكل (8) وفق العلاقة $\tau = R\,C$

الجدول (2) يمثل توتر التفريغ V_c بدلالة الزمن t

t (s)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60
V_c(V)												

6. احسب الثابتة الزمنية τ تجريبيا وذلك بالرجوع إلى الأشكال البيانية وفق (5)انظر العلاقة (4)متبعا ما يلي:

- حدد على المنحني قيمة التوتر الذي تصل إليه المكثفة بعد انقضاء ثابتة زمنية واحدة ($t=\tau_1$) أثناء صعود المنحني

وهو يعادل 0.63 من قيمة التوتر الأعظمي (أثناء الشحن) .

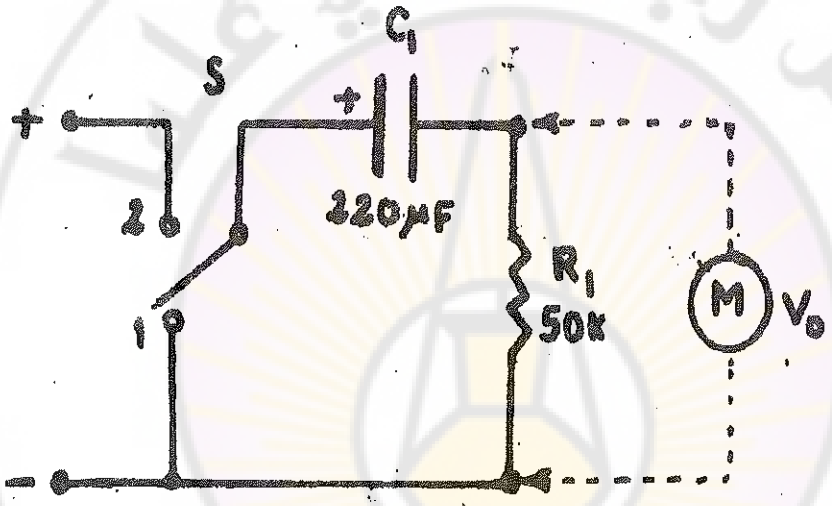
- استنتج قيمة الزمن τ_1 المقابل لتلك القيمة .
- اكتب النتيجة على الشكل :

τ_1 تجريبياً =..... S

وهل يوجد اختلاف بين القيمة المحسوبة لـ τ والقيمة المقيسة τ_1 ؟

ج - تيار الشحن و تيار التفريغ للمكثفة في الدارة RC:

- صل الدارة كما في الشكل (9) مع تبديل موقعي المقاومة و المكثفة



الشكل (9)

يستدل على تيار الشحن و تيار التفريغ بقياس التوتر المتشكل بين طرفي المقاومة في الدارة أثناء عمليتي الشحن و التفريغ ، من أجل ذلك اتبع ما يلي :

1 - أدخل المكثفة في البدء إلى دارة منبع التوتر المستمر بوضع القاطعة على الوضع 2 ثم ابدأ بقياس التوتر بين طرفي المقاومة R_1 عند كل زمن مسجل في الجدول (3)

2 – تعاد القاطعة إلى الوضعية (1) بعد مضي 75 ثانية و يعاد أخذ قراءات التوتر V_R بين طرفي المقاومة في هذه الحالة ،لاحظ أن تيار التفريغ يعاكس تيار الشحن في الجهة لذا يجب عكس مربطي مقياس الفولط بعد انتهاء مرحلة الشحن و قبيل نقل القاطعة إلى الوضع (1)

t (s)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	60	75
V_R(v)												
V_R'(v)												

الجدول (3) قيم التوترات المقيسة بين طرفي المقاومة عند الشحن V_R وعند التفريغ V_R'

3– استخدم معطيات الجدول(3) لإنشاء تمثيل بياني لتحولات كل من توتر التفريغ V_R'وتوتر الشحن V_Rبدلالة الزمن على ورقة ملمترية .

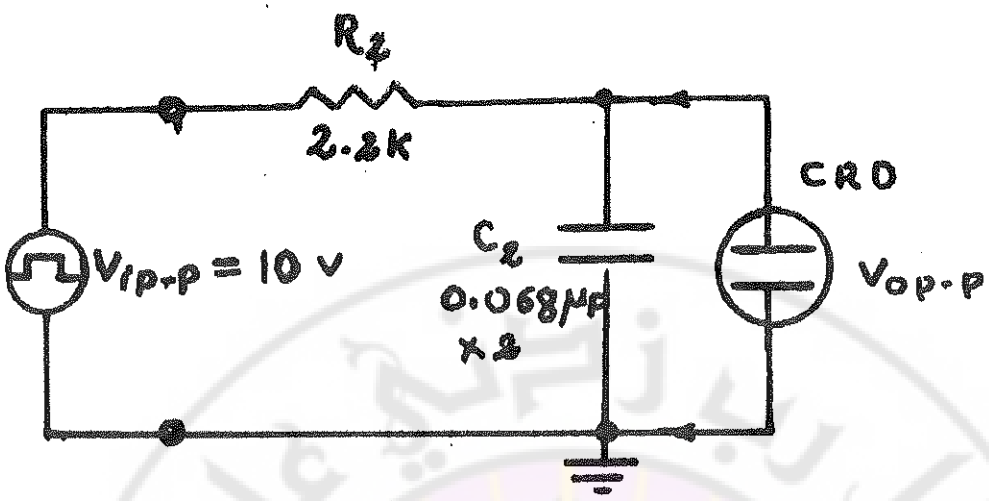
4– ما قيمة التوتر الأعظمي V_{0p-p} أثناء الشحن و التفريغ ؟

ثانياً – تغذية الدارة RC من توتر ذي موجة مستطيلة :

أ– شحن وتفريغ المكثفة :

1– ركّب الدارة المبينة في الشكل (10) حيث تغذى الدارة من موجة توتر مستطيلة مأخوذة من مولد الإشارات .

Damascus University

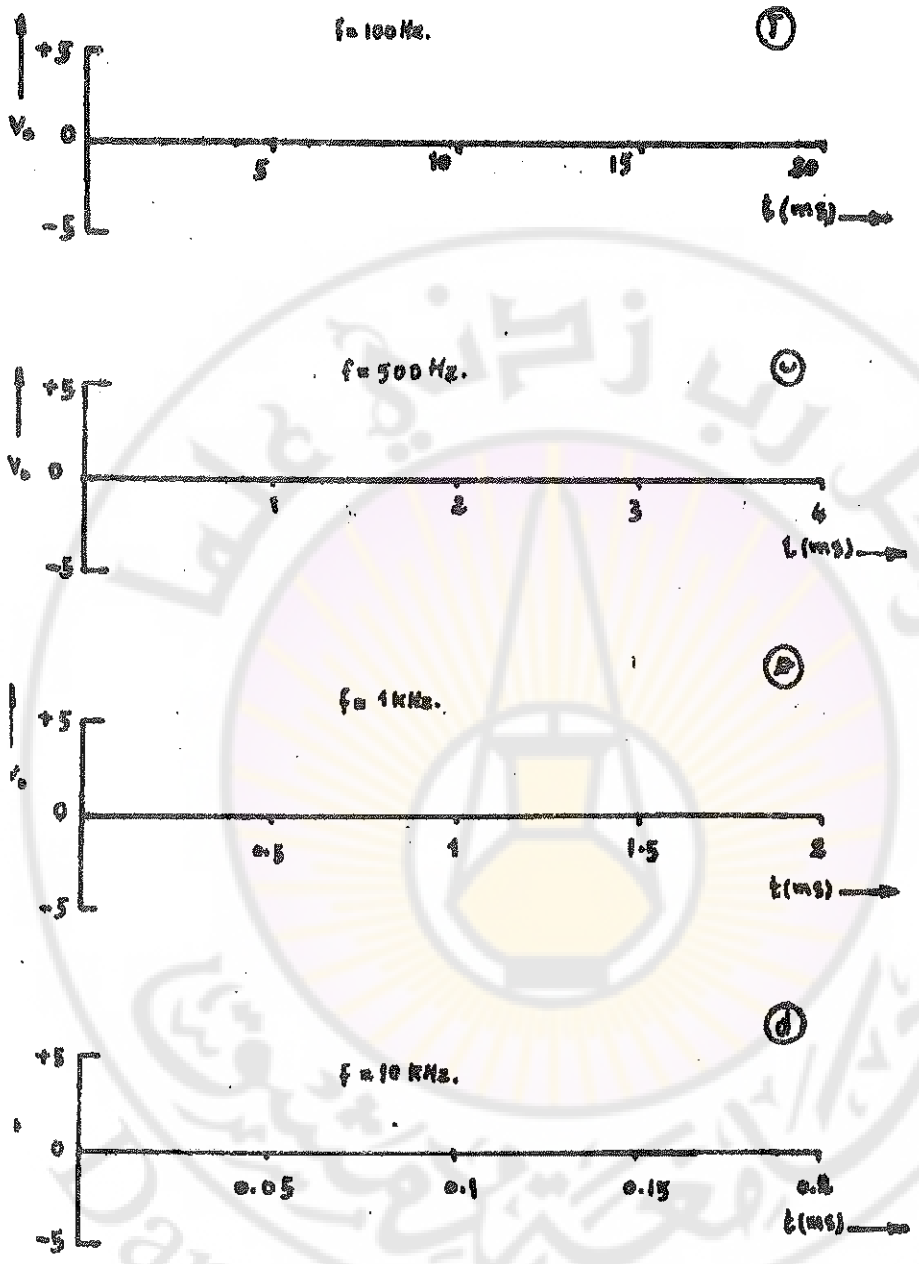


الشكل(10)

2- طبّق على مدخل الدارة RCموجة مستطيلة سعتها من القمة إلى القمة (V_{ip-p}=10v) مأخوذة من مولد الإشارات .

3- صل راسم الاهتزاز المهبطي بطرفي المكثفة وشاهد الأثر V_{op-p}الذي يظهر على شاشته والمقابل للتوتر المتشكل بين طرفي المكثفة .

4- اختر قيما متعددة لتواترات الإشارة المستطيلة fمثل :(1kHz،10kHz ، 100Hz،500Hz)، وانقل الأثر الذي يظهر على شاشة الراسم الموافق لكل تواتر من التواترات السابقة على ورقة مليمترية كما في الشكل (11)



الشكل (11) مخططات توتر الخرج V_C التي تمثل توتر الشحن وتوتر التفريغ للمكثفة لدى تغذية دارة بموجة مستطيلة متغيرة التواتر .

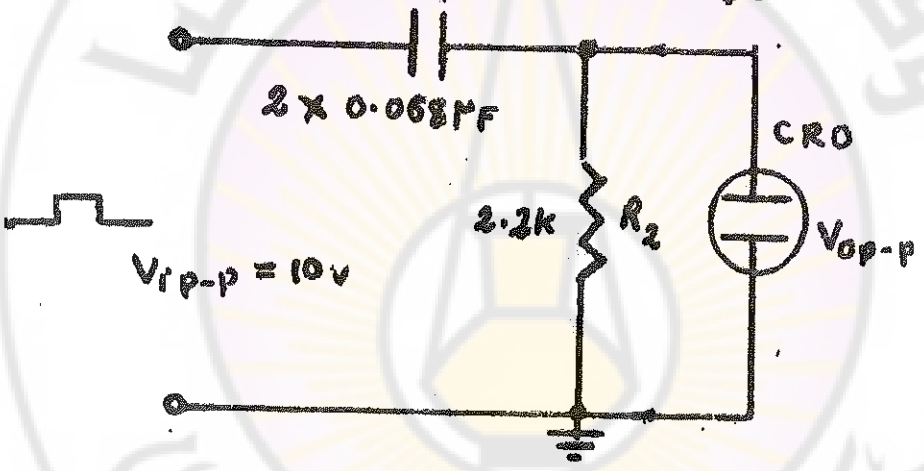
5- احسب الثابتة الزمنية τالنظرية للدارة المبينة في الشكل (10) من العلاقة

$\tau = C_2R_2$

6- استنتج قيمة الثابتة الزمنية التجريبية τ من أحد الأشكال البيانية المرسومة على الورقة الملمترية والمنقولة من راسم الاهتزاز وقارن بين القيمتين (النظرية والتجريبية) .

ب- تيار الشحن وتيار التفريغ :

1- صل الدارة المبينة في الشكل (12) وهي كدارة الشكل (10) مع تبادل موضعي المقاومة والمكثفة ليصبح راسم الاهتزاز موصولاً بين طرفي المقاومة بدلا من طرفي المكثفة

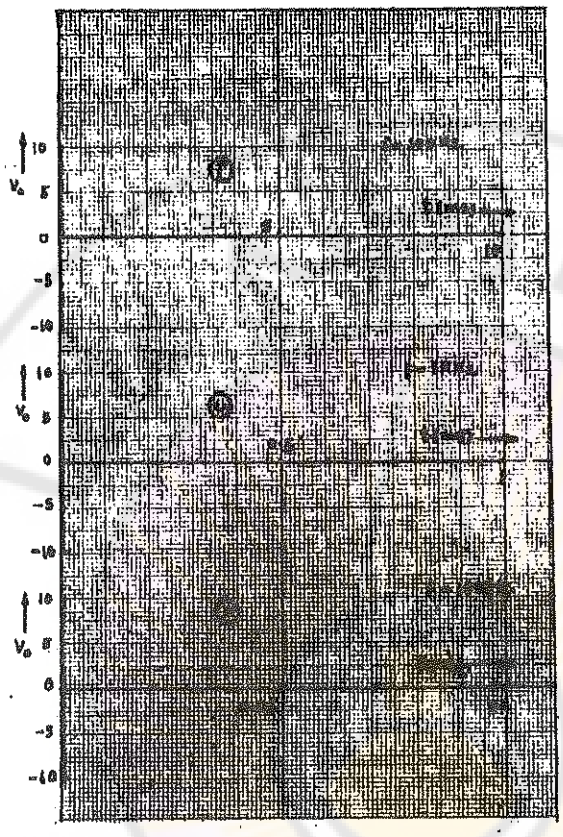


الشكل (12)

2- انقل الآثار التي تراها على شاشة راسم الاهتزاز المهبطي والمقابلة للتواترات (f=100Hz، f=1kHz،f=10kHz) مع بقاء توتر الموجة المستطيلة ثابتا في كل مرة ويساوي (V_{ip-p} = 10v) وارسم مخططاتها على ورقة مليمترية في الشكل (12)

3-احسب الثابتة الزمنية للدارة من العلاقة : $\tau=CR$

4- احسب الدور المقابل لكل تواتر مـــن التواترات السابقـــة للموجـــة المستطيلة



الشكل (13)مخططات توتر الخرج V_R التي تمثل تيار الشحن وتيار التفريغ للمكثفة لدى تغذية الدارة بموجة مستطيلة متغيرة التواتر.

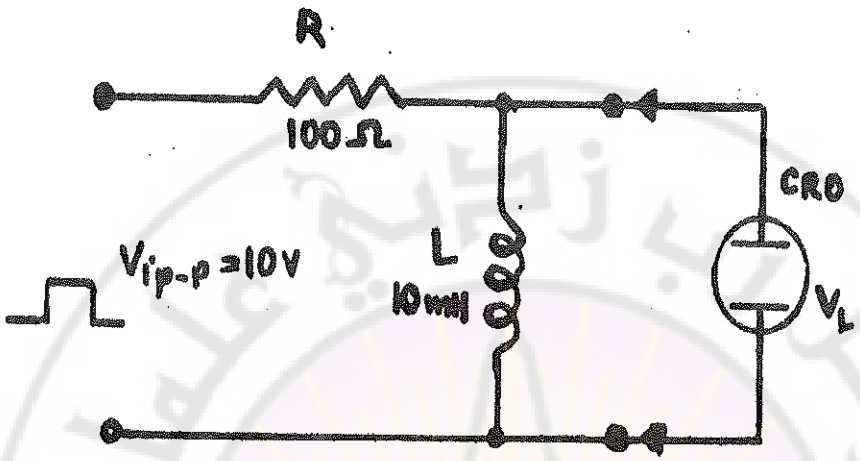
ثانياً: الدراسة التجريبية للدارة R L

- **الأدوات و الأجهزة المستخدمة :**

مقاومة 100Ω وشيعة تحريضها الذاتي 10mHبالإضافة إلى الأجهزة المستخدمة في تجربة الدارة RC .

- مراحل العمل :

(أ) 1- ركب الدارة المبينة في الشكل (14)



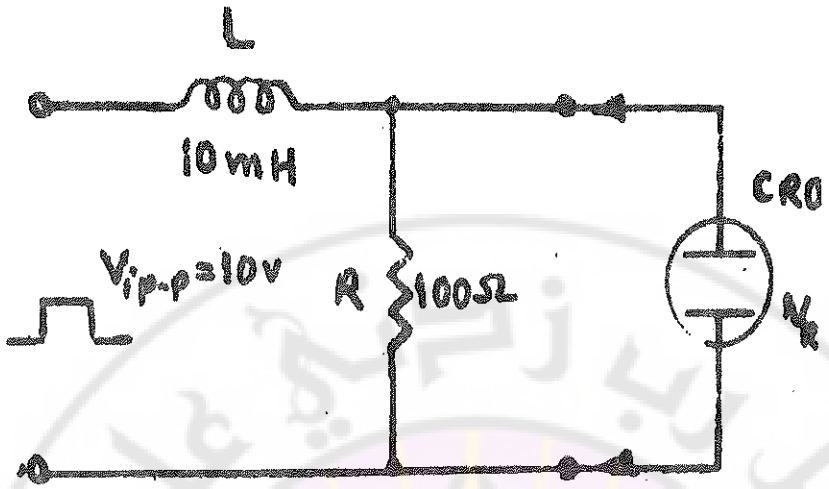
الشكل(14)

2 - صل مولد الإشارات إلى مدخل الدارة . واختر عليه الوضعية التي تعطي موجة مستطيلة ثم اجعل التوتر الداخل لهذه الموجة مساويا V_{ip-p} = 10v بمساعدة راسم الاهتزاز .

3- صل راسم الاهتزاز المهبطي بين طرفي التحريضية

4- شاهد على شاشة الراسم آثار التوتر V_L بين طرفي التحريضية ولاحظ كيف يتغير هذا الأثر عندما يتغير تواتر الموجة المستطيلة عند القيم (f=100kHz ، f=10kHz ،f=500Hz، f=100Hz) وانقل آثار التوتر V_0التي تشاهدها على شاشة راسم الاهتزاز على ورقة مليمترية أيV_L(t) وهذا يمثل دراسة الاستجابة بالنسبة لـV_L .

ب- قم بتبديل موضعي المقاومة و التحريضية ليصبح راسم الاهتزاز موصولا بين طرفي المقاومة بدلا من التحريضية انظر الشكل (15)



الشكل (15) الدارة المستخدمة لدراسة الاستجابة V_R

2- حافظ على قيمة توتر الدخل ثابتة عند القيمة V_{IP-P} =10V وخذ قيما مختلفة للتواتر وهي : (f=100Hz، f=500Hz، f=1kHz، f=10kHz) شاهد الأثر V_R المتشكل على شاشة راسم الإهتزازعند كل تواتر من التواترات السابقة وانقله إلى ورقة ملمترية مع توخي الدقة في ذلك .

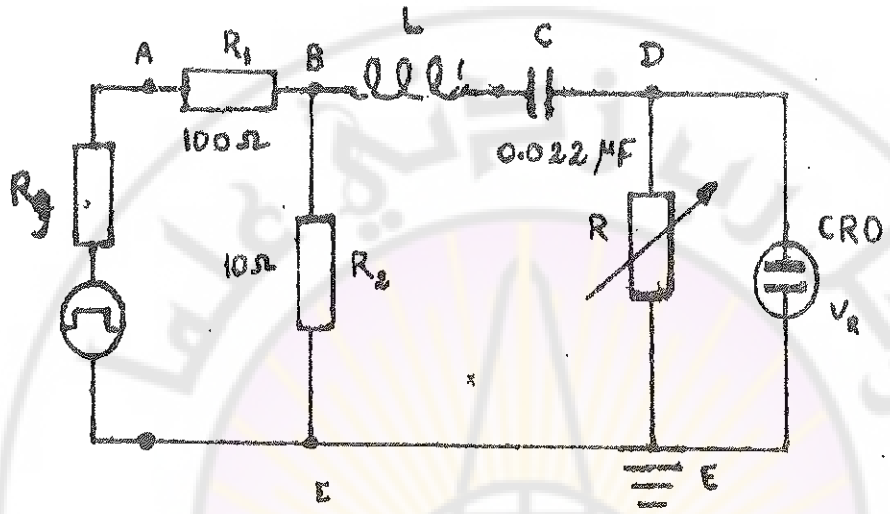
3- عند أي تواتر يبقى شكل موجة منحني الخرج V_R أكثر شبها بشكل موجة الدخل (V_{ip-p} =10V).

ثالثاً – الدراسة التجريبية للدارة RCL :

أ- حالة الوصل على التسلسل :

1- ركّب الدارة RCL المبينة في الشكل (16) حيث توصل بمولد الإشارات عن طريق مجزئ كمون من أجل خفض المقاومة الداخلية لمولد الإشارة التي تبلغ Ω 600.

إن استخدام مجزئ الكمون R1R2 المبين في الشكل (16) يجعل مقاومة المنبع الذي يغذي الدارة قريبة جدا من 10Ω حيث تتكون الدارة RCL المدروسة من ملف هوائي يتألف من 1000لفة ومكثفة سعتها $0.022\mu F$ ومن مقاومة R متصلة مع بعضها على التسلسل .



الشكل(16)

2- اختر سعة للموجة المستطيلة تساوي 1فولط بين النقطتين E وB قبل وصلهما بالدارة . استعن براسم الإهتزاز المهبطي CRO صل مولد الإشارات بين النقطتين E وA من مجزئ الكمون ،واختر عليه شكل الموجات المستطيلة بتواتر قدره 100Hz.

3- صل الدارة RCLبمجزئ الكمون بين النقطتين E و Dكما هو مبين في الشكل (16) وصل مربطي راسم الإهتزاز بين النقطتين F وD .

4- خذ قيمة ما للمقاومة R ثم انظر إلى الاستجابةV_R (t) على راسم الاهتزاز المهبطي . غير في قيمة المقاومة R حتى تحصل على استجابة V_R (t) يكون أثرها على راسم الإهتزاز شبيها بالمنحني V_R (t) المبين على

الشكل (7) وإذا تحقق ذلك فهذا يعني إن الدارة تعمل في النظام المتخامد اللادوري وبعد ذلك انقل الاستجابة V_R (t) على ورقة ملمترية في الجزء (آ) من الشكل (17) .

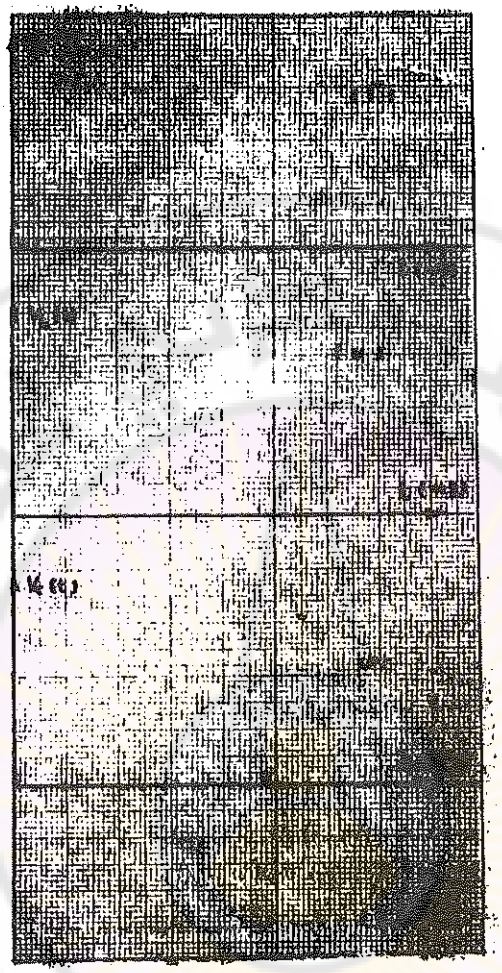
5- بادل بين المقاومة و الملف في دارة الشكل(16) وانظر إلى شكل الاستجابة $V_L(t)$ على شاشة راسم الاهتزاز ،ثم انقل الاستجابة$V_L(t)$ على ورقة ملمترية في الجزء (ب) من الشكل (17).

6- بادل بين المقاومة و المكثفة في الشكل (16) ثم انظر إلى شكل الاستجابة (t) V_c على شاشة راسم الاهتزاز وانقل الاستجابة (t) V_c على ورقة ميليمترية في الجزء (ج) من الشكل (17) .

7- حدد بيانياً من الرسم، الزمنين t_2,t_1 اللذين يجعلان $V_L(t_1)=0$ و $V_L(t_2)=0$ في نهاية صغرى .تأكد كذلك أن $V_R(t)$ يقابل نهاية عظمى.

8- أنقل الدارة من النظام المتخامد اللادوري إلى النظامين الحرج ثم الاهتزازي وذلك بجعل المقاومة المتغيرة R تأخذ قيماً متناقصة حتى تصل إلى الوضعين المذكورين.

Damascus University



الشكل(17) الاستجابة $V_R.V_L.V_C$ في الدارة RCL في النظام المتخامد اللادوري

9- سجل قيمة المقاومة الموافقة لكل نظام:

R=.....Ω قيمة المقاومة في النظام الحرج

R=.....Ω قيمة المقاومة في النظام الاهتزازي

10- ثبت المقاومة R على القيمة التي تضع الدارة في النظام الاهتزازي المتخامد، ثم انقل الاستجابة V_c (t) على ورقة مليمترية في الجزء (آ) من الشكل(18).

11- ارسم الاهتزازة الجيبية المتخامدة للاستجابة V_c (t) واحسب الثابتة الزمنية $\tau_1 = \frac{2L}{R}$ ثم استنتج قيمة L.

12- احسب تواتر الاهتزازة الجيبية المتخامدة f من الأثر $V_C(t)$ وقارنها بالقيمة التي تعطيها العلاقة :

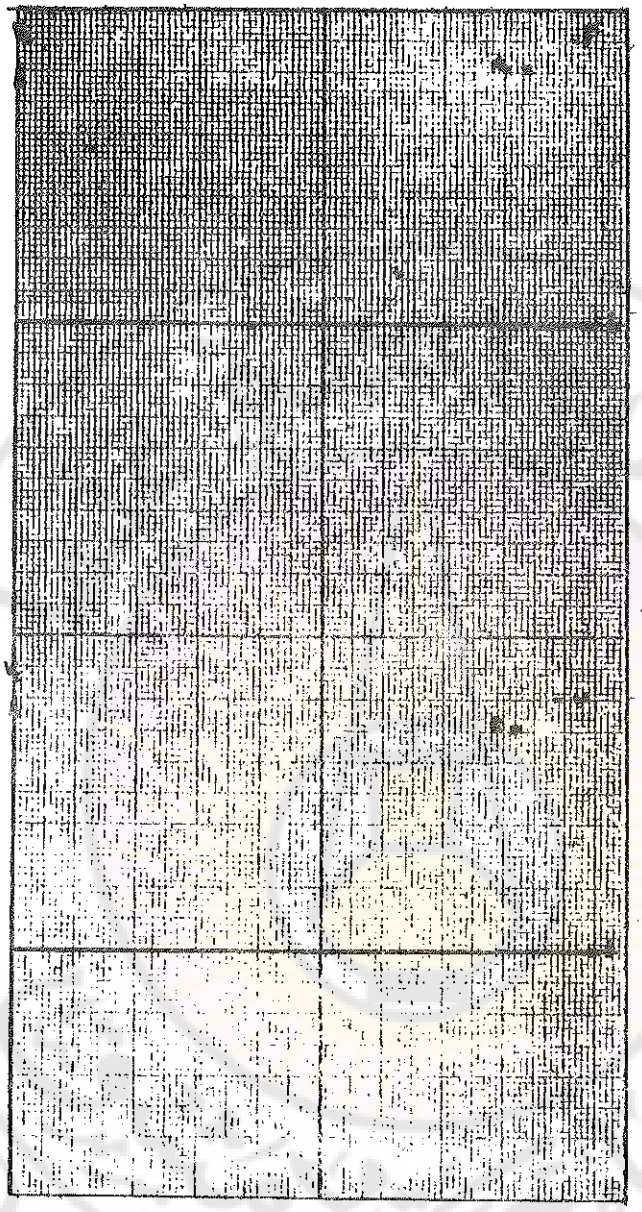
$$2\pi f = \omega = \frac{1}{2L}\left(\frac{4L}{C} - R^2\right)^{1/2}$$

ضع النتيجة على الشكل :

f=--------- HZ تجريبياً

f=--------- HZ حسابياً

13- انقص المقاومة R تدريجيا وراقب الاستجابة $V_C(t)$ على راسم الاهتزاز ،ثم انقل أثر الاستجابة $V_C(t)$ على ورقة مليمترية الجزء (ب) من الشكل (18) من أجل قيمة منخفضة للمقاومة R .



الشكل (18) الدارة RCL التسلسلية في النظام الاهتزازي

Damascus University

$C = 3 \times 10^{8}$ m/s	سرعة الضوء في الفراغ
$e = 1.6 \times 10^{-9}$ coul	شحنة الإلكترون
$m_e = 9.11 \times 10^{-31}$ kg	كتلة الإلكترون
$m_p = 1.67 \times 10^{-27}$ kg	كتلة البروتون
$m_n = 1.68 \times 10^{-27}$ kg	كتلة النترون
$h = 6.63 \times 10^{-34}$ J.s	ثابت بلانك
$R = 8.31$ J /mol . k	ثابت الغازات العام
$K = 1.38 \times 10^{-3}$ J /k	ثابت بولتزمان
$P_o = 760$ m m Hg $= 1.01 \times 10^{5}$ Pa	الضغط الجوي النظامي
$g = 9.81$ m /s^2	تسارع الجاذبية الأرضية
$G = 6.67 \times 10^{-11}$ m^3/s^2.kg	ثابت التجاذب العام
$\varepsilon_o = 8.85 \times 10^{-12}$ F / m	سماحية الخلاء
$\mu o = 1.26 \times 10^{-6}$ H / m	النفوذية المغناطيسية للخلاء
1 ev $= 1.6 \times 10^{-19}$ coul	الإلكترون فولط

Damascus University

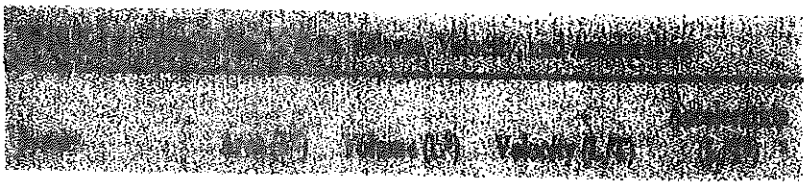
	°	′	″	RADIAN	rev
1 degree =	1	60	3600	1.745×10^{-2}	2.778×10^{-3}
1 minute =	1.667×10^{-2}	1	60	2.900×10^{-4}	4.630×10^{-5}
1 second =	2.778×10^{-4}	1.667×10^{-2}	1	4.848×10^{-6}	7.716×10^{-7}
1 RADIAN =	57.30	3438	2.063×10^{5}	1	0.1592
1 revolution =	360	2.16×10^{4}	1.296×10^{6}	6.283	1

1 rev = 2π radians = 360° 1° = 60′ = 3600″

SI PREFIXES

Factor	*Prefix*	*Symbol*	*Factor*	*Prefix*	*Symbol*
10^{18}	exa	E	10^{-1}	deci	d
10^{15}	peta	P	10^{-2}	centi	c
10^{12}	tera	T	10^{-3}	milli	m
10^{9}	giga	G	10^{-6}	micro	μ
10^{6}	mega	M	10^{-9}	nano	n
10^{3}	kilo	k	10^{-12}	pico	p
10^{2}	hecto	h	10^{-15}	femto	f
10^{1}	deka	da	10^{-18}	atto	a

Damascus University



SI	m^2	m^3	m/s	m/s^2
cgs	cm^2	cm^3	cm/s	cm/s^2
British engineering (conventional)	ft^2	ft^3	ft/s	ft/s^2

SOME UNITS AND ABBREVIATIONS

ampere	A	kelvin	K
atmosphere	atm	liter	L
British thermal unit	Btu	meter	m
calorie	cal	mile	mi
coulomb	C	minute	min
day	d	mole	mol
degree Celsius	°C	newton	N
degree Fahrenheit	°F	ohm	Ω
electron-volt	eV	pascal	Pa
farad	F	pound	lb
foot	ft	radian	rad
gauss	G	revolution	rev
gram	g	second	s
henry	H	tesla	T
hertz	Hz	unified atomic mass unit	u
horsepower	hp	volt	V
hour	h	watt	W
inch	in.	weber	Wb
joule	J	year	y

Damascus University

LENGTH

	cm	METER	km	in.	ft	mile
1 centimeter =	1	10^{-2}	10^{-5}	0.3937	3.281×10^{-2}	6.214×10^{-6}
1 METER =	100	1	10^{-3}	39.37	3.281	6.214×10^{-4}
1 kilometer =	10^{5}	1000	1	3.937×10^{4}	3281	0.6214
1 inch =	2.540	2.540×10^{-2}	2.540×10^{-5}	1	8.333×10^{-2}	1.578×10^{-5}
1 foot =	30.48	0.3048	3.048×10^{-4}	12	1	1.894×10^{-4}
1 statute mile =	1.609×10^{5}	1609	1.609	6.336×10^{4}	5280	1

1 angstrom (A) = 10^{-10} meter
1 X-unit = 10^{-13} meter
1 micron = 10^{-6} meter
1 millimicron (mμ) = 10^{-9} meter
1 nautical mile = 1852 meters = 1.1508 statute miles = 6076.10 ft
1 light-year = 9.4600×10^{12} km
1 parsec = 3.084×10^{13} km
1 fathom = 6 ft
1 yard = 3 ft
1 rod = 16.5 ft
1 mil = 10^{-3} in.

AREA

	METER^2	cm^2	ft^2	in.^{2}	circ mil
1 SQUARE METER =	1	10^{4}	10.76	1550	1.974×10^{9}
1 square centimeter =	10^{-4}	1	1.076×10^{-3}	0.1550	1.974×10^{5}
1 square foot =	9.290×10^{-2}	929.0	1	144	1.833×10^{8}
1 square inch =	6.452×10^{-4}	6.452	6.944×10^{-3}	1	1.273×10^{6}
1 circular mil =	5.067×10^{-10}	5.067×10^{-6}	5.454×10^{-9}	7.854×10^{-7}	1

1 square mile = 27,878,400 ft^2 = 640 acres
1 acre = 43,560 ft^2
1 barn = 10^{-28} meter^2

VOLUME

	METER^3	cm^3	l	ft^3	in.^{3}
1 CUBIC METER =	1	10^{6}	1000	35.31	6.102×10^{4}
1 cubic centimeter =	10^{-6}	1	1.000×10^{-3}	3.531×10^{-5}	6.102×10^{-2}
1 liter =	1.000×10^{-3}	1000	1	28.32	61.02
1 cubic foot =	2.832×10^{-2}	2.832×10^{4}	28.32	1	1728
1 cubic inch =	1.639×10^{-5}	16.39	1.639×10^{-2}	5.787×10^{-4}	1

1 U. S. fluid gallon = 4 U. S. fluid quarts = 8 U. S. pints = 128 U. S. fluid ounces = 231 in.^{3}
1 British imperial gallon = the volume of 10 lb of water at 62° F = 277.42 in.^{3}
1 liter = the volume of 1 kg of water at its maximum density = 1000.028 cm^3

Damascus University

POWER

	Btu/hr	ft-lb/min	ft-lb/sec	hp	cal/sec	kw	WATTS
1 British thermal unit per hour =	1	12.97	0.2161	3.929×10^{-4}	7.000×10^{-2}	2.930×10^{-4}	0.2930
1 foot-pound per minute =	7.713×10^{-2}	1	1.667×10^{-2}	3.030×10^{-5}	5.399×10^{-5}	2.260×10^{-5}	2.260×10^{-2}
1 foot-pound per second =	4.628	60	1	1.818×10^{-3}	0.3239	1.356×10^{-3}	1.356
1 horsepower =	2545	3.3×10^4	550	1	178.2	0.7457	745.7
1 calorie per second =	14.29	1.852 $\times 10^3$	3.087	5.613×10^{-3}	1	4.186 $\times 10^{-3}$	4.186
1 kilowatt =	3413	4.425×10^4	737.6	1.341	238.9	1	1000
1 WATT =	3.413	44.25	0.7376	1.341×10^{-3}	0.2389	0.001	1

ELECTRIC CHARGE

	abcoul	amp-hr	COUL	faraday	statcoul
1 abcoulomb (1 emu) =	1	2.778×10^{-3}	10	1.036×10^{-4}	2.998×10^{10}
1 ampere-hour =	360	1	3600	3.730×10^{-3}	1.079×10^{13}
1 COULOMB =	0.1	2.778×10^{-4}	1	1.036×10^{-5}	2.998×10^{9}
1 faraday =	9652	26.81	9.652×10^4	1	2.893×10^{14}
1 statcoulomb (1 esu) =	3.336×10^{-11}	9.266×10^{-14}	3.336×10^{-10}	3.456×10^{-15}	1

1 electronic charge = 1.602×10^{-19} coulomb

ELECTRIC CURRENT

	abamp	AMP	statamp
1 abampere (1 emu) =	1	10	2.998×10^{10}
1 AMPERE =	0.1	1	2.998×10^{9}
1 statampere (1 esu) =	3.336×10^{-11}	3.336×10^{-10}	1

ELECTRIC POTENTIAL, ELECTROMOTIVE FORCE

	abv	VOLTS	statv
1 abvolt (1 emu) =	1	10^{-8}	3.336×10^{-11}
1 VOLT =	10^8	1	3.336×10^{-3}
1 statvolt (1 esu) =	2.998×10^{10}	299.8	1

ELECTRIC RESISTANCE

	abohm	OHMS	statohm
1 abohm (1 emu) =	1	10^{-9}	1.113×10^{-21}
1 OHM =	10^9	1	1.113×10^{-12}
1 statohm (1 esu) =	8.987×10^{20}	8.987×10^{11}	1

ELECTRIC RESISTIVITY

	abohm-cm	μohm-cm	ohm-cm	statohm-cm	OHM-M	ohm-circ mil/ft
1 abohm-centimeter (1 emu) =	1	0.001	10^{-9}	1.113×10^{-21}	10^{-11}	6.015×10^{-3}
1 micro-ohm-centimeter =	1000	1	10^{-6}	1.113×10^{-18}	10^{-8}	6.015
1 ohm-centimeter =	10^{9}	10^{6}	1	1.113×10^{-12}	0.01	6.015×10^{6}
1 statohm-centimeter (1 esu) =	8.987×10^{20}	8.987×10^{17}	8.987×10^{11}	1	8.987×10^{9}	5.406×10^{18}
1 OHM-METER =	10^{11}	10^{8}	100	1.113×10^{-10}	1	6.015×10^{8}
1 ohm-circular mil per foot =	166.2	0.1662	1.662×10^{-7}	1.850×10^{-19}	1.662×10^{-9}	1

CAPACITANCE

	abf	FARADS	μf[a]	statf
1 abfarad (1 emu) =	1	10^{9}	10^{15}	8.987×10^{20}
1 FARAD =	10^{-9}	1	10^{6}	8.987×10^{11}
1 microfarad =	10^{-15}	10^{-6}	1	8.987×10^{5}
1 statfarad (1 esu) =	1.113×10^{-21}	1.113×10^{-12}	1.113×10^{-6}	1

[a] This unit is frequently abbreviated as mf.

INDUCTANCE

	abhenry	HENRYS	μh	mh	stathenry
1 abhenry (1 emu) =	1	10^{-9}	0.001	10^{-6}	1.113×10^{-21}
1 HENRY =	10^{9}	1	10^{6}	1000	1.113×10^{-12}
1 microhenry =	1000	10^{-6}	1	0.001	1.113×10^{-15}
1 millihenry =	10^{6}	0.001	1000	1	1.113×10^{-18}
1 stathenry (1 esu) =	8.987×10^{20}	8.987×10^{11}	8.987×10^{17}	8.987×10^{14}	1

MAGNETIC FLUX

	maxwell	kiloline	WEBER
1 maxwell (1 line or 1 emu) =	1	0.001	10^{-8}
1 kiloline =	1000	1	10^{-5}
1 WEBER =	10^{8}	10^{5}	1

1 esu = 299.8 webers

Damascus University

MAGNETIC INDUCTION B

	gauss	kiloline/in.^{2}	WEBER/METER^2 = TESLA	milligauss	
1 gauss (line per cm^2) =	1	6.452×10^{-3}	10^{-4}	1000	10^8
1 kiloline per in.^{2} =	155.0	1	1.550×10^{-3}	1.550×10^6	1.550×10^7
1 WEBER per METER^2 = 1 TESLA =	10^4	64.52	1	10^7	10^9
1 milligauss =	0.001	6.452×10^{-6}	10^{-7}	1	100
1 gamma =	10^{-5}	6.452×10^{-5}	10^{-9}	0.01	1

1 esu = 2.998×10^5 webers/meter^2

MAGNETOMOTIVE FORCE

	abamp-turn	AMP-TURN	gilbert
1 abampere-turn =	1	10	12.57
1 AMPERE-TURN =	0.1	1	1.257
1 gilbert =	7.958×10^{-2}	0.7958	1

1 praglibert = 4π amp-turn 1 esu = 2.655×10^{-11} amp-turn

MAGNETIC FIELD STRENGTH H

	abamp-turn/cm	amp-turn/cm	amp-turn/in.	AMP-TURN/METER	oersted
1 abampere-turn per centimeter =	1	10	25.40	1000	12.57
1 ampere-turn per centimeter =	0.1	1	2.540	100	1.257
1 ampere-turn per inch =	3.937×10^{-2}	0.3937	1	39.37	0.4947
1 AMPERE-TURN per METER =	0.001	0.01	2.540×10^{-2}	1	1.257×10^{-2}
1 oersted =	7.958×10^{-2}	0.7958	2.021	79.58	1

1 oersted = 1 gilbert 1 esu = 2.655×10^{-9} amp-turn/meter
1 praoersted = 4π amp-turn/meter

Damascus University

المقدار الفيزيائي	رمزه	رمزه	يرجع
الطول	ℓ	سنتيمتر cm	متر 10⁻² meter,m
		انش in	2.5 400 x 10⁻⁴
		قدم ft	0.30480
		ميل mi	1609.4
		ميكرون μm	10⁻⁴
		ملي ميكرون mμ	10⁻⁹
		انغستروم A	10⁻¹⁰
السرعة	v	قدم/ثانية $f.sec^{-1}$	متر / ثانية 0.30480 $m.sec^{-1}$
		ميل/ساعة $mi.hr^{-1}$	0.4704
الكتلة	m	غرام g	كيلو غرام 10⁻³ Kilogram,kg
		سلج slug	14.594
القوة والوزن	F W,F	داين dyne	نيوتن 10⁻⁵ newton,n
		باوندال Poundal	0.13826
		باوند lb	4.4482
الطاقة	E	ارغ erg	جول 10⁻⁷ joule,j
		الكترون فولط ev	1.6019 x 10⁻¹⁹
		كيلو واط ساعي Kwh	3.6 x 10⁶

Damascus University

المقدار الفيزيائي	رمزه	في كل	يوجد
الطاقة	E	cal (15°c)	4.1861 joule,j
		kcal	4.1861 × 10^{3}
		ft.lb	1.3558
		Btu	1054.6
الاستطاعة	P	$erg.sec^{-1}$	10^{-7} watt,w
		$cal.sec^{-1}$	4.1861
		$Btu\ hr^{-1}$	0.29294
		$ft.lb.sec^{-1}$	1.3558
		hp	746.00
الضغط	P	$dyne.cm^{-2}$	نيوتن / متر مربع 10^{-1} n.m^{-2}
		$lb.in^{-2}$	6.8947 × 10^{3}
		atm	1.0133 × 10^{5}
		cm - mercury	1.3332 × 10^{3}
الكثافة النوعية	D,ρ	$g.cm^{-3}$	كيلو غرام/متر مكعب 10^{3} kg m^{-3}

كثافة الزوبعة	D,ρ	بارد/قدم مكعب lb.ft⁻³	كيلوغرام/متر مكعب 16.018	
السعة الحرارية	c	cal.g⁻¹ (c°)⁻¹ Btu.lb⁻¹(F°)⁻¹	4.1861×10³ جول/كيلوغرام.درجة مئوية 4.1861 × 10³	
الشحنة	q,Q	statcoul (esu) abcoul (emu)	كولون (3×10⁹)coulomb,coul 10	
فرق الكمون	V	وحدة كهراكة statvolt (esu) abvolt (emu)	فولط 300 volt,v 10⁻⁸	
السعة	C	وحدة كهراكة statfarad (esu) abfarad (emu)	فاراد 1/(9×10¹¹) farad,f 10⁹	
حاجة المادة الكهربائية	e	وحدة كهراكة esu	فاراد/متر 1/(36π×10⁹) f.m⁻¹	
شدة الحقل الكهربائي	E	فولط/سنتمتر وحدة كهراكة v.cm⁻¹ dyne.statcoul⁻¹(esu)	فولط/متر 10² v.m⁻¹ 5 × 10⁴	

المقدار الفيزيائي	رمزه	في كل		يوجد	
كثافة التدفق الكهربائي او الانتقال الكهربائي	D	وحدة كهراكدة	esu	$1/(12\pi\times10^{5})$coul.m^{-2}	كولون/متر مربع
		وحدة كهرطيسية	emu	$10^{5}/4\pi$	
التيار الكهربائي	i,I	وحدة كهراكدة	statamp (esu)	$1/(3\times10^{9})$ampere,amp	أمبير
		وحدة كهرطيسية	abamp (emu)	10	
المقاومة	r,R	وحدة كهراكدة	statohm (esu)	9×10^{11} ohm	أوم
		وحدة كهرطيسية	abohm (emu)	10^{-9}	
الناقلية النوعية	ρ	أوم . سنتمتر	ohm.cm	10^{-2} ohm.m	أوم . متر
		أوم . (ميل - قدم)$^{-1}$	ohm (mi - ft)$^{-1}$	1.6624×10^{-9}	
كثافة التدفق المغناطيسي او التحريض المغناطيسي	B	غاوس	gauss (emu)	10^{-4} weber.m^{-2}	ويبر/متر مربع
		خط / انش مربع	line.in^{-2}	1.5500×10^{-5}	
		وحدة كهراكدة	esu	3×10^{6}	
التدفق المغناطيسي	Φ	ماكسويل	maxwell (emu)	10^{-8} weber	ويبر

المقدار الفيزيائي	رمزه	في كل	يوجد
العطف المغناطيسي	Φ	esu وحدة كهراكة	3×10^{2}
التحريضية	L	abhenry emu) وحدة كهرطيسية stathenry (esu) وحدة كهراكة	10^{-9} henryh هنري 9×10^{11}
النفوذية	μ	emu وحدة كهرطيسية	$4\pi \times 10^{-7}$ h.m^{-1} هنري/متر
شدة الحقل المغناطيسي	H	amp – turn.cm^{-1} أمبير . لفة/سنتمتر oersted (emu) أورستد	10^{3} amp – turn.m^{-1} أمبير - لفة/متر $10^{3}/4\pi$

المركب	درجة الحرارة الحرجة (درجة كلفن)	الضغط الحرج (ميكاباسكال)	الحجم الحرج (متر مكعب
الأرغون	151	4.864	75.2
الكزينون	289.8	5.877	118.8
الميتان	190.7	4.641	99.4
الأكسجين	154.8	5.076	74.4
النتروجين	126.2	3.394	90.1
CO	133	3.496	93.1
إيتيلين	283.1	5.117	124
H2S	373.6	9.008	98
بروبان	369.9	4.256	200
أستيلين	309.5	6.242	113
مكسان حلقي	553.2	4.053	308
بنزن	562.1	4.924	260
CO2	304.2	7.387	94
أمونيا	405.6	11.4	72.5
بنتان	469.5	3.374	311
مكسان	507.3	3.03	368
أسيتون	509.1	4.762	211
ماء	647.3	22.09	56.8

جامعة دمشق Damascus University

جدول قيم الناقلية الحرارية لبعض الأجسام العازلة الصلبة.

أجسام عازلة	λ W/cm . c
المرمر	٠,٠٢٢
القرميد	٠,٠٠٦
الخشب	٠,٠٠٣
الفلين	٠,٠٠٢٩
الكاوتشوك	٠,٠٠١٦
الصوف	٠,٠٠١٢
الريش	٠,٠٠٠٠٤
معادن نقية	**λ W/cm . c**
النحاس	٣,٨٨
الفضة	٤,١٩
الألمنيوم	٢,٠٣
الحديد	٠,٦١٩
الماء	٠,٠٠٦
الزيبق	٠,٠٨٣٦
الهواء	٠,٠٠٠٢٤

Damascus University

جدول قيم الناقلية الحرارية لبعض الخلائط المعدنية للنيكل مع النحاس.

N%	λ W/cm . c
١٠	٠,٣٨٩
٣٠	٠,٢٤٢
٥٠	٠,٢٢٦
٦٠	٠,٢٢٦
٧٠	٠,٢٨٩
٨٠	٠,٣٠٦
١٠٠	٠,٥٨٦

جدول ببعض قيم ثوابت فان در فالس لبعض المواد :

المادة	a	b
الهيدروجين	٠,٢٤٧٦	٠,٠٢٦٦١
الهليوم	٠,٠٣٤٥	٠,٠٢٣٧
النتروجين	١,٤٠٨	٠,٠٣٩١
الأكسجين	١,٣٧٨	٠,٠٣١٨٣
الكلور	٦,٥٧٩	٠,٠٥٦٢٢
NO	١,٣٥٨	٠,٠٢٧٨٩
NO2	٥,٣٤٥	٠,٠٤٤٢٤

UNITS AND CONVERSION FACTORS

Energy

1 Joule =

10^7 ergs	(10^{-7} J/erg)
0.2389 calories	(4.186 J/cal)
9.480×10^{-4} Btu	(1055 J/Btu)
9.869×10^{-3} liter-atmospheres	(101.3 J/liter-atm)
0.7376 foot-pounds	(1.356 J/ft-pound)
2.778×10^{-4} watt-hours	(3600 J/watt-hr)
3.724×10^{-7} horsepower-hours	(2.685×10^6 J/hp-hr)

Pressure

1 Pascal =

1 Newton/m^2	
10 dynes/cm^2	
10 baryes	
10^{-5} bars	
1.450×10^{-4} psi (pounds/$inch^2$)	(6897 Pa/psi)
0.9869×10^{-5} atmospheres	(1.013×10^5 Pa/atm)
7.5006×10^{-3} Torr (or "mm Hg")	(133.3 Pa/Torr)

Volume

1 m^3 =

10^6 cm^3	
10^3 liters	
6.1024×10^4 $inch^3$	(1.639×10^{-5} m^3/in^3)
35.315 ft^3	(.02832 m^3/ft^3)
264.17 U.S. gallons	(3.785×10^{-3} m^3/gal)
219.97 British Imperial gallons	(4.546×10^{-3} m^3/gal)

Temperature

$T(°C) = T(\text{Kelvin}) - 273.15$
$T(°R) = 1.8 \times T(\text{Kelvin})$
$T(°F) = T(°R) - 459.67 = 1.8 \times T(°C) + 32$

CONSTANTS

$R = 8.314$ Joule/mole-Kelvin $= 1.986$ calories/mole-Kelvin
$k_B = 1.381 \times 10^{-23}$ Joules/Kelvin
$N_A = R/k_B = 6.022 \times 10^{23}$/mole
$h = 6.626 \times 10^{-34}$ Joule-sec

Physical Quantity	Symbol	SI		Gaussian
Length	l	1 meter (m)	10^2	centimeters (cm)
Mass	m	1 kilogram (kg)	10^3	grams (g)
Time	t	1 second (s)	1	second (s)
Frequency	ν	1 hertz (Hz)	1	hertz (Hz)
Force	F	1 newton (N)	10^5	dynes
Work, Energy	W, U	1 joule (J)	10^7	ergs
Power	P	1 watt (W)	10^7	ergs s^{-1}
Charge	q	1 coulomb (C)	3×10^9	statcoulombs
Charge density	ρ	1 C m^{-3}	3×10^3	statcoul cm^{-3}
Current	I	1 ampere (A)	3×10^9	statamperes
Current density	J	1 A m^{-2}	3×10^5	statamp cm^{-2}
Elcctric field	E	1 volt m^{-1} (Vm^{-1})	$\frac{1}{3} \times 10^{-4}$	statvolt cm^{-1}
Potential	Φ, V	1 volt (V)	$\frac{1}{300}$	statvolt
Polarization	P	1 C m^{-2}	3×10^5	dipole moment cm^{-3}
Displacement	D	1 C m^{-2}	$12\pi \times 10^5$	statvolt cm^{-1} (statcoul cm^{-2})
Conductivity	σ	1 siemens m^{-1}	9×10^9	s^{-1}
Resistance	R	1 ohm (Ω)	$\frac{1}{9} \times 10^{-11}$	s cm^{-1}
Capacitance	C	1 farad (F)	9×10^{11}	cm
Magnetic flux	ϕ, F	1 weber (Wb)	10^8	gauss cm^2 or maxwells
Magnetic induction	B	1 tesla (T)	10^4	gauss (G)
Magnetic field	H	1 A m^{-1}	$4\pi \times 10^{-3}$	oersted (Oe)
Magnetization	M	1 A m^{-1}	10^{-3}	magnctic moment cm^{-3}
Inductance*	L	1 henry (H)	$\frac{1}{9} \times 10^{-11}$	

Quantity	Gaussian	SI
Velocity of light	c	$(\mu_0\epsilon_0)^{-1/2}$
Electric field (potential, voltage)	$\mathbf{E}(\Phi, V)/\sqrt{4\pi\epsilon_0}$	$\mathbf{E}(\Phi, V)$
Displacement	$\sqrt{\epsilon_0/4\pi}\,\mathbf{D}$	$\mathbf{D}$
Charge density (charge, current density, current, polarization)	$\sqrt{4\pi\epsilon_0}\,\rho(q, \mathbf{J}, I, \mathbf{P})$	$\rho(q, \mathbf{J}, I, \mathbf{P})$
Magnetic induction	$\sqrt{\mu_0/4\pi}\,\mathbf{B}$	$\mathbf{B}$
Magnetic field	$\mathbf{H}/\sqrt{4\pi\mu_0}$	$\mathbf{H}$
Magnetization	$\sqrt{4\pi/\mu_0}\,\mathbf{M}$	$\mathbf{M}$
Conductivity	$4\pi\epsilon_0\sigma$	σ
Dielectric constant	$\epsilon_0\epsilon$	ϵ
Magnetic permeability	$\mu_0\mu$	μ
Resistance (impedance)	$R(Z)/4\pi\epsilon_0$	$R(Z)$
Inductance	$L/4\pi\epsilon_0$	L
Capacitance	$4\pi\epsilon_0 C$	C

$c = 2.997\,924\,58 \times 10^8$ m/s

$\epsilon_0 = 8.854\,187\,8\ldots \times 10^{-12}$ F/m

$\mu_0 = 1.256\,637\,0\ldots \times 10^{-6}$ H/m

$\sqrt{\dfrac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 376.730\,3\ldots\,\Omega$

Damascus University

Ideal-gas specific heats of various common gases

(a) At 300 K

Gas	Formula	Gas constant, R kJ/kg · K	c_p kJ/kg · K	c_v kJ/kg · K	k
Air	—	0.2870	1.005	0.718	1.400
Argon	Ar	0.2081	0.5203	0.3122	1.667
Butane	C_4H_{10}	0.1433	1.7164	1.5734	1.091
Carbon dioxide	CO_2	0.1889	0.846	0.657	1.289
Carbon monoxide	CO	0.2968	1.040	0.744	1.400
Ethane	C_2H_6	0.2765	1.7662	1.4897	1.186
Ethylene	C_2H_4	0.2964	1.5482	1.2518	1.237
Helium	He	2.0769	5.1926	3.1156	1.667
Hydrogen	H_2	4.1240	14.307	10.183	1.405
Methane	CH_4	0.5182	2.2537	1.7354	1.299
Neon	Ne	0.4119	1.0299	0.6179	1.667
Nitrogen	N_2	0.2968	1.039	0.743	1.400
Octane	C_8H_{18}	0.0729	1.7113	1.6385	1.044
Oxygen	O_2	0.2598	0.918	0.659	1.395
Propane	C_3H_8	0.1885	1.6794	1.4909	1.126
Steam	H_2O	0.4615	1.8723	1.4108	1.327

Note: The unit kJ/kg · K is equivalent to kJ/kg · °C.

Damascus University

SOME PHYSICAL PROPERTIES

Air (dry, at 20°C and 1 atm)	
Density	$1.21\ kg/m^3$
Specific heat capacity at constant pressure	$1010\ J/kg \cdot K$
Ratio of specific heat capacities	1.40
Speed of sound	343 m/s
Electrical breakdown strength	$3 \times 10^6\ V/m$
Effective molar mass	0.0289 kg/mol
Water	
Density	$1000\ kg/m^3$
Speed of sound	1460 m/s
Specific heat capacity at constant pressure	$4190\ J/kg \cdot K$
Heat of fusion (0°C)	333 kJ/kg
Heat of vaporization (100°C)	2260 kJ/kg
Index of refraction ($\lambda = 589$ nm)	1.33
Molar mass	0.0180 kg/mol
Earth	
Mass	5.98×10^{24} kg
Mean radius	6.37×10^6 m
Free fall acceleration at the Earth's surface	$9.81\ m/s^2$
Standard atmosphere	1.01×10^5 Pa
Period of satellite at 100 km altitude	86.3 min
Radius of the geosynchronous orbit	42,200 km
Escape speed	11.2 km/s
Magnetic dipole moment	$8.0 \times 10^{22}\ A \cdot m^2$
Mean electric field at surface	150 V/m, down
Distance to:	
Moon	3.82×10^8 m
Sun	1.50×10^{11} m
Nearest star	4.04×10^{16} m
Galactic center	2.2×10^{20} m
Andromeda galaxy	2.1×10^{22} m
Edge of the observable universe	$\sim 10^{26}$ m

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

قائمـــــة المصطلحات

- A -

الإنكليزية	العربية
Absolute	مطلق
Absolute Temperature	درجة حرارة مطلقة
Absolute Temperature scale	سلم درجة حرارة مطلقة
Absolute Zero	صفر مطلق
Adiabatic compression	انضغاط كظوم
Adiabatic expansion	تمدد كظوم
Adiabatic transformation	تحول كظوم
Adiabatic	كظوم
Acceleration	تسارع
Angular Acceleration	تسارع زاوي
Coriolis Acceleration	تسارع كوريولس
Constant Acceleration	تسارع ثابت
Centripetal Acceleration	تسارع جاذب
Normal Acceleration	تسارع ناظمي
Relative Acceleration	تسارع نسبي
Resultant Acceleration	تسارع محصل
Tangential Acceleration	تسارع مماسي
Average Acceleration Accelerator	تسارع وسطي مسرع
Action	فعل

Contact Action	فعل التماس
Air	هواء
Air Resistance	مقاومة الهواء
Alternating	متناوب
Alternating current	تيار متناوب
Alternator	مولبة
Areas Law	قانون السطوح
Altitude	ارتفاع
Amber	عنبر / كهرمان
Ammeter	مقياس آمبير
Ampere	آمبير
Amplification factor	عامل تضخيم
Amplitude	مطال، سعة
Angular	زاوي
Angular Velocity	سرعة زاوية
Anode	مصعد / أنود
Arc	قوس
Archimedes Principle	مبدأ أرخميدس
Atmosphere	جو
Atom	ذرة
Attraction	تجاذب / جنب
Atwood's machine	آلة أتود
Axis fixed	محور ثابت

Attraction	تجاذب
Anisotropic	لا متناحي
Analytic	تحليلي
- B -	
Balance	ميزان
Band	عصابة،شريط
Bandwidth	عرض العصابة
Bar	قضيب
Base	قاعدة
Bernoulli's equation	معادلة برنولي
Bar center	مركز الفعل
Biot-Savart Law	قانون بيو-سافار
Black body	جسم أسود
Black body radiation	اشعاع الجسم الأسود
Boiling	غليان
Boltzmann constant	ثابت بولتزمان
Boyles Law	قانون بويل
Buoyan force	قوة الطفو
C-	
Caloric	حراري
Calorie	حريرة
Calorific power	قدرة حرارية

Calorimeter	مسعر
Capacitive	وُسْنعيّ
Capacitive reactance	ردية وسعية
Capacitor	مكثفة
Capacity	سعة
Carrier	حامل
Carrier of charge	حامل الشحنة
Cathode	مهبط ، كاثود
Cathode rays	أشعة مهبطية
Cathode-rays oscillograph	راسم إهتزاز مهبطي
Celsius degree	درجة سليزيوس، مئوية
Celsius scale	سلم سلزيوس
Charge	شحنة
Charged	مشحون
Circuit	دارة كهربائية
Cloud	غيمة
Coercive field	حقل قاهر
Coil	وشيعة

Conductor	ناقل
Conduction	نقل
Conductance	ناقلية
Connect	يصل
Conservative	محافظ
Conservative filed	حقل محافظ
Cool	بارد
Coolant	مبرِّد
Cooling	تبريد
Coulomb	كولون
Current	تيار
Calculus	حساب
Calorie	حزيرة
Capillarity	خاصة شعرية
Tube Capillarity	أنبوب شعري
Center	مركز
Mass Center	مركز الكتلة
Gravity Center	مركز الثقل
Inertia Center	مركز العطالة
Center field	حقل مركزي

Center farce	قوة مركزية
Centrifugal force	قوة جاذبة
Change of state	تغير الحالة
Collision	تصادم
Elastic Collision	تصادم مرن
Inelastic Collision	تصادم غير مرن
Conservation	انخفاظ
Conservation of angular momentum	انخفاظ كمية الحركة الزاوية
Conservation of energy	انخفاض الطاقة
Conservation theorems	نظريات الإنخفاظ
Classical	تقليدي
Classical Mechanics	ميكانيك تقليدي
Critical	حرج
Critical frequency	تواتر حرج
Critical point	نقطة حرجة
Critical potential	كمون حرج
Critical volume	حجم حرج
Critical pressure	ضغط حرج
Coefficient	معامل
Friction Coefficient	معامل الاحتكاك
Viscous Coefficient	معامل اللزوجة
Conductor	ناقل

Continuity	استمرار
Constant	ثابت
Components	مركبات
Couple	مزدوجة
Cross	مقطع
Cycle	حلقة، دورة
Coordinates	إحداثيات
Cartesian Coordinates	إحداثيات ديكارتية
Cylindrical Coordinates	إحداثيات اسطوانية
Polar Coordinates	إحداثيات قطبية
Spherical Coordinates	إحداثيات كروية
Curve	منحني
- D -	
Density	كثافة
d.c	تيار مستمر
d.c generator	مولد تيار مستمر
Demagnetizing field	حقل مزيل للمغنطة
Demagnetization	إزالة المغنطة
Densimeter	مقياس كثافة
Diamagnetic	معاكس المغنطيسية
Diamagnetic materials	مواد ذات مغنطيسية معاكسة
Diamagnetism	مغنطيسية معاكسة
Dipole	ثنائي قطب

Dipole moment	عزم ثنائي القطب
direct	مباشر
Depth	عمق
Displacement	إزاحة
Displacement Vector	شعاع الإزاحة
Dynamic	تحريك
Dynamic of Particles	تحريك الجسيمات
Diffraction	انعراج -
Dimension	بعد
Direction	اتجاه
Disk	قرص
Discharge	تفريغ
Distribution	توزع
Distribution of velocities	توزع السرع
Distribution of kinetic energy	توزع الطاقة الحركية
Division	قسمة
Vectorial Division	قسمة شعاعية
Divergence	تفرق
Data	معطيات
Double	مضاعف
Dyne	دنية
Dispersion	تبديد
Differential	تفاضل

Differential element	عنصر تفاضلي
Direction cosines	جيوب تمام الاتجاه
- E -	
Effect	مفعول
Effective	فعال
Effective potential	كمون فعال
Efficiency	مردود ، كفاءة
Elastic	مرن
Ellipse	قطع ناقص
Electricity	كهرباء
Electric moment	عزم كهربائي
Elcctric potential	كمون كهربائي
Electric flux	تدفق كهربائي
Electric flux density	كثافة التدفق الكهربائي
Electromotive force	قوة محركة كهربائية
Electron	إلكترون
Electron tube	صمام إلكتروني
Electrostatic	كهرباء ساكنة/ كهراكدي
Electrostatic energy	طاقة كهراكدة
Electrostatic filed	حقل كهراكدي
Electrostatic induction	تحريض كهراكدي
Electrostatic potential	كمون كهراكدي
Electromagnetic	كهرطيسي

Electromagnetic field	حقل كهرطيسي
Electromagnetic theory	نظرية كهرطيسية
Electromagnetic wave	موجة كهرطيسية
Electromagnetism	كهرطيسية
Element	عنصر
Emission	الإصدار ، بث
Emission spectrum	طيف الإصدار
Emittance	إصداريه
Equipotential surface	سطح سوية كمون
Energy	طاقة
Kinetic Energy	طاقة حركية
Internal Energy	طاقة داخلية
Potential Energy	طاقة كامنة
Total Energy	طاقة كلية
Mechanical Energy	طاقة ميكانيكية
Rotational Energy	طاقة دورانية
Entropy	انتروبية
Equation	معادلة
Equation of state	معادلة الحالة
Equation of Propagation	معادلة الانتشار
Equilibrium	توازن
Equilibrium of bodies	توازن الجسام
Equilibrium of Particle	توازن الجسيم

Equilibrium Position	وضع التوازن
Stability Equilibrium	توازن مستقر
Equivalent	مكافئ
Equinox	نقطة الاعتدال
erg	الأرغة
Experiment	تجربة
Experimental	تجريبي
– F –	
Farad	فاراد
Faraday effect	مفعول فارادي
Ferromagnetic materials	مواد حديدية المغنطة
Ferromagnetism	مغنطيسية حديدية
Filament	فتيلة
Fluid	سائل
Real Fluid	سائل حقيقي
Ideal Fluid	سائل مثالي
Incompressible Fluid	سائل غير قابل للإنضغاط
Viscous Fluid	سائل لزج
Fluid Pressure	ضغط السائل
Field	حقل
Filter	مرشح
Gravitational Field	حقل الثقالة
Force	قوة

Nonconervative Force	قوة غير محافظة
Moment of Force	عزم القوة
Attraction Force	قوة جاذبة
Central Force	قوة مركزية
Centri fugal Force	قوة نابذة
Elastic Force	قوة مرنة
Friction Force	قوة احتكاك
Internal Force	قوة داخلية
Binding Force	قوة ترابط
Nuclear Force	قوة نووية
Force of interaction	قوة تفاعل
Frequency	تواتر
Angular Frequency	تواتر زاوي
Frame	جملة
Frame of reference	جملة مقارنة
Friction	احتكاك
Kinetic Friction	احتكاك حركي
Static Friction	احتكاك سكوني
Sliding Friction	احتكاك بدون انزلاق
Flux	تدفق
Flux lines	خطوط التدفق
Factor	عامل
Formation	تشكيل

Function	تابع
Free	حر
- G -	
Gas	غاز
Real Gas	غاز حقيقي
Gases constant	ثابت الغازات
Gas pressure	ضغط الغاز
Galaxy	مجرة
Gradient	تدرج
Gradient vector	شعاع التدرج
Gravitational	ثقالي
Gyroscope	جيروسكوب
- H -	
Harmonic	توافقي
Harmonic motion	حركة توافقية
Heat	حرارة
Specific Heat	حرارة نوعية
Heat conduction	نقل حراري
Heat convection	حمل حراري
Heat engines	محركات حرارية
Heat equilibrium	توازن حراري
Heat exchanger	مبادل حراري
Heat pump	مضخة حرارية

Heat radiation	اشعاع حراري
Hook's Law	قانون هول
Hydro static	توازن السوائل
Hypotheses	فرض
Heavy	ثقيل
Height	ارتفاع
Helical	لولبي
Helical motion	حركة لولبية
Helical orbit	مدار لولبي
Helicoidally Path	مسار لولبي
Hertz	هرتز
Hole	ثقب
Hollow	أجوف
Homogeneous	متجانس
Hyperbola	قطع زائد
-I-	
Ideal gas	غاز كامل
Illuminometer	مقياس الإضاءة
Impedance	ممانعة
Impulse	الدفع
Induce	يحرّض
Induced	متحرض
Induced charge	شحنة متحرضة

Induced magnetism	مغنطيسية متحرضة
Inductance	تحريضية
Induction	تحريض
Inductive reactance	ردّية تحريضية
Inductor	محرِّض
Inelastic	غير مرن
Inertia	العطالة
Interaction	تفاعل متبادل
Ions	إيونات
Isobaric	متساوي الضغط
Isochoric	متساوي الحجم
Isothermal	متساوي درجة الحرارة
Isotopes	نظائر
Index	دليل
Isotropic	متناحي
Inter Polation	استقراء داخلي
Incertitude	ارتياب
Absolute Incertitude	ارتياب مطلق
Relative Incertitude	ارتياب نسبي
Intensity	شدة
Integral	تكامل
Isolated	معزول
Isolated System	جملة معزولة

Incidence	سقوط
Incoherence	غير مترابط
Incommensurable	غير قابل للقياس
Independent	مستقل
Inhomogeneous	غير متجانس
Initial	ابتدائي
Initial Energy	طاقة ابتدائية
Initial Speed	سرعة ابتدائية
Initial Particle	جسيم أولي
Inner product	جداء داخلي
Instability	غير مستقر
Interface	سطح بيني
Interference	تداخل
Invariant	لا متغير
Isotype	متماثل
- J -	
Joule	جول
Junction	وصلة
Joule effect	مفعول جول
Juxta	مجاور
- K -	
Kick	ارتداد
Kilo	كيلو

Kilo bar	كيلو بار
Kilo gram	كيلو غرام
Kilo meter	كيلو متر
Kilo calorie	كيلو حريرة
Kelvin	كالفن
Kinematics	علم الحركة
Kinetic behavior	سلوك حركي
Kinetic energy	طاقة حركية
Kinetic equation	معادلة حركية
Kinetic pressure	ضغط حركي
Kinetic theory	نظرية حركية
- L -	
Liability	قابل للتغيير
Laboratory	مختبر
Lacuna	فجوة
Lamp	مصباح
Landslide	انزلاق
Laplace	لابلاس
Laser	لايزر
Latent	كامن
Latent energy	طاقة كامنة
Latent heat	حرارة كامنة،حرارة لاطية

Lateral	جانبي
Lateral collision	تصادم جانبي
Latitude	خط العرض
Lattice	شبكة
Law	قانون
Law of conservation	قانون الإنحفاظ
Layer	طبقة
Length	طول
Lens	عدسة
Level	مستوى
Light	ضوء
Light source	منبع ضوئي
Limit	حد
Limited	محدود
Lines	خطوط
Lines of force	خطوط القوة
Lines of field	خطوط الحقل
Linear	خطي
Linear equation	معادلة خطية
Linear momentum	اندفاع خطي
Linear accelerator	مسرع خطي
Linear correlation	ارتباط خطي
Linear dependence	تابعية خطية

Linear polarization	استقطاب خطي
Line of action	خط الفعل
Line of force	خط القوة
Liquid	سائل
Liquid fuel	وقود سائلة
Load	حمولة
Loop	عروة
Local	موضعي
Location	موضع
Logarithmic	لوغارتمي
Loss	ضياع
Low	منخفض
Luminous flux	تدفق ضوئي
Luminous intensity	شدة ضوئية
- M -	
Machine	آلة
Macroscopic	جهري
Microscopy	دراسة جهرية
Magnet	مغنطيس
Magnetic	مغنطيسي
Magnetic attraction	تجاذب مغنطيسي
Magnetic axis	محور مغنطيسي
Magnetic constant	ثابت مغنطيسي

Magnetic filed	حقل مغناطيسي
Magnetic flux	تدفق مغنطيسي
Magnetic flux density	كثافة التدفق المغنطيسي
Magnetic force	قوة مغناطيسية
Magnetic induction	تحريض مغناطيسي
Magnetic moment	عزم مغنطيسي
Magnet coil	ملف المغنطيس
Magnetism	مغنطيسية
Magnetization	مغنطة ، تمغنط
Main	رئيسي
Main path	مسار رئيسي
major axis	المحور الكبير
major diameter	القطر الأكبر
Mass	كتلة
Mass center	مركز الكتلة
Mass density	كثافة الكتلة
Mass spectrum	طيف الكتلة
Mass Less	عديم الكتلة
Mass Velocity	سرعة الكتلة
material	مادي، مادة
Matrice	مصفوفة
Maximum	أعظمي
Mean	وسطي

Mean energy	طاقة وسطية
Mean velocity	سرعة وسطية
Mean value	قيمة وسطية
Measure	قياس
Mechanic	ميكانيك
Mechanical	ميكانيكي
Mechanical force	قوة ميكانيكية
Mechanical stress	إجهاد ميكانيكي
Mega hertz	ميغا هيرتز
meridian	خط الزوال
Metal	معدن
Metastable	شبه مستقر
Metastable equilibrium	توازن شبه مستقر
metric	متري
Metric system	نظام متري
metrology	علم القياس
Microscope	مجهر
Microscopic	مجهري
Milli liter	ملي لتر
Mini mum	أصغري
Minute	دقيقة
Mixed	مختلط
Mobile	متحرك

mode	نمط
Model	نموذج
Moll	مول
Molecular	جزيئي
moment	عزم
Moment of force	عزم القوة
Moment of Inertia	عزم العطالة
Moment of momentum	عزم الإندفاع
momentum	الاندفاع
Momentum conservation	انحفاظ الاندفاع
Momentum vector	متجهة الإندفاع
Motion	حركة
Mounting	تركيب
Mutual	متبادل
- N -	
Nabla	نبلا
Nanometer	نانو متر
Natural	طبيعي
Natural logarithm	لغاريتم طبيعي
Natural numbers	أعداد طبيعية
Nautical mile	ميل بحري
Negative	سلبي
Negative electrode	مسرى سالب

Negative pole	قطب سالب
Negligence	إهمال
Neutral	معتدل
Neutralization	تعادل
Network	شبكة
Newton	نيوتن
Newton's laws	قوانين نيوتن
Newtonian mechanics	ميكانيك نيوتن
Noise	ضجيج
Non – central force	قوة لا مركزية
Non – Centro symmetric	تناظر لامركزي
Non – equilibrium state	حالة لا متوازنة
Non - conservative	لا محافظة
Non – inertial	لا عطالي
Non – linear	لا خطي
Nonlinear equation	معادلة لاخطية
Non – relativistic	لا نسبوي
Non – stationary	غير مستقر
Non – uniform	غير منتظم
normal	عادي، عمودي، ناظمي
Normal component	مركبة ناظمية
Normal distribution	توزع نظامي
Normal stress	إجهاد نظامي

North	شمالي
North pole	قطب شمالي
Nucleus	نواة
number	عدد
Numerical constant	ثابت عددي
Numerical value	قيمة عددية
- O -	
Object	جسم
Oblique	مائل
Oblique coordinates	إحداثيات مائلة
odd	فردي
Odd function	تابع فردي
Odd number	عدد فردي
Ohm	أوم
Ohmic resistance	مقاومة أومية
Ohmmeter	مقياس اوم
One dimensional	أحادي البعد
Open circuit	دارة مفتوحة
Orbit	مدار
Ordinary	عادي
Ordinary ray	شعاع عادي
Ordinate	ترتيب
Origin	مبدأ

Orthogonal	متعامد
Oscillation	اهتزاز
Oscillating motion	حركة اهتزازية
Ozone	أوزون
P	
Parabola	قطع مكافئ
Parallel	موازي
Parallel connection	وصل على التوازي
Parametric	وسطي
Parametric equation	معادلة وسيطية
partial	جزئي
Partial pressure	ضغط جزئي
Particle	جزئي
Particle mass	كتلة الجسيم
Path	مسار
Pendulum	نواس
Permeability	النفوذية المغنطيسية
Permittivity	السماحية
perimeter	محيط
period	دور
Periodic	دوري
Periodic oscillation	اهتزاز دوري

phase	طور، مرحلة
Phase difference	فرق الطور
Plane	مستوي
Plasma	بلازما
Polar	قطبي
Polar axis	محور قطبي
Polar coordinates	إحداثيات قطبية
Polar vector	شعاع قطبي
Polarization	استقطاب
Pole	قطب
Positive	موجب
Position	موضع
Position vector	شعاع الموضع
potential	كمون، كامن
Potential energy	طاقة كامنة
power	استطاعة، قدرة
Potential field	حقل كمون
pressure	ضغط
Pressure difference	فرق الضغط
principle	مبدأ
projection	مسقط
Proportion	تناسب

- Q -	
Qualitative	كيفي
Quantitative	كمي
Quantity	كمية
Quantity of motion	كمية حركة
Scalar quantity	مقدار سلمي
Vectorial quantity	مقدار شعاعي
Quasi - particle	شبه جسيم
Quasi static	شبه سكوني
- R -	
Radian	راديان
Radiation	إشعاع
Radius	نصف قطر
Random	عشوائي
Random motion	حركة عشوائية
Rate	سرعة , معدل
Ratio	نسبة
Real	حقيقي
Real gas	غاز حقيقي
Reboiler coil	ملف تسخين
Rectangular projection	اسقاط قائم
Reduced mass	كتلة مختزلة

Simple	بسيط
Simulation	محاكاة
Sinusoidal current	تيار جيبي
Software	برمجيات
Solar	شمسي
Solar energy	طاقة شمسية
Solar light	ضوء الشمس
Solid	صلب
Solid angle	زاوية مجسمة
Solenoid	ملف
Source	منبع – مصدر
South pole	قطب جنوبي
Space	فضاء، مكان
Specific	نوعي
Specific Heat	حرارة نوعية
Speed	سرعة
Sphere	كرة
Spherical	كروي
Spherical coordinates	إحداثيات كروية
Spherical surface	سطح كروي
Spiral	لولبي
Spiral path	مسار لولبي
Spring constant	ثابت المرونة

Stability	استقرار، ثبات
Stable	مستقر
Stable orbit	مدار مستقر
Stand	حامل، منصب
Steady	مستقر ، ثابت
Steady current	تيار مستقر
Steady state	حالة مستقرة
Steam	بخار
Steam engine	آلة بخارية
Sum	مجموع
Surface	سطح
Surface tension	توتر سطحي
Switch	قاطعة
Symmetry	تناظر، تماثل
System	منظومة، مجموعة
-T-	
Table	جدول، قائمة
Tangent	مماس
Tangential	مماسي
Tcchnology	تقانة
Temperature	درجة الحرارة
Tensile	شد

Tensile strain	انفعال الشد
Tensile strength	مقاومة الشد
Tensile stress	إجهاد الشد
Tension	توتر
Tesla	تسلا
Thermal	حراري
Thermal capacity	سعة حرارية
Thermal conduction	نقل حراري
Thermal conductivity	ناقلية حرارية
Theoretical	نظري
Theory	نظرية
Thermometer	ميزان حرارة
Time	زمن
Time dilation	تمدد الزمن
Timer	موقت
Toroid	وشيعة حلقية
Torque	عزم الفتل
Torsion	فتل
Track	مسار، أثر
Trajectory	مسار
Transformation	تحويل، تحول
Transformer	محولة
Triangle	مثلث

Tube	أنبوب
- U -	
Ultrasonic	فوق صوتي
Ultraviolet rays	أشعة فوق بنفسجية
Undetermined	غير محدد
Uniform	منتظم
Uniform acceleration	تسارع منتظم
Uniform velocity	سرعة منتظمة
Unit	وحدة
Universal	عام، شامل
- V -	
Vacancy	شاغر، ثغرة
Vacuum	فراغ، خلاء
Valve	صمام
Vapor	بخار
Variable	متحول، متغير
Vector	شعاع، متجه
Velocity	سرعة
Vibration	اهتزاز
Viscosity	لزوجة
Viscosity coefficient	معامل اللزوجة
Volt	فولط

Voltage	توتر
Voltmeter	مقياس فولط
Volume	حجم

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

المراجع

1- الفيزياء الحرارية (الترموديناميك) ، د. حسن إسماعيل ، د. رياض آل رشي، منشورات جامعة حلب، 1982

2- تجارب في الالكترونيات ، د. محمد قعقع ، منشورات جامعة دمشق، 1984

3- عملي الترموديناميك ، د. فواز سيوف ، د. كنج الشوفي، و آخرين ، منشورات جامعة دمشق، 2005

4- الفيزياء الحديثة للجامعات (جزء حرارة و كهرباء) ، د. عبد الرزاق قدورة، د. وجيه السمان، د. أحمد الحصري، منشورات جامعة دمشق 1982

5- الفيزياء العامة ، د. محمد سعيد محاسنة، د. زكريا ظلام ، منشورات جامعة البعث، 1983

6- الفيزياء العامة في الكهرباء و المغنطيسية لطلاب الجامعات، د. عبدالله راشد السماري ، د. محمد القرعاوي، د. محمد آل عيسى، جامعة الملك سعود – كلية العلوم– دار الخريجي للنشر ، 2002

7- الفيزياء المتقدمة، ترجمة د. توفيق قسام ، د. محمد قعقع، د. توفيق ياسين، المركز العربي للتعريب و الترجمة و التأليف و النشر، دمشق، 1996

8- Heat and Thermodynamics ,M,W.Zemansky, McGraw-Hill, 1957

9- Introductory college physics , Atamp. Arya. Collier , Maemillan, International Editions

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

اللجنة العلمية:

- الأستاذ الدكتور محمد سعيد محاسنة
- الأستاذ الدكتور فوزي عوض
- الأستاذ الدكتور محمد الكوسا

المدقق اللغوي:

- الأستاذ الدكتور أسامة اختيار

ق الطبع و الترجمة و النشر محفوظة لمديرية الكتب و المطبوعات

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University