Rafidain Journal of Science
https://rsci.uomosul.edu.iq
Vol. 34, No. 1, pp. 1-11, March/ 2025

استخدام ليزر الهيليوم–نيون في تطبيقات طيف رامان بواسطة مطياف مصنع محليا

حمزة محمد الدليمي **ياسر عبد الجواد الجوادي**
جامعة الموصل/ كلية العلوم/ قسم الفيزياء
رائد احمد نوري الوزان
مركز التطوير والبحث/ شركة اندور التكنولوجية/ بلفاست/ المملكة المتحدة

p-ISSN: 1608-9391
e -ISSN: 2664-2786

Article information

Received: 10/6/2024
Revised: 3/8/2024
Accepted: 13/8/2024

DOI: 10.33899/rjs.2025.186504

corresponding author:
حمزة محمد الدليمي
Hamzah.21scp6@student.uomosul.edu.iq

الملخص

تعتبر تقنية التحليل الطيفي بواسطة طيف رامان من التقنيات المهمة والشائعة في مجال تحليل المواد ودراستها والمستخدمة في العديد من التطبيقات. استخدم في هذه الدراسة ليزر الهيليوم-نيون (He-Ne) ذو الطول الموجي (632.8 نانومتر) مع مطياف محلي الصنع ببعد بؤري (261mm) مرتبط بكاميرا دقيقة تحتوي على شريحة سيليكون من نوع (CCD). تم استخدام الشق (Slit) كمدخل للإشارة بدلاً من الليف البصري، ومن مميزاته أنه يمكننا التحكم يدويًا في عرضه باستخدام الماكروميتر. وتم استخدام ثلاث مرايا، الأولى مرآة مسطحة عاكسة، كان الغرض منها الحصول على البعد البؤري المطلوب. أما المرآة الثانية فهي كروية وتسمى بالمرآة المجمعة. تقوم بتجميع الأشعة المنعكسة من المرآة المستوية باتجاه المحزز. والثالثة هي مرآة بيضوية تحتوي على قطرين مختلفين، أي طولين بؤريين وذلك لتقليل الزيغ، وتسمى مرآة التركيز. تقوم بتركيز الأشعة بعد تحليلها وإسقاطها على كاشف CCD. ظهر لليزر خطوط طيفية شكلت عائقا خلال العمل في مجال مطيافية رامان تسمى خطوط البلازما بسبب شدتها العالية مقارنة بالشدة الضعيفة لإشارة رامان. تم دراسة طيف رامان لبعض العينات ومقارنتها مع المراجع والمصادر العالمية.

الكلمات الدالة: الليزر، مطياف، مطيافية رامان، خطوط البلازما.

This is an open access article under the CC BY 4.0 license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

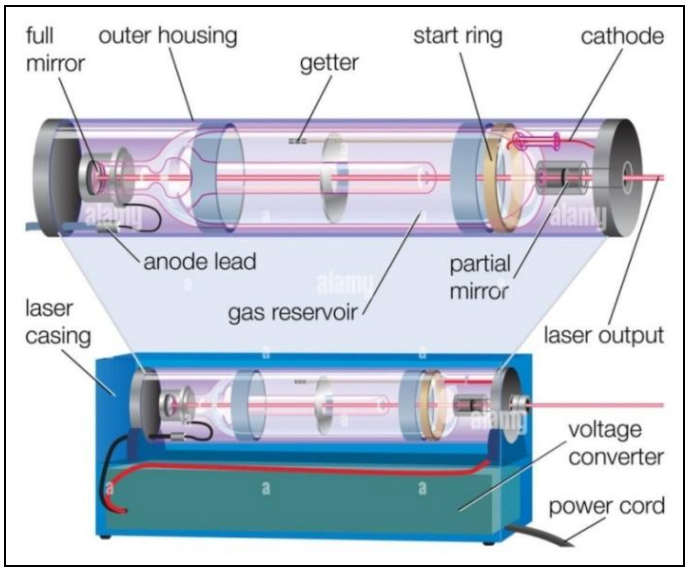
المقدمة

تعتبر تقنية التحليل الطيفي بواسطة طيف رامان من التقنيات المهمة والشائعة في مجال تحليل المواد ودراستها مثل دراسة اشباه الموصلات (Verma *et al.*, 1995). وكذلك توفر مطيافية رامان معلومات عن طبيعة الاهتزازات للعينة قيد الدراسة (Das and Agrawal, 2011). يُظهر طيف رامان لأنماط مختلفة من المواد المتبلورة أو غير المتبلورة تغيرات مع درجة الحرارة. وتشمل هذه التغييرات عرض الخط الطيفي للإشارة وشدتها (Verma *et al.*, 1995). كما يعد طيف رامان أداة سريرية ناجحة لتشخيص الأمراض، ويعطي تقييما موقعيا للأنسجة الحية، وطريقة تحليلية مهمة في التطبيقات الصيدلانية (Hanlon *et al.*, 2000; Verma *et al.*, 1995). في الحقيقة، هناك تطبيقات غير محدودة في مجالات دراسة رامان مثل: علوم المواد، علم الأحياء، علم الطب الشرعي، المستحضرات الصيدلانية، التشخيص، السوائل الغازية، مجالات علوم الأرض والكواكب، الفنون وعلم الآثار، وتحديد طور المعادن (Smith and Dent, 2005; Das and Agrawal, 2011; Frezzotti *et al.*, 2012; Paudel *et al.*, 2015; Pasteris and Olivier, 2020).

وللمطياف تطبيقات واستخدامات بحثية عديدة ليس فقط في مجال مطيافية رامان، كذلك ممكن استخدام المطياف في بحوث البلازما مثل قياس درجة حرارة البلازما لغاز معين وقياس درجة حرارة الالكترون (Al-Agha, 2022; Alaqa *et al.*, 2022).

استخدمنا في هذه الدراسة الليزر الذي يعتبر من اهم الادوات المستخدمة في دراسة طيف رامان وكما هو معروف هناك انواع مختلفة من الليزرات منها الليزرات الغازية. تبعث معظم الليزرات الغازية اشعة ليزر في المنطقة المرئية. مثل ليزر الكريبتون، والأرجون، وليزر الهيليوم-نيون (He-Ne) ذي الطول الموجي (632.8 نانومتر)، الذي تم استخدامه في هذه دراستنا.

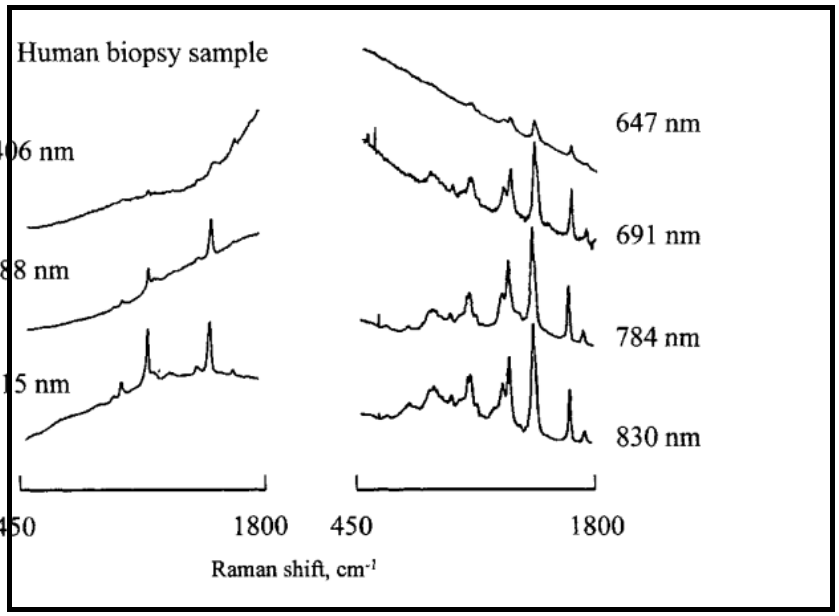
تنتج أشعة الليزر الغازية طيفًا كهرومغناطيسيًا في المنطقة المرئية بشكل رئيسي. المكونات الأساسية لليزرات الغازية موضحة في الشكل (1).



الشكل 1: المكونات الاساسية لليزرات الغازية. (alamy.com, image id BCE73P)

يمكن استخدام الطول الموجي لليزر الهليوم–نيون (632.8) مع أجهزة قياس الطيف لدراسات رامان. المسؤول عن خرج الليزر هي ذرات النيون. وكما هو معروف فان ذرات الهيليوم لها دور مساعد في عملية تهييج ذرات النيون. من مميزات ليزر الهيليوم–نيون انه أصغر حجما واقل تكلفة من الليزرات الايونية. وعليه تكون القدرة الليزرية له اقل بكثير مقارنة مع ليزر الاركون الايوني. قيمة القدرة الليزرية تقدر بحوالي (0.5–100) ملي واط للطول الموجي 632.8 نانومتر (McCreery, 2005).

يكون عرض الخط الطيفي ضيقًا بالنسبة لمعظم التطبيقات لطيف رامان. تنتج أشعة الليزر He-Ne قائمة من خطوط الانبعاث الذري تسمى "خطوط البلازما" وهي ناتجة من الوسط الفعال لليزر ويجب تصفيتها باستخدام مرشحات خاصة قبل الوصول إلى العينة. (McCreery, 2005) يتم استخدام ليزر He-Ne في تطبيقات رامان ذات طاقة مناسبة ودقة لليزر 632.8 نانومتر. يتميز ليزر He-Ne بخصائص قيمة مثل العمر الطويل ودقة التردد والتكلفة المنخفضة. بالإضافة إلى ذلك، فإن الطول الموجي 632.8 نانومتر يؤدي إلى تشتت رامان في النطاق (632 إلى 815) نانومتر، والذي يتضمن منطقة حساسة واسعة من رقائق السيليكون CCDs (رقائق CCD Si، والتي تستخدم في دراستنا). ومع ذلك، فإن احتمالية تداخل الفلورة تكون اقل كلما زادت قيمة الطول الموجي لليزر المستخدم (Wikström *et al.*, 2005)، وغالبًا ما يحتاج 632.8 نانومتر إلى اللون الأحمر بدرجة كافية. كما هو موضح في الشكل (2) بالنسبة للعينة البشرية، كانت أطياف 647 نانومتر أقل من أطياف 488 نانومتر ولكن ليست منخفضة مثل أطياف 785 نانومتر. كما تعد تكلفة التشغيل المنخفضة لأشعة لليزر الهيليوم– نيون ميزة جيدة لاستخدامه في مطيافية رامان (McCreery, 2005).



الشكل 2: طيف رامان لعينة من ثدي بشري سليم (McCreery, R.L. 2005).

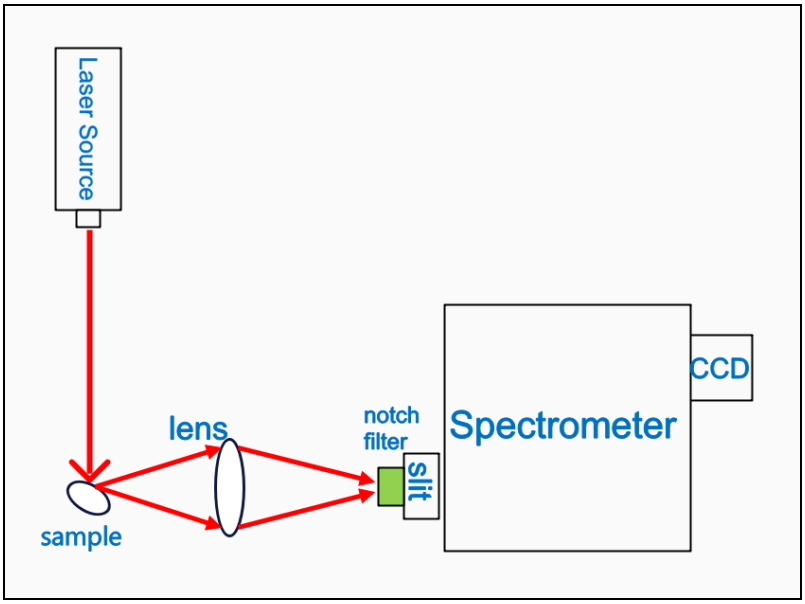
كما تم ذكره تنتج أشعة لليزر الهيليوم–نيون قائمة من خطوط الانبعاث الذري تسمى "خطوط البلازما" ويجب ازالتها باستخدام مرشحات خاصة قبل الوصول إلى العينة. يبين (الجدول 1) خطوط البلازما لليزرHe-Ne، والتي يمكن استخدامها لمعايرة جهاز قياس الطيف. تسبب خطوط البلازما مشكلة في دراسات رامان ما لم يتم استخدام المرشحات الضوئية المناسبة. تُستخدم هذه المرشحات لإزالة الخطوط غير المرغوب فيها من ليزر He-Ne. وهناك مشكلة أخرى هي أن كل خط طيفي يحتاج إلى مرشح خاص به، مما قد يتسبب في عدم اكتمال التصفية بسبب التداخل بين هذه المرشحات. يجدر الاشارة الى انه من السهل التعرف على خطوط البلازما مقارنةً بإشارات رامان نظرًا لشدتها الحادة (Ferraro *et al.*, 2003).

الجدول 1: خطوط البلازما الرئيسية لليزر الهيليوم–نيون. (Ferraro *et al.*, 2003)

Wavelength in air (nm)	Relative intensity	Wavelength in air (nm)	Relative intensity
638.299	53	706.519	31
640.108	>100	717.394	4
640.975	31	724.517	5
644.472	30	728.135	11
650.653	50	748.887	0.5
659.895	41	753.577	0.4
667.815	91	754.405	0.3
667.828	91	777.730	5
671.704	36	794.318	0.1
692.947	19	813.641	0.2

المواد والاساليب البحثية

تم العمل في هذا البحث في مختبر بحوث البلازما في جامعة الموصل\ كلية العلوم\ قسم الفيزياء. استخدم في هذا البحث مطياف تشيرني–تيرنر (S261mm) محلي الصنع (بدقة 0.1 نانومتر) يحتوي على فتحة (slit) بقياس (10 ميكرومتر)، ومرايا الاولى كروية والثانية بيضوية (toroidal)، محزز الحيود (1200 line/mm)، جهاز كاشف الاشارة–شريحة CCD وكاميرا متصلة بالحاسوب لتحليل الإشارة. الليزر المستخدم في هذا العمل هو ليزر الهيليوم نيون ذو الطول الموجي (632.8 نانومتر) (made in Japan by Nippon Electric Co. Ltd (Model No. GLG058, Serial No. 1291)) المتوفر في كلية العلوم\ قسم الفيزياء وكانت قوة الليزر المستخدمة (50mW). تم استخدام مرشح خاص يسمى (notch filter) لمنع الطول الموجي 632.8 من الدخول للطيف والكاشف. ترتيب الأجهزة والادوات مبينه في الشكل (3)، تم استخدام طريقة هندسية بزاوية 90^0 للكشف عن اشارة رامان (McCreery, 2005).



الشكل 3: ترتيب الاجهزة والادوات في البحث.

في دراستنا تم استخدام كاميرا نوع (I-VAC, CCD) لتحليل الإشارة من خلال برنامج AndorSOLIS الحاسوبي من شركة Andor Technology.

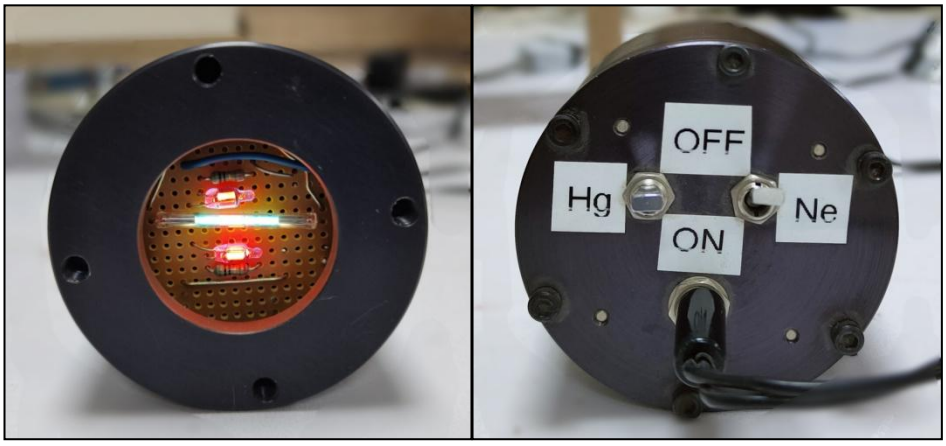
النتائج والمناقشة

1- معايرة المطياف:

تتم معايرة المحور الأفقي في برنامج (Andor SOLIS) عن طريق تحويل قيمة البيكسل على الشاشة إلى قيمة الطول الموجي في البداية. عند معايرة مقياس الطيف، نستخدم مصادر للمعايرة، وهي مصادر ضوئية أساسية ذات أطوال موجية معروفة (تعتبر مرجعا قياسيا). لقد اعتمدنا في هذه الدراسة على مصدرين أساسيين للضوء، كما هو موضح في الشكل (4)، وهما:

1- ضوء النيون (Ne).

2- ضوء الزئبق (Hg).



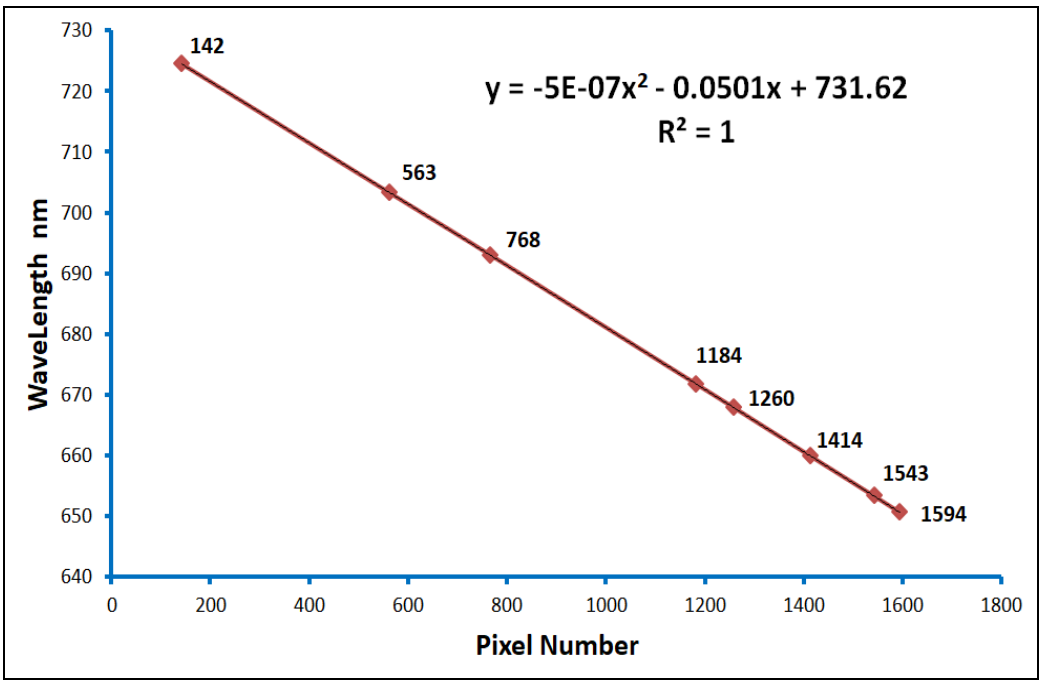
الشكل 4: المصادر القياسية المستخدمة لمعايرة المطياف.

ويعتبر مصدر الضوء في الواقع نوعا من البلازما البسيطة والعملية، حيث يتكون المصباحان من أنبوبين مفرغين يحتويان على غاز النيون أو الزئبق، عندما يتحول جهد (5 فولت) إلى جهد عالي ويحدث التأين للغاز داخل الأنبوب الزجاجي، وتتولد بلازما.

عند المعايرة، يتم تشغيل مصدر الضوء ووضعه أمام مدخل الإشارة إلى المطياف (slit). يدخل الضوء ويتم الكشف عن فوتوناته بواسطة كاشف CCD، ويتم تحليل الإشارة على شاشة الحاسوب على شكل قمم وخطوط في مواقع مختلفة. بعد ظهور طيف المصدر المستخدم، تتم المعايرة من شريط الأوامر في نافذة البرنامج. عمليا تم تسجيل كل قيمة بيكسل على الشاشة وبما يقابله من طول موجي للمصادر المستخدمة (غاز النيون والزئبق) وكما في (الجدول 2) حيث يمكن رسم العلاقة البيانية بين موقع البيكسل والطول الموجي وتمثيلها بمعادلة من الدرجة الثانية، كما في الشكل (5).

الجدول 2: تحويل قيمة البيكسل الى قيمة الطول الموجي.

λ (nm)	650.653	653.288	659.895	667.828	671.704	692.947	703.241	724.517
Pixel number	1594	1543	1414	1260	1184	768	563	142



الشكل 5: العلاقة بين قيمة البيكسل والطول الموجي.

المعادلة رياضية في الشكل (5) هي من الدرجة الثانية تم استنتاجها من الرسم البياني وفائدتها معرفة الطول الموجي الصحيح من معرفة قيمة رقم البيكسل والعكس صحيح. حيث يمثل البيكسل هندسيا موقع الخلية لشريحة السيليكون، وفيزيائيا يمثل الموقع الذي تسقط عليه فوتونات الطيف الساقط ويتم ترجمتها على الشاشة كإشارة تمثل الطيف الساقط على شريحة السيليكون. يجدر الاشارة الى انه يمكن استخدام خطوط البلازما لليزر في معايرة المطياف.

2- ازاحة رامان (Raman Shift):

عند استخدام المطياف في تطبيقات مطيافية رامان لتحليل إشارة رامان وهي بصمة خاصة لكل عنصر أو مركب، يجب علينا أولاً معرفة مواقع خطوط طيف رامان (إزاحة رامان) من المراجع العالمية والأبحاث العلمية الخاصة بالمادة. بعد عملية المعايرة يجب تغيير المحور الأفقي وإعادة معايرته من قياس الطول الموجي إلى قياس إزاحة رامان من قائمة الأدوات في برنامج Andor SOLIS.

إن إضافة الطول الموجي لليزر المستخدم ضروري جداً لحساب إزاحة رامان (فرق الطاقة) وبالتالي حساب موضع الخط في الطيف، كما في المعادلة (Dubessy *et al.*, 2012):

$$\text{Raman Shift} = \frac{1}{\lambda 0} - \frac{1}{\lambda stoke} \quad (cm^{-1}) \quad \text{.....(1)}$$

حيث λ_0 : الطول الموجي لليزر وλ_{Stoke} : الطول الموجي لإشارة رامان (Stoke Raman).

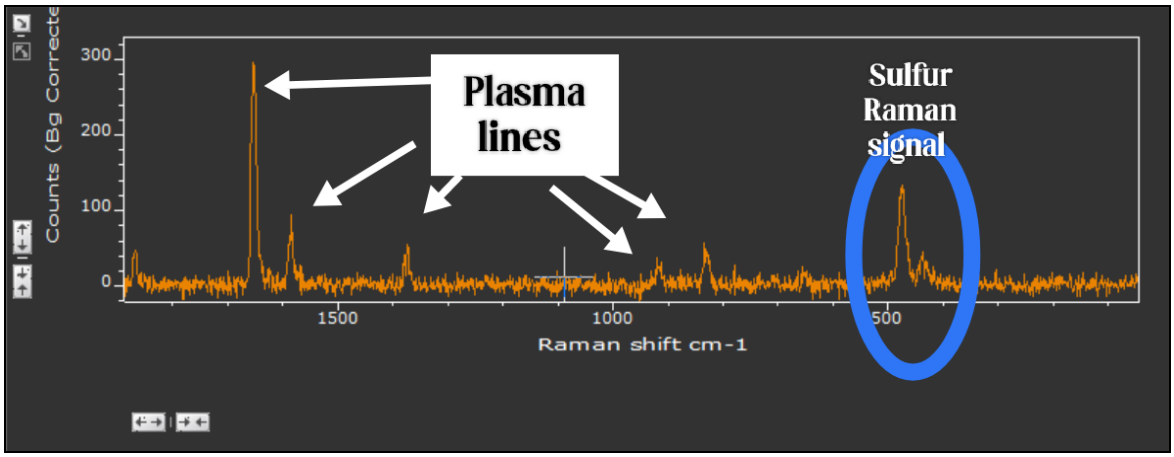
تمت برمجة المعادلة أعلاه في برنامج Andor SOLIS، ويقوم البرنامج تلقائيًا بحساب إزاحة رامان عند كل موضع للبيكسل في كاشف CCD.

3- نتائج طيف رامان:

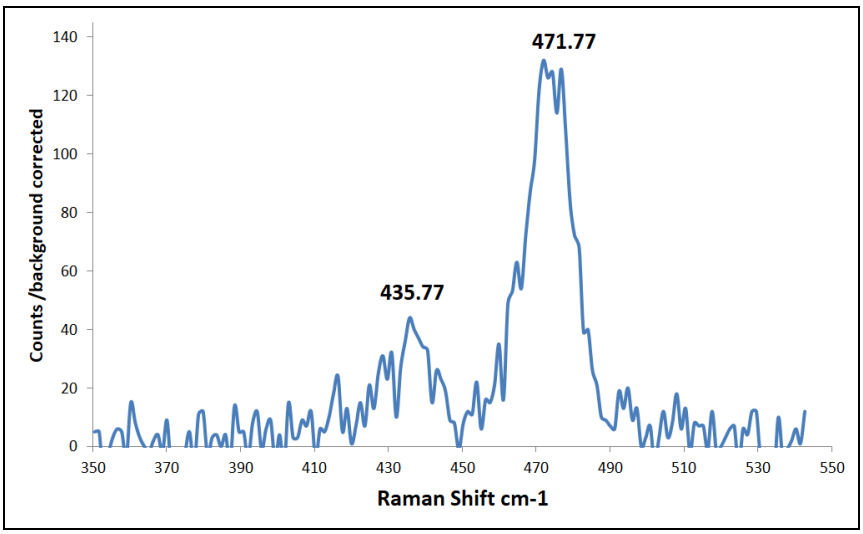
يتطلب العمل باستخدام مطيافية رامان دقة عالية وشروطًا خاصة للحصول على إشارة رامان الضعيفة كما هو معروف. والسبب يعود إلى ظهور خطوط بلازما ليزر الهيليوم والنيون والتي لم تكن تؤخذ بعين الاعتبار في بداية العمل في هذا المجال. ان اول عينة تم الحصول على طيف رامان الخاص بها هي الكبريت الصلب، الموضح في الشكل (6).

الشكل 6: الكبريت بشكله الصلب.

يحتوي طيف رامان للكبريت على أكثر من خط، ويعتمد ظهور هذه الخطوط على ظروف معينة مثل درجة الحرارة والضغط. تم اكتشاف خطين رئيسيين في طيف رامان للكبريت. إن إزاحة رامان لهذين الخطين هي cm^{-1} (435.77 و471.99) تحت الظروف التالية: درجة حرارة الغرفة، التعرض لمدة ثانية واحدة، الكاشف CCD مبرد لدرجة (C^0 10-)، عرض الشق (slit) 30 مايكرومتر، تم تصحيح الخلفية وتم استخدام المحزز 1200 line/mm، الشكل (7) يبين الإشارة الإجمالية المكتشفة بما في ذلك طيف رامان للكبريت وخطوط البلازما معا. بينما يوضح الشكل (8) إشارة رامان فقط.

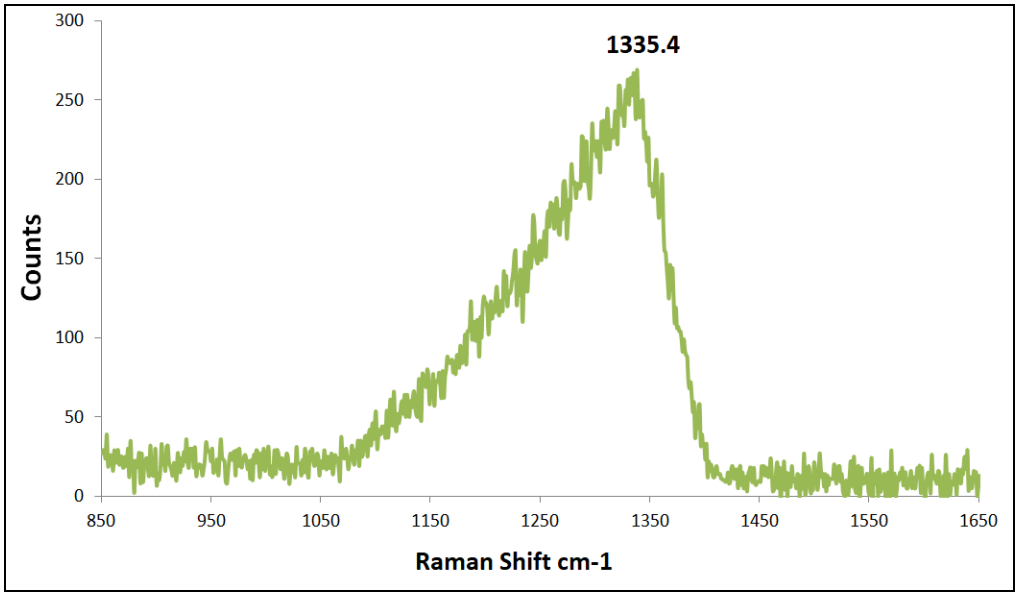


الشكل 7: طيف رامان للكبريت الصلب وخطوط البلازما.

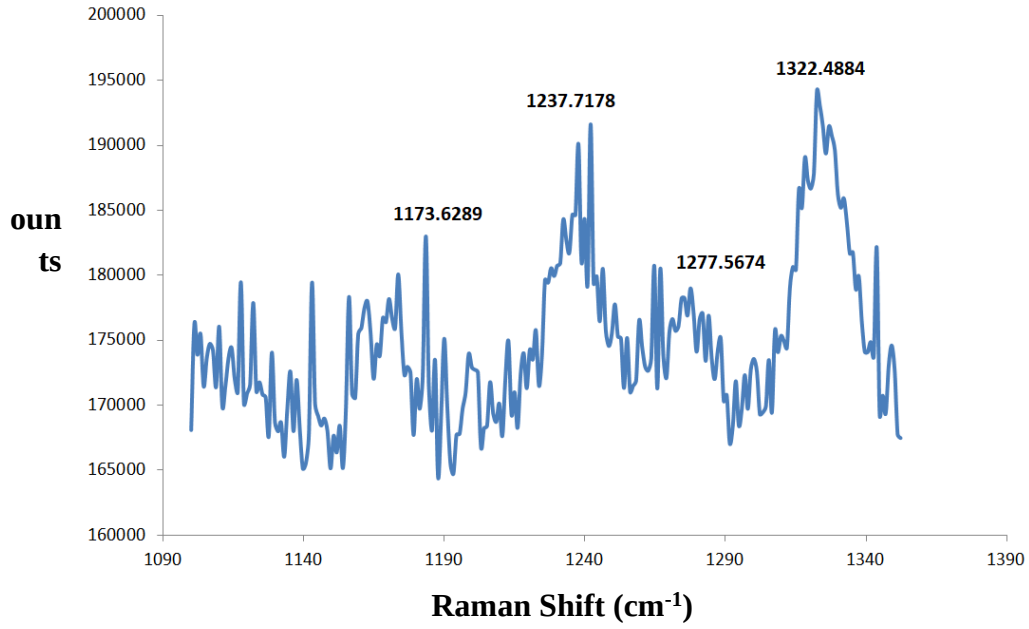


الشكل 8: طيف رامان للكبريت الصلب (Sulphur).

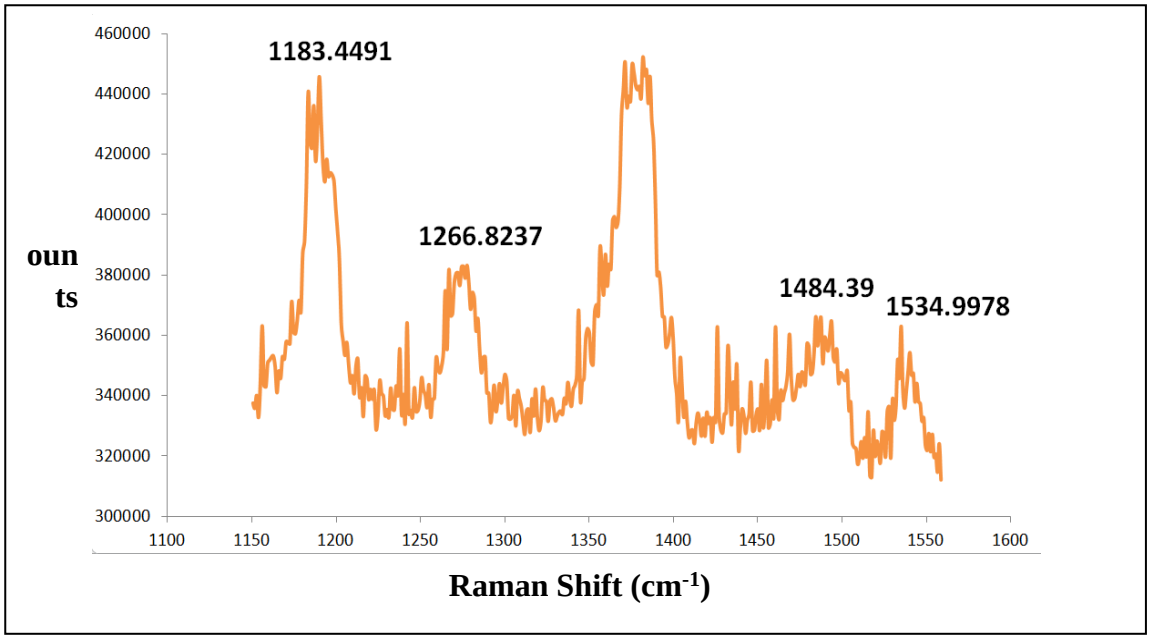
وبنفس الطريقة اعلاه تم الحصول على اشارة رامان لمواد اخرى مثل شائبة نترايد البورون (Boron nitride) كما في الشكل (9) وكذلك اشارة رامان لبعض المواد الصيدلانية مثل البارسيتامول (Acetaminophen) والميترونيدازول (Metronidazole) كما في الاشكال (10 و11).



الشكل 9: اشارة رامان للشائبة نترايد البورون (Boron nitride).



الشكل 10: اشارة رامان للباراسيتامول (Acetaminophen).



الشكل 11: اشارة رامان للميترونيدازول (Metronidazole).

الاستنتاجات

في هذه البحث، تم العمل في مجال مطيافية رامان للتحقق من صلاحية تشغيل المطياف في مجال التحليل الطيفي للمواد. من المزايا المهمة لمطيافية رامان سهولة إعداد العينة والتنوع العالي في الكشف عن المواد. وبعد معايرة الجهاز والتأكد من تشغيله، تم استخدام ليزر الهيليوم–نيون كمصدر لإثارة العينة المستهدفة. ان طاقة اشعة الليزر هي المسؤولة عن تهييج ذرات العينة والتي تعطي اشارة رامان الخاصة بالعينة الهدف (Stoke Raman). عند دراسة طيف رامان لعينات مثل الكبريت والباراسيتامول و الميترونيدازول، كان طيف العينات مطابقا للمصادر العالمية. يعتمد وضوح وشدة طيف رامان لأي عينة على عوامل عديدة أهمها:

1- نوع الليزر المستخدم في الدراسة (خطوط البلازما التي ظهرت أثناء الدراسة والناتجة عن الوسط النشط لليزر He-Ne كان لها تأثير سلبي على العمل في مطيافية رامان).

2- وقت التعرض لالتقاط الإشارة (تسجيل إشارة لمدة 1 ثانية يعطي كثافة أقل بكثير من مدة التعرض لمدة 5 ثانية، لنفس العينة).

3- التشويش على الاشارة. ومن الناحية العملية، خلال الدراسة، تم تصحيح الخلفية إلى أدنى حد ممكن عن طريق طرح إشارة الخلفية بواسطة البرنامج Andor SOLIS.

4- عرض الفتحة (slit width)، يعد عرض الشق مهمًا جدًا للتحكم في كمية الضوء التي تدخل إلى المطياف. خلال هذه الدراسة، لم يتم الحصول على طيف رامان عندما كان عرض الشق 10 مايكرومتر. تم الحصول على طيف رامان بعرض 20 ميكرون أو أكثر. وقد وجد أن أفضل عرض للشق الذي يعطينا طيف رامان كان 30 و35 مايكرومتر.

5- نوع محزز الحيود المستخدم، كلما زادت عدد الخطوط، كان التحليل الطيفي أفضل وأوضح. أثناء دراسة مطيافية رامان، كان من الأفضل استخدام المحزز ذو 1200 line/mm لأن قدرته التحليلية أكبر وتعطي تفاصيل دقيقة عن الطيف المطلوب.

العامل الآخر الذي أثر سلبًا على العمل في مطيافية رامان هو عامل الفلورة (Fluorescence). فبالإضافة إلى تأثير خطوط البلازما، ظهر عامل الفلورة الذي لا يعتمد فقط على نوع المادة قيد الدراسة، بل يعتمد أيضاً على نوع الليزر المستخدم في التجربة، وذلك لأن مستويات الطاقة المثارة تكون قريبة من المستويات العليا من الذرات. المادة المستهدفة قريبة أيضًا من مستويات طاقة الليزر الأعلى. ولهذا السبب سيظهر طيف الفلورة في النتائج بالإضافة إلى طيف خطوط البلازما وسيكون طيف رامان ضعيفا جدا لدرجة أن طيف الفلورة سوف يهيمن عليه فلا يمكن قياسه لكثير من العينات.

المصادر الأجنبية

Al-Agha, A.M. (2022). Design and manufacture spectrograph then use it to measure plasma temperature. M.Sc. Thesis, University of Mosul, Iraq, 1-120.

Alaqa, A.M.; Al-jwaady, Y.A.; Al-Wazzan, R.A. (2022). The design and manufacturing of a Czerny-Turner spectrometer and a spherical aberration reduction mechanism for the spectrometer. *Raf. J. Sci.*, **31**(4), 43-54. DOI: 10.33899/rjs.2022.176076

Das, R.S.; Agrawal, Y.K. (2011). "Raman spectroscopy: Recent advancements, techniques and applications". *Vibr. Spectro.*, **57**(2), 163-176. DOI: 10.1016/j.vibspec.2011.08.003

Dubessy, J.; Caumon, M.C.; Rull, F.; Sharma, S. (2012). "Instrumentation in Raman Spectroscopy: Elementary Theory and Practice". GeoScienceWorld, (Vol. 12). DOI: 10.1180/EMU-notes.12.3

Ferraro, J.R. (2003). "Introductory Raman Spectroscopy". Elsevier, 2nd ed., DOI: 10.1016/B978-0-12-254105-6.X5000-8

Frezzotti, M.L.; Francesca, T.; Alessio, C. (2012). Raman spectroscopy for fluid inclusion analysis. *J. Geoch. Explor.*, **112**, 1-20. DOI: 10.1016/j.gexplo.2011.09.009

Hanlon, E.B.; Manoharan, R.; Koo, T.; Shafer, K.E.; Motz, J.T.; Fitzmaurice, M.; Kramer, J.R.; Itzkan, I.; Dasari, R.R.; Feld, M.S. (2000). Prospects for *in vivo* Raman spectroscopy. *Phys. Med. Bio.*, **45**(2), R1. DOI: 10.1088/0031-9155/45/2/201

McCreery, R.L. (2005). "Raman Spectroscopy for Chemical Analysis". John Wiley and Sons, DOI:10.1002/0471721646

Pasteris, J.D.; Olivier, B. (2020). "Welcome to Raman spectroscopy: Successes, challenges, and pitfalls". *Elements*, **16**(2), 87-92. DOI: 10.2138/gselements.16.2.87

Paudel, A.; Dhara, R.; Jukka, R. (2015). "Raman Spectroscopy in Pharmaceutical Product Design". Adv. Drug Del. Rev., 89, 3-20. DOI: 10.1016/j.addr.2015.04.003

Smith, E.; Dent, G. (2005). "Modern Raman Spectroscopy: A Practical Approach". John Wiley and Sons, DOI:10.1002/0470011831

Verma, P.; Abbi, S.C.; Jain, K.P. (1995). "Raman-Scattering Probe of Anharmonic Effects in GaAs". Phys. Rev. B, **51**(23), 16660. DOI: 10.1103/PhysRevB.51.16660

Wikström, H.; Lewis, I.R.; Taylor, S.L. (2005). "Comparison of Sampling Techniques for In-Line Monitoring Using Raman Spectroscopy". *Sage J.*, **59**(7), 934-941. DOI: 10.1366/0003702054411553

Using He-Ne Laser in Raman Spectroscopy by Locally-Made Spectrometer

Hamzah M. Al-Dulaimi **Yaser A. Aljawady**
University of Mosul/ Physics Department/ Mosul/ Iraq
Raied A.N. Al-Wazzan
Andor Technology/ Belfast/ North Ireland

ABSTRACT

Spectrum analysis technology using Raman spectroscopy is considered an important and common matter in the field of materials analysis in many applications. This study used the laser, which is considered one of the most important tools used in studying Raman spectrum, which is a helium-neon (He-Ne) laser with a wavelength of (632.8 nm). A locally made spectrometer with a focal length of (261 mm) connected to a CCD camera was also used in the study. The slit was used as the signal input instead of an optical Fiber, and one of its advantages is that we can manually control its width using a micrometre. Three mirrors were used, the first a flat reflective mirror, the purpose of which was to obtain the required focal length. The second mirror is spherical and is called the collimating mirror. It collects the rays reflected from the plane mirror towards the grating. The third is a toroidal mirror that has two different diameters, that is, two focal lengths, in order to reduce aberration, and it is called a focusing mirror. It focuses the rays after analysing them and projecting them onto the CCD detector. The laser appeared to have spectral lines called plasma lines. Plasma lines presented an obstacle in our work, especially the lines with high intensity compared to the Raman spectrum, which has low intensity. Raman spectra were produced for some materials and the spectrum was identical to international references.

Keywords: Laser, spectrograph, Raman spectroscopy, plasma lines.