بسم الله الرحمن الرحيم

كنولوجيا

قسم الفيزياء

بحث تكميلي لنيل درجة البكالوريوس

بعنوان :

تصمي حراري

The D sing

إعداد الطلاب

رحاب آدم عبدالله أبو القاسم

رميساء عبدالرحمن عثمان النور

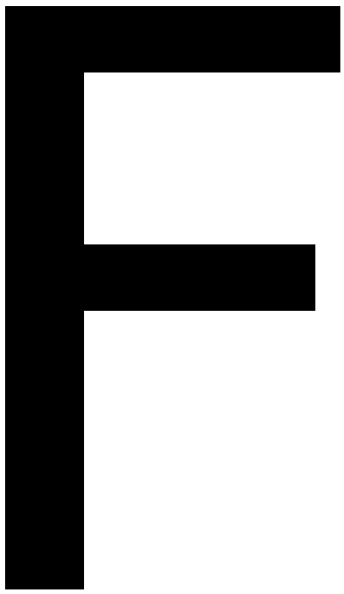
عبدو آدم معروف مالك

ماجدة حافظ محمد هارون

إشراف :

الدكتورة : هدى محمد كمال

هـ -2016م 1438



الآيـــــــــة

ٹ ڑ

ﭺ ﭻ ﭼ ﭽ ﭾ ﭿ ﮀ ﮁ ﮂ ﮃ ﮄ ﮅ ﮆ ﮇ ﮈ ﮉ ﮊ ﮋ ﮌ ﮍ ﮎ ﮏ ﮐ ﮑ ﮒ ﮓ ﮔ ﮕ ﮖ ﮗ ﮘ ﮙ ﮚ ﮛ ﮜ ﮝ ﮞ ﮟ ﮠ ﮡ ﮢ ﮣ ﮤ ﮥ ﮦ ﮧ ﮨ ﮩ ﮪ ﮫ ﮬ ﮭ ﮮ ﮯ ﮰ ﮱ

البقرة: ٢٦٠

صدق الله العظيم

إهـــــــــــداء

إلى من افتقده في مواجهة الصعاب ولم تمهله الدنيا لارتوي من حنانه

والدي العزيز رحمه الله

إلي من تحت قدميها جنات الله والخلد

إلي من تسعي بلا كلل تريد لأبنائها الرشد

امي الحبيبة حفظها الله

إلي

من كانوا مصدر فخري واعتذازي إلي من جعل المستحيل في عيني ممكناً إلي من كان سندي وحماني بكل صدق ومحبة

إلي من شاركوني حضن امي

اخوتي واخواتي

إلي من كان سنداً ودعماً لي بعد الله سبحانه وتعإلي إلي جميع الاساتذه الاهل والزملاءلهم كل الود والاحترام

شكر وتقدير

لابد لنا ونحن نخطو خطواتنا الاخيرة في الحياة الجامعية من وقفة تعود إلي اعوام مفت في رحب اساتذتنا الكرام الذين بذلوا جهوداً كبيرة في بناء جيل الغد

ونقدم اسمي ايات الشكر والامتنان والتقدير الذين حملوا اقدس رسالة في الحياة .

كن عالماً فإن لم تستطع فكن متعلماً فإن لن تستطيع فأحب العلماء فإن لم تستطع فلا تبغضهم

ونخص بالشكر والتقدير

د. هدي محمد كمال

أ. محمد حمدان

أ.نادر ازهري

كنتم مصدر إلهامنا وفخرنا لكم فائق الاحترام

وجزي الله الجميع عنا كل خير

وأخيراً الشكر موصول إلي الصرح الشامخ قلعة العلم والمعرفة جامعة السودان للعلوم والتكنلوجيا

فهرس المحتويات

الموضوع	رقم الصفحة
الآية	أ
إهداء	ب
شكر وتقدير	ج
فهرس المحتويات	د
فهرس الجدأول	و-
فهرس الاشكال	ز
مستخلص	ح
Abstract	ط
الفصل الأول :الإطار العام	
1-1مقدمة	1
1-2مشكلة الدراسة	1
1-3أهميةالدراسة	2
1-4 أهدافالدراسة	2
1-5تساؤلات الدراسة	2
1-6: حدود الدراسة	3
1-7 منهجية الدراسة	3
1- 8 أدوات الدراسة	3
1-9 الفرضيات	3
1-10اسباب دراسة المشكلة	4
1-11 مصطلحات البحث	4
الفصل الثاني: الحرارة	
2-1مقدمة	5

2-2درجة الحرارة	5
2-3الإتزان الحراري	5
2-4 قانون الصفر في الديناميكا الحرارية	5
2-5 قياس درجات الحرارة	6
2-6النقطة الثلاثية للماء	7
2-7 أنظمة قياس درجة الحرارة	9
2-8 الطاقة الحرارية	10
2-9 طرق إنتقال الحرارة	10
الفصل الثالث :الترموميترات	
3-1 مقدمة	15
3-2 الترمومتر الأمامي والترمومتر الثانوني	15
3-3 أنواع الترمومترات	15
3-4 أسلاك توصيل الإزدواج الحراري	20
3-6 الجلفانومتر	21
الفصل الرابع : ترموميتر الإزدواج الحرارى لمعدنين مختلفين	
4-1الهدف من التجربة	23
4-2الأجهزة والأدوات	23
4-3النظرية	23
4-4الطريقة	23
4-5 الحسابات	28
4-6الخلاصة	29
4-7التوصيات	30
4-8الخاتمة	31
4-9قائمة المصادر والمراجع	32

فهرس الجدأول

رقم الجدول	الجدول	رقم الصفحة
(2-1)	بعض درجات الحرارة المعروفة في الكون	9
(2-2)	أنظمة قياس درجات الحرارة	10
(4-1)	جدول النتائج للنحاس والالمونيوم	26
(4-2)	النتائج للحديد والالمونيوم	26

فهرس الشكل

رقم الشكل	الشكل	رقم الصفحة
(2-1)	الخلية الثلاثية للماء	8
(2-2)	انتقال الحرارة بالتوصيل	11
(2-3)	تجربة بسيطة لظاهرة الحمل	12
(3-1)	ترمومتر زيبقي	16
(3-2)	ترمومتر المقأومة	17
(3-3)	الصورة العيارية لترمومتر الإزدواج الحراري	18
(3-4)	التركيبة الداخلية لجهاز الجلفا نوميتر	21
(4-1)	المزدوج لسلك من الحديد واخر من الالمونيوم	24
(4-2)	المـــزدوج لســـلك مـــن النحـــاس واخـــر مـــن الالمونيوم	25

مستخلص الدراسة :

في هذا البحث تم التعـرف علـى درجـة الحـرارة وأنـواع مقاييسـها وأنـواع الثيرمومـترات المختلفـة وتصـميم جهـاز ثيرمـوتر الإزدواج الحـراري ، وتوضـيح العلاقة بين التيار ودرجة الحرارة ، وتوصل الباحث عن طريق استخدام المــزدوج الحراري وذلك ببرم أسلاك مـن مـواد مختلفـة ، ووجـد أن توصـيل الحـرارة بيـن سلك من النحاس وآخر من الألمونيـوم أجـود وأسـرع مـن توصـيل الحـرارة بيـن سلك من الحديد وآخر من الألمونيوم .

ووضحت العلاقة التي تربـط بيـن التيـار ودرجـة الحـرارة المطلقـة بعلاقـة بيانية تربط بينهما .

ABSTRACT

In This research The concept of temperature was reviewed ,the different meaning scales of temperature were recognized and in addition the different types of Thermocouple in particular the thermocouple design have been to reviewed in bit of details .

In thermocouple the relation between temperature and current has been studied.

The thermocouple was found to be a batter thermometer when its couples were copper of Aluminum compered to when its couples were Iron of copper.

linking between temperature of current has shown the motioned different between the two types of thermocouple.

الفصل الأول
الاطار العام

الفصل الأول

الاطار العام

1-1مقدمة :

تكنولوجيا التعليم تشـمل مجموعـة متنوعـة ومتابينـة مـن الآلآت والأجهـزة والمعدات والأدوات والمستلزمات ابتداء من السبورة التقليدية وانتهـاء بالتقنيـات التربوية الحديثة ووسائل تعليمية مساعدة مثل تصميم الأجهـزة وتزويـد المعامـل المدرسـية بـالأدوات اللازمـة وتوظيـف كـل الأوضـاع المحيطـة لخدمـة الموقـف التربوي [1] .

يعتبر المعمل (المختبر) المدرسي مرفق ضروري في المدرسـة ولا يمكـن الاستغناء عنه بسهولة ـ لان هنالك اسإليب تدريس هامة لاتتم الا في حالة وجـود معمل مدرسي مكتمل وشامل .

ولابد مـن الإهتمـام بالمعامـل العلميـة حـتى يتـم تنفيـذ البرامـج بالكيفيـة المطلوبة والصحيح ان التجريب لا يتم الا اذا كان هنالك تطـوير وتزويـد المعامـل العلمية بالمدارس من حيث الأجهزة والأدوات وغيرها ، فالعمل في المعمل يؤدي إلي تمكين المتعلم لإصدار الأحكام والوصول إلي نتائج صحيحة وتـدريب المتعلـم على خطوات البحث العلمي وتحمل الصبر في المواقف العلمية الصعبة .

فالتجربة تثبت صحة النظريات العلميـة والقواعـد و القـوانين فـي الكتـاب المدرسي ، كما تؤدي إلي اقناع الطلاب بما يشهادونه ويلمسـونة خلال التجربـة ، فالتجربة هى موقف صناعي مضبوط يقصد دراسة ظاهرة طبيعية تحت ظـروف معينة تعود لصحة الفرضية [2] .

1-2 مشكلة الدراسة :

درجـة الحـرارة مفهـوم مهـم جـدا وقـد تطـورت أدوات قيـاس درجـة الحـرارة المستخدمة فمنها السائلة والصلبة والغازية ومنها تيرموتر الإزدواج الحراري

ولعدم الإهتمام بهذا النوع من الأجهزة في المرحلة الثانوية لصعوبة فهـم الطلاب لطريقة تصميمه وكيفية استخدامة لقراءة درجات الحرارة .

1- 3 أهميةالدراسة :

تتبع أهميةالدراسة من أهميةتصميم أجهزة منها التيرمومترات فـي قيـاس درجـة الحرارة والتي يمكن رصد بعضها فيما يلي :

- إهتمـام الجامعـات والشـركات حـول العـالم بهـذه التقنيـة والعمـل علـى تطويرها .
- تعريف الطلاب بترمومتر الإزدواج الحراري ومن ثم كيفية تصنيعه بطريقــة بسيطة وسهلة .
- تعريف الطلاب بالعلاقة التي تربط بين درجة الحرارة وشدة التيـار والقـوة الدافعة الكهربية
- تمكين الطلاب مـن كيفيـة قـراءة تـدرجات هـذا التيرمومـتر وتطـبيق هـذه الخاصية على التيرمومترات الاخرى .

1-4 أهداف الدراسة :

تهدف هذه الدراسة إلي :

- دراسة وتصميم تيرمومترات الإزدواج الحراري .
- أن يتعرف طلاب المرحلة الثانوية علـى التيرمومـترات وانواعهـا و طريقـة إستخدامها خاصة تيرمومتر الإزدواج الحراري
- تمكين طلاب المرحلة الثانوية من استخدام أجهزة وأدوات بسيطة لصناعة تيرموتر الإزدواج الحراري وتعزيز قابليتهم لتطبيق وتصميم أجهزة اخري .

1-5تساؤلات الدراسة :

تسعي هذه الدراسة للاجابة على التساؤلات الاتية :

- ما المقصود بالتيرمومترات ؟
- ما هي مكونات تيرمومتر الإزدواج الحراري ؟
- ما هو جهاز الجلفانو متر ومكوناته ؟
- لماذا لم يستخدم تيرمومتر الإزدواج الحراري بصور واسعة ؟
- مـا هـي المشـكلات الـتي تـواجه طلاب المرحلـة الثانويـة فـي تصـميم واستخدامه؟
- ما التطبيقات المختلفة التي يمكن طلاب المرحلة الثانوية الاستفادة منهـا من خلال تيرمومتر الإزدواج الحراري ؟

1-6: حدود الدراسة :

بدأت هذه الدراسة من شهر ابريل إلي شهر سبتمبر .

الحدود المكانية :

تمت هذه الدراسة في الاماكن التإلية :

- الجامعات
- جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا
- جامعة النيلين

بالإضافة إلي أماكن الالكترونيات مثل زولان والروماني وغيره .

1-7 منهجية الدراسة :

إتبعت هذه الدراسة المنهج التجريبي لملائمته لهذه الدراسة ومقدرته على تفسير الظاهرة والوصول إلي حقائق وتصميمات تساعد في وضع العلاقة التي تربط بين درجة الحرارة وشدة التيار .

1- 8 أدوات الدراسة :

إعتمدت هذه الدراسة على اداة البحث التجريبي (تصميم الجهاز) وكتب بالإضافة إلي شبكة الانترنت ومقابلة بعض الأساتذة والمهندسين الإلكترونيين .

1-9 الفرضيات :

-تساعد الطريقة العلمية التجريبية من الارتقاء بالتعلم لدي طلاب المرحلة الثانوية وربط الإطار النظري بالجانب العملي في التجربة .

-التحقق من وجود علاقة طردية بين شدة التيار و درجة الحرارة .

1-10 أسباب دراسة المشكلة :

-وجود مشكلة حقيقة في فهم وشرح وتصميم هذا التيرمومتر لدي طلاب المرحلة الثانوية (الصف الثاني) .
تعريف طلاب المرحلة الثانوية بأهمية الجانب العملي والتطبيقي .

1-11 مصطلحات البحث :

- التيرمومترات .
- الجلفانومتر .
- درجة الحراره .
- الحراره .

الفصل الثاني
الحرارة

الفصل الثاني
الحرارة

2-1 مقدمة:

عندما تجلس إلي المدفأة في ليإلي الشتاء الباردة فإنك تحس بالدفء يسري إلي ماحولك وتشعر بالحرارة وفي واقع الامر فإن هذه الحرارة قد نتجت عن اختراق الوقود أو الحطب عندما اشعلت فيه النار ومن ثم استهلكت طاقة معينة للحصول على الحرارة .

إذن الحرارة هي عبارة عن صورة من صور الطاقة المتعددة وعندما يحترق الوقود في محرك السيارة أو القاطرة فإنه يعمل على دفعها وتحركها مكسباً اياها طاقة ميكانيكية، إذاً الحرارة هي أيضاً صورة من صور الطاقة ... وهكذا فالحرارة بإختصار هي طاقة .

2-2درجة الحرارة :

عندما تلمس كوباً من الشاي الساخن فإنك تشعر بالحرارة وتقول أن الشاي ساخناً وبالعكس إذا لمست كوباً من الماء البارد فإنك تقول ان الكوب بارداً . هذا يعني أن الإنسان لديه احساس بالحرارة ولكن هذا الاحساس قد يتفأوت من شخص لاخر ، ومن ثم فإن علينا أن نوجد مفهوماً لهذا الإحساس بالحرارة أو البرودة ، ولفهم ذلك علينا أن نوضح بعض المفاهيم . وفي واقع الامر فإننا عندما ندرس علم الميكانيكا نجد أننا قد عرفنا ثلاثة كميات وهي : الكتله والبعد والزمن للتعبير عن باقي الكميات الأخرى .

وعند دراستنا للديناميكا الحرارية نجد انفسنا هنا أمام كمية جديده أساسية رابعة هي درجة الحرارة

2-3 الإتزان الحراري:

عند توصيل جسم (A) مع أخر (B) فإن الحرارة سوف تسري من الجسم الساخن إلي البارد ويستمر ذلك السريان (الإنتقال) الحراري بين الجسمين حتي يصبح الجسمان فيما يعرف بحالة الإتزان الحراري . ومن ثم فإنه يقال أن جسمان في حالة اتزان حراري مع بعضهما اذا لم تتغير خواصهما الحرارية عند توصيلهما مع بعضهما بعضاً .

وهذا يقودنا إلي ما يعرف بقانون الصفر في الدنياميكا الحرارية .

2-4 قإنون الصفر في الديناميكا الحرارية:

هذا القانون استنتاج طبيعي لما سبق فإذا كان هناك جسمان A و B في حالة إتزان حرارى مع جسم ثالث (وليكن ترمومتر) فإنه يقال أن الجسمين B,A في حالة اتزان حراري كل مع الإخر .

وبناء على ما سبق يمكن الأن التعبير عن درجة حرارة الجسم علي أنها كميه خاصة بأنظمة ديناميكية حرارية معينة يكون الشرط الضروري والكافي للإتزان الحراري فيما بينها أن تتسأوي درجات حرارة هذه الأنظمة ، كما يمكن النظر إلى درجة الحرارة إلى أنها تعبير عن المحتوي الحراري للمنظومة ومن ثم وهي

مقياس لحرارة أو برودة المنظومة ، فالجسم الحار درجة حرارته مرتفعة والبارد درجة حرارته منخفضه .

2-5 قياس درجات الحرارة :

يمكن قياس درجة الحـرارة لمنظومـة بملاحظـة التغيـرات الطبيعيـة الـتي تطرأ عليها عند تغير درجة حرارتها أو تغيـر محتواهـا الحـراري . فقـد تظهـر هـذه التغيرات على شكل زيادة في حجم وضـغط غـاز مـا أوتغيـر فـي مقـأومه سـلك معدني أوتغير في طوله أوفي حجم سـائل أو مـادة صـلبة كمـا وقـد تعمـل هـذه التغيرات على استحثاث قوة دافعة كهربية في المنظومة ومن ثم يمكن استغلال هذه الظواهر في بناء جهاز لقياس درجة الحرارة وهـو مـا يعـرف بـالتيرمومتر أو المحـرار وقبـل ان نسـتعرض هـذه الأجهـزة فإننـا نسـتعرض أولاً بعـض درجـات الحرارة التي نستخدمها في معايير هذه الأجهزة ومن المعروف ان للمادة أطوراً ثلاثة:

وهي طور الصلب والسائل والغاز ، كما وجد انه يمكن لمـادة مـا ان تتواجـد فـي حالة إتزان طوري بين حالتي الصلابة والسيولة وذلك عند ضغط ثابت هنا يتعايش الصب مع السائل فلا يتحول الصلب إلي سائل ولا يتحول السائل إلي صلب .

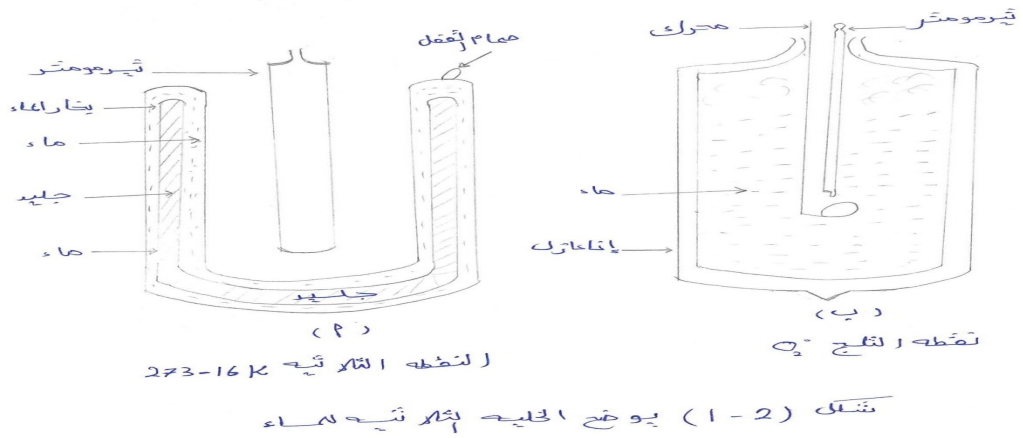
تعرف درجة الحرارة التي يتزن عندها الطور الصلب والسائل لمادة عند الضـغط الجـوي المعتـاد بدرجـة الإنصـهار العاديـة (NMP) Normal Melting point وبالمثل تعرف درجة الحرارة التي يتزن عندها لطور السائل والغازي للمادة عنـد الضـغط الجـوي المعتـاد بدرجـة الغليـان العاديـة (NBP) Normal Boiling pointكما وتعرف درجة الحرارة التي يتزن عندها الطور الصلب والغازي للمـادة عنـد الضـغط الجـوي المعتـاد بدرجـة التصـعد العاديـة (NSP) Normal Sublimation Point كما يمكن لمادة مـا ان تـتزن اطوارهـا الثلاثـة : الصـلب والسائل والغاز عند ضغط معين وعند درجة حرارة معينة تعرف بالدرجة الثلاثية (T) Triple Paint ومن ثم يمكن اعتبار أياً مـن النقـط السـابقة كنقطـة عياريـة لمعايرة الترمومترات.

2-6 النقطة الثلاثية للماء:

يمكن للماء أن يـتزن عنـد اطـواره الثلاثـة نـبين فـي الشـكل 1-2)) خليـه النقطـة الثلاثيـة Triple-point cell للمـاء حيـث يـتزن هنـا بخـار المـاء والمـاء والجليد حرارياً مع بعضهما البعض .

يستخدم الماء المقطر هنا (حيث يتم طرد الهواء الذائب منه) ويوضع فـي انبوبـة كالمبنة بالشكل (2-1) وعندما يتم طرد الهواء من الماء يتم قفـل الانبوبـة وعنـد وضع مخلوط مبرد في التجويف الداخلي للأنبوبة تتكـون طبقـة مـن الثلـج داخـل الانبوبة . وعندما يستبدل هذا المخلوط بترمومتر يذوب الثلـج الملامـس للسـطح الداخلي وتتكون قطران من الماء .

ومن ثم تنتج النقطة الثلاثية حيث تجد ان بخار الماء المشبع يتزن مع المـاء ومـع الجليد . وقد يبلغ ضغط الماء عند هذه النقطة 4.58 3] N/m^2 [. وأعطيت هذه النقطـة القيمـة الإختياريـة (273.16k) لاحـظ الفـرق بيـن هـذه الدرجـة ودرجـة التجمد Ice Point ويرجع ذلك إلى الإختلاف في الضغط ففي حالة التجمـد نجـد أن الضغط يسأوي الضغط الجوي 760 N/m^2 انطر الشكل (2-1) كما ونجـد ان الماء في حالة النقطة الثلاثية هو ماء مقطر .



شكل (2-1) يوضح الخلية الثلاثية للماء

جدول(2-1) يوضح بعض درجات الحرارة المعروفة في الكون

بعض درجات الحرارة المعروفه	درجة الحرارة K
جوف أسخن النجوم المعروفة	10^{9} - 10^{10}
حـرارة مركـز إنفجـار قنبلـة هيدروجينيـة جـوف النجـوم الحمراء العملاقة	10^{8}-10^{9}
جوف الشمس	10^{7}
درجة حرارة هالة الشمس	10^{6}
درجة غليان الماء	373
درجة تجمد الماء	272
درجة النتروجين السائل (77k)	10
درجة الهيدروجين السائل (20k)	10
درجة الهيليوم السائل (4-2k)	1
اقل درجة حرارة تم الوصول إليها	10^{-6}
(الصفر المطلق لم يتم بعد الوصول إلي)	0

2-7 أنظمة قياس درجة الحرارة :

2-7-1 النظام المئوى أو السيليوس (C^{o}):

يرمز فيه لدرجات الحرارة بالرمز (C^{o})

وهنا تؤخذ نقطة تجمد الماء أو النقطة الثلاثية للماء تقريباً كنقطـة الصـفر ، بينمـا تقع درجة غليان الماء عند ($100C^{o}$) ومن ثم تقسم المسافة بين هاتين النقطتين إلى مائة قسم كل قسم منها يسأوى درجة مئويه واحدة ($1C^{o}$) فـي هـذا النظـام يقع الصفر المطلق عند 273.16 درجة مئويه كما في الجدول .

2-7-2 النظام المطلق أو النظام الكلفن (K^{O}) :

يعتبر هذا النظام بمثابة النظام الدولي للوحدات ، حيث تقـدر فيـه درجـات الحرارة بالكلفن ، وبالتعريف نجد ان الصفر المطلـق يقـع عنـد (OK^{o}) بينمـا تقـع نقطة تجمد الماء عند $16273k^{o}$. بينما يغلى الماء عند 373.16K ومـن ثـم فهـذا النظام لا يحتوي على قـراءت سـالبة ، ويمكـن ايجـاد العلاقـة بينـه وبيـن النظـام المئوي بالتعريف.

حيث نجد أن

$$T_K = T_C + 273.16 \quad (2\text{-}1)$$

حيث:-

T_K ≡ درجة الحرارة بمقياس الكلفن (K)

T_C ≡ درجة الحرارة بمقياس المئوي (Cº)

2-7-3 النظام الفهرنهيتي (Fº):

يرمز فيه لدرجات الحرارة بالرمز (Fº)

في هذا النظام تقع عند درجة تجمد الماء عند (32fº) أما درجة الغليان فتقع عنـد 212Fo ومن ثم تقسم المسافة بين هاتين النقطتين إلي 180 درجة فهرنهيتيه.

وبمقارنتها مع النظام المئوى يمكن ايجـاد العلاقـة بيـن النظـامين وفـق المعادلـة التإلية :

$$T_F = 9/5\ T_c + 32 \qquad (2\text{-}2)$$

حيث T_F ≡ درجة الحرارة بمقياس الفهرنهيت (Fº)

الشكل أو الجدول التإلي يوضح أنظمة قياس لدرجات الحرارة

الحالة	F	C	X
غليان الماء	212	100	373
تجمد الماء	32	0	237
النـــــــتروجين السائل	-321	-196	77
الصفر المطلق	-460	-273	0

الجدول (2-2) أعلاه يوضح أنظمة قياس درجات الحرارة

2-8 الطاقة الحرارية :

هي الطاقة التي تنقل من جسم ساخن إلي جسم بارد نتيجة للإختلاف بين درجتي حرارة الجسمين.

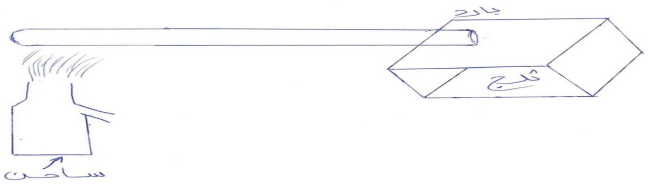
هي الطاقة المرتبطة بالحركة العشوائية للذرات والجزيئات .

2-9 طرق إنتقال الحرارة :

2-9-1 التوصيل:

تمثل طاقة حركة جزيئات المادة الجزء الأعظم من الطاقـة الحراريـة فـي المادة .

وعملية انتقال الطاقة الحرارية من الطرف الساخن لقضيب معـدني إلـي طرفـه البارد كما في الشكل أدناه



شكل (2 - 2) يوضح إنتقال الحرارة بالتوصيل

شكل (2-2) يوضح انتقال الحرارة بالتوصيل

وتتم هذه العملة بالطريقة الاتية :

تكتسب الجزيئات الموجود في الطرف الساخن طاقة عإلية فتزداد سعة إهتزازها نتيجة لذلك تصطدم هذه الجزيئات بالجزيئات الابرد الموجودة على يمينها فتنقل إليها جزءاً من طاقتها وبالتالى تضرب الجزئيات البطيئة الموجودة على يمينها فتكبسها طاقة اضافية وهكذا وعليه فإن الحرارة تنتقل من القضيب بواسطة التصادمات الجزئية وتسمي هذه الطريقة بالتوصيل .

وتعتمد سرعة انسياب الحرارة في القضيب على المادة المصنوع منها ويعبر عن سريان الحرارة رياضياً كالاتي:

$$\Delta Q = \lambda \left(\frac{T_1 - T_2}{L} \right) At \qquad (2\text{-}3)$$

حيث :

$\equiv \Delta Q$ كمية الحرارة

$\equiv A$ مساحة المقطع

$\equiv t$ الزمن

$\equiv T_1$ درجة حرارة الطرف الساخن

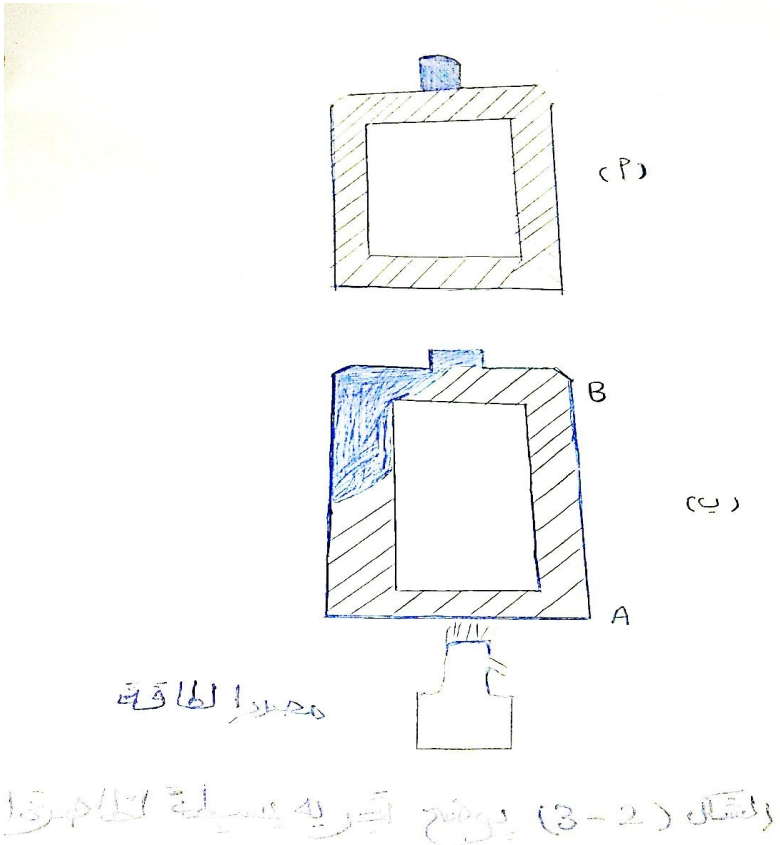
$\equiv T_2$ درجة حرارة الطرف البارد

$\equiv L$ الطول

$\lambda \equiv$ ثابت التناسب ويسمي بالموصلية الحرارية لمادة القضيب

تتناسب معدل انسياب الحرارة في القضيب طردياً مع T_2 , T_1 , A وعكسياً مع L

2-9-2 الحمل :



الشكل (2-3) يوضح تجربة بسيطة لظاهرة الحمل

إذا ملأنا الأنبوبة المبينة في الشكل (2-3) بالماء ثم وضعنا قليلاً من الصبغة الملونة قرب رقبتها فإنها سوف تظل ساكنة تقريباً في مكانها كما في الجزء (أ) ولكن عند تسخين الأنبوبة كما هو مبين في الجزء (ب) فإن السائل سوف يبدأ في الإنسياب داخل الانبوبة عكس إتجاه عقارب الساعة حاملا معه الصبغة كما هو موضح وسبب هذه الحركة بسيط جداً .

ذلك ان السائل أو الغاز يتمدد عند تسخينه ولذلك فان الماء الموجود في الركن الأيمن السفلي للأنبوبة عند A يتمدد نتيجة للتسخين فيصبح اخف من باقي السائل ، ولهذا فإن العمود الأمين من السائل التي يستطيع الاستمرار في

موازنة حمل المراد الايسر الثقيل ولـذلك فـإن المـواد الايسـر سـوف يهبـط فـي الأنبوبة وينساب السائل نتيجة لذلك في الجانب الايسر إلى اعلي وباستمرار هـذا السائل في الحركة تنخفض درجة حرارته ويصل بعد فترة من الزمن إلي الجانب الايسر ، حيث يصبح ابـرد واكثـف عمـا كـان عنـد النقطـة (A) والخلاصـة هـي أن السائل المسخن عند A سوف يرتفع الى B نتيجـة لحركـة السـائل نفسـه مـن A إلي B وتسمي هذه الطريقة لانتقال الحرارة بالحمل .

التوصيل لا يتضمن حركة الجزيئات لمسافات كبيرة ، اذ تنتقل الحرارة من جــزئ إلي اخر بالتصادم اما في الحمل فإن جزيئات المادة الناقلة للحرارة تتحـرك مـن مكان إلي اخر حاملة معها الحرارة .

والسوائل والغازات فقط هي التي تنقل الحرارة بالحمل لان جزيئات هذه المـواد فقط هي التي تسـتطيع أن تتحـرك لمسـافات كـبيرة . يـدفأ كـثير مـن المنـازل بطرق الحمل الهوائي .

وتنشأ الظواهر الجوية جزئياً نتيجة لتيارات الحمـل الهوائيـة وتعتـبر تيـارات حمـل الهـواء قـرب حـواف السلاسـل الجبليـة ذات أهميةخاصـة ففـي أوقـات محـددة مختلفة يومياً تلاحظ تاثيرات كبيرة في الطقس نتيجـة لهبـوط الهـواء البـارد مـن الجبال يعمل على رفع الهواء الدافئ ويساعد على تلطيف الجو .

3-9-2 إنتقال الحرارة بالإشعاع:

يعرف الاشعاع بانه:

عملية انتقال الطاقة من المصدر إلي المادة بشكل دقائق أو موجات

الشمس تدفئ الارض ، وهي في الحقيقة مصدرنا الاساسي للحـرارة ويكمننـا أن نرى بسهولة ان الحرارة التي تصل إلينا من الشمس لا تنتقـل إلينـا بالتوصـيل أو الحمـل . ذلـك ان الفـراغ الهائـل بيننـا وبيـن الشـمس لا يحتـوي تقريبـاً علـى أي جزئيات وبناءاً على ذلك فإن الانتقـال الإهـتزازي بالتوصـيل أو الانتقـال الـدوراني بالحمل مستحيلان [4] .

إنتقال الحرارة بالإشعاع :

يختلف انتقال الحرارة بالاشعاع عن انتقال الحرارة بالتوصيل والحمـل فـي ان انتقال الحرارة بالاشعاع لا يحتاج بالضرورة إلي وسط لانتقال الحـرارة لكـون (الاشعاع موجات كهرومغنطيسية تنتقل الطاقة الحرارية من الشمس عبر ملايين الكيلومترات في الفراغ الطول الموجي من (50-1000)ميكرومتر

ويحدث الإشعاع الحراري نتيجة لدرجة حرارة السطح وحده ويطلق على الجسـم الذي يبعث الطاقة بمعـدل يتناسـب مـع درجـة حرارتـه المطلقـة مرفوعـة للأس الرابع (T_s^4) بالجسم الاسود (المشع الحراري المثإلي) وتعطي القدرة الانبعاثية الكلية للجسم الأسود بقانون ستيفان وبولتزمان [5].

$$\left[e_b=\sigma T_s^4\right] \qquad (2\text{-}4)$$

حيث :

$\equiv e_b$ المعدل الكلي للطاقة المنبعثة من المشع المثإلي لوحدة المساحة والزمن w/m^2

$\equiv \sigma$ ثابت بولتزمان

$$\sigma=5.66\times10^{-8} w/m^2.k^4$$

$$T_{(k^0)}=T_{(c^o)}+273^o$$

$$e=E\,e_b \qquad (5\text{-}2)$$

الفصل الثالث
الترمومترات

الفصل الثالث
الترمومترات

3-1 مقدمة:

الترمومتر أداة صغيرة تستخدم لقياس درجات حـرارة الغـازات والسـوائل والمواد الصلبة. وقد بنيت الترمومترات على أساس الحقيقة العلمية التي تقول (أن الخواص الفيزيائية القابلة للتغيير لبعض المواد تتغير بتغير درجـات الحـرارة) . وتشمل الخواص الفيزيائية المتغيرة فـي المـادة مـع تغيـر درجـة الحـرارة، حجـم السائل وطول الجسم الصـلب. ومـن الخـواص الأخـرى الـتي تتغيـر بتغيـر درجـة الحرارة (المقأومة) أي مقأومـة سـريان الكهربـي – وذلـك فـي المـواد الموصـلة للكهرباء.

3-2 الترمومتر الأمامي والترمومتر الثانوي:

للتفريق بين الترمومتر الأمامي والثانوي يجب أن نعرف :

أولاً: الترمومتر الامامي :

هو الترمومتر الذي يمكن وضع معادلة الحالة له صراحة دون الحاجة إلـى إدخـال ثوابت تعتمد في تعيينها لقياس درجات الحرارة.

مثل: الترمومتر الغازي و الترمومتر الصوتي وترمومتر الإشعاع الكلي .

ثانياً: الترمومتر الثانوي:

هو الترمومتر الذي تحتـوي معادلـة الحالـة لـه بعـض الثـوابت إلـى تعييـن قيمتهـا العددية عن طريق قياس درجات الحرارة.

مثل:ترمومتر البلاتين .

3-3 أنواع الترمومترات:

هناك العديد من التيرمومتر حيث يعتمد كل منهـا علـى خاصـية معينـة مـن خواص العلاقة بين المادة والحرارة ومن هذه الأنواع:

3-3-1 الترمومتر الزئبقي:

وهو الترمومتر المألوف حيث يستخدم هذا الجهاز خاصية تمدد الزئبق بالحرارة. ويتركب الجهاز كما بالشكل أدناه من إنتفاخ زجاجي يملأ بالزئبق ويتصل به انبوبة شعرية يرتفع الزئبق بها عند إرتفاع درجة الحرارة حيث يقـرأ هـذا الإرتفـاع علـى تدرج ملاصق للأنبوبة ويحدد هـذا الجهـاز تقتضـي تجمـد الزئبـق (-39cº) ودرجـة غليانه(6)(357cº].

الشكل (3-1) ترمومتر زيبقي

3-3-2 ترمومتر صمام الوصلة الثنائية (P-N) :

بينت الدراسات التي أجريت على صمام الوصلة الثنائية المصنوع من الجإليوم ارسبيد(GA As) أنه يمكن استخدامه كترمومتر دقيق في المدى من واحد إلي K400عندما يوصل توصيلاً أمامياً . فالجهد الأمامي مع ثبات شدة التيار يتغير خطياً مع تغير في درجة الحرارة.

نفس الشئ يحدث في حالة صمام ديود السيلكون وهو يتميز بعلاقة خطية بين الجهد الأمامي ودرجة الحرارة عند درجة حرارة K30 .

وتبلغ درجة تكرارية قياس درجات الحرارة بإستخدام صمام (GA As (عند 77 كلفن وما فوقها حوإلي $^{10\pm}$ ملي كلفن، كما تبلغ 30 ملي كلفن تحت درجة حرارة 20 كلفن.

أما الصمام السليكون فهو أفضل من GA As من حيث درجة التكرارية عند قياس درجات الحرارة

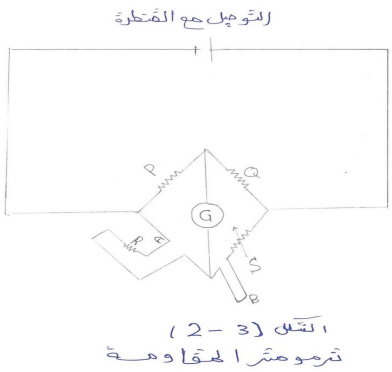
3-3-3 الترمومترات الكهربائية:

يمكن هنا استخدام الظواهر الكهربية الناتجة عن الحرارة لقياس درجة الحرارة.

وهنالك العديد من هذه الترمومترات التي تمتاز بدقتها وإستجابتها السريعة منها:

3-3-4 ترمومتر المقأومة :

يتركب هذا الجهاز من سلك من البلاتين يلف حول شريحتين كمـا بالشـكل أدنـاه ونوصل نهايتي الملف إلى وصلتين من الأسلاك (A) كما بالشكل .
ثم توصل هذه إلى قنطرة ويتسون أو أي قنطـرة مقارنـة أخـري حيـث يسـتخدم ملف آخر مماثل (B) و يمكن قياس المقأومة (R) عند درجـة حـرارة معينـة عنـد إتزان القنطرة.



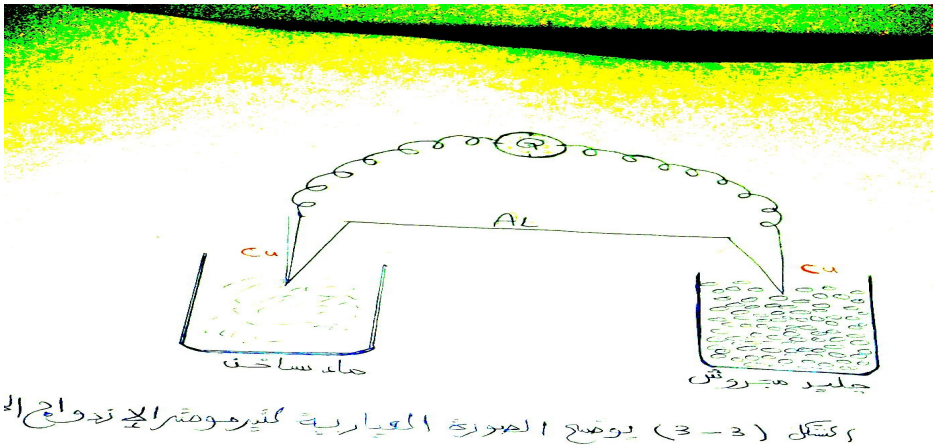
الشكل (3 – 2)
ترمومتر المقاومة

الشكل(3-2)ترمومتر المقأومة

يستخدم هذا الترمومتر لقياس درجة الحرارة في المدي الواقع بيـن (-259.34c º) و (7] (630.74cº].
وحيث أنه يمكننا قياس المقأومة بدقة كبيرة فـإن ذلـك يعنـي أن هـذا الترمومـتر يتمتع بدقة كبيرة وعإلية.
ولقيـاس درجـات الحـرارة المنخفضـة جـداً فـإنه يمكننـا إسـتبدال ملـف البلاتيـن السابق بأسطوانة صغيرة من الكربون أو ببلورة صغيرة مـن الجرمـانيوم لقيـاس هذه الدرجات.

3-3-5 ترمومتر الإزدواج الحراري :

إذا لحمنا طرفي سلك من الحديد بطرفـي سـلك مـن النحـاس ووصـلت طرفـي النحاس بجلفانومتر G كما في الشكل نلاحظ إنحرافـاً فـي الجلفـانومتر G دلالـه على مرور تيار كهربي ناتج عن توليد قوة دافعـة كهربيـة تسـمي بـالقوة الدافعـة الحرارية في الدائرة.



الشكل (3-3)يوضح الصورة العيارية لترمومتر الإزدواج الحراري

ويتوقف مقدار القوة الدافعة الكهروحرارية على درجة حرارة الماء الساخن. وتسمي الدائرة الكهربية بدائرة إزدواج حراري على درجة نسبة إلا أنها تحتوي على زوج من الوصلات.
ويمكن تدرج الجلفانومتر G المستخدم بحيث يقرأ درجات الحرارة مباشرة وذلك بمقارنة قراءته مع قراءة ترمومتر عياري يوضح مع وصلة المعدنين في الماء الساخن مع حفظ الوصلة الباردة في درجة الصفر. ويقوم الترمومتر الحراري الكهربي أساساً على هذه الظاهرة وهو يتكون من سلكين معدنيين مناسبين ويتوقف إختيارهما على درجة الحرارة المراد قياسها ويعزل السلكان عن بعضهما ويوصلان بواسطة أسلاك وتوضع أحدي الوصلتين في جليد مثلاً والوصلة الاخرى على مسافة بعيدة في ماء ساخن.
ولإيجاد درجة حرارة الطرف الساخن، تقاس القوة الدافعة الكهربية الحرارية التي تولد بواسطة جلفانومتر.
من الملاحظ أنه إذا كانت درجة حرارة الوصلة الساخنة تسأوي الصفر كان الطول المناظر لها صفر أي أن القوة الدافعة الكهربية الحرارية تسأوي صفر، وذلك تسأوي درجة حرارة الوصلتين.
وتتوقف درجات الحرارة التي يمكن أن تقاس حسب معدني الإزدزاج فبإستخدام نحاس مع حديد أو فضة مع كونتانات يمكن قياس درجات الحرارة حتي 300c° وبإستخدام سبيكة نيكل كروم مع سبيكة نيكل ألمونيوم يمكن قياس درجات حرارة حتى 1100c° وبإستخدام سبيكة بلاتين روديوم مع سبيكة بلاتين إيديوم يمكن قياس درجات حرارة حتى 1500c°.

أولاً : مكونات ترمومتر الإزدواج الحراري:

يتكون ترمومتر المزدوج الحراري من سلكين معدنيين مختلفيين موصلين على التوازي.فإذا وضعت وصلة عند درجة حرارة معروفة مثل ماء وثلج في توزان حراري اي عند الصفر المئوي ، والوصلة الأخرى توضع عند درجة الحرارة التي يراد قياسها، فإن فرقاً في الجهد الكهربائي ينشأ بين الوصلتين ، وهذا الفرق في الجهد مقياس للفرق في درجتي الحرارة بين الوصلتين.
ملحوظة:
عند توصيل سلكين من معدنني مختلفين ببعضهما كما في الرسم (3-3) وتكون درجة الحرارة مختلفة عند الأطراف فإن تياراً كهربياً يسري داخل الدائرة وتزداد شدة التيار الكهربائي كلما زاد الفرق بين درجة الحرارة بين الطرفين، ولذلك يمكن إستخدام خاصية القوة الدافعة الكهربية الناتجة عن فرق درجة الحرارة بين الطرفين كخاصية لقياس درجة الحرارة.

ثانياً: مميزات ترمومتر الإزدواج الحراري:

1- زهيد الثمن.

2- سهل الصنع لذلك فهو شائع الإستعمال في المعامل .
3- يصلح لقياس درجات الحرارة التي تتغير بسرعة نظراً لصغر سعته الحرارية.
4- يمكن إستخدامه في قياس درجة الحرارة عند نقطة.

ثالثاً: عيوب ترمومتر الإزدواج الحراري:

1- يحتاج إلى معايرة لعدم وجود علاقة نظرية لمدي كبير في درجات الحرارة.
2- تولد قوة دافعة كهربية يسبب من العوامل من شأنها أن تؤثر على القياسات.
3- قياسته تحتاج إلى تصحيح في حالة إختلاف البارد عن درجة الصفر المطلق.[8]

3-4 أسلاك توصيل الإزدواج الحراري :

ليس من المناسب دائماً أن يوضع جهاز القياس مجأوراً للإزدواج الحراري ولهذا فلابد من إستخدام أسلاك توصيل الإزدواج بجهاز قياس القوة الدافعه الكهروحرارية وفي المعمل يستخدم اسلاك توصيل من النحاس توصل بسلكي الإزدواج على أن تبقي نقطتا الإتصال عند درجة حرارة الصفر .
يجب أن تميز أسلاك التوصيل بحيث لا يحدث خطأ عند توصيلها بالإزدواج الحراري كأن يوصل سلك الكونستان بطرف الحديد للإزدواج وسلك الحديد بطرف الكونستان مثلاً.
كما يجب أن تعزل أسلاك التوصيل عزلاً مناسباً للوسط الذي يستخدم فيه فيمكن إستخدام الأسلاك المورنشة أو الأسلاك المغطاة المطاط أو الخيوط الزجاجية ولكن جميع هذه المواد تتلف مع كثرة التعرض لدرجات الحرارة العالية والرطوبة ولذلك فيجب أن لا تمر بجوار سطح ساخن مثل أنابيب البخار أو حوائط أفران عالية الحرارة [9].

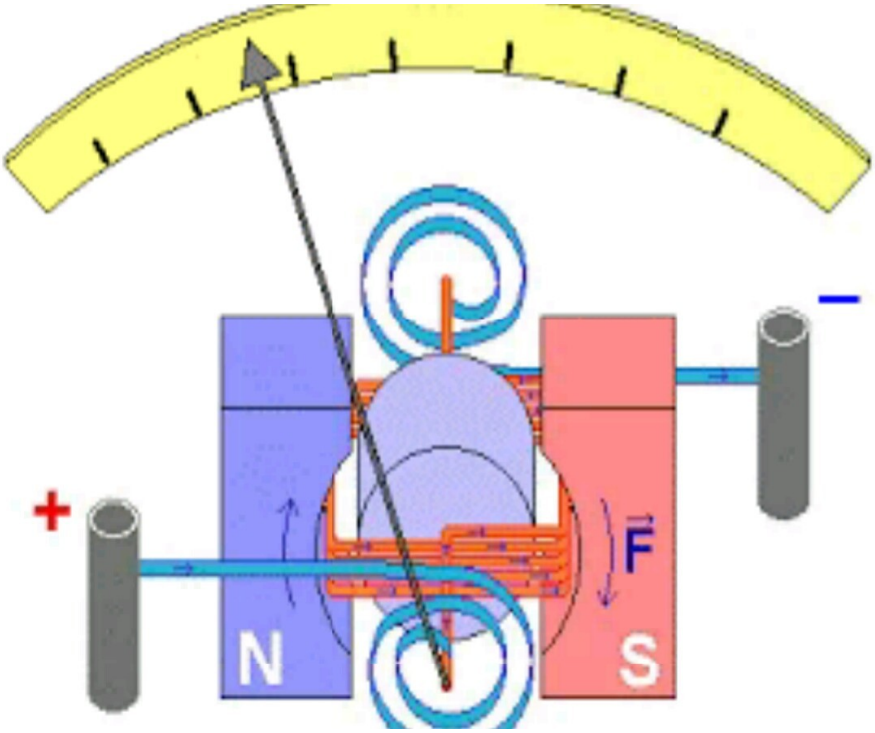
3-4-1 الخصائص التي يجب مراعاتها عند إختيار الأسلاك صنع الإزدواجات الحرارية كما يلي:

1- أن تكون درجة إنصهارها أكبر من أعلي درجة حرارة يمكن أن يستخدمها لقياسها.
2- أن تكون القوة الدافعة الكهروحرارية المتولدة منها كبيرة حتى يمكن قياسها بدقة عالية.
3- أن تكون العلاقة بين درجة الحرارة والقوة الدافعة الكهروحرارية قريبة من الخطية في مدى درجات الحرارة التي تستخدم عنده الإزدواج.
4- أن تكون خواصها الكيماوية مناسبة مثل مقاومتها للأكسدة والتآكل أثناء قياس درجات الحرارة .
5- أن تكون الأسلاك متجانسة في تركيبها.

6- أن تكون القوة الدافعة الكهروحرارية المتولدة ثابتة أثناء المعايرة وأثناء الإستخدام بدرجة مناسبة.
7- أن تكون المقاومة الكهربية للأسلاك غير كبيرة .
8- أن لا تتأثر خواصها الكهروحرارية تاثيراً ملحوظاً أثناء الإستعمال نتيجة للتغيرات الفيزيقية أو الكيميأوية أو بعض التلوث من الوسط المحيط .
9- أن تكون أسعارها مناسبة وليست باهظة التكإليف ولعل كثرة المتطلبات الواجب توافرها في الأسلاك التي تلائم صنع الإزدواجات الحرارية على النحو الذي ذكرناه هي السبب الأول في أن المواد التي تستخدم في صناعتها قليلة ومحدودة[10].

3-6 الجلفانومتر:

مقياس الجلفاني هو جهاز لقياس التيار وهو المركب الأساسي في تكوين كل من مقياس الأمبير ومقياس فولت.



الشكل (3-4) يوضح التركيبة الداخلية لجهاز الجلفا نوميتر

تسمى شدة التيار اللازمة لكى تنحرف الإبرة أو المؤشر إلى نهاية المقاس المدرج بحساسية مقياس جلفاني.

فمثلاً إذا كانت حساسية المقياس هي 50mA وهذا يعني أنه إذا مر بالقياس تيار شدته 25mA فتنحرف الإبرة إلى منتصف المدرج.

3-6-1 تركيبه :

يتكون من ملف في داخله قلب حديدى ، وهذا الملف قابل للدورات حــول محور في مجال مغناطسيس ، وهو متصل بنابض زنبرك وفيه مؤشر.

3-6-2 النابض:

- وظيفة النابض:

أولاً: إرجاع الملف إلى وضعه الأصلي بعد زوال التيار .

ثانياً: تثبيت المؤشر عند القراءة الصحيحة.

3-6-3 إستخدامات الجلفانومتر:

أولاً: الكشف عن وجود تيار كهربي.

ثانياً: قياس التيارات الكهربائية الصغيرة.

3-6-4 مميزات الجلفانومتر:

1- إنتظام التدرج.
2- حساسية كبيرة.
3- اكثر أجهزة القياس دقة حيث يمكن بواسطتها قياس الكهربية الضعيفة.
4- صغر القدرة المستهلكة في الملفات.
5- عدم تأثرها بالتغير في درجات الحرارة.
6- تعدد أغراض حيث يعمل كأميتر – فولتميتر.

3-6- 5 عيوب الجلفانومتر:

1- تأثر النابض والزنبرك بعامل الزمن مما يسبب أخطاء.
2- يتأثر بتغيير درجة الحرارة الخارجية مما يسبب أخطاء .
3- عدم تحملها للتيارات العإلية.
4- يقتصر إستخدامها لنظم التيار المستمر فقط.

الفصل الرابع
ترموميتر الإزدواج الحرارى لمعدنين مختلفين

الفصل الرابع
ترموميتر الإزدواج الحرارى لمعدنين مختلفين

4-1 لهدف من التجربة :

1-قياس الحرارة عند التحام معدنين مختلفين
2-ايجاد علاقة بيانية تربط بين التيار ودرجة الحرارة المطلقة

4-2الأجهزة والأدوات:

جهاز جلفاتوميتر- اسلاك نحاس(Cu) المونيوم(Al) - الحديد (Fe) – سخان – مسعر – تيرموميتر – ماء – ثلج مجروش.

3-4 النظرية :

$$E=AT+BT^2 \qquad (1\text{-}4)$$

حيث :

$E \equiv$ هي القوة الدافعة الكهروحرارية باعتبار أن الوصلة الباردة عند الصفر .

$T \equiv$ درجة الحرارة .

$A,B \equiv$ ثوابت .

ومن هذه المعادلة يمكن حساب معدل تغير القوة الدافعة الكهروحرارية بتغير درجة الحرارة وهي :

$$\frac{dE}{dT}=A+2\mathrm{BT}+\ldots \qquad (2\text{-}4)$$

ويطلق على $\frac{dE}{dT}$ القدرة الكهروحرارية

وحيث أن العلاقة بين القوة الدافعة الكهروحرارية ودرجة الحرارة يمكن تمثيلها بيانياً [11].

4-4 الطريقة:-

أولاً: بُرم سلك من الالمونيوم واخر من الحديد وغمر أحد طرفيه في الماء الساخن وطرفه الاخر في الثلج ووصل طرفي السلكين بجهاز الجلفانوميتر وتم الحصول على قراءتين فقط للتيار وسجلت في جدول النتائج .

ثانياً: بُرم سلكين من مادتين احدهما من النحاس والاخر من الالمونيوم وتم الحصول على القراءات المسجلة في جدول النتائج.

شكل (4-1)المزدوج لسلك من الحديد واخر من الالمونيوم

شكل(4-2) المزدوج لسلك من النحاس واخر من الالمونيوم

جدول(4-1) النتائج للنحاس والالمونيوم :

A μ /I	T/k°	T/c°
0.0	473	200
0.1	523	250
0.2	553	280

جدول(4-2) النتائج للحديد والالمونيوم :

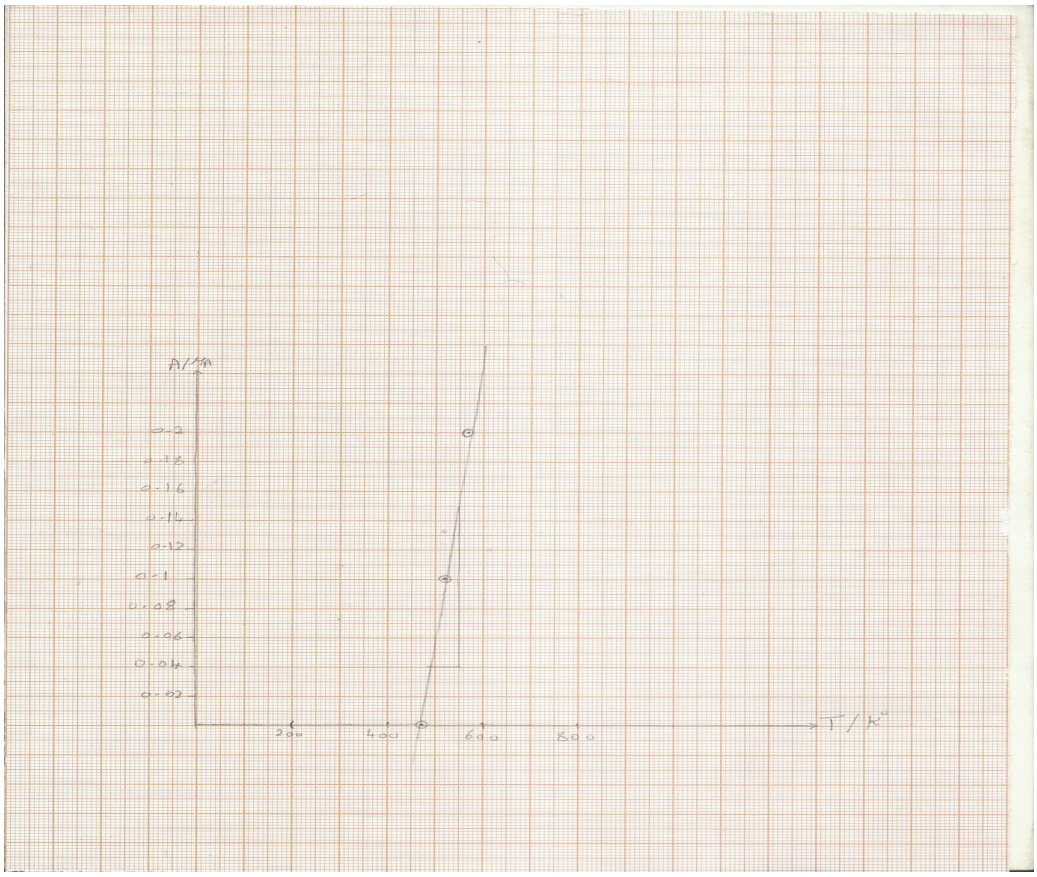
A μ /I	T/k°	T/c°
0.0	483	210
0.1	523	250

رسم بياني(4-1) يوضح العلاقة بين التيار ودرجة الحرارة لسلك من النحاس واخر من الالمونيوم

مقياس الرسم محور

$x2cm \equiv 200\,k^o$

$y1cm \equiv 0.02\,\mu A$

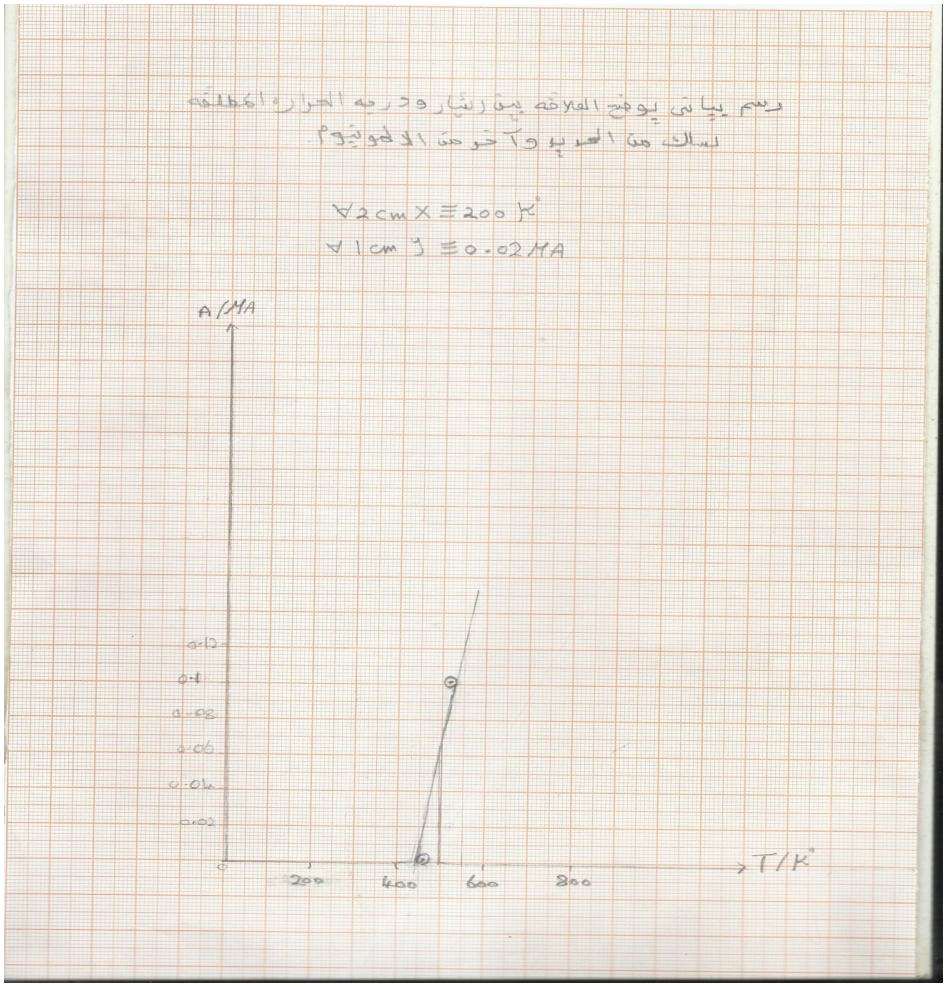


رسم بياني (2-4)يوضح العلاقة بين التيار ودرجة الحرارة لسلك من الحديد واخر من الالمونيوم

مقياس الرسم محور

$x2cm \equiv 200\,k^o$

$y1cm \equiv 0.02\,\mu A$



4-5 الحسابات :

$$A = slop$$

$$A_1 = 0.0009 \quad \mu A/k^o$$

$$A_2 = 0.00062 \quad \mu A/k^o$$

حيث:

$A_1 \equiv$ القدر الكهرو حرارية لمزدوج من الالمونيوم والنحاس.

$A_2 \equiv$ القدر الكهرو حرارية لمزدوج من الالمونيوم والحديد .

4-6 الخلاصة:

وجد أن التيار يتناسب طردياً مع درجة الحرارة المطلقة من النتائج العملية (التجريبية)

وتم ايجاد قيم الثوابت .

التوصيات :

اهم التوصيات على حسب نتائج الدراسة :

1. يجب أن تكون في كل مدرسة ثانوية معمل شامل ومكتمل لمواكبة العصر .
2. ان تشيد غرفة المعامل على حسب التطورات الحديثة .
3. الإهتمام بتصنيف وترتيب الأجهزة والمواد وفقاً لاسس علمية .
4. يجب تعيين فنيين للمعامل العلمية من اجل مسـاعدة معملـي العلـوم فـي الواجبات الاساسية .

Important recommendations of the study:

1. There should be a complete integrated laboratory to cope with the era.

2. Laboratory rooms are to be build according to modern specifications.

3. Care is to be taken in classifying and setting equipment’s in a scientific manner and sequence.

4. Laboratory technicians are to be recruited to assist teacher in basic duties.

الخاتمة :

بحمد الله سبحانه تعإلي نضع خطواتنا الاخيرة بعد اكتمال رحلة بحث شاقة بدرجات العقل والافكار ، ولقد بذلنا فيه قصاري جهدنا وقد خلصت الدراسة إلي مجموعة من النتائج أهمها تشجيع الجانب العملي بالنسبة لطلاب المرحلة الثانوية وحثهم على التجربة وتنأول هذا البحث تجربة للصف الثاني ثانوي وتوضح أهميةدرجة الحرارة والترمومتيرات في حيانتا والتعرف على تطبيقات كثيرة لها .

قائمة المصادر والمراجع:

1- كمال عبدالحميد – تكنولوجيا التعليـم – مكتبـة علا للطبـع والنشـر – القاهرة .
2- محمدين عبدالله – تقـويم معامـل العلـوم فـي المـدارس الثانويـة – 2011م .
3- محمد شحاته وآخرون – الفيزياء الأساسية – مكتبـة الفلاح للنشـر – ط 1 2000م – دولة الإمارات العربية المتحدة .
4- بوش - أساسيات الفيزياء – دار ماكجروهيل للنشر – القاهرة .
5- نفس المرجع (3) .
6- محمد محمود عمار – قياس درجات الحرارة – ط 1 1986م .
7- نفس المرجع (4) .
8- مصطفى كامل وآخرون – مبادئ خواص المـادة والحـرارة – عمـادة شئون المكتبات – جامعة الملك سعود – الرياض .
9- محمد محمود عمار – قياس درجات الحرارة (التيرمومترية).
10- علي سالم الخـرم وآخـرون – الفيزيـاء العمليـة – جامعـة التحـدي – الجماهيرية العربية الليبية الشعبية الاشتراكية العظمى – ط 1 1993م .
11- نفس المرجع (6) .