---مجلة علوم الرافدين, المجلد 17, العدد 2, خاص بالفيزياء, ص 11ـ21, 2006 ---

استخدام الليف البصري في قياس معامل انكسار الزيوت

وطفاء خيري يونس
قسم الفيزياء
كلية العلوم
جامعة الموصل

(تاريخ الاستلام 2004/9/27 ، تاريخ القبول 2005/6/27)

الملخص

في هذا البحث تم استخدام الليف البصري نوع PCP المتعدد الأنماط كمجس لقياس معامل انكسار الزيوت منها زيت العدسة و زيت الماكنة ولم يستخدم زيت الهادر وليك وزيت السيارات لوجود شوائب فيهما. تم استخدام مجس الليف البصري لقياس تغير معامل انكسار الزيوت (زيت العدسة، زيت الماكنة) مع درجات الحرارة المختلفة ومقارنة النتائج مع تلك المقاسة في جهاز Abbe Refractometer فجاءت مطابقة تقريباً. وقد اعتمدت طريقة اقتران ليف- ليف لقياس معامل انكسار زيت العدسة وزيت الماكنة وتغير معامل انكسارهما مع تغير درجة الحرارة ولقد لوحظ أن هذه الطريقة كفوءة عندما يتطابق معامل انكسار الزيت مع معامل انكسار قلب الليف البصري core.

Refractive Index of Oils Measurement by Using Fiber Optics

Watfa Kh. Younis
Department of Physics
College of Science
Mosul University

ABSTRACT

In this research, fiber optics (FO) of type Plastic Clad Plastic (PSP) is used as sensor to measure refractive index of oils, lens oil and machine oil. Hadrolic and automobiles oils are not used because the impurities they have. Fiber optics is used to measure the change of refractive index of lens oil and machine oil with the temperature variations and compared the results with those measured by Abbe Refractometer the results were in good agreement .The fiber - fiber coupling technique is used in this project as a sensor to measure the change of refractive index of lens oil and machine oil with the change of temperature.

المقدمة

إن استخدام الليف البصري بشكل واسع في الاتصالات وللأغراض العلمية وفي الكومبيوتر نظـراً لما يتمتع به من خصائص منها تقليل الخسارة في الطاقة، سهولة الاستعمال ورخص الثمن، واتساع نطاقه الترددي لنقل المعلومات واستخدام أي موجة من موجات الطيف المرئي.

ان استخدام الليف البصري كمجس فيزيائي لقياس معامل انكسار الزيوت بطريقتين:

الاولى: معتمدة علـى مبـدأ امتـصاص الموجـات الـسريعة الـزوال مـن قبـل الزيـوت النفطيـة Evanscent Wave Absorption of light (سداد، 1994)، حيث استخدمت أربعة زيوت نفطية كقـشرة محورة الليف البصري.

الثانية: اعتمادا على مبدأ اقتران ليف- ليف تحتاج هذه الطريقة إلى تهيئة نهايات الليف من حيث قطعها وصـقلها والفجـوة الهوائيـة يجـب أن تكـون صـغيرة جـداً لتفـادي تـشتت ضـوء الليـزر هيليوم- نيون (عدي، 2002)، في هذا البحث تم قياس معامل انكسار زيت العدسة اعتماداً علـى عـدم تغيير يذكر في شدة الليزر قبل وبعد وضع قطرة الزيت في الفجوة عندئذ يكون معامـل انكـسار زيـت العدسة يطابق معامل انكسار قلب الليف البصري.

نظرية البحث

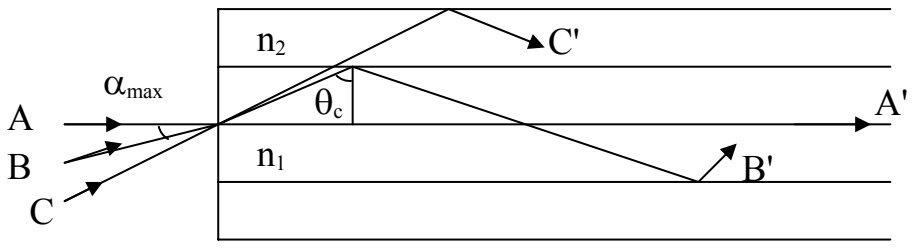
1. الليف البصري Fiber Optics (FO):

أن إدخال الضوء إلى الليـف البـصري مـرتبط بزاويـة القبـول(α_{max}) Acceptance Angle هي اكبر زاوية سقوط للشعاع على وجه الليف عنـدها تكـون الزاويـة عنـد الـسطح الفاصـل بـين قلب وقشرة الليف مساوية للزاوية الحرجة θ_c

$$\alpha_{\max} = \sin^{-1}(NA) \quad \text{.....(1)}$$

$$NA = \left(n_1^2 - n_2^2\right)^{1/2} \quad \text{.....(2)}$$

Numerical Aperture NA قابلية الليف البـصري علـى تجميـع الـضوء عنـد ربـط المـصادر الضوئية إلى الليف (Cherin, 1983). كما مبين في الشكل (1).



الشكل 1: يمثل مكونات الليف البصري ومسار الضوء فيه.

أن تقنية الاقتران ضرورية جداً في المنظومة البـصرية، فهنـاك الاقتـران الـذي يكـون بـين المصدر الضوئي - ليف أو ليف - ليف أو ليف – كاشف(Joeseph, 1998).

2. تغير معامل الانكسار مع درجة الحرارة:

إن تسـخين الزيـت يـؤدي إلى تغير مـعـامل انكساره حسب المعادلة التالية:
(Jankins and White, 1965)

$$n(T) = n(T_o) + (T - T_o)\frac{dn}{dT} \quad \text{.....(3)}$$

حيث أن:

n(T): معامل انكسار الزيت عند درجة حرارة معينة.

$n(T_o)$: معامل انكسار الزيت عند درجة حرارة الغرفة.

dn/dT: تغير معامل انكسار الزيت لكل درجة حرارة سيليزية.

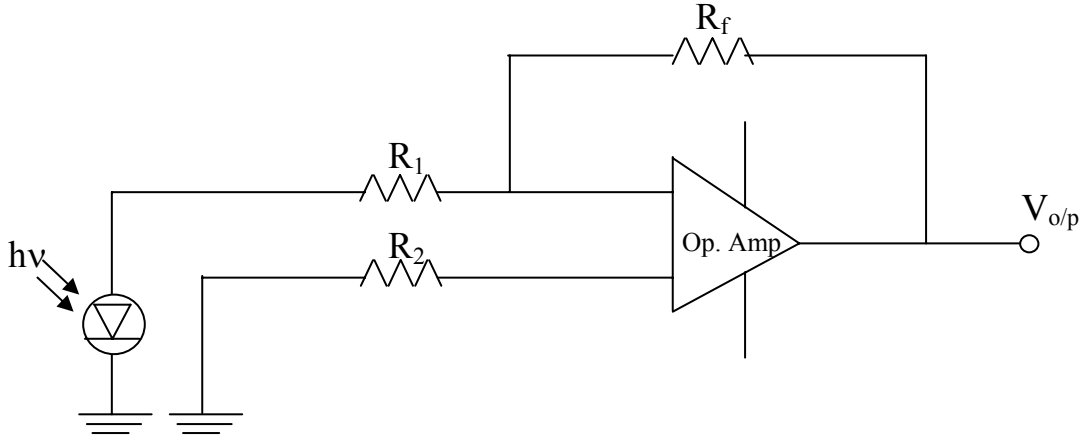
المواد وطريقة العمل

1. المصدر الضوئي:

جهاز هيليوم-نيون ذو موجة مستمرة Continuos Wave(CW) قدرة خرج 1mW وبطول موجي (632.8 nm) ويعمل بالنمط (TEM_{00}) Zero mode.

2. دائرة المكبر الثنائي الضوئي Photodetector:

تم استخدام دائـرة تكبيـر للثنـائي PIN إذ يـربط الثنـائي PIN photodiode مـن شـركة RS-VKBPX65 بمكبـر عمليـات Operation Amplifier بمقاومـة تغذيـة خلفيـة Feedback Resistance حيث تم استخدام دائرة المكبر الثنائي الضوئي عند الترددات الواطئـة للمنطقـة المرئية(June, 1974) كما في الشكل (2).



الشكل 2 : يوضح دائرة التكبير للثنائي الضوئي نوع PIN.

تمتاز هذه الدائرة بـ :

- ذات استجابة العالية للطول الموجي 632.8 nm.
- تتحسس للفروق النسبية التي تطرأ على قدرة الليزر المنتقلة خلال الليف والمتأثرة بوجود أو عدم وجود الزيت بين قطعتي مجس الليف البصري.
- علو النبضة الخارجة من الكاشف الضوئي ذات السعة الكبيرة وخالية من التشوه.

لمعايرة فولتية خرج للمكبر التشغيلي المربوط مع الكاشف الضوئي مع قدرة الليزر الساقط عليها نتبع الخطوات التالية:

- استخدام ضوء الليزر من نوع هيليوم- نيون الوارد وصفه ومن ثم إسقاطه على الكاشف مع مراعاة تراصف الكاشف مع الليزر.
- إن الفولتية المقاسة هي بالنسبة لقدرة الليزر الساقط والتي تساوي 1mW.

3.صقل نهايات الليف البصري:

تعتبر نهايات الليف البصري من الأجزاء المهمة في عملية الاقتران مع المصدر الضوئي أو الليف البصري أو الكاشف لذلك من الضروري تهيئة نهاية الليف بشكل يضمن استقبال امثل لحزمة الليزر. نهايات الليف البصري يجب أن تكون مصقولة ومتعامدة على محور الليف البصري لتفادي تشتت الضوء. يتم تهيئة نهاية الليف البصري وذلك بقطع نهاية الليف بالة قاطعة (مشرط طبي) ومن ثم تبدأ عملية صقل نهاية الليف وذلك باستخدام المساحيق التالية وهي مرتبة حسب خشونتها كاربوراندوم 500 كاربوراندوم 800 كاربوراندوم 1000 وأوكسيد الحديد، خلال عملية الصقل يتم ملاحظة شكل نهاية الليف من حيث حصول أي تصدع crack أو أي تشوه Deformation وذلك بمساعدة المجهر الضوئي. أن عملية الصقل يتم فيها تدوير نهاية الليف على شكل الرقم (8) وذلك بمسكه عمودياً على لوح زجاجي الذي يحتوي على المساحيق المذكورة اعلاه (Naruse and Sugawara, 1977). وقد استخدمنا قطعتان من الليف البصري بطول 10cm مثبتان على قطعتين خشبية الحجرة بينهما بسمك الورقة (بضعة مايكرونات) والتي سيوضع فيها الزيت تحت الدراسة. الليف البصري المستخدم هو من نوع Plastic Clad Plastic(PCP)، Multimode Step Index fiber (MM-SIF). تم الحصول عليه تجارياً.

وفيما يلي المعلومات عن هذا الليف.

Refractive index of core = 1.477.
Refractive index of clad = 1.419.
Numerical Aperture NA = 0.4098.
$\alpha_{Max} = 24.19$.
$\theta_C = 73.89$.

4-معامل انكسار الزيوت:

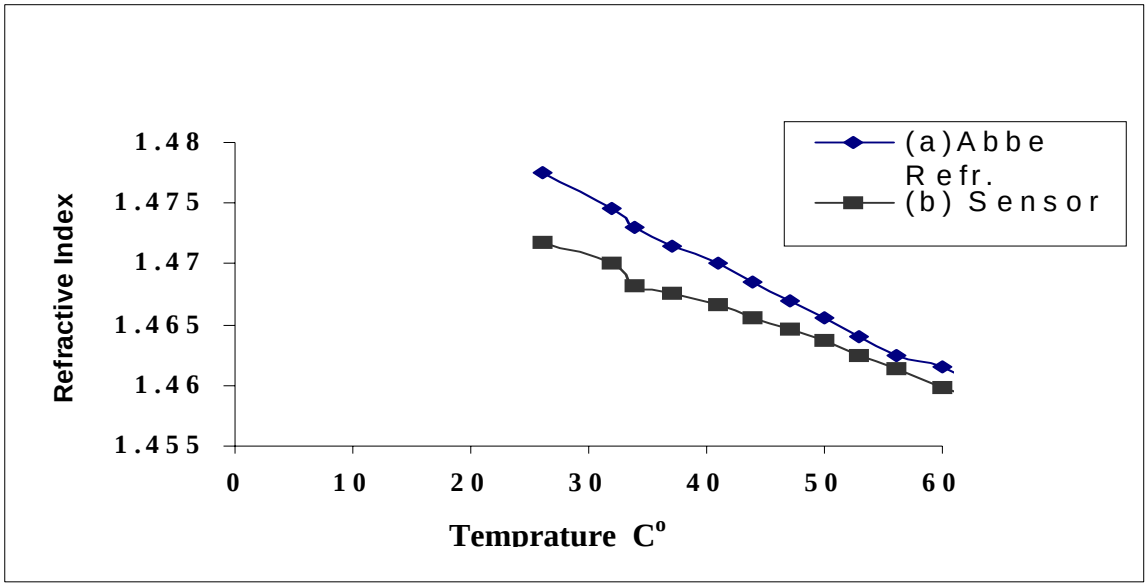
تم قياس معامل انكسار الزيوت بواسطة جهاز Abbe Refractometen من شركة Carlzeiss عند درجة حرارة الغرفة.

الجدول 1 : معامل انكسار الزيوت.

الزيوت	معامل الانكسار
زيت العدسة	1.477
زيت الماكنة	1.4895
زيت محرك السيارات	1.4869
زيت هاريدوليك	1.4867

في هذا البحث تم استخدام زيت العدسة وزيت الماكنة أما زيت محرك السيارات وزيت الهادروليك لم يستخدمها لوجود الشوائب فيهما، لاحظ الجدول (1)، في بيان معامل انكسار هذه المواد. ونلاحظ أن زيت العدسة يطابق قاب الليف البصري (معامل انكسار قاب الليف البصري 1.477) أما زيت الماكنة تقريباً يساوي معامل انكسار قاب الليف البصري.

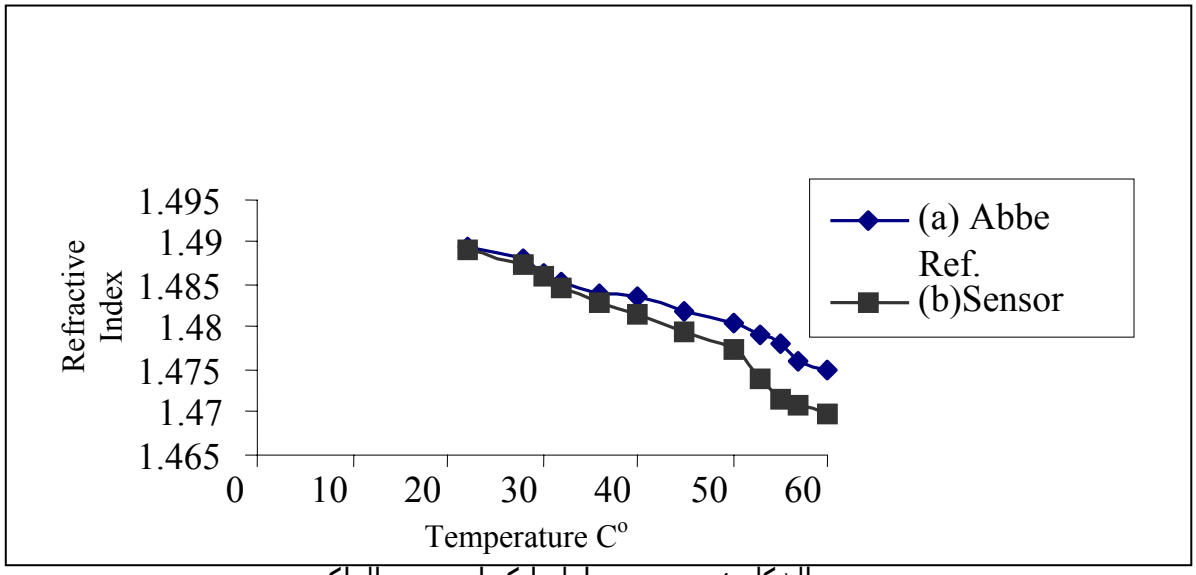
وقد تم قياس تغير معامل الانكسار الزيتيين (زيت العدسة وزيت الماكنة) بتغير درجة الحرارة بواسطة جهاز Abbe Refractemeter كما في الشكلين (3) و (4).



الشكل 3 : يمثل معامل انكسار زيت العدسة.

a : المقاس بواسطة Abby Refractometer.

b : المقاس بواسطة مجس الليف البصري.



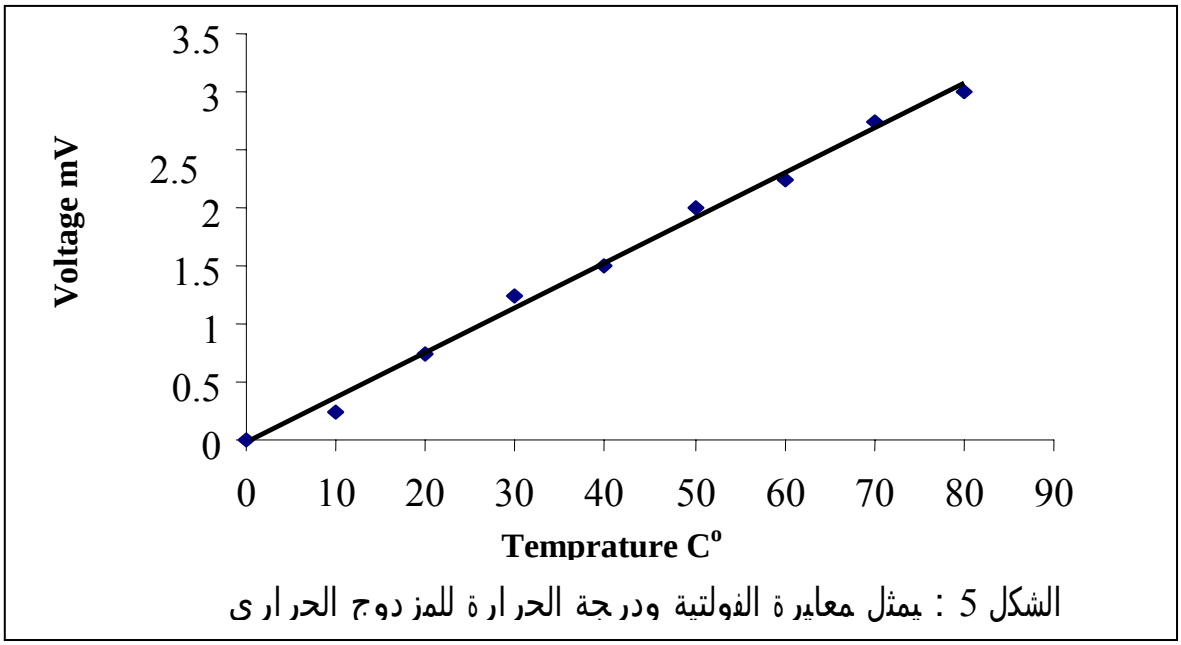
الشكل 4 : يبين معامل انكسار زيت الماكنة.

a :المقاس بواسطة Abby Refractometer.

b :المقاس بواسطة مجس الليف البصري.

5-المزدوج الحراري Thermocouple:

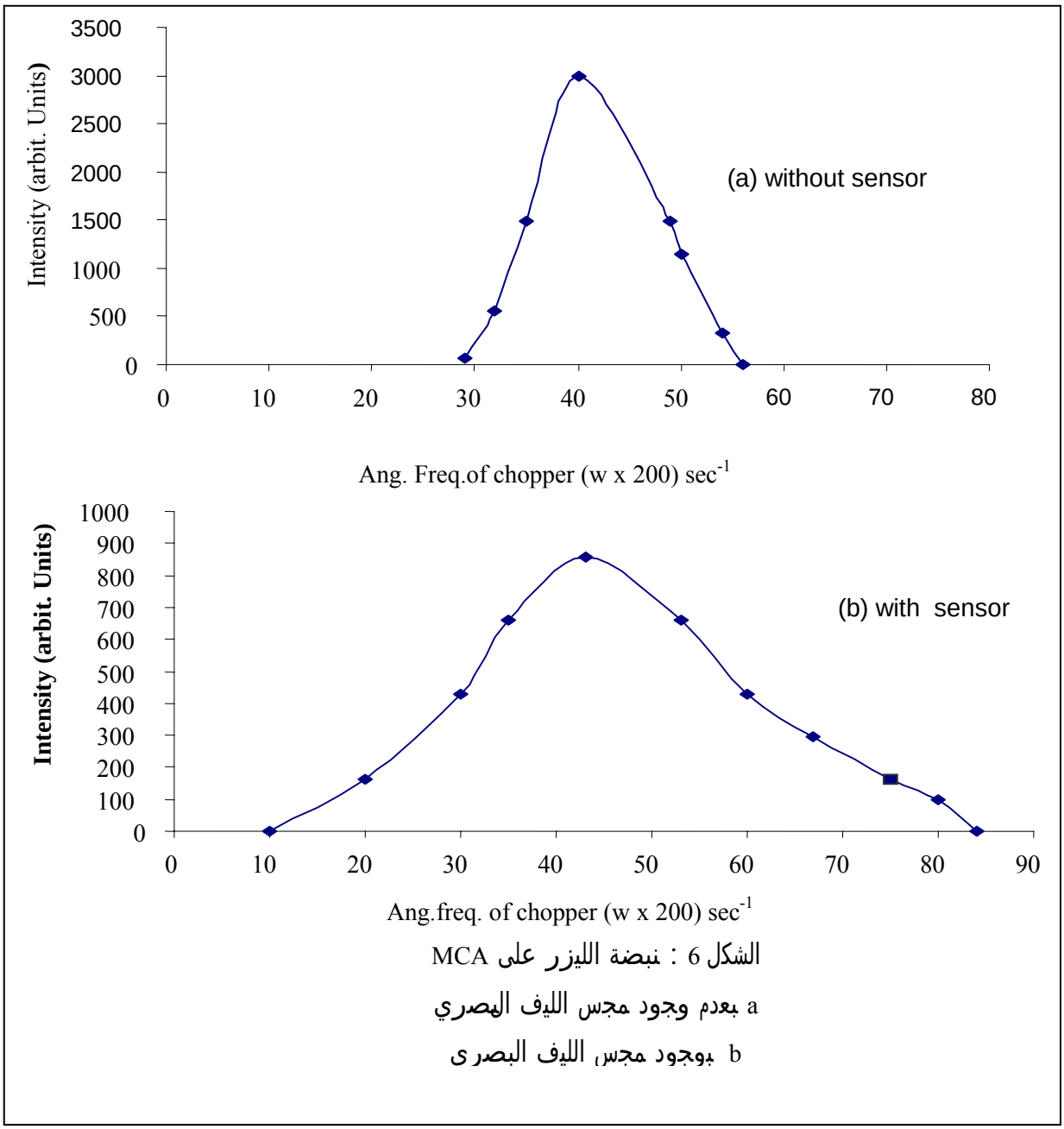
إن المزدوج الحراري المستخدم في هذا البحث مصنوع من مادتي النحاس-كونستانتان. إذ تم وضع الوصلتان المرجعيتان في جريش من الثلج عند درجة إنجماد الماء في إناء معزول عن المحيط. أما وصلة التحسس فقد وضعت في الحجرة (المسافة الفاصلة بين قطعتي الليف والحاوية على زيت مسخن) ومن مزايا هذا المزدوج امتلاكه سرعة عالية في الوصول إلى حالة الاتزان الحراري مع الوسط وحساسية جيدة في قياس درجة الحرارة وله مدى واسع للقياس (Schratt, 2000). معايرة الفولتية للمزدوج الحراري مع درجة الحرارة موضحة بالشكل (5).



الشكل 5 : يمثل معايرة الفولتية ودرجة الحرارة للمزدوج الحراري

6- التراصف:

أولا: نأخذ مصدر ضوء الليزر هليوم-نيون ونضعه على المسطرة المترية ثم نضع المقطع الميكانيكي Chopper أمام الليزر للحصول على شعاع بتردد معين ثم نسدد ضوء الليزر داخل عدسة شيئية (NA=0.15, 40X)، المثبتة على حامل ثلاثي الأبعاد ونحاول أن نحصل على أعلى قراءة للفولتميتر الرقميDigital Voltmeter المرتبط بدائرة الكاشف الضوئي المثبت على حامل ثلاثي الأبعاد من جهة ومحلل المتعدد القنوات من جهة أخرى، المحلل المتعدد القنوات Multi-channel Analyzer (MCA) المجهز من شركة Cambara وذلك لدراسة النبضة باستخدام تحليل ارتفاع النبضة Pulse High Analyses (PHA) وبذلك نحصل على نبضة الليزر لعدم وجود المجس كما في الشكل (6a).



الشكل 6 : نبضة الليزر على MCA

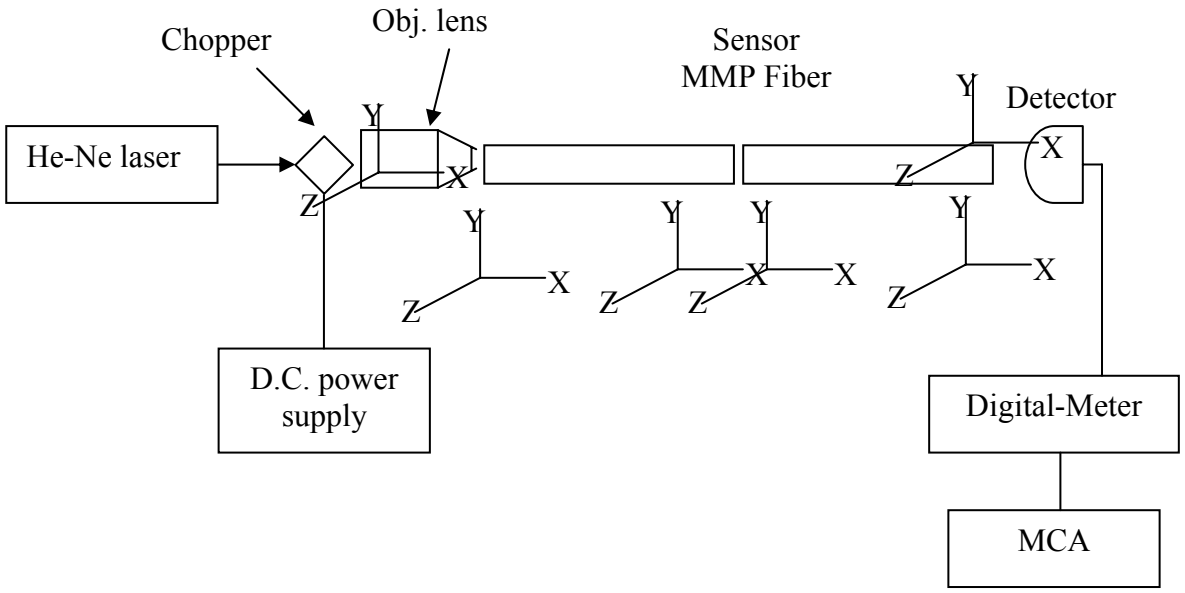
a بعدم وجود مجس الليف البصري

b بوجود مجس الليف البصرى

ثانيا: مصدر ضوء الليزر هليوم-نيون يوضع على مسطرة مترية ويوضع المقطع الميكانيكي أمام الليزر للحصول على شعاع ليزر بتردد معين ثم نسدد ضوء الليزر بواسطة العدسة الشيئية المثبتة على الحامل الثلاثي الأبعاد ليدخل القطعة الأولى من الليف البصري (نهايتي القطعة الأولى مثبته على حامل ثلاثي الأبعاد) ونحاول الحصول على أعلى قراءة للفولتميتر الرقمي المرتبط بدائرة الكاشف الضوئي (المثبت على حامل ثلاثي الأبعاد) من جهة وبمحال المتعدد القنوات من جهة أخرى.

نأخذ القطعة الثانية من الليف البصري ونضعها بين القطعة الأولى من الليف ودائرة الكاشف الضوئي (نهايتي القطعة الثانية مثبته على حامل ثلاثي الأبعاد) تاركة الحجرة بين قطعتي المجس وهي مسافة صغيره جدا بسمك ورقة ونحاول الحصول على قراءة للفولتميتر الرقمي المرتبط بجهاز محلل المتعدد القنوات نبضه الليزر على جهاز (MCA) مبين كما في الشكل (6b) بوجود المجس.

المخطط التجريبي للمنظومة الضوئية المستخدمة موضحة بالشكل(7)، بعد التراصف يسخن زيت العدسة إلى $(70)^{o}C$ ونأخذ منه قطرة ونضعها في الحجرة بين قطعتي الليف ثم نسجل القراءات من الفولتميتر الرقمي حيث تشير كل قراءة إلى شدة الضوء النافذ من المجس والتي تكون مرتبطة بتغير درجة حرارة الزيت (الموضوع في الحجرة) ومن الشكل (5)، يمكن الحصول على قيمة درجه الحرارة والمعيرة مع الشدة الضوئية المقاسة بوحدات mV ومن الشكل (3a)، يمكن الحصول على معامل انكسار لكل درجة حرارة مقاسة ثم نرسم تغير معامل الانكسار لكل درجة حرارة كما في الشكل (3b)، وتعاد العملية لقياس معامل انكسار زيت الماكنة كدالة لدرجة الحرارة كما في الشكل (4b).



الشكل 7 : تركيب المنظومة التجريبية لقياس معامل انكسار الزيوت.

النتائج والمناقشة

الشكل (3)، يمثل تغير معامل انكسار زيت العدسة بتغير درجات الحرارة (3a) تغير معامل انكسار زيت العدسة مع درجات الحرارة المختلفة المقاسة بجهاز Abbe Refractometer ونلاحظ إنها علاقة خطية عند درجة الحرارة الواطئة ^{o}C(20-50) ولكنها عند ارتفاع درجة الحرارة تبدأ بالانحراف وباستخدام المعادلة(3):

$$n(T) = n(T_o) + (T - T_o)\frac{dn}{dT} \quad \text{..... (3)}$$

إذا أن n(T) : معامل انكسار عند درجة الحرارة معينة.

ومن الرسم البياني (3a) نجد أن:

$$n(T_o) = n(27) = 1.48 \text{ ..... (4a)}$$

$$\frac{dn}{dT} = 5.26315 \times 10^{-4} \text{ ..... (4b)}$$

وعليه فإن معامل انكسار عند درجة حرارة ^{o}C40، ^{o}C30.

n(30)=1.47474، n(40)=1.46948..... (4c)

أما الشكل (3b) فيمثل تغير معامل انكسار زيت العدسة بوسطه الليف البصري ونلاحظ إنها علاقة خطية عند درجة الحرارة الواطئة وتبدأ بالانحراف عند ارتفاع درجة الحرارة وهذا يعود إلى تكسر أواصر جزيئات الزيت مما يؤدي إلى نقصان الكثافة فيقل معامل الانكسار.

وعند استخدام المعادلة رقم (3):

$n(T_o) = n(25) = 1.473$..... (5a)

$dn/dT = 4.57\times10^{-4}$..... (5b)

وكان معامل الانكسار عند ^{o}C40،^{o}C30.

n(40) = 1.466145 ، n(30) = 1.470715..... (5c)

إن وجود زيت العدسة بين قطعتي الليف ذات معامل انكسار مطابق لمعامل انكسار قلب الليف البصري يعمل على انتقال الضوء من قلب الليف إلى وسط الزيت دون تغيير في مساره الأمر الذي يؤدي إلى مرور الضوء إلى القطعة الثانية من المجس دون تشتت الضوء.

أمـا الـشكل (4a) فيمثـل معامـل الانكـسار زيـت الماكنـة بواسـطة الجهـاز Abbe Refractometer مع درجات الحـرارة المختلفـة وهـي علاقـة خطيـة فـي مـدى درجـات الحرارة الواطئة باستخدام المعادلة (3) نلاحظ أن:

$$n(T_o) = n(20) = 1.49 \quad (6a)$$

$$dn/dT = 0.0005 \quad (6b)$$

ومعامل انكسار زيت الماكنة عند 30^oC و40^oC فكانت

$$n(30)=1.485,\ n(40)=1.48 \quad (6c)$$

ومعامل انكسار زيت الماكنة بواسطة المجـس فتتمثـل بـ(4b) وهـي علاقـة خطيـة عنـد درجات الحرارة الواطئة.

وباستخدام المعادلة (3):

$$n(T_o) = n(20) = 1.49 \quad (7a)$$

$$dn/dT = 0.0004 \quad (7b)$$

ومعامل انكسار زيت الماكنة عند 30^oC،40^oC

$$n(30)=1.486,\ n(40)=1.482 \quad (7c)$$

بوجود زيت الماكنة ذات معامل انكسار اكبر من معامل انكـسار قلـب الليـف البـصري فـان الضوء سينحرف ويدخل القطعة الثانية مـن الليـف بزاويـة صـغيره وقـدرها 11.1025^o فالـضوء سينكسر داخل الليف بزاوية اكبر من θ_c والتي تساوي 73.89^o.

معامل انكسار زيت العدسة المقاس بواسـطة المجـس عنـد درجـه حـرارة الغرفـة 1.4718 وكانت نسبه الخطأ في القياس 0.35% أما معامل انكـسار زيـت الماكنـة المقـاس بواسـطة المجـس عند درجة حرارة الغرفة 1.4891 ونسبة الخطأ في القياس 0.26%.

أما الشكل (5)، معايرة الفولتية مع درجه الحرارة لمـزدوج حـراري وهـي علاقـة خطيـة فقـد تـم قياس حساسية المزدوج الحراري فكانت $0.0375mV/^oC$.

بعد الانتهاء من إجراء عملية التراصف واعتمـاد علـى قـراءة الفـولتميتر الرقمـي للكاشـف الضوئي عند الحصول على أعلى قراءة لـه، يمكننـا ملاحظـة نبـضة الليـزر وتحليلهـا باسـتخدام MCA وبأسلوب PHA وكحالتين الأولى في حالة عـدم وجـود المجـس (قطعتـي الليـف)، والحالـة الثانية بوجود المجس الضوئي. وكما موضـح فـي الـشكل (6). الـشكل (6a)، يـشير إلـى نبـضة الليزر هيليوم-نيون على جهاز MCA بعد ضبط زمن الخمود للنبـضة مـع مقطـع الحزمـة نلاحـظ أن النبضة تأخذ شكل توزيع معياري وكما هو متوقع لنبـضة مربعـة الـشكل عنـد ملاحظتهـا فـي

جهاز راسم الموجة (Oscilloscope). أما الشكل (6b)، فيشير إلى نبضة الليزر بعد خروجها من المجس الضوئي (بوجود الليف) يمكننا مقارنة الشكلين، حيث نلاحظ وجود توسع في عرض النبضة مع وجود الليف الضوئي، وهذا يعود إلى بعض التشويه الحاصل في عمليه الاقتران بين الليفين وتوسع حزمة الليزر من جراء تغير الفتحة العدديه وحصول بعض التشتت لتغير معامل الانكسار بين الأجزاء المتراصة. أن المحور السيني يمثل تردد مقطع الحزمة بعد معايرته من خلال حسب التردد في راسم الموجة.

الاستنتاج

1. إمكانية استخدام طريقة اقتران ليف- ليف لدراسة تغير معامل انكسار مادة ما وتغيرها مع درجات الحرارة المختلفة.
2. اعتماد هذه الطريقة بالدرجة الأولى فيما إذا كان معامل انكسار المادة المراد قياسها متطابق مع انكسار قلب الليف البصري.
3. نسبة الدقة في قياس معامل انكسار زيت العدسة 0.35% وهي نسبة صغيرة جداً.أما نسبة الخطأ في قياس معامل انكسار زيت الماكنة 0.26% وهي أقل من الواحد.

المصادر العربية

أمين، عدي فلاح، 2002. قياس معامل انكسار قلب الليف بالاعتماد على تقنية اقتران ليف- ليف، مجلة علوم الرافدين، مجلد 13، العدد 4، 8 صفحة.

العزاوي، سداد خليل صالح، 1994. دراسة تأثير نوع القشرة على انتشار الضوء في الألياف البصرية، رسالة ماجستير، كلية العلوم، جامعة بغداد.

المصادر الأجنبية

Cherin, A.H., 1983. An Introduction to Optical Fiber, Bell Telephone Laboratories Inc., Japan, 326p.

Jankins, F.A. and White, H.E., 1981. Fundamentals of Optics, 4th edition, McGraw-Hill Kogakusha, Ltd. Tokoy, 746p.

Joseph, C. Palais, 1998. Fiber Optic Communications, 4th edition, New Jersey, 342p.

June, W.G., 1974. IC Op-Amp Chook book, Indiana Howrad, 519p.

Naruse, T. and Sugawara, Y., 1977. Nylon – Jackete Optical Fiber with Silicon Buffer Layer, Electronic Letter, 13(6), pp.153-154.

Schratt Fred, P., 2000. The Principle and methods of Using Thermocouple, Iothech, Inc.