

استخدام المضمن الصوتي الضوئي في تحليل الطيف الضوئي

م.م. دريد حازم احمد الهاللي
كلية التربية الأساسية/ جامعة الموصل

تاريخ تسليم البحث: ٢٠١١/٣/٢٤ ؛ تاريخ قبول النشر: ٢٠١١/٥/١٩

ملخص البحث:

تم في هذه الدراسة توظيف جهاز المضمن الصوتي الضوئي كمرشح ضوئي قابل للتوليف في وحدة الناشر الضوئي كجزء أساس في بناء منظومة تحليل الطيف الضوئي لمصباح الهالوجين عبر تقنية الترصيف الضوئي بين الليزر هليوم نيون ومصباح الهالوجين . تم تحليل طيف الانبعاث لمصباح الهالوجين وكان ضمن مدى طول موجي nm (438-911) وبعرض تحليل 1.4 nm . أظهرت المنظومة نجاحا وتطابقا في تحليل طيف النفاذية لمرشح بصري قياسي معروف يعمل عند ذروة الطول الموجي nm 554 وبعرض طيفي nm 100 .

Using of an Acousto optic modulator in pectrophotometer

Assist. Lect. Duraed Hazim Ahmad
College of Basic Education/ Mosul University

Abstract:

In this study an acousto- optic modulator had been implemented and investigated as a wave length tunable filter for halogen lamp in order to analyze its spectrum . This analysis had been performed with the aid of the He-Ne laser for alignment techniques of the halogen lamp .The wavelength of the lamp was (438-911) nm .

The experimental setup had been successfully able to analyze up to 1.4 nm resolution bandwidth of the halogen lamp spectrum .The results of this study confirm the ability of acousto -optic modulator to act as a tunable filter at a peak wavelength of 554 nm and bandwidth 100 nm .

١- المقدمة

تصنف الأجهزة البصرية التي تتعامل مع الضوء إلى مجموعتين الأولى تدعى بأجهزة تكوين الصور والثانية تدعى بأجهزة التحليل الضوئي ، الصنف الأول يعمل على تكوين صور الأجسام وعرضها كما في آلة التصوير، المجهر ، المنظار و عارض الطيف بينما تستخدم أجهزة الصنف الثاني لكشف معالم الطيف الكهرومغناطيسي الضوئي وتحليله وقياسه كالتردد و الطول الموجي و الشدة الضوئية كما هو الحال في أجهزة التحليل والقياس المتعارف عليها ميدانيا [1] كالمطياف الضوئي Spectrophotometer ، تحليل طيف الأشعة تحت الحمراء بتحويلات فوريير Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectrometer ، تحليل طيف الأشعة فوق البنفسجية بتحويلات فوريير Fourier Transform Ultraviolet Spectrometer (FTUV) و محلل الطيف بأسلوب المقارنة المكانية Spatial Heterodyne Spectroscopy (SHS) .

هذه الأجهزة تحلل الطيف الكهرومغناطيسي للمصادر الضوئية وتكشفه ومن ثم استخدامه في :-

تشخيص ومعرفة العناصر الداخلة لبعض المواد المعقدة التركيب ونسبة تركيزها عن طريق مقارنة أطيف الامتصاص التجريبية لهذه المواد بأطيف الامتصاص المرجعية القياسية والمعروفة عن كل عنصر ومطابقتها ، وهو علم المطيافية Spectroscopy .

معرفة طيف النفاذية أو الانعكاسية للعناصر الضوئية المستخدمة في معظم المنظومات والمعدات البصرية كالمرشح الضوئي ، المرآة ، المحلل ، المقطب ، ... [2].

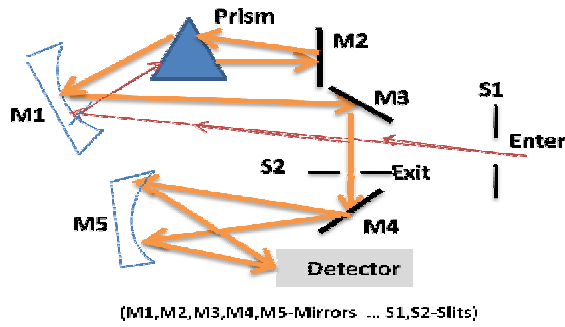
ولأهمية هذه الأجهزة في البحث والتشخيص والتحليل ضمن مديات طيفية مختلفة (تحت الحمراء، المرئي، فوق البنفسجية) وبخاصة في المراكز والمؤسسات البحثية والسيطرة النوعية تنوعت التقنيات والآليات المؤدية لهذا الغرض . وعلى العموم تضم هذه الأجهزة ثلاث وحدات رئيسية الأولى تمثل وحدة تسديد المصدر الضوئي Light collimating unite ووحدة انتقاء الطول الموجي Monochromatic unite التي يصاحبها النشر (التفريق) والمسح الضوئي Dispersing & Scanning Unit ثم وحدة التجميع والكشف الضوئي Focus & Detecting Unit [3] .

في هذه الدراسة تم تجميع نموذج لمنظومة تحليل الطيف الضوئي المرئي لمصباح الهالوجين وقياسه بالاعتماد على جهاز المضمن الصوتي الضوئي Acousto-Optic Tunable Filter (AOTF) كمرشح ضوئي قابل للتوليف وتقنية الترصيف الضوئي Light Alignment بين جهاز الليزر هليوم - نيون ، كمصدر ضوئي مرجعي بطول موجي معروف يتم من خلاله المعايرة ، ومصباح الهالوجين وذلك لتكوين وحدة النشر والمسح

والانتقاء الضوئي معا ، وقد أظهرت هذه الدراسة نجاح المنظومة في تحليل طيف انبعاث مصدر الهالوجين بمعدل قدرة تحليل 1.4 nm ضمن مدى طول موجي nm (438-911) فضلا عن التطابق بين النتائج القياسية والعملية لمرشح بصري ذي عرض طيفي 100 nm . فضلا عن إمكانية توظيف AOM كمرشح الكتروني لا يحتاج إلى المعايرة المتكررة وخال من مشاكل الحركة الميكانيكية المصاحبة لوحدة الناشر الضوئي [4,5] . فضلا عن أن شكل حزمة الإخراج للمضمن تكون دائرية مسددة مثالية للاقتران بالليف البصري على خلاف الشكل الشقي المتعارف عليه للأجهزة التقليدية [4] .

٢- الجزء النظري

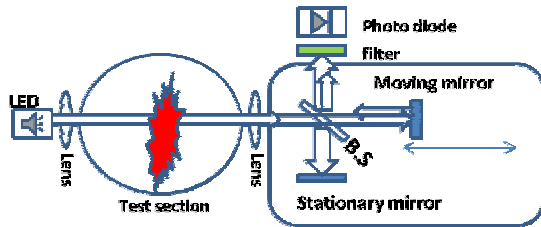
أ- الناشر الضوئي :-



الشكل (1) يوضح مكونات وحدة الناشر الضوئي [6]

يعد الناشر الضوئي في وحدة انتقاء الطول الموجي من أهم المكونات وأعقدها في التركيب فلا بد من تضمنه وحدة مسح ضوئي تمسح الضوء بأطواله الموجية المختلفة عبر الكاشف الضوئي بشكل متتابع متسلسل لذا يتطلب الأمر استخدام بعض الأجزاء الميكانيكية المتحركة وكما هو ملازم للأجهزة

التقليدية مثل FTIR , Grating Spectrometer ويوضح الشكلان (1) ، (2) بعض التقنيات المستخدمة كناشر ضوئي . الشكل (1) يبين أن أداة النشر هي موشور (أو محرز حيود) يعمل على نشر الضوء بينما يعمل شق الخروج S2 على تضيق الحزمة إذ إن موقعه يمثل مرجعا مكانيا للطول الموجي المار من خلاله . ولكي تتم عملية الكشف الضوئي لكل الأطوال الموجية لابد من وسيلة مسح تعمل على إسقاط كل الموجات وبالتتابع على الكاشف ليتم كشفها وتسجيل شدتها الضوئية [6,7] .



الشكل (2) يوضح مكونات الناشر الضوئي من خلال التداخل الضوئي لمنظومة FTUV [5]

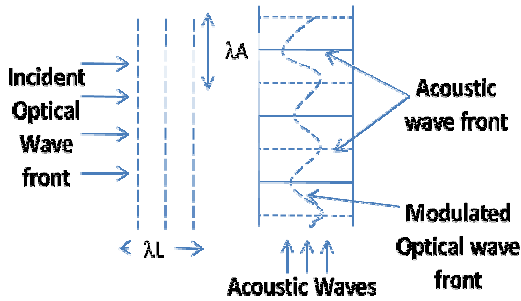
وحدة المسح بدءا تتم بطريقة ميكانيكية يدوية بطيئة ولهذا السبب تحتاج هذه الآلية إلى المعايرة المتكررة كما أنها ذات كفاءة انحراف ودقة واطئة فضلا عن أن حجم المنظومة كبير

نسبيا (طول المنظومة بحدود 0.5-1m) [4,5] . أو من خلال تقنية التداخل الضوئي الموضحة في الشكل (2) . وقد تميزت هذه التقنيات بالدقة العالية غير أنها صعبة التصنيع

يصاحبها الاهتزاز وعدم الاستقرار وخطا الترصيف الضوئي Misalignment الناتج عن عدم التطابق بين ذراعي المقياس ومن ثم المعايرة الدورية [4,5] .

ب- المضمن الصوتي الضوئي AOM :-

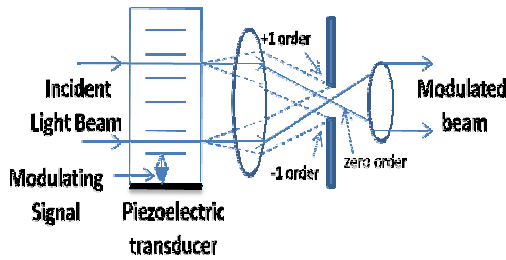
يحدث لبعض المواد عندما تكون تحت تأثير تضاعط موجة صوتية تغيير دوري في معامل انكسارها هذه التغيرات تتغير تبعا لقدرة الموجة الصوتية وطولها [1] فعند سقوط ضوء أحادي اللون (كالليزر) بطول موجي λ_L على وسط زجاجي يحوي الموجة الصوتية بطول موجي λ_A تتولد الموجة الصوتية من خلال محول الطاقة الكهربائية الضغطية Piezoelectric Transducer ، لذلك يتغير معامل انكسار الوسط تبعا للطول الموجي



الشكل (3) يوضح عمل المضمن الصوتي الضوئي [1]

للموجة الصوتية لاحظ الشكل (3) ، إذ تمثل الخطوط المتصلة أقصى موجة صوتية (تضاعط) والخطوط المنقطعة تمثل أدنى شدة للموجة الصوتية (تخلخل) [8,9] ، وعند دخول الضوء فان جزء جبهة الموجة القريب من أعلى ضغط سوف يواجه أعلى معامل انكسار وبالتالي ستقل سرعته مقارنة مع

الجزء القريب من اقل ضغط ، لذلك ستظهر جبهة موجة الضوء بشكل منحنى وتتكون الموجة الجيبية . عند انتقال موجة الضوء باتجاه عمودي على موجة الصوت فإنها ستحرف وبشكل



الشكل (4) يوضح عمل المضمن كمحز حيويد (حالة رامان) نفاذ [1]

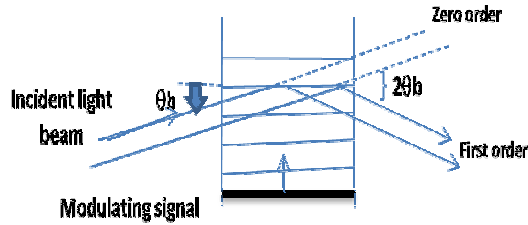
كلي عن اتجاه سقوطها مؤديا إلى إعادة التوزيع الفيزي للضوء بحيث يتمركز عند مناطق التضاعط ، هذا يعني أن الموجة الصوتية ستخلق محزز حيويد داخل الوسط يعمل على حيويد الضوء ولعدة مراتب . عمليا هناك حالتان أساسيتان يتم من خلالهما الحيويد

حالة رامان وحالة براك في الأولى يكون محزز الحيويد الصوتي أقل سمكا لذا فان الضوء المنحرف سوف لا يعاني إعادة التوزيع الفيزي بشكل كبير قبل مغادرته الوسط فضلا عن أن الضوء يسقط عموديا على البلورة وكما هو موضح بالشكل (4) .

وان معادلة الحيود لرامان ستمثل بالمعادلة الآتية [1]

$$m\lambda_L = \lambda_A \sin \theta_m \text{-----(1)}$$

. $m = 0, \pm 1, \pm 2$ مرتبة الحيود ، θ_m زاوية الحيود للمرتبة m .



بينما في حالة براك ، سقوط الضوء بزواوية على الموجة الصوتية ، الضوء المنحرف عن اتجاه سقوطه سوف يعاني إعادة التوزيع الفيزيائي بشكل أكبر قبل مغادرته الوسط ، تحت هذه الشروط سيكون تأثير

الشكل (5) يوضح عمل المضمن كمحز حيود (حيود براك) [1]

المجال الصوتي أكبر كما لو كان محز حيود سميك (حالة مشابهة لحيود براك للأشعة السينية عن المستويات الذرية البلورية) وكما هو موضح بالشكل (5) . تتحقق حالة حيود براك بالمعادلة الآتية [1]

$$\sin \theta_i = \sin \theta_B = m\lambda_L / 2\lambda_A \text{----- (2)}$$

θ_i زاوية السقوط للضوء ، θ_B زاوية الحيود للضوء .

هذا الحيود مشابه لأي حيود نحصل عليه عن طريق محزرات الحيود المستوية ولكن يختلف فقط بزواوية السقوط الخاصة التي يجب أن تساوي زاوية براك . تستخدم المرتبة الأولى فقط ($m = \pm 1$) في معظم التطبيقات العملية وان المعادلة التي تسمى زاوية سقوط الضوء لها بزواوية براك تصبح بالصيغة الآتية [1]

$$\sin \theta_B = \lambda_L / 2\lambda_A \text{----- (3)}$$

وفي حالة θ_B صغيرة يمكن اعتبار

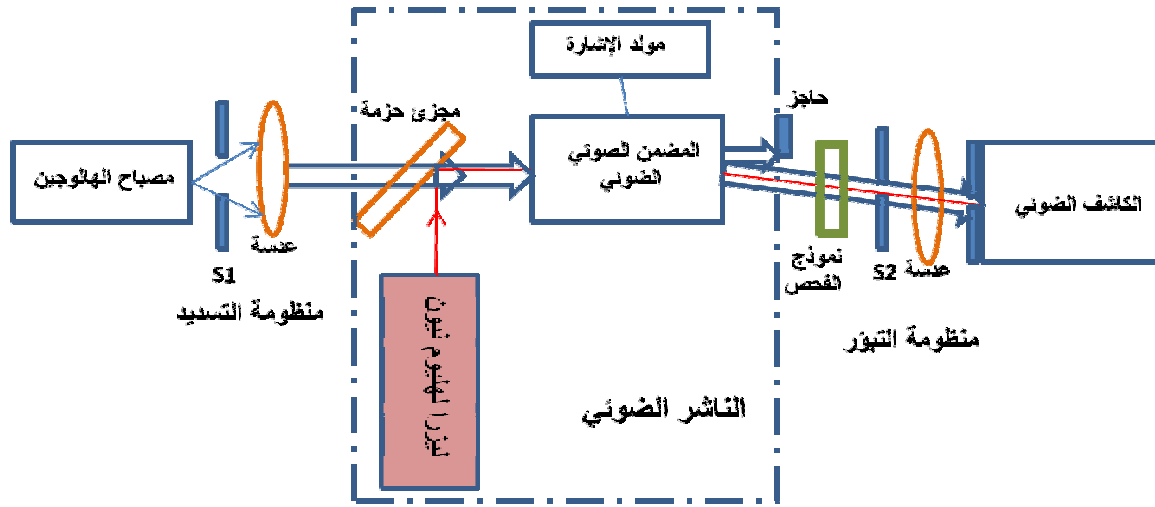
$$\sin \theta_B = \theta_B = \lambda_L f / 2V_a \text{----- (4)}$$

θ_B زاوية السقوط والحيود للأشعة الضوئية ، f تردد الموجة الصوتية الداخلة ، V_a سرعة الموجة الصوتية في الوسط .

في كلتا الحالتين ستكون حركة الموجات الصوتية خلال الوسط بتأثير محز حيود متحرك وبالتالي فان تردد الأشعة المحادة ذات المرتبة m ستعاني إزاحة دوبلر بمقدار $\pm m f$ ، هذا التغير في التردد يمكن عده أساسا للاستخدام في المضمنات الترددية Frequency Modulator [8,9] .

٣- الجزء العملي

تتكون منظومة التحليل الضوئي المستخدمة في الدراسة من الأجزاء الآتية والموضحة في الشكل (6).



الشكل (6) يوضح المخطط الكنتي المصمم في هذه الدراسة لمنظومة التحليل والقياس لتطبيق الصوتي

١ - المصدر الضوئي ومنظومة التسديد Halogen Light Source

تم استخدام مصباح الهالوجين (12VDC) المعروف بكونه ذي عرض طيفي واسع مدعم بمنظومة التسديد الضوئي Collimating Unit المتكونة من شق طولي S1 لدخول أشعة المصدر بحيث يقع في البؤرة الأولية لعدسة محدبة الوجهين ذات بعد بؤري 25cm تعمل على تسديد الأشعة على الناشر الضوئي .

٢ - وسيلة النشر والمسح الضوئي Monochromatic Unit

تم توظيف جهاز المضمن الصوتي الضوئي بالموصفات الآتية :-

Dense Flint Glass SF₆ , Refractive Index 1.8, Acoustic Velocity =3.509 km/s

جهاز مولد الإشارة Signal Generator وبالموصفات الآتية :-

Freq. (25-52) MHz , Amp.(6.4) Volt , Step (1) MHz كوحدة نشر

ومسح وانتقاء ضوئي . وللمضمن قابلية على نشر كل طول موجي بزواوية مختلفة . في حالة تثبيت التردد الصوتي f واستخدام مصدر ضوئي واسع الطيف ، فإنه يعمل كموشور أو محرز حيود في نشر الضوء المرئي بشكل متسلسل ابتداء من اللون البنفسجي وانتهاء باللون الأحمر [10,11] .

بينما تم المسح الزاوي ضمن الأعداد الموجية cm^{-1} (71.2-148.1) المكافئة للترددات الصوتية (25-52)MHz من خلال إتباع الخطوات الآتية :-
 أ- تثبيت موقع الكاشف الضوئي عند زاوية انحراف مرجعية $\theta_B = 3.252 \text{ mr}$ مناظرة لتردد صوتي مرجعي قيمته 36 MHz وطول موجي مرجعي لليزر هليوم- نيون معروف قيمته 632.8 nm وذلك بعد ترصيفه بصريا مع المصدر الضوئي .
 ب- مسح التردد الصوتي (ضمن الترددات الراديوية) وتغييره بوساطة التحكم الزمني للمسح الالكتروني الخاص بجهاز مولد الإشارة .

٣- جهاز ليزر الهليوم - نيون He-Ne laser

تم استخدام هذا الجهاز (بقدره 1mW) كمصدر ضوئي مرجعي يتم من خلاله تصفير الأطوال الموجية لمصباح الهالوجين ومعايرتها وتحديد الموقع المكاني للكاشف الضوئي بالاعتماد على آلية الترصيف مع المصدر الضوئي عبر مجزئ الحزمة المبين في الشكل (6) .

٤ - منظومة الكشف والتبئير الضوئي Detector with Focusing Unit

تم بناء منظومة الكشف الضوئي تعمل على تبئير الأشعة على الكاشف الضوئي تتكون من شق طولي S2 صغير بعرض 1mm لحجب الضوء غير المرغوب فيه "الأشعة الخلفية Background " مع عدسة محدبة الوجهين ذات بعد بؤري 25 cm . استخدم الكاشف الضوئي SI- Pin Photodiode [12] الخاص بجهاز قياس شدة الإضاءة (بوحدته Lux) لكشف شدة الطيف الضوئي وتسجيلها بعد أن ثبتنا عليه فتحة الدخول الدائرية ($50 \mu\text{m}$ Pinhole) وذلك للوصول إلى أقصى ترشيح فضائي High Spatial Filter .

٤- النتائج والمناقشة

أ- نتائج الانتقاء الضوئي

تم استخدام المعادلة (4) في إيجاد الأطوال الموجية المكافئة لطيف انبعاث مصدر الهالوجين والمدونة في الجدول (1) بعد اعتماد المسح الزاوي (الموضح في إجراءات الجزء العملي الخاص بوسيلة النشر والمسح الضوئي) للترددات الصوتية الداخلة في المضمن بتزايد ترددي مقداره 1 MHz. تم أيضا رسم طيف الانبعاث الضوئي للمصباح عبر كشف الشدة الضوئية لكل طول موجي وقد تبين بأنه يبعث معظم الضوء ضمن المدى (438-911) nm المتمركز حول الطول الموجي المرئي 669 nm وكما هو موضح بالشكل (7) .

ملاحظة : - تم اخذ بيانات الشدة الضوئية بعد رفع مجزئ الحزمة من أمام المصدر الضوئي و إتمام عملية الترصيف بين الليزر والمصدر الضوئي .

تم رسم الشكل (8) لدراسة شكل التغير بين التردد الصوتي الداخل والطول الموجي للمصدر الضوئي المناظر ، لاحظ المعادلة (4) ، والمطابق لما هو منشور في المستند الفني الخاص بشركة Panasonic المنتجة لهذا الجهاز [13] .

كذلك تم التحقق من عمل AOM كناشر ضوئي يحرف الأطوال الموجية المختلفة بزوايا مختلفة بشكل تتابعي لمسحة واحدة من خلال رسم العلاقة بين هذه المتغيرات والموضح في الشكل (9) فقد اتضح بان المضمن يسمح هذه الأطوال بمجال زاوي قدره (3.248-3.253) mrad .

تم رسم الشكل (10) لمعرفة قدرة التحليل للطول الموجي Resolving Power لعمل AOM كناشر ضوئي بالاعتماد على المعادلة (5) أدناه التي تصف قدرة التحليل R بدلالة الطول الموجي λ_L [14] . وقد تبين من خلال هذه الدراسة إمكانية تحليل عرض طيفي قدره $(\Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda_2 \approx 1.42 \text{ nm})$ بين طولين موجيين متجاورين وضمن $(0.92-1.92) \text{ nm}$ للأطوال الموجية $(438-911) \text{ nm}$.

$$R = \lambda_L / \Delta\lambda_L \text{ ----- (5)}$$

هذه النتيجة تتفق مع قدرة التحليل المتعارف عليها لمثل هذه المنظومات ، ذكرت شركة Panasonic ان مديات التحليل لعمل AOM كناشر ضوئي هي بحدود (0.4-2.3) nm لمدى موجي $(380-750) \text{ nm}$ [13] .

ب - نتائج عمل منظومة التحليل

لغرض اختبار عمل المنظومة تم فحص مرشح بصري قياسي بعرض طيفي $\text{FWHM} = 100 \text{ nm}$ عند منتصف أقصى شدة معروف طيف نفاذيته ضمن المدى المرئي $(450-700) \text{ nm}$ كنموذج للقياس (مرشح بصري خاص بجهاز قياس شدة الإضاءة [12]) والنتائج المعروضة في الجدول (2) والشكل (11) تشير إلى ذلك . هذه البيانات تعطي مدى النجاح والتطابق الكبير بين النتائج العملية وبين الطيف القياسي وبخاصة عند النهايات وعند ذروة الشدة التي تقع عند الطول الموجي 554 nm ذات اللون الأخضر، أما حالة عدم التطابق في بعض المناطق للبيانات المسجلة والقياسية فهذا يعزى إلى عدم نجاح الدقة في الترصيف الضوئي زيادة على تأثير الأشعة الخلفية غير المرغوب فيها إذ لا بد من التوازن بين حجم الفتحة الدائرية Pinhole المثبتة على الكاشف وبين الشدة المقاسة .

ان الوسط الفعال للمضمن المستخدم يمتلك طيف نفاذية ضمن الطيف المرئي [4] لهذا أصبح بالإمكان تحليل الطيف المرئي فقط .

٥- الاستنتاجات

أهم الاستنتاجات التي خلصت إليها هذه الدراسة :-

- إن توظيف المضمن الصوتي الضوئي كمرشح ضوئي قابل للتوليف في منظومة التحليل الضوئي ناجح وذات تحليل وتمييز طول موجي يصل إلى (0.92-1.92) nm بمعدل 1.42 nm وهذا المدى متعارف عليه عمليا لأجهزة المطياف المختبرية .

- المرشح واسع التوليف الضوئي (438-911) nm متعدد المطيافية وفقا لنوع AOM المستعمل .

- ضرورة ضبط دقة الترصيف الضوئي ونجاح الاقتران بين مصدري الليزر هليوم - نيون و الهالوجين في تصفير المنظومة وتحديد طيف انبعاث الهالوجين (12VDC) المتمركز عند ذروة الطول الموجي المرئي 554 nm .

- كل من المسح الضوئي و التحليل قابل للتغيير الأوتوماتيكي ، بالاعتماد على مواصفات مولد الإشارة المستخدم ، وخلق التقنية من مشاكل الحركة والمسح الميكانيكي ولا تحتاج إلى معايرة متكررة فضلا عن التقنين في وزن الناشر الضوئي وحجمه .

يمكن تعزيز هذه الدراسة وإثرائها مستقبلا من خلال تقصي تأثير التغيرات في زمن المسح وكمية التردد التزايدى Step of frequency على قدرة التحليل . فضلا عن استبدال الليزر هليوم -نيون بثنائي الليزر كونه اقل استهلاكا للطاقة واصغر حجما وتوظيف AOM في التطبيقات العملية التي تتطلب وسيلة مسح ضوئي كأجهزة تحليل طيف الإشارة الكهربائية بصريا Optical Signal Spectrum Analyzer .

الجدول (2)

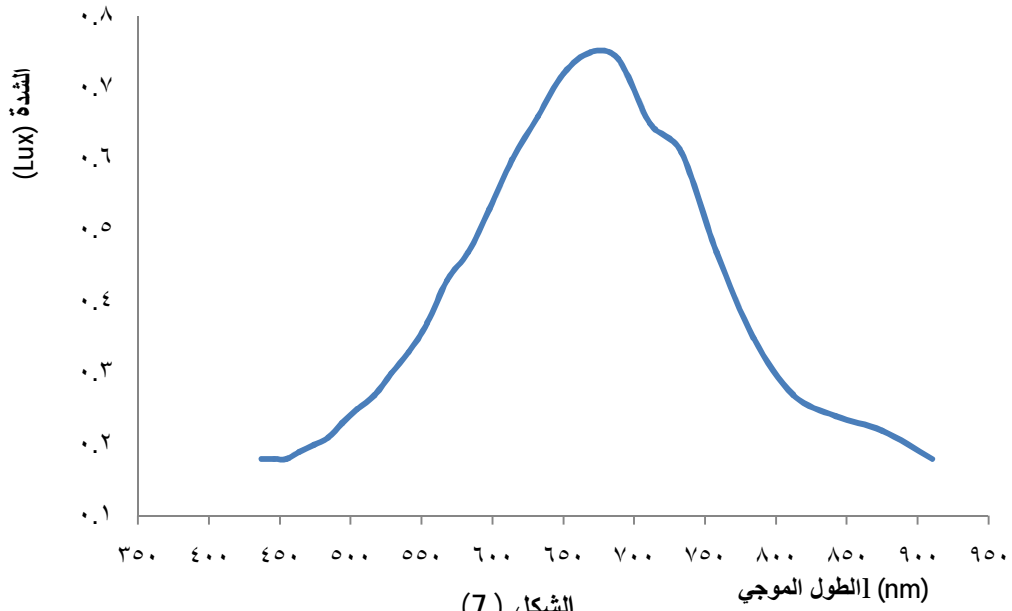
يوضح نتائج قياس الشدة الضوئية لطيف نفاذية المرشح البصري

الطول الموجي للضوء l (mm)	الشدة للمرشح الضوئي. I (Lux)
0.911	0.03
0.876	0.03
0.843	0.03
0.813	0.03
0.785	0.03
0.759	0.03
0.734	0.03
0.711	0.03
0.690	0.03
0.669	0.04
0.650	0.05
0.632 ref.	0.07 ref.
0.615	0.09
0.599	0.12
0.584	0.14
0.569	0.15
0.555	0.15
0.542	0.15
0.529	0.14
0.517	0.12
0.506	0.11
0.495	0.09
0.484	0.08
0.474	0.07
0.464	0.06
0.455	0.05
0.446	0.04
0.438	0.03

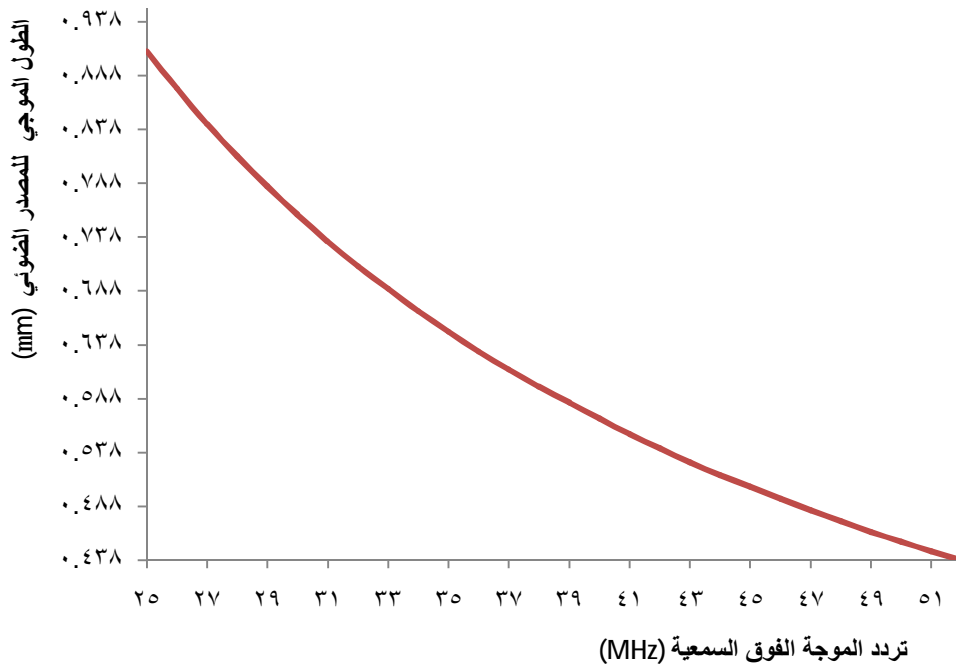
الجدول (1)

يوضح نتائج الانتقاء الضوئي للمضمن الصوتي البصري

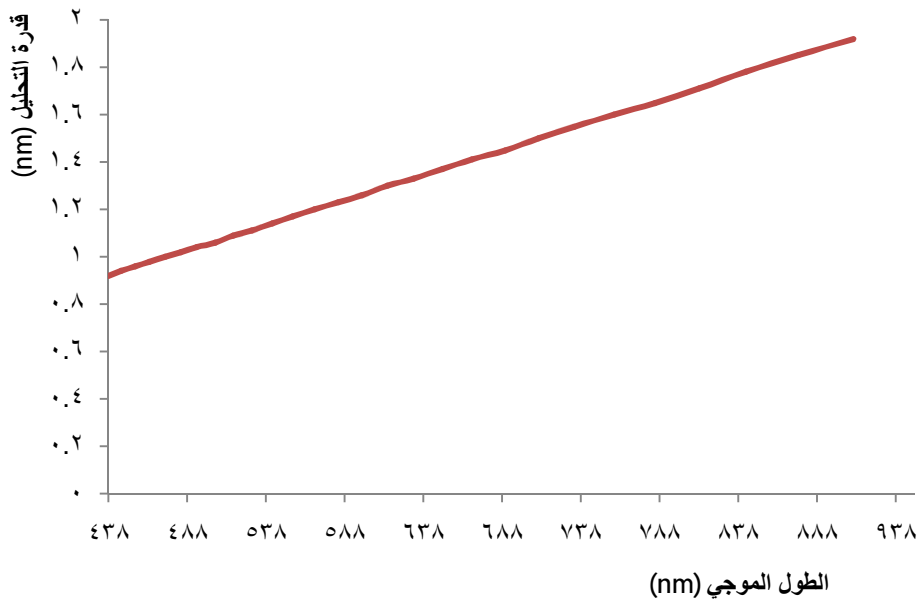
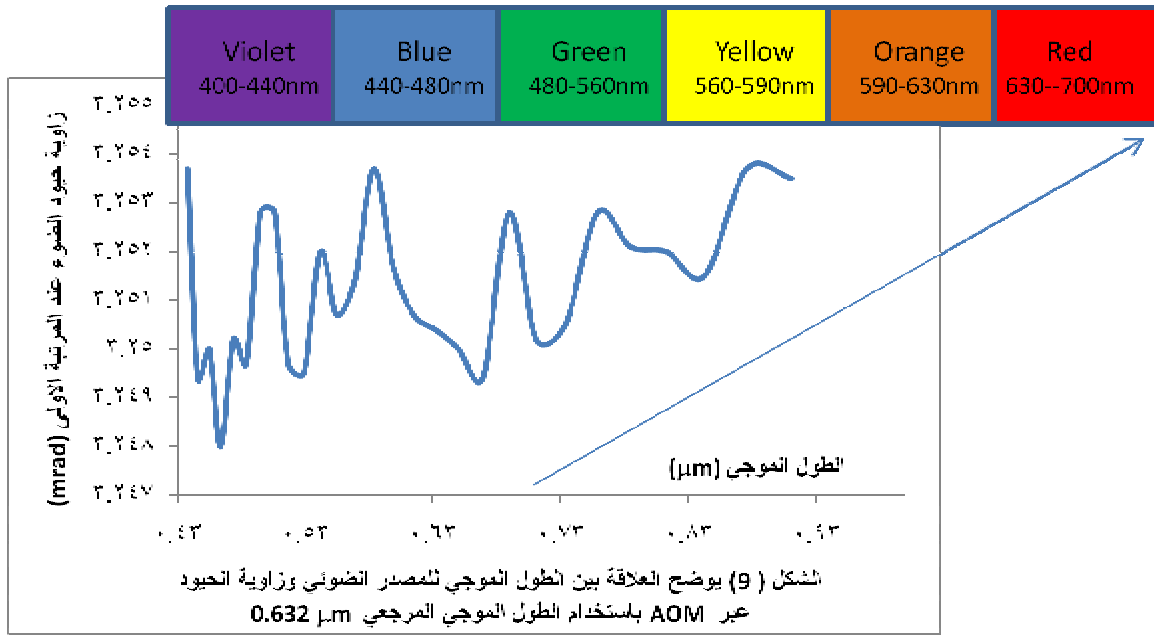
الطول الموجي للضوء l (mm)	التردد فوق الصوتي F (MHz)	شدة المصدر الضوئي I ₀ (Lux)
0.911	25	0.18
0.876	26	0.22
0.843	27	0.24
0.813	28	0.27
0.785	29	0.35
0.759	30	0.47
0.734	31	0.61
0.711	32	0.65
0.690	33	0.74
0.669	34	0.75
0.650	35	0.72
0.632 ref.	36 ref.	0.66
0.615	37	0.60
0.599	38	0.53
0.584	39	0.47
0.569	40	0.43
0.555	41	0.37
0.542	42	0.33
0.529	43	0.30
0.517	44	0.27
0.506	45	0.25
0.495	46	0.23
0.484	47	0.21
0.474	48	0.20
0.464	49	0.19
0.455	50	0.18
0.446	51	0.18
0.438	52	0.18

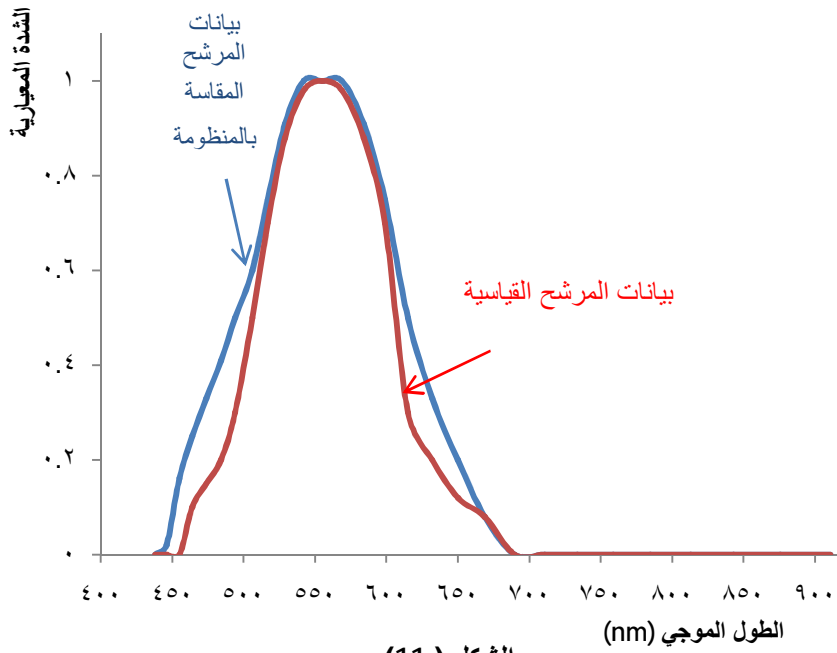


يوضح قياس طيف المصدر الضوئي المستخدم (الهالوجين 12vdc) والمقاس بالمنظومة المصممة في هذه الدراسة



العلاقة بين تردد الموجات الفوق السمعية والطول الموجي للمصدر الضوئي عند زاوية حيود مرجعية
 $0.632.8\text{mm}$ للطول الموجي 325.02 nrad





الشكل (11)
يوضح اختبار عمل المنظومة لتحليل طيف النفاذية لمرشح بصري
قياسي

المصادر:-

- 1- P.J.Dean , Optoelectronics : An introduction, p.111-115,1983.
- 2- F. Weston Sears, Optics, p.160,1964.
- 3- I. Etal , Spectrophotometer, United States Patent ,4, Oct.2,1979.
- 4- web: <http://www.brimrose.com>.
- 5- B. Renata , " Instrumentation for Absorption Spectroscopy measurements in the Ultraviolet", M.S.thesis ,University of Wisconsin-Madison, 2007 .
- 6 -T. Etal , Spectrophotometer , United States Patent,4,70,112,Jan.24,1978.
- 7- F. Jarlie , Spectrophotometer , United States Patent,4,193,691, Mar.18,1980.
- 8- F. Burck , "Ultrahigh Resolution Stimulated Raman Spectroscopy: Detection Technique and Applications", Laser Physics ,vol.11,no.10 ,pp.1073-1075. 2001.
- 9- A. Mahieux , " A new method for determining the transfer function of an Acousto optical tunable filter ", Opt. Exp. ,Vol.17, No.3, 2009 .
- 10- H. Meller , "Development and application of AOM background correction for inductively coupled plasma atomic emission spectrometry", Appl.Spectrosc. , 57(6):703-10 , 2003.
- 11- A. Hirai , "Heterodyne Fourier Transform spectroscopy using moving Diffraction Grating "Jpn.J.Appl.phys.40 , pp.6138-6142. 2001.
- 12-Technical Document for the Calibration and Measurement of the Photometer / Radiometer Equipments , Ealing company, 2000 .
- 13- Acousto-Optic Devices ,Tunable Filters , Type :EFLF, Data sheet for Panasonic company , Mar. 2010
- 14- A. Raymond , Physics for Scientists and Engineers , 6th edition, Serway, 2008.