

## تصميم وتصنيع منظومة لقياس التوصيلية الحرارية للمواد الموصلة (النحاس، الألمنيوم، سبيكة البراس)

سهام يونس مصطفى

قسم الفيزياء / كلية التربية

جامعة الموصل

القبول

2011 / 05 / 04

الاستلام

2010 / 11 / 09

### Abstract

In this research we designed and constructed a system from a local materials and tested for measuring the thermal conductivity coefficient of thermally good conducting materials in the temperature range (25–150 c°). We measure the thermal conductivity of three conducting materials (Copper, Aluminum and Brass alloy), The thermal conductivity measuring result show a good convergence with standard values (Cu 416W/m.c° with a percentage error 3.7%), (Al 244 W/m.c° with a percentage error 2.9 %), (Brass alloy 112,5 W/m.c° with a percentage error 2.2 %). The thermal conductivity of copper and aluminum show decreases of conductivity with increasing temperature.

### الخلاصة:

في هذا البحث تم تصميم و تنفيذ منظومة باستخدام مواد محلية الصنع لقياس معامل التوصيل الحراري للمواد ذات التوصيل الحراري الجيد عند مدى درجات الحرارة (25–150 c°). إذ تم إجراء القياسات على ثلاث أنواع من المواد الموصلة وهي (النحاس النقي، الألمنيوم النقي، سبيكة البراس (60Cu-40Zn). أظهرت نتائج فحص التوصيل الحراري للمواد أعلاه عند درجة حرارة الغرفة تقارباً جيداً مع ما نشر في الأدبيات العلمية والمقاييس العالمية مع فارق بسيط في كل مادة و كالتالي (النحاس 416 W/m.c° بفارق 3.7% عن القيمة القياسية)، (الألمنيوم 244 W/m.c° بفارق 2.9 % عن القيمة القياسية)، (سبيكة البراس 112.5 W/m.c° بفارق 2.2% عن القيمة القياسية)، أما نتائج فحص

التوصيلية الحرارية للنحاس والألمنيوم عند درجات الحرارة المختلفة أظهرت تناقص التوصيلية الحرارية مع ارتفاع درجات الحرارة. أن النتائج المستحصلة من البحث أكدت إمكانية قياس وفحص التوصيلية الحرارية للمواد جيدة التوصيل الحراري و بدقة مقارنة للقيم القياسية.

## Introduction

## المقدمة:

إن انتقال الحرارة عبر التوصيل في المواد الصلبة يتضمن نقل الطاقة الحرارية عبر المادة بدون حركة أو انتقال لذرات المادة، حيث أن معدل نقل الطاقة الحرارية يعتمد على قيمة الانحدار الحراري و التوصيلية الحرارية للمادة [1]. أن التوصيلية الحرارية هي معامل يحدد ظاهرة أو قدرة المادة على نقل الطاقة الحرارية، أو أنها كمية الطاقة الحرارية المنتقلة خلال وحدة سمك المادة باتجاه محدد كنتيجة لاختلاف درجات الحرارة تحت شروط وظروف الحالة المستقرة المحيطة [1,2]. أن المعادن والسبائك المعدنية تكون موصلات حرارية جيدة بخلاف المواد الغير معدنية وذلك لأن آلية نقل الطاقة الحرارية في المعادن تتم بواسطة كل من الموجات الاهتزازية للشبيكة (Phonons) و الالكترونات الحرة و تكون آلية نقل الطاقة عبر الالكترونات هي المتغلبة لأنها لا تعاني استطارة كثيرة مثل الفونونات وذلك لامتلاكها سرعة عالية بالإضافة إلى العدد الكبير من الالكترونات الحرة والتي تشارك في التوصيلية الحرارية [2, 4, 5]. أن التوصيل الحراري في المواد المعدنية يعتمد على عدة عوامل خاصة بالمادة ومن تلك العوامل المهمة (درجة الحرارة، العيوب البلورية، حجم حبيبات المادة، نوع المادة والوزن الذري لها، نقاوة المادة، نسبة التشوه اللدن في المادة) حيث إن العوامل أعلاه لها تأثير مباشر في زيادة استطارة الالكترونات مما يؤدي إلى زيادة المقاوميه الحرارية للمادة  $(\rho)$ ، أن آلية الاستطارة للالكترونات تعمل بشكل مستقل الواحدة عن الأخرى وتمثل رياضيا كالتالي [6,7,2].

$$\rho_{total} = \rho_t + \rho_i + \rho_d \quad (1)$$

$\rho_t$  = المقاومة بسبب درجة الحرارة

$\rho_i$  = المقاومة بسبب الشوائب

$\rho_d$  = المقاومة بسبب التشوه اللدن

هناك طريقتين لقياس التوصيلية الحرارية للمواد الصلبة الموصلة حراريا وهي طريقة الحالة المستقرة (steady - state) و طريقة الحالة الغير مستقرة (non steady - state)، أما في الطريقة الغير مستقرة فيتم تسليط الطاقة الحرارية على المادة المراد فحصها عن طريق إشعاع من مصباح ومضي أو ليزر أو قصف المادة بإشعاع الكتروني و هنا يكون من الصعب تحديد كمية الحرارة المسلطة على العينة، أما في الحالة المستقرة فأن تيار ثابت ومعلوم يسלט على العينة ولذلك فأن كمية الحرارة المسلطة على العينة يمكن قياسها [8,9]. عدة طرق استخدمت وطورت لقياس التوصيلية الحرارية لمختلف المواد الموصلة وكل واحدة منها تكون

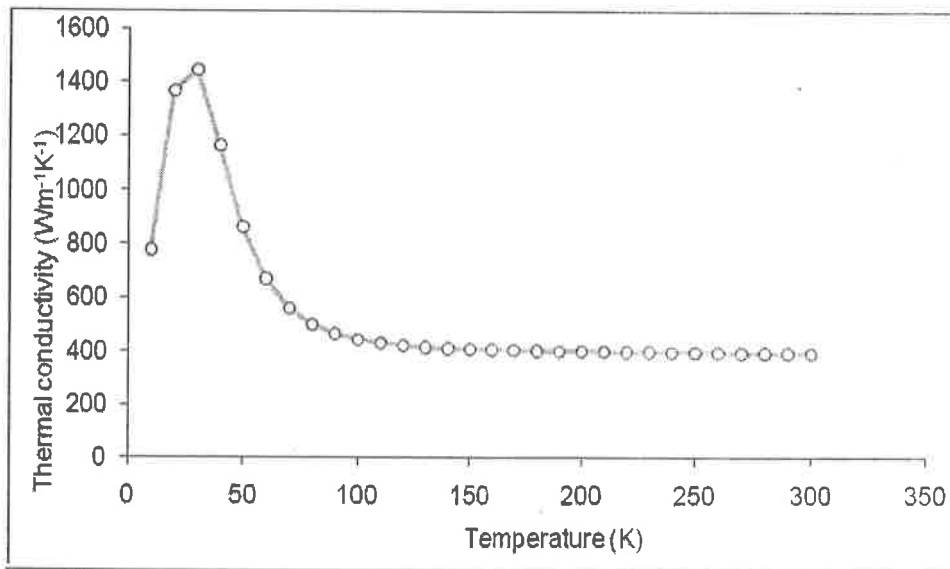
مناسبة لمدى محدود من المواد ولمدى محدود من درجات الحرارة اعتمادا على الخواص الحرارية للمادة المقاسة نفسها. [15,10] حيث يبين الشكل (1) التوصيلية الحرارية للنحاس عند مديات مختلفة من درجات الحرارة وكل مدى من هذه الدرجات يتطلب تقنية من حيث التبريد أو التسخين أو الأجهزة الخاصة لقياس درجة الحرارة [6]. إن أكبر مشكلة تواجه قياس التوصيلية الحرارية في أي طريقة مستخدمة هو الخطأ الناتج من فقدان الطاقة الحرارية عن طريق الحمل والإشعاع وحتى لو استخدم التفريغ الهوائي تبقى مشكلة فقدان الحرارة عن طريق الإشعاع، لذلك لا توجد طريقة مثالية وكاملة للتخلص من فقدان الحرارة [14]. إن المقاييس المطلقة للتوصيلية الحرارية تتطلب تأسيس شروط الحالة المستقرة (steady-state) أي تؤخذ المقاييس عندما تكون المادة في حالة أتران حراري تام وكلما كانت وحدة سمك المادة كبيرا يؤدي إلى زيادة الوقت المطلوب للوصول إلى حالة الاستقرار [1].

أن أبسط تقريب لقياس التوصيلية الحرارية (K) للمادة جيدة التوصيل الحراري هو تأسيس حالة الأستقرارية الحرارية، معدل طاقة حرارية معلومة مناسبة (P) إلى عينة منتظمة الشكل ومن ثم قياس الهبوط في درجة الحرارة ( $\Delta T$ ) عبر المسافة ( $\Delta x$ ) [11] ووفق هذا فإن التوصيلية (K) تعرف بواسطة المعادلة أدناه.

$$K = P / \Delta T \quad (2)$$

ويمكن أن تحول إلى قيمة هندسية مستقلة وذلك بأدراج أبعاد العينة. لقد لوحظ أنه عندما تكون درجة الحرارة عند أي نقطة معينة من الجسم تبقى ثابتة مع الزمن فإن شرط الحالة المستقرة لانسياب الحرارة قد أسس وعند تقدم الحرارة عبر مساحة المقطع للعينة (A) فإن انسياب الحرارة يكون ببعد واحد (one - Dimension) والتوصيلية الحرارية تعطى بالقانون التالي [12,13].

$$K = P / A(\Delta T / \Delta x) \quad (3)$$



الشكل (1): العلاقة بين التوصيلية الحرارية للنحاس ودرجة الحرارة [6]

## practical part

الجزء العملي :

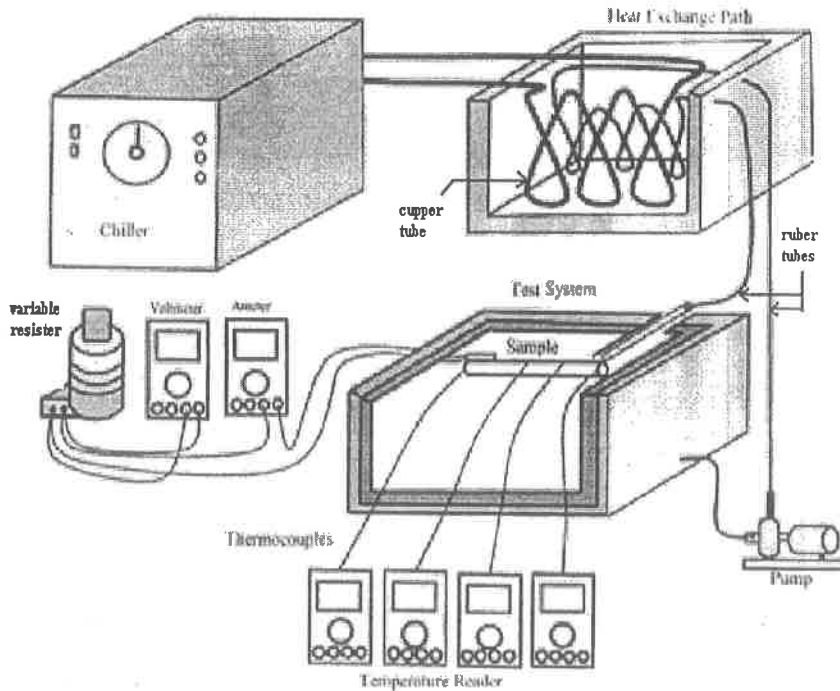
### Design and fabricated test system : تصميم وتصنيع منظومة الفحص

تم تصميم وتصنيع منظومة الفحص بالاعتماد على طريقة (Searle's bar methods)

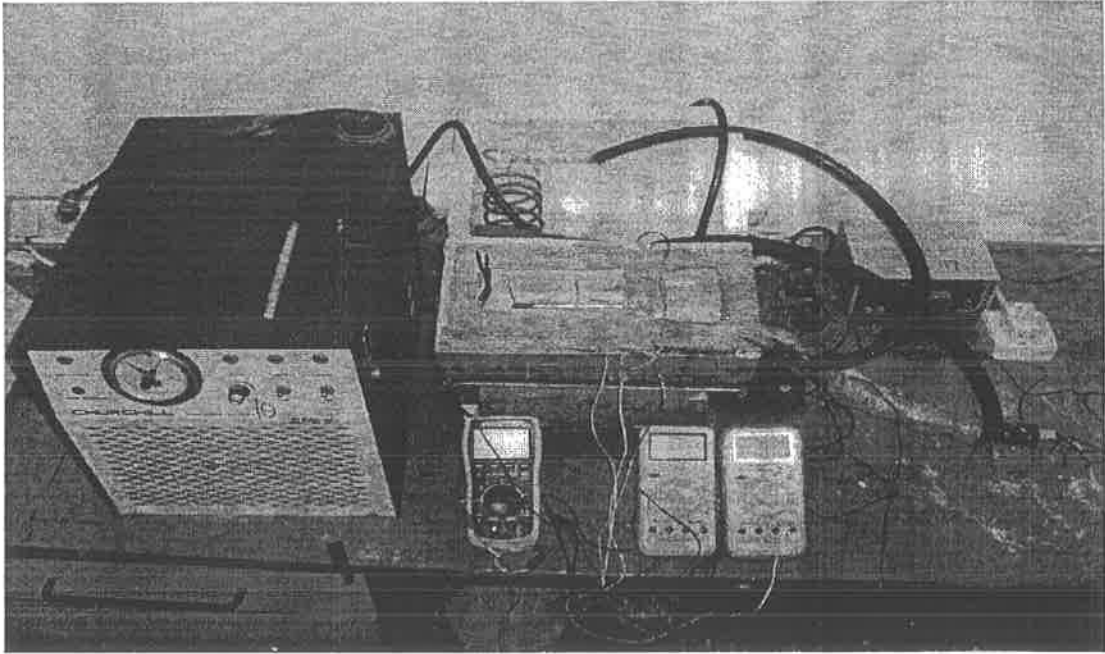
[2]، والتي استخدمت أيضا من قبل الباحثين ( I. O. Owate, O. E. Abumere, G. O. )  
[3] (Avwiri)، وأجريت بعض التغييرات التقنية على المنظومة من حيث نظام التبريد ومادة  
و طريقة العزل كما موضح في الشكلين (2،3).

### Equipment And Materials used : الأجهزة والمواد المستخدمة في الفحص:

استخدم في هذا البحث محرار رقمي نوع Victor صيني المنشاء مع المزدوجات  
الحرارية نوع (K-Type)، كما استخدم فولتميتير نوع Fluke لقياس فرق الجهد واميتير نوع  
Victor صيني المنشاء لقياس التيار، مقاومة متغيرة (Varyic)، أربع مسخنات حرارية نوع  
(sandwich heater) بقدرة (11 watt) لكل مسخن، عازل حراري ورقي شفاف من نوع  
(polyethylene terephthalate)، عينات الاختبار كانت اسطوانية الشكل وهي النحاس  
بنقاوة (99.9%) بأبعاد (القطر 0.982 cm) (الطول 12 cm)، الألمنيوم بنقاوة (99.9%)  
(القطر 0.925 cm) (الطول 12 cm)، سبيكة البراس (قطر 0.76 cm) (الطول 12 cm).



الشكل (2): رسم تخطيطي لمنظومة قياس التوصيلية الحرارية



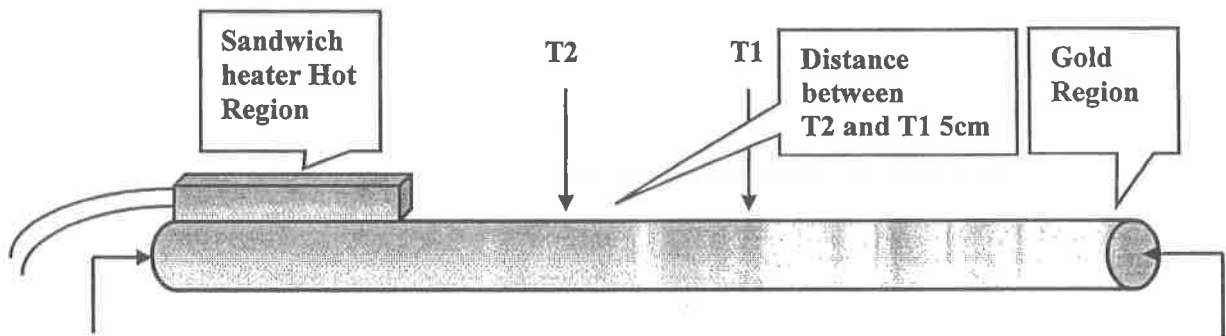
الشكل (3): صورة لمنظومة قياس التوصيلية الحرارية

## Test And Measurement

الفحص والقياس :

### 1. فحص التوصيلية الحرارية للعينات عند درجة حرارة الغرفة

تم قياس التوصيلية الحرارية للعينات باستخدام المنظومة الموضحة وذلك



الشكل (4): رسم تخطيطي للعينة المستخدمة في قياس التوصيلية الحرارية

بدفع الماء البارد بدرجة حرارة ( $0\text{ C}^\circ$ ) إلى الصندوق الفليني عبر الأنبوب النحاسي وبعد أن تنخفض درجة حرارة السائل المانع للتجمد داخل الصندوق الفليني إلى ( $0\text{ C}^\circ$ ) يدفع السائل إلى جانب العينة المقابل للمسخن بواسطة المضخة الكهربائية، بعدها يسقط فرق جهد متناوب قدرة (240 volt) على المسخن الحراري، وعند ثبوت التيار وفرق الجهد بالإضافة إلى درجات الحرارة وحصول حالة الاستقرار (حالة الاتزان الحراري) تسجل قيم فرق الجهد المسلط والتيار المار بالإضافة إلى درجة حرارة ( $T_1$ ،  $T_2$ ) وكما مبين في الشكل (4)، تم حساب معامل التوصيل الحراري من المعادلة أدناه.

تصميم وتصنيع منظومة لقياس التوصيلية الحرارية للمواد الموصلة (النحاس، الألمنيوم، سبيكة البراس).

$$k = \frac{QL}{A(T_2 - T_1)} \quad (4)$$

$$Q = V \cdot I \quad (5)$$

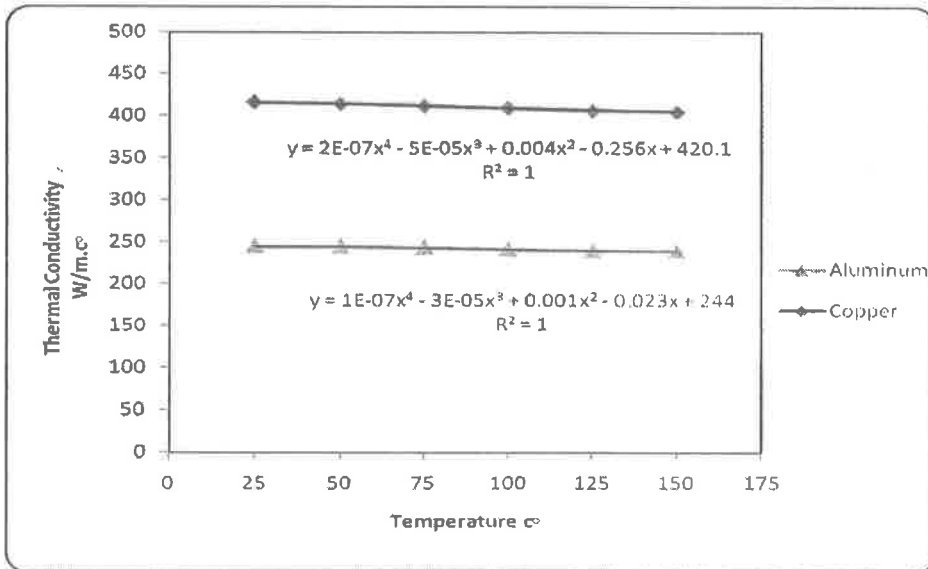
إذ أن كمية الطاقة الكهربائية المسطحة (watt)، فرق الجهد المسط (V)، (Q) كمية الطاقة الكهربائية المسطحة (watt)، فرق الجهد المسط (V)، (I) التيار المار بالمسخن (Ampere)، (L) المسافة بين (T<sub>2</sub>, T<sub>1</sub>) وهي (VOLT)، (A) مساحة مقطع العينة (m<sup>2</sup>) والجدول (1) يبين النتائج التي تم الحصول عليها.

جدول (1): نتائج قياس معامل التوصيلية الحرارية  $Watt \cdot m^{-2} \cdot C^{-1}$ .

سبيكة البراس	الألمنيوم النقي	النحاس النقي	تسلسل الفحص
111.5	246	420	1
113	244	410	2
112.5	249	423	3
114	241	412	4
111.5	240	415	5
112.5	244	416	المعدل الحسابي
110	237	401	القيمة القياسية

### 1. تأثير درجة الحرارة على التوصيلية الحرارية

أجري فحص التوصيلية الحرارية للنحاس والألمنيوم عند درجات حرارة (50c°, 75c°, 100c°, 125c°, 150c°) وذلك باستخدام نفس الطريقة أعلاه ولكن تم استخدام أربع مسخنات حرارية قدرة (11 Watt) وربطت على التوازي لتعطي قدرة (44 Watt) لزيادة الطاقة الحرارية وبالتالي رفع درجة حرارة العينة للدرجة الحرارية المطلوبة، والشكل (5) يوضح العلاقة بين التوصيلية الحرارية ودرجة الحرارة لكل من النحاس والألمنيوم.



الشكل (5): الاعتماد الحراري للتوصيلية الحرارية لكل من Al, Cu

2. حساب نسبة الخطاء النظرية و العملية: **Theore. & Pract. Error Measurement**  
 تم قياس نسبة الخطاء النظرية وفق قانون (Kline-McClintock Second Power Law) [14,17] وكالتالي وبينت نتائج الحسابات في الجدول (2)

$$U_K = \sqrt{\left(\left(\frac{dk}{dQ}\right)(U_Q)\right)^2 + \left(\left(\frac{dk}{dx}\right)(U_X)\right)^2 + \left(\left(\frac{dk}{dA}\right)(U_A)\right)^2 + \left(\left(\frac{dk}{d\Delta T}\right)(U_{\Delta T})\right)^2} \quad (6)$$

وبتعويض المعادلة (4) في المعادلة (6) تنتج المعادلة النهائية لنسبة الخطاء

$$U_K = \sqrt{\left(\left(\frac{X}{A\Delta T}\right)(U_Q)\right)^2 + \left(\left(\frac{Q}{A\Delta T}\right)(U_X)\right)^2 + \left(\left(\frac{QX}{A^2\Delta T}\right)(U_A)\right)^2 + \left(\left(\frac{QX}{A\Delta T^2}\right)(U_{\Delta T})\right)^2} \quad (7)$$

حيث أن:

$$U_K = \text{نسبة الخطاء الكلية}$$

$$U_Q = K_{MLI} \times A_S \frac{(T - T_S)}{t_{MLU}} \quad (8)$$

$U_Q$  = الخطاء في الطاقة الحرارية المجهزة (الحرارة المفقودة عبر سطح العينة الملامس للسطح الخارجي)

$$K_{MLI} = \text{التوصيلية الحرارية للعازل الورقي الملفوف على العينة (0.15 - 0.1 W/m.c°)}$$

$$t_{MLU} = \text{سمك العازل الورقي الملفوف الملفوف على العينة (68 \times 10^{-5} m)}$$

$$T = \text{درجة حرارة العينة}$$

$$T_S = \text{درجة حرارة المحيط}$$

$$U_X = \text{الخطاء المتعلق بقياس طول العينة (ورنيه القياس) ويساوي (2.5 \times 10^{-6} m)}$$

$$U_A = \mp \sqrt{((0.5\pi d)(U_d))} \quad (9)$$

$$U_A = \text{الخطاء المتعلق بقياس مساحة مقطع العينة}$$

$$U_{\Delta T} = \sqrt{2}U_T \quad (10)$$

$$U_{\Delta T} = \text{الخطاء المتعلق بقياس الفرق بين درجات الحرارة (\Delta T) و (U_T) تساوي (0.5C°)}$$

أما نسبة الخطاء العملية فحسبت وفق المعادلة التالية

$$K_{Pract. Error} = \frac{\text{Measure}_K - \text{Standard}_K}{\text{Standard}_K} \times 100\% \quad (11)$$

جدول (2): حسابات نسبة الخطاء العملية والنظرية

Brass	Al	Cu	Error Measurement
1.402	1.708	1.814	$U_Q$ Watt
$25 \times 10^{-7}$	$25 \times 10^{-7}$	$25 \times 10^{-7}$	$U_X$ (m)
$2.98 \times 10^{-8}$	$3.63 \times 10^{-8}$	$3.85 \times 10^{-8}$	$U_A$ (m <sup>2</sup> )
0.353	0.353	0.353	$U_{\Delta T}$ (C°)
14.34	37.9	69.37	$U_K$ W/m.c°
2.2%	2.9%	3.7%	Pract. Error

## Discussion

## المناقشة:

### 1. التوصيلية الحرارية عند درجة حرارة الغرفة

أظهرت نتائج القياس تقارب في قيم معامل التوصيل الحراري مع القيم القياسية مع فارق بسيط ويرجع السبب في ذلك إلى أن أي قياسات مختبرية الغرض منها هو الحصول على قراءات يصاحبها عدم دقة تؤدي بالنتيجة إلى أخطاء في القياسات النهائية، وعند اشتراك عدة قياسات في المعادلة لحساب قيمة أخرى فإن الخطأ العام يحسب في النتيجة النهائية وذلك بإشراك كل الأخطاء الناتجة من كل عنصر داخل المعادلة [14]. وفي قياس التوصيلية الحرارية فإن الخطأ العام يمتد ليشمل جميع العوامل المتغيرة وأهمها هو الطاقة الحرارية المفقودة عبر المسخن وعبر العينة [14,15]. أن نتائج الفحص أظهرت أن جميع قيم التوصيلية الحرارية للمواد تحت التجربة أعلى من القيم القياسية وذلك يعود إلى إن قيمة  $(\Delta T)$  منخفضة مما دل على أن قيمة الطاقة الكهربائية من المسخن لا تتناسب جميعها عبر طول العينة بل قسم منه يذهب كطاقة مفقودة وهذا ما أكدته حسابات نسبة الخطأ النظرية حيث بين الجدول (3) أن هناك طاقة حرارية مفقودة  $U_0$  عبر المساحة السطحية للعينة وتتضاءل هذه الطاقة كلما قل قطر العينة، حيث أظهرت النتائج العملية أن عينة البراس لها أقل نسبة خطأ وبلغت (2.2%) بسبب صغر قطر العينة وبالتالي المساحة السطحية بالمقارنة مع عينة النحاس و الألمنيوم، كما أظهرت حسابات مجموع نسب الخطأ النظرية لقيمة معامل التوصيل الحراري ( $U_k$ ) توافقت مع القيم العملية لنسبة الخطأ (practical Error) من حيث أن أعلى قيمة كانت لعينة النحاس ثم للألمنيوم ونزولا لعينة البراس.

### 2. الاعتماد الحراري للتوصيلية الحرارية

أظهرت نتائج قياس التوصيلية الحرارية للنحاس والألمنيوم تناقص قيم التوصيلية الحرارية مع زيادة درجة الحرارة والسبب يرجع إلى أن ازدياد درجة الحرارة يؤدي إلى زيادة الطاقة الاهتزازية لذرات المادة مما يؤدي إلى عرقلة مسار ناقل الطاقة وهو الإلكترون بنقصان المسار وازدياد المقاومة (tp) وبالتالي نقل قيمة (K) [2,6,7].



**Conclusion****الاستنتاجات:**

1. أن نتائج الفحص للتوصيلية الحرارية للعينات الثلاثة ومقارنتها مع القيم القياسية أثبتت أن منظومة الفحص والتي تم تصميمها وبناءها في المختبر أثبتت كفاءتها في إعطاء نتائج مقارنة لقيم التوصيلية الحرارية للمواد جيدة التوصيل الحراري.
2. إن أعلى نسبة خطأ كانت للمتغير ( $U_0$ ) أما بقية المتغيرات فكانت نسبتها قليلة جدا ولم تؤثر على نسبة الخطأ العامة.
3. أن استخدام عينات ذات أقطار (8 mm) فأقل يعطي نسبة خطأ قليلة تقريبا (2.2%).
4. أن استخدام طول (5 cm) بين (T1-T2) أعطى نتائج جيدة ومقاربة للقيم القياسية للتوصيلية الحرارية.

**References :**

- 1) ALETY Sridevireddy, 2K. Raghavendra Rao "A PC-based Technique to Measure the Thermal Conductivity of Solid Materials" Department of Electronics, Department of Physics Sri Krishnadevaraya University, Anantapur, Andhra Pradesh, India, 515055, Published: 26 January 2009.
- 2) William D. Callister, jr, Material Science And Engineering An Introduction, John Wiley & Sons, Inc, p.662, p. 663, (2003).
- 3) Owate. I. O., O. E. Abumere and G. O. Avwiri, A device for thermal conductivity measurement in a developing economy, *Scientific Research and Essay*, Vol. 2, 4, pp.122-126., 2007.
- 4) Gustafson. S. E., Transient plane source technique for thermal conductivity and thermal diffusivity measurements of solids materials, *Review of Scientific Instruments*, Vol.62, pp. 797-804. 1991.
- 5) Gustavson. M, E. Karawacki, S. E. Gustafson, Thermal conductivity, thermal diffusivity, and specific heat of thin samples from transient measurement with hot disk sensor, *Rev. Sci. Instrum*, Vol. 65, pp. 3856-3859, 1994.
- 6) Hutchison. T.S. and D.C.Baird "The physics of engineering solid", John Wiley & Sons, Inc, Canada, 322-333, 1967.
- 7) Srivastava. G. P., The Physics of Phonons, *Adam Hilger IoP Publishing*, Bristol, 1990.

- 8) Graebner. J. E., Simple method for measuring the thermal conductivity of a thin plate, *Rev. Sci. Instrum.*, 64, 11, November, pp. 3245-3247, 1993.
- 9) Ileana Constantinescu, Jamshid Sulaymonov "thermal properties of solids measurement techniques" March 22nd, 2001, MatE 210, Experimental Methods in Mat. Eng., Spring 2001, In partial fulfillment of requirements for MatE 210 Professor G. Selvaduray.
- 10) Mukaro. R., M. Gasseller, C. Kufazvinei, L. Olumekor and B. M. Tael, Microcontroller-based multi-sensor apparatus for temperature control and thermal conductivity measurement, *Measurement Science and Technology*, Vol. 14, No. 8, pp. 45-49, 2003.
- 11) Graebner. J. E., Simple method for measuring the thermal conductivity of a thin plate, *Rev. Sci. Instrum.*, 64, 11, November, pp. 3245-3247, 1993.
- 12) فرانك ب. أنكروبير، ديفيد ب. دووت "أسس انتقال الحرارة" ترجمة د. صالح اسماعيل نجم، فائق عبد الوهاب حمد، مأمون فيصل الاطرقجي. الفصل الثالث، جامعة البصرة، 1985.
- 13) Owate. I. O., O. E. Abumere, G. O. Avwiri "A device for thermal conductivity measurement in a developing economy", department of physics, university of port Harcourt, 2007.
- 14) Beasley, D.E. and R.S. Figliola, *Uncertainty Analysis*, in *Theory and Design for Mechanical Measurements.*, Joh Wiley & Sons, Inc.: New York. p. 171-200, 1995.
- 15) Amanda Noranzyk, Office of Science, Science Undergraduate Laboratory Internship Program "Thermal Conductivity Measurements of Graphite Samples" Los Alamos National Laboratory, August 12, 2009.
- 16) John R. Porter III "Thermal Conductivity Measurements of Three Common Metals Using LabVIEW for Data Acquisition" October 23rd, 2008.
- 17) Beasley, D.E. and R.S. Figliola, *Uncertainty Analysis*, in *Theory and Design for Mechanical Measurements.* 1995, Joh Wiley & Sons, Inc.: New York. p. 171-200.