وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة بابل -كلية التربية للعلوم الصرفة
قسم الفيزياء

استخدام الليزر في دراسة الأطياف الذرية والجزيئية

مشروع بحث مقدم الى

مجلس قسم الفيزياء للعلوم الصرفة جامعة بابل لنيل شهادة البكالوريوس في علوم الفيزياء

اعداد الطالبة:

فاطمة محمود عبد الرضا

بااشراف

م.م.ايمان احمد عبد المنعم

٢٠٢٦م **١٤٤٨ه**

بِسْمِ اللهِ الرَّحْمنِ الرَّحِيمِ

قل هَلْ يَسْتَوِي الَّذِينَ يَعْلَمُونَ وَالَّذِينَ لَا يَعْلَمُونَ إِنَّمَا يَتَذَكَّرُ أُولُو الْأَلْبَابِ

صدق الله العلي العظيم

سورة الزمر -اية٩

الاهداء

إلى من كانوا النور الذي أضاء طريقي.....

والسند الذي منحني القوة لأواصل السعي...

إلى والديَّ العزيزين، عرفانًا بفضلهما وصبرهما ودعمهما الذي لا ينضب...

وإلى كل من غرس في نفسي حب العلم وشجّعني على المضي قدمًا، أهدي هذا الجهد المتواضع تقديرًا وامتنانًا. أسأل الله أن يجعل ثمرة هذا العمل نافعة، وأن يكون خطوة متواضعة في درب المعرفة والعطاء

فاطمة محمود

الشكر والتقدير

أتقدّم بأسمى آيات الشكر والتقدير إلى كل من دعمني وساندني خلال مسيرتي في إنجاز هذا البحث، ولكل من قدّم لي كلمة تشجيع أو نصيحة صادقة أو مساعدة كان لها أثر في استمرار هذا الجهد. كما أعبّر عن بالغ امتناني لكل من شاركني علمه ووقته وخبرته، فكان لذلك دورٌ مهم في الوصول إلى هذه المرحلة.....

ويسعدني أن أخصّ بجزيل الشكر وعظيم التقدير الدكتورة المشرفة، لما قدّمته من توجيه علمي قيّم ومتابعة دقيقة ودعم مستمر، كان له الأثر الواضح في إنجاز هذا العمل. فجزاها الله خير الجزاء على عطائها وصبرها وحرصها العلمي

الخلاصة

يتناول هذا البحث دور الليزر كأداة متقدمة في دراسة الأطياف الذرية والجزيئية، حيث أسهم بشكل كبير في تطوير هذا المجال بفضل خصائصه الفريدة مثل الشدة العالية، وأحادية اللون، والتماسك. يركز البحث على كيفية استخدام الليزر في تحليل التفاعلات بين الإشعاع والمادة، مما يساعد على فهم أدق لمستويات الطاقة في الذرات والجزيئات.فيما يخص الأطياف الذرية، يتيح الليزر إثارة الذرات بدقة عالية، مما يساعد على دراسة الانتقالات الإلكترونية وتحديد مستويات الطاقة بدقة كبيرة، إضافةً إلى تقليل التداخلات وتحسين حساسية القياسات. أما في الأطياف الجزيئية، فيستخدم الليزر لدراسة الحركات الاهتزازية والدورانية داخل الجزيئات، مما يساهم في تحديد تركيبها الكيميائي وفهم طبيعة الروابط بينها.ويلخص البحث إلى أن الليزر أصبح أداة أساسية لا غنى عنها في علم الأطياف، حيث وفر دقة عالية ونتائج موثوقة، وأسهم في توسيع آفاق البحث العلمي والتطبيقات التكنولوجية الحديثة

جدول المحتويات

ت	الموضوع	رقم الصفحة
	الفصل الاول	
١-١	المقدمة	١
١-٢	مفهوم الليزر	٢
١-٢-١	اليزر	٢
١-٢-٢	المبادئ الاساسية لعمل اليزر	٣
١-٢-٣	خصائص اليزر	٤
١-٣	انواع الليزرات المستخدمة في التحليل الطيفي	٥
١-٤	تطبيقات استخدام الليزر في دراسة الاطياف الذرية والجزيئية	٦
١-٥	دراسات سابقة	٧
١-٦	الهدف من البحث	٨
	الفصل الثاني	
٢-١	المقدمة العامة	١٢
٢-٢	اساسيات اطياف الليزر	١٣
٢-٣	التحكم الطيفي في الليزر	١٥
٢-٤	الاطياف الذرية	١٧
٢-٥	اطياف الجزيئات	١٨
٢-٦	كيف تعمل اليزرات الذرية والجزيئية	١٩
٢-٧	مميزات الليزرات الذرية والجزيئية	٢١
	الفصل الثالث	
٣-١	اساسيات التفاعل	٢٢
٣-٢	تقنيات القياس	٢٣
٣-٢-١	مطيافية الليزر	٢٤
٣-٢-٢	مطيافية الامتصاص	٢٥

٣-٣	العمليات والتحكم	٢٦
٣-٣-١	الإثارة الانتقالية	٢٧
٣-٣-٢	التفكك الضوئي	٢٨
٣-٣-٣	الضخ الضوئي	٢٩
٣-٤	التطبيقات	٣٠
٣-٤-١	تحليل التركيب الجزيئي	٣٠
٣-٤-٢	تفاعلات الكيميائية الموجهة	٣١
٣-٥	الاستنتاجات	٣٢

الفصل الاول

١ـ١ المقدمة

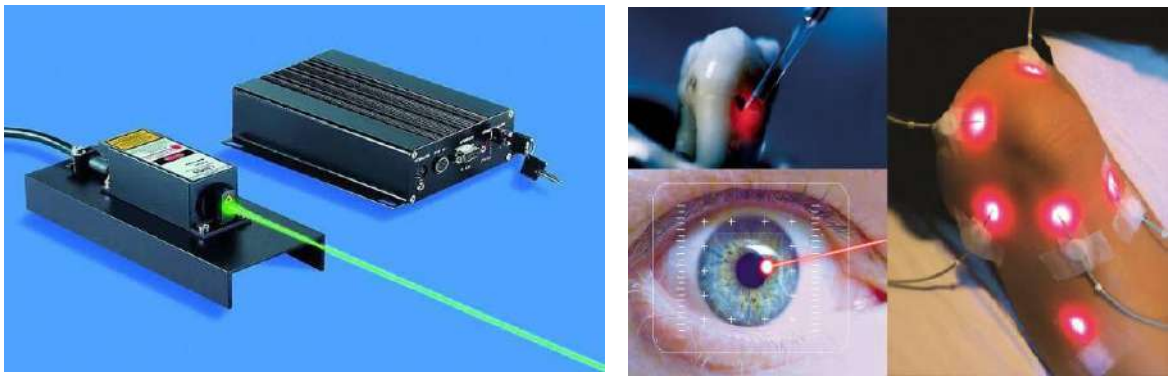
شهد علم التحليل الطيفي تطورًا كبيرًا خلال العقود الأخيرة نتيجة التقدم الملحوظ في تقنيات مصادر الإشعاع الكهرومغناطيسي، ويُعد الليزر من أهم هذه المصادر وأكثرها تأثيرًا في تطوير طرائق التحليل الطيفي الحديثة. يتميز الليزر بخصائص فريدة مثل أحادية الطول الموجي، والترابط(Coherence) ، والاتجاهية العالية، مما جعله أداة فعّالة ودقيقة في دراسة الأطياف الذرية والجزيئية [١].

إن دراسة الأطياف الذرية والجزيئية تُعد من الركائز الأساسية لفهم تركيب المادة، إذ تتيح هذه الأطياف الحصول على معلومات دقيقة حول مستويات الطاقة، والتركيب الإلكتروني، والروابط الكيميائية، والانتقالات الطاقية داخل الذرات والجزيئات. كما تسهم في تفسير العديد من الظواهر الفيزيائية والكيميائية، مثل الامتصاص والانبعاث والتشتت [٢].

وقد تطورت دراسة الأطياف الذرية والجزيئية تطورًا ملحوظًا منذ بداياتها الأولى باستخدام مصادر ضوئية تقليدية، إلى أن دخل الليزر مجال التحليل الطيفي ليُحدث نقلة نوعية في دقة القياسات وحساسيتها. وأدى هذا التطور إلى ظهور تقنيات طيفية متقدمة مثل مطيافية الليزر الامتصاصية، ومطيافية رامان المحفزة بالليزر، ومطيافية الانهيار البلازمي بالليزر (LIBS)، والتي أصبحت تُستخدم على نطاق واسع في مجالات البحث العلمي والتطبيقات الصناعية والطبية [٣]

الشكل (١ـ١) مطياف التأين المستحدث بالليزر [٣]

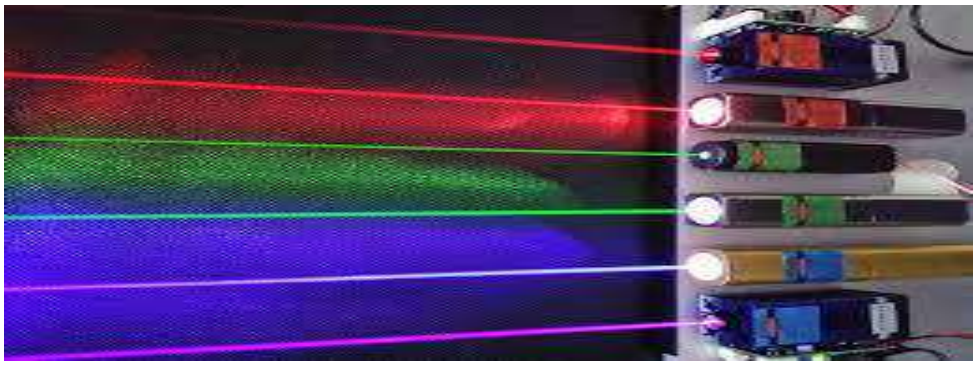
يعد الليزر تقنية حيوية ذات تطبيقات واسعة النطاق، تشمل الطب (جراحات دقيقة، تجميل، علاج عيون)، والصناعة (قطع، لحام، تنظيف)، والاتصالات (الألياف الضوئية)، بالإضافة إلى الاستخدامات اليومية (طابعات، ماسحات باركود، مؤشرات) والقياسات الدقيقة والبحوث العلمية، بفضل طاقته العالية وتركيزه الدقيق. [٤]



الشكل (١-٢)استخدام الليزر في الطب[٤]

٢. ١.الليزر: هو جهاز بصـــري يعمل على توليد وتضـــخيم الضـــوء اعتمادًا على مبدأ الإصـــدار المحفَّز للإشعاع، حيث تُثار ذرات أو جزيئات وسط فعّال (غازي، صلب، أو سائل) بواسطة مصدر طاقة خارجي، مما يؤدي إلى انتقال عدد كبير منها إلى مســـتويات طاقة أعلى. عند تعرّض هذه الذرات المثارة لفوتونات مناسبة، يحدث إصدار محفَّز ينتج فوتونات جديدة مطابقة في الطاقة والطور والاتجاه، فتتضخم الموجات الضوئية داخل تجويف بصري مكوّن من مرآتين تعكسان الضوء مرات متتالية. نتيجة لذلك تتكوّن حزمة ضوئية عالية التنظيم تتميز بأنها أحادية اللون، مترابطة، شديدة الاتجاه، وذات كثافة طاقة عالية [٥]

ويُعد الليزر مصـدرًا ضـوئيًا فريدًا مقارنة بالضـوء التقليدي، إذ يسـمح بالتحكم الدقيق في الطول الموجي والطاقة، مما يجعله أداة أســاســية في التطبيقات العلمية، الطبية، الصــناعية، ودراســة الأطياف الذرية والجزيئية [٦]



الشكل(١-٣) توضح ليزر اشباه الموصلات هو أحد المصادر الشائعة لليزر ذو القدرات المتوسطة ويستخدم في مجالات متعددة ويتواجد بأطياف مختلفة [٦]

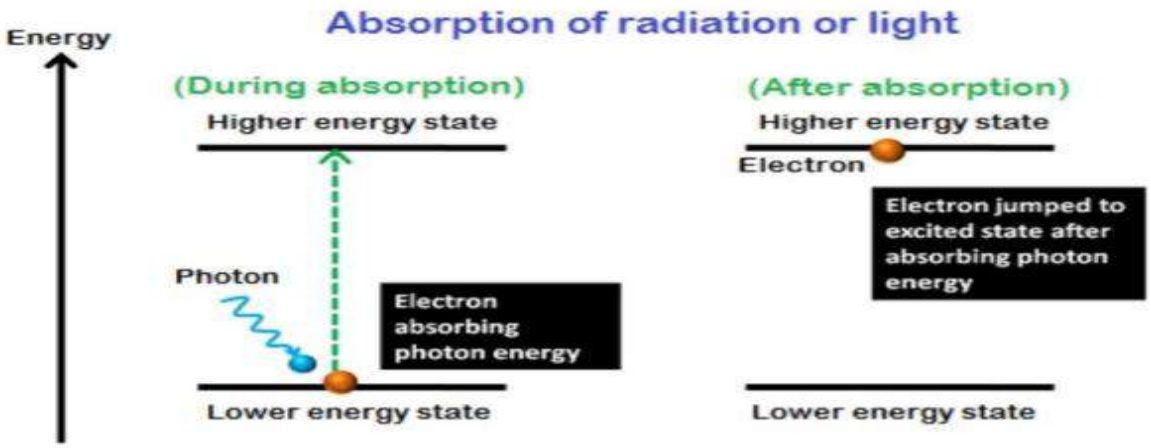
٣ . ١ المبادئ الاساسية لليزر

في الليزر تتفاعل الفوتونات بثلاث طرق [٧]:

١ - الامتصاص(Absorption)

عندما تمتص الذرة طاقة خارجية (كهربائية أو ضوئية)، ينتقل إلكترون من مستوى طاقة منخفض إلى مستوى أعلى ـــ وتصبح الذرة في حالة إثارة.

***هذه الخطوة مهمة لتخزين الطاقة داخل الوسط الفعال.**

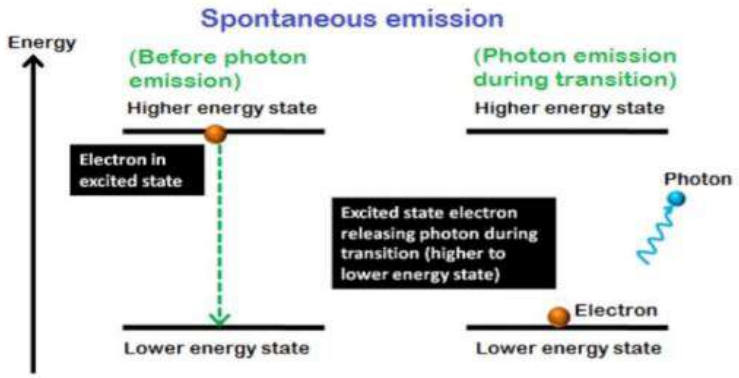


الشكل (١-٤) توضح عملية امتصاص الاشعاع أو الضوء من قبل الالكترون [٧]

٢-الانبعاث التلقائيSpontaneous Emission)

الإلكترون المثار غير مستقر، فيعود تلقائيًا إلى مستواه الأصلي ويُطلق فوتونًا (ضوءًا).

***لكن هذا الضوء يكون عشوائي الاتجاه والطور ـــ لذلك لا يشكل ليزرًا بعد.**



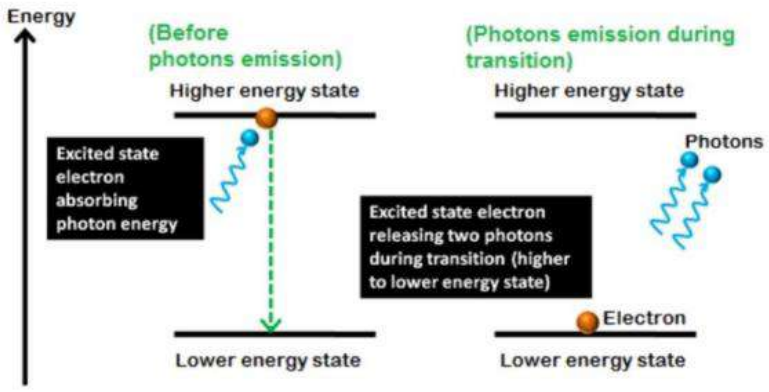
الشكل (١-٥) توضح عملية الانبعاث الذاتي، حيث ينتقل الالكترون من حالة طاقة أعلى إلى حالة طاقة أقل، مطلقًا فوتونا في العملية [٧]

٣- الانبعاث المحفَّز (Stimulated Emission)

الأساس الحقيقي لليزرإذا مر فوتون مناسب بجانب ذرة مثارة:

- **يُحفّزها لإطلاق فوتون آخر**
- **الفوتونان يكونان متطابقين تمامًا في:**

✔ الطاقة ✔ الاتجاه ✔ الطور ✔ التردد



الشكل

(١-٦) يوضح عملية الانبعاث المحفز[٧]

٤ .١. خصائص الليزر:

يمتلك ضوء الليزر خصائص فريدة تميزه عن الضوء التقليدي وتسمح باستخدامه في العمليات الجراحية[٨]

١. التماسك: تكون الموجات الضوئية متوافقة في الطور مع بعضها البعض، ولها جبهة موجية محددة وثابتة. هذه الخاصية تسمح للضوء بالانتقال لمسافات طويلة دون حيود.

٢. أحادية اللون: تتكون من طول موجي واحد للون. (تعتمد على وسط التضخيم)

٣. التوازي: الفوتونات الناتجة تكون متوازية مع بعضها البعض. في أشكال الضوء الأخرى، تكون الفوتونات متوازية بشكل طبيعي

٤-الاتجاهية العالية :حزمة الليزر ضيقة جدًا وتنتشر ببطء شديد مقارنة بالضوء العادي. يمكن توجيهها لمسافات طويلة دون تشتت كبير

٥-إمكانية التشغيل النبضي أوليزر مستمر: يسمح بالتحكم في الطاقة والزمن حسب التطبيق

٦- الشدة العالية:

الطاقة مركزة في حزمة صغيرة جدا تسمح بالتسخين أو القطع أو إثارة الذرات

٥ .١. أنواع الليزرات المستخدمة في التحليل الطيفي[٩]

.اختيار الليزر يعتمد على نوع التحليل والطول الموجي المطلوب لامتصاص المادة أو انبعاثها

.الليزر يوفر دقة عالية جدًا مقارنة بمصادر الضوء التقليدية •

• يجب الانتباه إلى السلامة، لأن أشعة الليزر عالية الطاقة يمكن أن تكون ضارة للعينين

أ. ليزر الهيليوم-نيون(He-Ne)

• اللون/الطول الموجي: غالبًا الأحمر عند ٦٣٢,٨ نانومتر.

• المميزات: استقرار جيد، خط طيفي ضيق، شدة منخفضة لكنها كافية لمعظم التحليلات.

• الاستخدامRaman spectroscopy :، alignmentفي الأجهزة الطيفية، وأحيانًا.Fluorescence

ب. ليزر ثاني أكسيد الكربون(CO_2)

- **اللون/الطول الموجي: الأشعة تحت الحمراء عند ١٠,٦ ميكرومتر.**
- **المميزات: طاقة عالية، ممتاز للتحليل في منطقة IR.**
- **الاستخدام Spectroscopy :للأربطة الجزيئية في الأشعة تحت الحمراء.(IR spectroscopy)**

ج. ليزر الصوديوم(Nd:YAG)

- **اللون/الطول الموجي: عادة ١٠٦٤ نانومتر(IR) ، مع إمكانية تكرار التردد لإنتاج ٥٣٢ نانومتر (أخضر) أو ٣٥٥ نانومتر.(UV)**
- **المميزات: شدة عالية جدًا، مناسب لتقنيات Raman ، Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS).**
- **الاستخدام Raman: ،LIBS ،Fluorescence spectroscopy.**

د. ليزر أشعة فوق بنفسجية(UV Lasers)

- **الأمثلة Excimer lasers: ، Ar^+ lasers.**
- **اللون/الطول الموجي: ١٩٣ – ٣٥١ نانومتر.**
- **الاستخدام UV-Vis spectroscopy: ،Fluorescence spectroscopy ،Photochemistry studies.**

٦. ١. تطبيقات استخدام الليزر في دراسة الأطياف الذرية والجزيئية

١-١-٦.تطبيقات استخدام الليزر في دراسة الأطياف الذرية [١٠]

١ تحديد العناصر النادرة(Laser-Induced Fluorescence (LIF

- **الآلية: يتم توجيه شعاع ليزر على ذرات العنصر المطلوب، فتنتقل الإلكترونات إلى مستوى طاقة أعلى، ثم تعود لإصدار فوتونات (إشعاع).**
- **التطبيق العملي: يمكن استخدامه لتحديد تركيز الصوديوم (Na) أو البوتاسيوم (K) أو الكالسيوم (Ca)في عينات بيئية أو حيوية بدقة عالية جدًا، حتى عند تراكيز منخفضة جدًا.**

٢ تحليل النظائر(Resonance Ionization Spectroscopy (RIS

- **الآلية: يُستخدم الليزر لتأيين ذرة معينة بشكل انتقائي عبر مستويات الطاقة الخاصة بها، ثم يتم قياس الأيونات الناتجة.**
- **التطبيق العملي: يستخدم في الكيمياء النووية والفيزياء الذرية لتحديد نظائر العناصر مثل U-٢٣٥ أو Th-٢٣٢بدقة عالية، حتى من كميات صغيرة جدًا.**

٣ التحليل السريع للعناصر(Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS

- **الآلية: نبضة ليزر عالية الطاقة تُخلق بلازما صغيرة على سطح العينة، وهذه البلازما تطلق ضوءًا يحمل معلومات عن العناصر الموجودة.**
- **التطبيق العملي: تحليل المعادن، الصخور، أو المواد الصناعية بسرعة، دون الحاجة لتحضير معقد للعينة.**

٤ الكشف عن الملوثات البيئية

- **الآلية: استخدام LIF أو LIBS لتحديد المعادن الثقيلة مثل الرصاص أو الزئبق في التربة أو المياه.**
- **التطبيق العملي: مراقبة التلوث البيئي وتقييم جودة الماء أو التربة بشكل سريع وحساس**

٢-١-٦.تطبيقات استخدام الليزر في دراسة الأطياف الجزيئية [١١]

١ .تحديد الروابط والجزيئات: باستخدام Raman Spectroscopy لتحديد البنية الكيميائية والاهتزازات الجزيئية.

٢. الكشف عن الغازات بكميات ضئيلة: باستخدام Cavity Ring-Down Spectroscopy (CRDS) مثل CO_2 وNO_2.

٣. دراسة الديناميكا الجزيئية: باستخدام Laser-Induced Fluorescence (LIF) للجزيئات في الغازات والسوائل.

٤. تحديد الجزيئات الحساسة للضوء: باستخدام Two-Photon Excitation Spectroscopy في الأنظمة البيولوجية.

٥. المراقبة البيئية والدوائية: تعقب تفاعلات المواد الكيميائية في الهواء أو السوائل الحيوية

٧. ١ دراسات سابقة

١-صادق حميد جابر.(٢٠٢٤)." الليزر وتطبيقاتة"يتناول هذا البحث دراسة الليزر وظهورة الى العمل البصري أللبرت أينشتاين في اوائل القرن العشرين حيث تطورت الليزرات وتطور استخدامها يعني تضخيم الضوء بالانبعاث المحفز ويعد جهاز الليزر اداة بصرية مصممة إلنتائج الليزر ومعالجتة لمجموعة واسعة من التطبيقات وكذلك دراسة مكونات ,عناصر بصرية لمعالجة الشعاع ومرنان لتعزيز التماسك النشط ومصدر طاقة وتضخيم الضوء والتعرف على مبدأ عمل الليزر حيث تتفاعل الفوتونات مع الذرات في الليزر بثالث طرق امتصاص االاشعاع والانبعاث التلقائي والانبعاث المحفز ودراسة هي احادية الطول الموجي والتماسك خصائص الليزر حيث يمتاز شعاعة بأربعة مميزات والاتجاهية والكثافة العالية ودراسة [١١]

٢-علي عبد الفائز .(٢٠٢٠). ر."التقدم في تكنلوجيا الليزر " والتي تشمل تطبيقات مختلفة عبر المجالات الصناعية والطبية في تكنولوجيا الليزر فحصاً شاملا للتطورالتشغيلية وتسلط الضوء وتوضح مبادئها تعرض الدراسة شامل لألدبيات ودراسات .وانواعه تتعمق المراجعة في تطور مكونات الليزر والعلمية الحالة الموجودة على التطورات الملحوظة.[١٢]

٣-محمود ستار.(٢٠١٩) ."استكشاف تطبيقات الليزر "تتعمق دراسة جونسون في التطبيقات المتنوعة لليزر عبر الصناعات والممارسات الطبية والبحث العلمي ,من خلال التحليل المقارن لتقنيات الليزر وكفاءتها تهدف الدراسة الى الكشف عن الاستخدامات المثلى لليزر في سباقات مختلفة .[١٣]

٤-محمود ستار (٢٠١٩)."استكشاف تطبيقات الليزر" تتعمق دراسة جونسون في التطبيقات المتنوعة لليزر عبر الصناعات والممارسات الصناعية والبحث العلمي تهدف الى الكشف عن استخدامات الليزر من خلال الدراسات الحالية والنتائج التجريبية وتعدد استخدام الليزر في مهام [١٤]

١.٨. الهدف من البحث

يهدف هذا البحث إلى التعرف على دور الليزر في دراسة وتحليل الأطياف الذرية والجزيئية وكيفية مساهمة دور الليزر في تحسين دقة وحساسية القياسات الطيفية ويهدف البحث ايضاً إلى توضيح المبادئ الأساسية للتفاعل بين الليزر والمادة واهمية دور الليزر في تطوير تقنيات التحليل الطيفي الحديث و عرض اهم التطبيقات العملية لهذه التقنيات

الفصل الثاني

٢. ١ ـالمقدمة العامة

يعد الليزر من أهم التقنيات الحديثة في مجال الفيزياء والكيمياء التحليلية، حيث يعتمد على مبدأ تضخيم الضوء بواسطة الانبعاث المحفَّز للإشعاع. تقوم فكرة الليزر على انتقال الذرات أو الجزيئات بين مستويات طاقة مختلفة، فعندما تمتص الذرة أو الجزيء طاقةً معينة تنتقل الإلكترونات إلى مستويات طاقة أعلى، وعند عودتها إلى مستوياتها الأصلية تطلق فوتونات ذات طاقة محددة، مما يؤدي إلى إنتاج إشعاع ضوئي مترابط وشديد التركيز. يعتمد التحكم الطيفي في أنظمة الليزر على القدرة على ضبط طول الموجة أو نطاق التردد للضوء المنبعث، مما يسمح بالحصول على أطياف دقيقة تُستخدم لدراسة تركيب المادة وخصائصها.[١٤]

ترتبط هذه الظاهرة ارتباطاً وثيقاً بعلم الأطياف الذرية وأطياف الجزيئات، حيث تنتج الأطياف الذرية من انتقالات الإلكترونات بين مستويات الطاقة في الذرات، وتتميز بخطوط طيفية حادة ومحددة. أما أطياف الجزيئات فتكون أكثر تعقيداً لأنها لا تعتمد فقط على الانتقالات الإلكترونية، بل تشمل أيضاً الانتقالات الاهتزازية والدورانية داخل الجزيء. وتستغل أنظمة الليزر هذه الانتقالات لإنتاج أشعة ذات أطوال موجية محددة بدقة عالية.

تعمل الليزرات عادةً بوجود وسط فعال (ذري أو جزيئي) يوضع داخل تجويف بصري بين مرآتين، حيث يتم تزويد الوسط بالطاقة فيما يُعرف بعملية الضخ لإحداث انعكاس في الإشغال بين مستويات الطاقة، مما يؤدي إلى تضخيم الفوتونات المنبعثة وإنتاج شعاع ليزري قوي ومتماسك. وتتميز الليزرات الذرية بأنها تعطي خطوطاً طيفية ضيقة ودقة عالية في الطول الموجي، بينما تمتاز الليزرات الجزيئية بقدرتها على توليد أطوال موجية متعددة ونطاق طيفي أوسع. ولهذه الخصائص أهمية كبيرة في التطبيقات العلمية والتقنية مثل التحليل الطيفي، والاتصالات البصرية، والطب، والبحث العلمي[١٥]

الشكل (١-٢) صورة توضيحية لاشعة الليزر[١٥]

٢ .٢أساسيات أطياف الليزر

تعتمد أساسيات أطياف الليزر على توليد ضوء ذو لون واحد (أحادي اللون)، مترابط زمنياً ومكانياً، وذو اتجاهية عالية من خلال عملية الانبعاث المحفز. يتم إنتاج الطيف عبر إثارة ذرات الوسط الفعال، مما يؤدي إلى انتقال الإلكترونات لمستويات طاقة أعلى، ثم عودتها لإصدار فوتونات متطابقة في التردد والطور، تُضخم بواسطة مرنان بصري .

أساسيات ومبادئ أطياف الليزر:

الانبعاث المحفز :(Stimulated Emission) المبدأ الأساسي الذي يتم فيه تحفيز الذرات المثارة بواسطة فوتون ساقط لتنبعث فوتونات أخرى مماثلة تماماً في التردد، الطور، والاتجاه.التوزيع المعكوس :(Population Inversion)حالة يتم فيها جعل عدد الذرات في مستوى الطاقة الأعلى أكثر من عددها في المستوى الأدنى، وهو شرط ضروري لاستمرار عملية الانبعاث المحفز وتضخيم الضوء[١٦].

الوسط الفعال :(Active Medium) المادة (صلبة، سائلة، غازية) التي يحدث فيها الانتقال الإلكتروني وإنتاج الليزر.

المرنان البصري :(Optical Cavity) مرآتان (واحدة عاكسة تماماً والأخرى جزئياً) تعملان على حبس الفوتونات وإجبارها على المرور المتكرر عبر الوسط الفعال لتضخيمها تحديد اتجاهية الشعاع وجعل الليزر اكثرتركيزا

خصائص الطيف: يتميز طيف الليزر بـ:

الأحادية :(Monochromaticity) طول موجي واحد محدد بدقة.

التماسك :(Coherence) الفوتونات لها نفس الطور والتردد.

الاتجاهية :(Directionality) زاوية انفراج صغيرة جداً[١٧] .

٣. ٢التحكم الطيفي في الليزر(Spectral Control)

التحكم الطيفي هو عملية التحكم بخصائص الطيف الضوئي الصادر من الليزر مثل الطول الموجي، التردد، وعرض الخط الطيفي، وذلك للحصول على شعاع ليزر أكثر دقة واستقراراً يناسب التطبيقات العلمية والتقنية .

أولاً: مفهوم التحكم الطيفي

يقصد بالتحكم الطيفي تنظيم أو تعديل الطيف الناتج من الليزر بحيث يمكن:

- **اختيار طول موجي محدد من الطيف.**
- **تقليل عرض الخط الطيفي للحصول على ضوء أكثر نقاءً.**
- **تثبيت التردد أو الطول الموجي أثناء التشغيل.**
- **التحكم في شدة الإشعاع الليزري.**

ويعتمد ذلك على العلاقة بين الطاقة والتردد:

$$E = h\nu$$

حيث: Eطاقة الفوتون . hثابت ماكس بلانك التردد

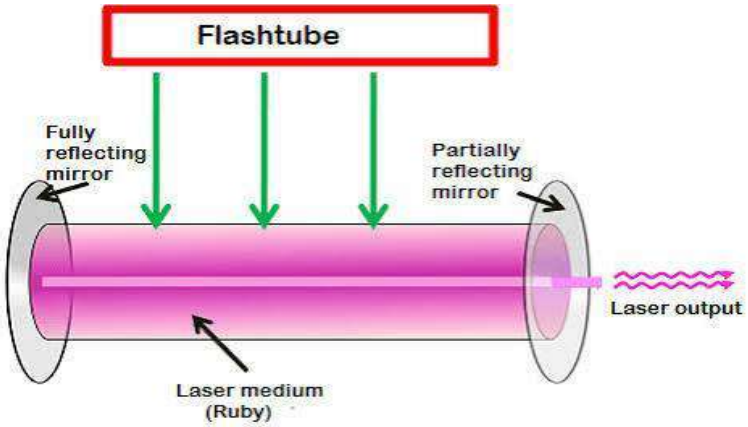
يهدف التحكم الطيفي إلى تحقيق عدة أمور مهمة:الحصول على طول موجي محدد بدقة. تقليل التداخل بين الأطوال الموجية تثبيت التردد أو الطول الموجي أثناء التشغيل. التحكم في شدة الإشعاع الليزري.

ويعتمد ذلك على العلاقة بين الطاقة والتردد:

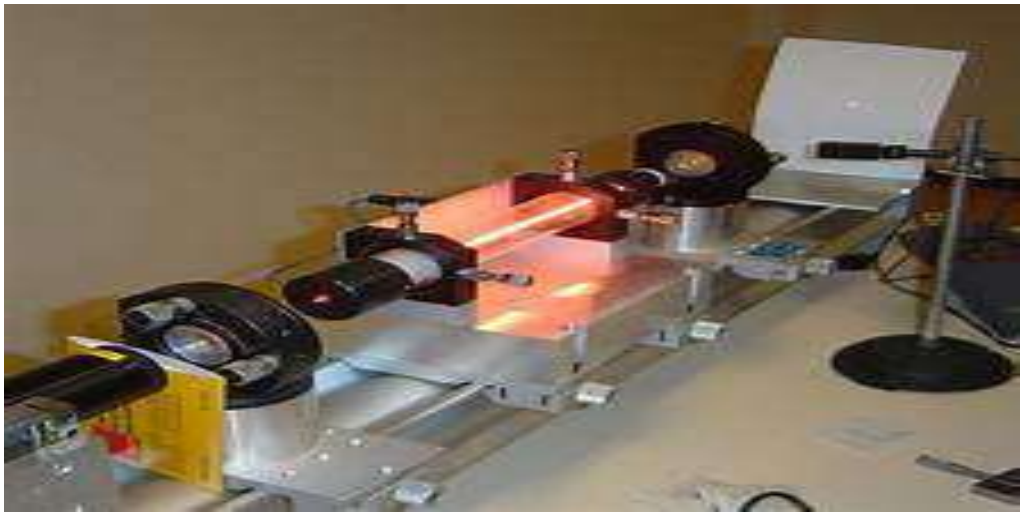
$E = h\nu$ حيث:

- **Eطاقة الفوتون**
- **hثابت Max Planck**
- **νالترد**

ومن طرق التحكم في الليزر اختيار الوسط الفعال الوسط الفعال في الليزر يحدد المجال الطيفي الذي يمكن أن يصدره الليزر أمثلة (١٨)



الشكل (٢-٢) Ruby Laser [١٨]



الشكل (٢-٣) Helium–Neon Laser [١٨]

٤ .٢الأطياف الذرية (Atomic Spectra)

الأطياف الذرية هي دراسة الضوء الذي تمتصه أو تبعثه الذرات عندما تنتقل الإلكترونات بين مستويات الطاقة المختلفة داخل الذرة. ويعد هذا المجال من أهم تطبيقات Atomic Spectroscopy في الكيمياء والفيزياء التحليلية.

مفهوم الأطياف الذرية:تحتوي الذرة على مستويات طاقة محددة للإلكترونات. عندما تنتقل الإلكترونات بين هذه المستويات يحدث:

- **امتصاص للطاقة**
- **انبعاث للطاقة**

من امثلة هذة الاطياف طيف الصوديوم

وتظهر هذه الطاقة على شكل خطوط طيفية مميزة لكل عنصر، لذلك يمكن استخدام الطيف الذري للتعرف على العناصر.

يعتمد ذلك على العلاقة بين طاقة الفوتون والتردد:

$$E = h\nu$$

حيث:

- **E طاقة الفوتون**
- **h ثابت Max Planck**
- **ν التردد**

تتميز الأطياف الذرية بأنها تظهر على شكل خطوط طيفية حادة ومحددة، وذلك لأن مستويات الطاقة في الذرات تكون منفصلة ومميزة لكل عنصر كيميائي. لذلك يمتلك كل عنصر طيفاً خاصاً به يُعد بمثابة بصمة مميزة يمكن من خلالها التعرف على العنصر وتحليله بدقة. وتنقسم الأطياف الذرية عادةً إلى ثلاثة أنواع رئيسية هي: طيف الانبعاث الذري الذي ينتج عند عودة الإلكترونات من مستويات طاقة أعلى إلى مستويات أقل، وطيف الامتصاص الذري الذي ينتج عند امتصاص الذرات لطاقة من مصدر إشعاعي خارجي، وطيف التألق الذري الذي يحدث عندما تعود الذرات المثارة إلى حالتها الأساسية بعد امتصاص الطاقة [١٩].

تُستخدم الأطياف الذرية على نطاق واسع في مجالات متعددة مثل التحليل الكيميائي، ودراسة تركيب المواد، وتحديد العناصر في العينات المختلفة، كما تلعب دوراً مهماً في الفيزياء والكيمياء والعلوم الفلكية، حيث تساعد على فهم التركيب الذري ومستويات الطاقة الخاصة بالعناصر المختلفة [٢٠]

٥ .٢ أطياف الجزيئات ✨ (Molecular Spectra)

أطياف الجزيئات هي دراسة تفاعل الضوء مع الجزيئات وما ينتج عنه من امتصاص أو انبعاث للطاقة.
ويعد هذا المجال أساسياً في التحليل الكيميائي لأنه يساعد على تحديد تركيب الجزيئات والروابط الكيميائية.

ويُدرس هذا النوع من الأطياف ضمن مجال.Molecular Spectroscopy

أولاً: مفهوم أطياف الجزيئات

تحتوي الجزيئات على أنواع متعددة من الطاقة، مثل:

- الطاقة الإلكترونية
- الطاقة الاهتزازية
- الطاقة الدورانية

سبب ظهور أطياف الجزيئات تظهر أطياف الجزيئات نتيجة انتقالات الطاقة داخل الجزيء، الليزر يعتمد أساساً على ظاهرة Stimulated Emission (الانبعاث المستحث)، حيث يتم تضخيم الضوء عندما تنتقل الإلكترونات من مستوى طاقة أعلى إلى مستوى طاقة أقل وتطلق فوتونات متطابقة في الطاقة والاتجاه.ويختلف عمل الليزر قليلاً حسب نوع الوسط الفعال إذا كان ذرات أو جزيئات.أولاً: الليزرات الذرية(Atomic Lasers) الليزر الذري يستخدم ذرات منفردة كوسط فعال لإنتاج الضوء.آلية العمل

تمر عملية إنتاج الليزر الذري بعدة خطوات:

١-الضخ(Pumping)

يتم تزويد الذرات بالطاقة بواسطة:

- تفريغ كهربائي
- ضوء قوي

فتنتقل الإلكترونات إلى مستوى طاقة أعلى.

تتميز الليزرات التي تعتمد على الذرات أو الجزيئات بعدة خصائص تجعلها مهمة في التطبيقات العلمية والصناعية[٢١]

تتميز طياف الجزيئات بعدة خصائص تميزها عن الأطياف الذرية، وذلك بسبب الطبيعة الأكثر تعقيداً للجزيئات مقارنة بالذرات. ومن أهم مميزاتها ما يأتي:

١. تعقيد الطيف :تكون أطياف الجزيئات أكثر تعقيداً من الأطياف الذرية لأنها ناتجة عن عدة أنواع من الانتقالات الطاقية داخل الجزيء، مثل الانتقالات الإلكترونية والاهتزازية والدورانية.

٢. ظهور الطيف على شكل حزم(Bands) :غالباً ما تظهر أطياف الجزيئات على شكل حزم طيفية بدلاً من خطوط منفردة، نتيجة لتداخل الانتقالات الاهتزازية والدورانية مع الانتقالات الإلكترونية.

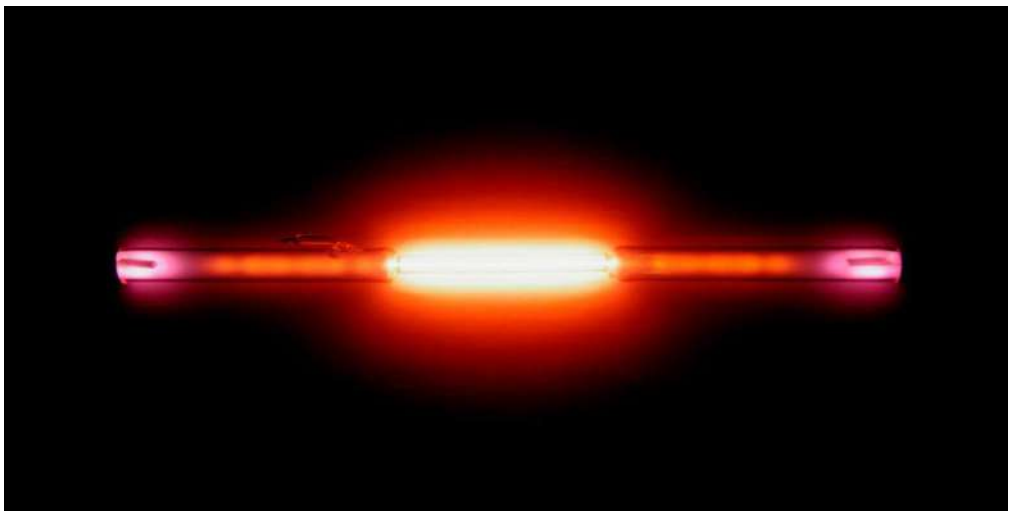
٣. تعدد مستويات الطاقة :تحتوي الجزيئات على عدد كبير من مستويات الطاقة مقارنة بالذرات، مما يؤدي إلى ظهور عدد كبير من الخطوط أو الحزم الطيفية.

٤. الحساسية للتركيب الجزيئي :تعتمد أطياف الجزيئات بشكل كبير على تركيب الجزيء ونوع الروابط بين الذرات، لذلك يمكن استخدامها لدراسة بنية الجزيئات وتحديد المجموعات الوظيفية.

٥. إمكانية دراسة حركة الجزيئات :تساعد أطياف الجزيئات في دراسة الحركة الدورانية والاهتزازية للجزيئات، مما يعطي معلومات مهمة عن أطوال الروابط وقوة الروابط الكيميائية.

٦. تطبيقات واسعة :تُستخدم أطياف الجزيئات في العديد من المجالات مثل الكيمياء التحليلية، الكيمياء الفيزيائية، دراسة بنية الجزيئات، والتحليل البيئي والطبي

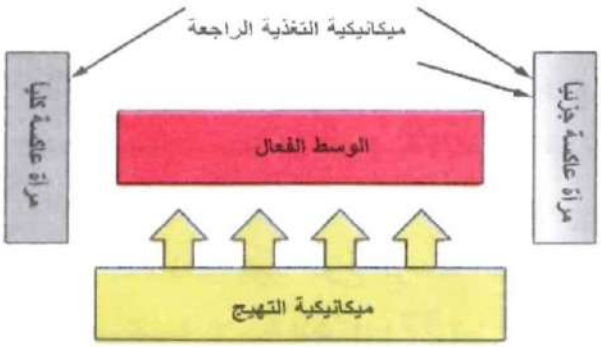
يعد من أشهر الليزرات الذرية المستخدمة في المختبرات والأجهزة التعليمية [٢٢].



الشكل (٤-٢) Helium–Neon Laser [٢٢]

٦. ٢كيف تعمل الليزرات الذرية والجزيئية

تعد الليزرات الذرية والجزيئية أدوات دقيقة تعتمد على انتقالات الطاقة داخل الذرات (مثل الهيليوم-نيون) أو الجزيئات (مثل ثاني أكسيد الكربون لإنتاج أشعة ليزر متماسكة عالية الطاقة. تصنف بناءً على نوع الوسط الفعال، الذري أو الجزيئي تعتمد طريقة عمل الليزرات الذرية والجزيئية على مبدأ تضخيم الضوء بواسطة الانبعاث المحفَّز للإشعاع، حيث يتم إثارة الذرات أو الجزيئات في وسط فعال للحصول على شعاع ليزري متماسك وذو طاقة عالية. في البداية يتم تزويد الوسط الفعال بالطاقة من خلال عملية تُسمى الضخ وقد يتم ذلك باستخدام تفريغ كهربائي أو مصدر ضوئي قوي. يؤدي هذا الضخ إلى انتقال الذرات أو الجزيئات من مستوى طاقة منخفض إلى مستوى طاقة أعلى، مما يسبب حالة تُعرف بـ الانعكاس السكاني حيث يصبح عدد الجسيمات في الحالة المثارة أكبر من عددها في الحالة الأرضية. عند مرور فوتون ذو طاقة مناسبة عبر هذا الوسط، فإنه يحفّز الذرات أو الجزيئات المثارة على العودة إلى مستوى طاقة أقل، مما يؤدي إلى انبعاث فوتونات جديدة تمتلك نفس الطول الموجي والاتجاه والطور. تتضاعف هذه العملية داخل تجويف بصري يتكون عادةً من مرآتين متقابلتين، حيث تنعكس الفوتونات عدة مرات داخل الوسط الفعال، مما يؤدي إلى تضخيم الضوء تدريجياً حتى يخرج جزء منه عبر إحدى المرآتين على شكل حزمة ليزر قوية ومركزة .في الليزرات الذرية يكون الوسط الفعال مكوَّناً من ذرات منفردة مثل بعض الغازات، وتنتج الأشعة نتيجة انتقالات إلكترونية بين مستويات الطاقة في الذرات، لذلك تتميز هذه الليزرات بنقاء طيفي عالٍ وخطوط طيفية ضيقة. أما الليزرات الجزيئية فيكون الوسط الفعال مكوَّناً من جزيئات، وتنتج الأشعة نتيجة انتقالات إلكترونية أو اهتزازية أو دورانية داخل الجزيء، مما يسمح بإنتاج أطوال موجية متعددة ونطاق طيفي أوسع. لذلك تُستخدم كل من الليزرات الذرية والجزيئية في العديد من التطبيقات العلمية مثل التحليل الطيفي، والقياسات الدقيقة [٢٣]



الشكل (٥-٢)مخطط لمكونات جهاز الليزر[٢٣]

٢.٧ مميزات الليزرات الذرية والجزيئية

تتميز الليزرات الذرية والجزيئية بقدرة فائقة على إنتاج أشعة عالية الدقة، متماسكة وذات اتجاهية ممتازة، مع إمكانية تعديل الطول الموجي بما يتناسب مع التطبيقات المختلفة

مميزات الليزرات الذرية(Atomic Lasers)

•أطوال موجية قصيرة جدًا: تتيح هذه الأطوال الموجية القدرة على معالجة المواد بدقة على المستوى الذري أو النانوي، ما يجعلها مناسبة لتكنولوجيا النانو والنقش الدقيق على الأسطح الحساسة.

•دقة قياس عالية: تُستخدم الليزرات الذرية في الأجهزة التي تعتمد على مقاييس التداخل الذرية، مما يتيح الكشف عن التغيرات الدقيقة جدًا في الأطوال والمسافات، وحتى الموجات الثقالية.

•استقرار فائق: توفر الليزرات الذرية، مثل ليزر الهيليوم-نيون، أطوالًا موجية ثابتة جدًا على مدى طويل، ما يجعلها أداة موثوقة للمعايرة الدقيقة والاختبارات العلمية.

•تطبيقات بصرية متقدمة: تُستخدم في البصريات غير الخطية ودراسة البنى الذرية من خلال تداخل الموجات الضوئية، مما يتيح تصوير وفحص المواد على مستوى ذري.

مميزات الليزرات الجزيئية(Molecular Lasers)

•طاقة نبضية عالية: ليزرات مثل ثاني أكسيد الكربون يمكنها إنتاج نبضات قوية تتيح القطع واللحام السريع والدقيق للمعادن والمواد الصناعية الأخرى، مع تحكم كامل في عمق وموضع القطع.

•نطاق ضبط واسع: بعض الليزرات الجزيئية والهجينة توفر إمكانية تعديل الطول الموجي عبر نطاق واسع، ما يسمح باستخدامها في تطبيقات متعددة من العلاج الطبي إلى التحليل الطيفي الصناعي.

•التصوير الهولوغرافي: توفر هذه الليزرات قدرة عالية على إنتاج صور ثلاثية الأبعاد مفصلة، تُستخدم في التصوير المجسم للأجسام الصناعية والطبية بدقة فائقة.

•الاستئصال البارد: بعض الليزرات فوق البنفسجية تسمح بإزالة أو قطع المواد دون توليد حرارة كبيرة، ما يقلل من التلف الحراري، ويجعلها مثالية لجراحات دقيقة مثل جراحة العيون

المميزات المشتركة

•أحادية اللون :(Monochromaticity) الشعاع الناتج يكون لطول موجي محدد وثابت، ما يتيح دقة عالية في القياسات والتطبيقات العلمية والصناعية.

•اتجاهية وتماسك عالٍ: يمكن توجيه الحزمة الضوئية وتركيزها على نقطة صغيرة جدًا، ما يزيد من فعاليتها في القطع، النقش، والتحليل الطيفي.

•كفاءة طاقة عالية: الليزرات الحديثة مصممة لتقليل استهلاك الطاقة مع الحفاظ على قوة الشعاع، ما يجعلها صديقة للبيئة وفعالة اقتصاديًا[٢٤].

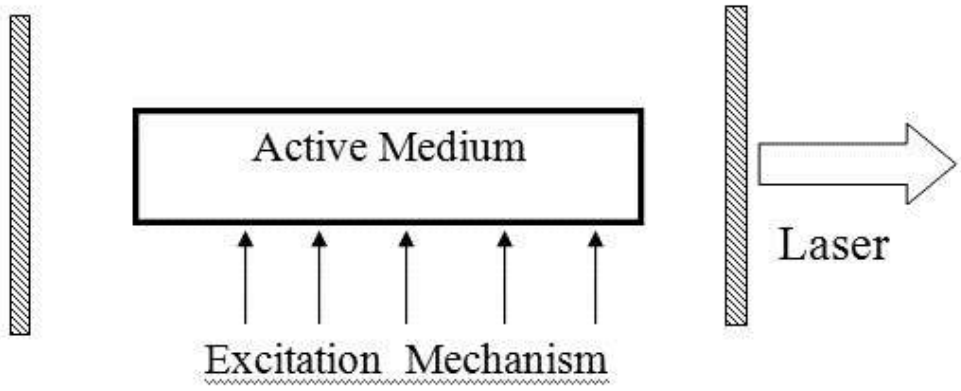
الفصل الثالث

١. ٣أساسيات التفاعل

تعتمد دراسة التفاعل بين حزمة الليزر ذات الطاقة العالية والمواد الذرية أو الجزيئية على فهم طبيعة امتصاص الطاقة وانتقالها داخل النظام. عندما تسقط حزمة ليزر على مادة ما، فإن الفوتونات تتفاعل مع الذرات أو الجزيئات من خلال إثارة الإلكترونات من مستويات طاقة منخفضة إلى مستويات أعلى.يتميز الليزر بكونه أحادي اللون(Monochromatic) ، ومترابط(Cohere) ، وذو شدة عالية، مما يجعله قادرًا على إحداث تأثيرات دقيقة ومحددة. وتعتمد طبيعة التفاعل على عدة عوامل مثل:

- طول موجة الليزر
- شدة الإشعاع
- طبيعة المادة (ذرية أو جزيئية)
- زمن التعرض

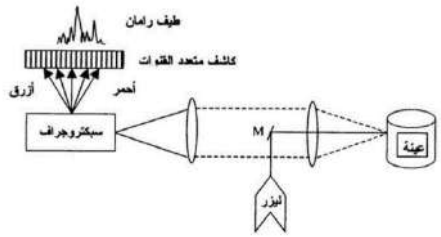
وقد يؤدي هذا التفاعل إلى عمليات مختلفة مثل الامتصـــاص، الانبعاث المحفز، أو حتى التأين في حالة الطاقات العالية.[٢٥]



الشكل(٦-٢)اسس عمل الليزر

٢. ٣اهم التقنيات المستخدمة في دراسة الاطياف الذرية والجزيئية

١. ٢. ٣مطيافية الليزر: تُعد مطيافية الليزر من أهم التقنيات الحديثة المستخدمة في دراسة تركيب الذرات والجزيئات وخواصها الفيزيائية والكيميائية، إذ تعتمد على استخدام حزمة ليزر ذات طول موجي محدد وشدة عالية لتحفيز المادة المدروسة، ثم تحليل الإشارة الناتجة عن هذا التفاعل. وتمتاز هذه التقنية بالدقة العالية مقارنةً بطرق التحليل التقليدية، لأن الليزر يتميز بالترابط المكاني والزماني، إضافة إلى إمكانية التحكم بطوله الموجي وقدرته.تعتمد مطيافية الليزر على مبدأ تفاعل فوتونات الليزر مع مستويات الطاقة في الذرات أو الجزيئات، فعندما تكون طاقة الفوتون مساوية للفرق بين مستويين طاقيين، يحدث امتصاص للفوتون وانتقال الإلكترون من الحالة الأرضية إلى حالة مثارة. [٢٦]ويمكن بعد ذلك أن تعود الذرة أو الجزيء إلى حالتها الأصلية مطلقةً إشعاعًا يمكن قياسه وتحليله، ومن خلال ذلك يتم التعرف على نوع المادة وتركيبها .تتميز مطيافية الليزر بحساسية عالية جدًا، إذ يمكن استخدامها للكشف عن تراكيز صغيرة جدًا من المواد، كما تمتلك قدرة فصل طيفي ممتازة تسمح بتمييز خطوط طيفية متقاربة يصعب فصلها بوسائل أخرى. ولهذا السبب تُستخدم في تحليل الغازات، والملوثات البيئية، والمواد الحيوية، والعناصر النادرة.من الأنواع الشائعة لمطيافية الليزر مطيافية الفلورة الليزرية، حيث يتم إثارة العينة بواسطة الليزر ثم قياس الضوء المنبعث منها، ومطيافية رامان الليزرية التي تعتمد على تشتت الضوء لدراسة الاهتزازات الجزيئية، وكذلك المطيافية الامتصاصية الليزرية التي تقيس مقدار امتصاص الضوء عند أطوال موجية معينة.تُستخدم مطيافية الليزر في مجالات عديدة مثل الكيمياء التحليلية، وتشخيص الأمراض، ودراسة الاحتراق، والرقابة الصناعية، والبحوث الفيزيائية المتقدمة. كما أسهم تطور الليزرات النبضية وفائقة السرعة في دراسة التفاعلات الكيميائية السريعة جدًا ومتابعة حركة الجزيئات خلال أزمنة قصيرة للغاية. [٢٧]



الشكل (٦-٣)مطيافية رامان[٢٧]

٢. ٢. ٣ مطيافية الامتصاص

تُعد مطيافية الامتصاص من أهم التقنيات التحليلية المستخدمة في دراسة الذرات والجزيئات وتحديد تراكيز المواد المختلفة، إذ تعتمد على قياس مقدار امتصاص المادة للإشعاع الكهرومغناطيسي عند أطوال موجية محددة. ويستند هذا المبدأ إلى أن الذرات والجزيئات تمتلك مستويات طاقة منفصلة، وعندما تسقط عليها فوتونات ذات طاقة مساوية للفرق بين مستويين طاقيين، فإنها تمتص هذه الفوتونات وتنتقل من حالة طاقة منخفضة إلى حالة أعلى.عند مرور شعاع ضوئي خلال عينة تحتوي على مادة معينة، ينخفض مقدار شدة الضوء الخارج مقارنةً بشدة الضوء الساقط نتيجة امتصاص جزء من الطاقة. ومن خلال مقارنة الشدتين يمكن تحديد مقدار الامتصاص، ومن ثم حساب تركيز المادة الموجودة في العينة باستخدام قانون بير–لامبرت.يوضح هذا القانون أن الامتصاصية تتناسب طرديًا مع التركيز، لذلك تُستخدم التقنية على نطاق واسع في التحليل الكمي.تعتمد مطيافية الامتصاص على جهاز يتكون عادةً من مصدر ضوئي، ومحدد أطوال موجية (مونوكروميتر) لعزل الطول الموجي المطلوب، وحامل للعينة، ثم كاشف ضوئي يسجل شدة الإشعاع بعد مروره بالعينة. وفي بعض التطبيقات يُستخدم الليزر كمصدر ضوئي لما يمتلكه من شدة عالية ونقاء طيفي ممتاز، مما يزيد من دقة القياس وحساسيته.تنقسم مطيافية الامتصاص إلى عدة أنواع تبعًا لمنطقة الطيف المستخدمة. ففي المنطقة فوق البنفسجية والمرئية (UV-Vis) تُستخدم لدراسة انتقالات الإلكترونات في المركبات العضوية وغير العضوية، وتحديد تراكيز المحاليل الملونة. أما في منطقة الأشعة تحت الحمراء (IR) فتُستخدم لدراسة الاهتزازات الجزيئية وتحديد المجاميع الوظيفية في المركبات الكيميائية. كما توجد مطيافية الامتصاص الذري (AAS) التي تُستخدم لتحديد العناصر الفلزية بتراكيز منخفضة جدًا[٢٨].

تتميز مطيافية الامتصاص بسهولة الاستخدام، وسرعة الحصول على النتائج، وإمكانية تحليل كميات صغيرة من العينات، إضافة إلى الدقة العالية في القياسات الكمية. لذلك تُستخدم في المختبرات الكيميائية، وتحليل المياه، والصناعات الدوائية، والرقابة البيئية، وتشخيص بعض الحالات الطبية.ومن أهم تطبيقاتها الكشف عن الملوثات، تحديد نقاوة المواد، متابعة سير التفاعلات الكيميائية، وقياس تراكيز العناصر الثقيلة في العينات البيئية والغذائية. كما تُعد وسيلة أساسية في الأبحاث العلمية لدراسة البنية الإلكترونية والجزيئية للمواد.وبذلك تُعد مطيافية الامتصاص تقنية مركزية في العلوم الحديثة، إذ تجمع بين البساطة والدقة والاعتمادية، وتوفر معلومات نوعية وكمية مهمة عن طبيعة المواد وتركيبه[٢٩]

٣. ٣.العمليات والتحكم

٣. ٣الإثارة الانتقالية

تُعد الإثارة الانتقالية من العمليات الأساسية التي تحدث عند تفاعل الإشعاع الكهرومغناطيسي، وخصوصًا أشعة الليزر، مع الذرات والجزيئات. ويُقصد بها انتقال الذرة أو الجزيء من حالة طاقة منخفضة، غالبًا الحالة الأرضية، إلى حالة طاقة أعلى نتيجة امتصاص طاقة خارجية. وتُعد هذه العملية حجر الأساس في كثير من الظواهر الطيفية والعمليات الفيزيائية والكيميائية، لأنها تمثل الخطوة الأولى التي تسبق الانبعاث الضوئي أو التفكك أو حدوث تفاعل كيميائي.تحتوي الذرات والجزيئات على مستويات طاقة منفصلة ومحددة، ولا يمكن للإلكترونات أن توجد إلا ضمن هذه المستويات. وعندما تتعرض المادة إلى فوتونات صادرة من مصدر ضوئي مثل الليزر، فإن امتصاص الفوتون يحدث فقط إذا كانت طاقته مساوية للفرق بين مستويين طاقيين. عندها ينتقل الإلكترون إلى مستوى أعلى، وتسمى هذه العملية بالإثارة الانتقالية.. وهذا يعني أن كل انتقال يحتاج إلى طاقة محددة، لذلك تُظهر المواد أطياف امتصاص مميزة لها.في الذرات تكون الإثارة غالبًا إلكترونية، أي انتقال الإلكترون بين المدارات أو المستويات الذرية. أما في الجزيئات، فقد تكون الإثارة إلكترونية أو اهتزازية أو دورانية. فالجزيئات تمتلك إضافةً إلى المستويات الإلكترونية مستويات اهتزازية ناتجة عن حركة الذرات داخل الجزيء، ومستويات دورانية ناتجة عن دوران الجزيء حول محوره. لذلك تكون أطياف الجزيئات أكثر تعقيدًا من أطياف الذرات[٣٠].

عند استخدام الليزر، تتميز الإثارة الانتقالية بدرجة عالية من الانتقائية، لأن الليزر يصدر ضوءًا أحادي اللون تقريبًا، مما يسمح بإثارة انتقال معين دون غيره. وهذه الخاصية تُستخدم في التجارب الدقيقة التي تتطلب التحكم في حالة الذرات أو الجزيئات، مثل تبريد الذرات، والتحكم بالتفاعلات الكيميائية، ودراسة البنية الدقيقة للمادة.بعد حدوث الإثارة، لا تبقى الذرة أو الجزيء في الحالة المثارة مدة طويلة، بل تعود إلى حالة أقل طاقة بطرق متعددة. فقد يحدث انبعاث تلقائي للفوتون، أو انبعاث محفز، أو انتقال غير إشعاعي تتحول فيه الطاقة إلى حرارة أو تصادمات مع الجسيمات المجاورة فكلما كان الليزر مضبوطًا بدقة على تردد الانتقال المطلوب، زادت احتمالية الامتصاص والإثارة.تُستخدم الإثارة الانتقالية في تطبيقات عديدة مثل مطيافية الليزر، والفلورة، والليزر الكيميائي، وتشخيص البلازما، ودراسة المواد شبه الموصلة، والطب الحيوي، حيث تُستغل حالات الإثارة للكشف عن الخلايا أو الجزيئات الحيوية[٣١]

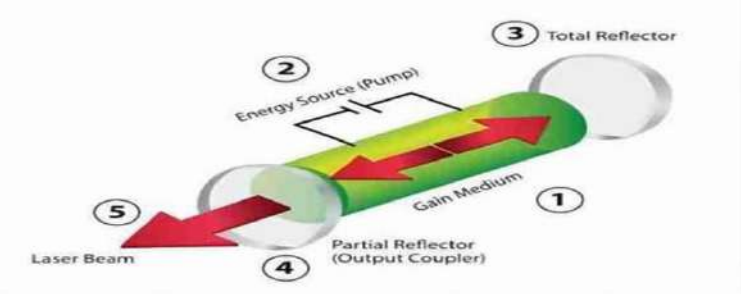
٣.٣.٢ التفكك الضوئي

يُعدّ التفكك الضـــوئي من العمليات المهمة الناتجة عن تفاعل الإشـــعاع الكهرومغناطيســـي مع الذرات والجزيئات، ويحدث عندما تمتص الجزيئات طاقة ضوئية كافية تؤدي إلى كسر رابطة كيميائية أو أكثر داخل الجزيء، فينقسم إلى نواتج أصغر مثل ذرات حرة أو جذور حرة أو جزيئات أبسط. وتبرز أهمية هذه العملية في الكيمياء الضـوئية، وفي فهم سـلوك المواد تحت تأثير الضـوء، وكذلك في التطبيقات الصـناعية والبيئية والبيولوجية.يعتمد التفكك الضـوئي على امتصـاص الجزيء لفوتون يحمل طاقة مسـاوية أو أكبر من طاقة الرابطة الكيميائية المراد كســـرها. فعندما يمتص الجزيء هذه الطاقة ينتقل إلى حالة إلكترونية مثارة غير مسـتقرة، وقد تعاد توزيعات الطاقة داخل الجزيء بسـرعة، مما يؤدي إلى إضـعاف الرابطة ثم انشـطارها. وإذا كانت طاقة الفوتون غير كافية، فلن يحدث التفكك بل قد يحدث فقط إثارة انتقالية أو اهتزازية.يمكن استخدام الليزر كمصدر فعال لإحداث التفكك الضوئي بسبب شدته العالية وإمكانية ضبط طوله الموجي بدقة لاســـتهداف روابط محددة داخل الجزيء.يحدث التفكك الضـــوئي غالبًا على مراحل. ففي البداية يمتص الجزيء الإشـــعاع وينتقل إلى حالة مثارة، ثم قد يحدث تفكك مباشـــر للرابطة، أو يمر الجزيء عبر حالات وسيطة قبل الانشطار. وفي بعض الحالات ينتج عن العملية جذور حرة شديدة النشاط الكيميائي، مما يؤدي إلى سلسلة من التفاعلات اللاحقة(٣٢).

من الأمثلة المعروفة للتفكك الضـوئي تحلل جزيء الكلور تحت تأثير الضـوء لتكوين ذرتي كلور نشـطتين، وكذلك تفكك الأوزون في الغلاف الجوي، وتحلل بعض المركبات العضـــوية والملوثات بفعل الأشـــعة فوق البنفسجية. كما أن عملية البناء الضـوئي في النباتات تتضـمن خطوات أولية تعتمد على امتصـاص الضـوء وإثارة الجزيئات، وإن لم تكن تفككًا مباشرًا بالمعنى التقليدي.تتأثر كفاءة التفكك الضوئي بعدة عوامل، منها طول موجة الإشـــعاع، وشـــدة الضـــوء، وطبيعة الجزيء، وقوة الروابط الكيميائية، ووجود مواد محفزة، ودرجة الحرارة، والوسط المحيط. ففي الأوسـاط الغازية يكون التفكك أكثر وضـوحًا بسـبب قلة التصـادمات مقارنةً بالسـوائل والمواد الصـلبة.للتفكك الضـوئي تطبيقات واسـعة في مجالات متعددة، منها معالجة المياه والهواء لإزالة الملوثات العضـوية، وتصـنيع بعض المواد الكيميائية، وتقنيات الطباعة الضـوئية، ودراسـة آليات التفاعلات الكيميائية السـريعة، إضـافة إلى اسـتخدامه في الطب مثل العلاج الضـوئي لبعض الحالات المرضـية.كما يُسـتخدم التفكك الضـوئي في الأبحاث العلمية لدراسـة طاقات الروابط، ومسـارات التفاعل، وســـرعة تكوين النواتج، وذلك من خلال تقنيات الليزر النبضـــي والمطيافية الزمنية التي تســـمح بمتابعة التفاعل خلال أزمنة قصيرة جدًا(٣٣)

٣ .٣ .٣الضخ الضوئي

يُعدّ الضخ الضوئي من العمليات الأساسية في فيزياء الليزر والطيف الذري والجزيئي، ويقصد به استخدام الإشعاع الضوئي لنقل الذرات أو الجزيئات من مستويات طاقة منخفضة إلى مستويات أعلى، وذلك من خلال امتصاص فوتونات ذات طاقة مناسبة. وتُستخدم هذه العملية لزيادة عدد الجسيمات الموجودة في الحالة المثارة أو لإعادة توزيعها بين المستويات الطاقية، مما يجعلها خطوة رئيسية في تشغيل العديد من أنواع الليزر وفي الدراسات الطيفية الدقيقة.في الظروف الطبيعية تكون أغلب الذرات أو الجزيئات في الحالة الأرضية لأنّها أقل طاقة وأكثر استقرارًا. وعند تسليط ضوء مناسب مثل حزمة ليزر أو مصباح شديد الشدة، تمتص بعض الجسيمات الفوتونات وتنتقل إلى حالة مثارة. وعندما تستمر عملية الضخ، يزداد عدد الجسيمات في المستويات العليا، وقد يتحقق ما يُعرف بالانعكاس السكاني، أي يصبح عدد الجسيمات في المستوى المثار أكبر من عددها في المستوى الأدنى، وهي حالة ضرورية لحدوث التضخيم الضوئي والانبعاث المحفَّز داخل الليزر.تحدث عملية الضخ الضوئي عادةً وفق خطوات متتابعة؛ إذ تمتص الذرات أو الجزيئات الضوء أولًا، ثم تنتقل إلى مستوى مثار قصير العمر، وبعد ذلك قد تهبط إلى مستوى شبه مستقر يبقى فيه الجسيم مدة أطول نسبيًا. تراكم الجسيمات في هذا المستوى يسمح بتحقيق الانعكاس السكاني، ومن ثم يبدأ الوسط بإصدار إشعاع مترابط عند تحفيزه.يُستخدم الضخ الضوئي في أنواع عديدة من الليزر، مثل الليزر الصلب وليزر الصبغات وبعض الليزرات الغازية. ففي ليزر الياقوت مثلًا تُضخ أيونات الكروم داخل البلورة بواسطة مصباح وميضي، بينما تُضخ بعض ليزرات أشباه الموصلات كهربائيًا أو ضوئيًا باستخدام ثنائيات ليزرية[٣٤]يُستخدم أيضًا في الأبحاث الذرية لتهيئة الذرات في حالات كمومية محددة، ودراسة البنية فائقة الدقة، والتحكم باستقطاب الذرات، وتبريد الذرات المحصورة مغناطيسيًا. كما يُستخدم في الساعات الذرية والمغناطيسية البصرية وأجهزة الاستشعار عالية الحساسية.[٣٥]



الشكل(٧-٣)المضخة الليزرية[٣٥]

٤ .٣ اهم التطبيقات العلمية في دراسة الاطياف الذرية والجزيئية

١ . ٤ .٣تحليل التركيب الجزيئي

يُعد تحليل التركيب الجزيئي أحد أهم تطبيقات تفاعل الليزر مع المواد، حيث يُستخدم الليزر كأداة دقيقة لدراسة البنية الداخلية للجزيئات وتحديد نوع الروابط والمجاميع الوظيفية. وتعتمد هذه التقنيات على تفاعل أشعة الليزر مع الجزيئات من خلال الامتصاص أو التشتت أو الإثارة، مما يوفر معلومات طيفية دقيقة تساعد في فهم التركيب الكيميائي للمادة حتى عند وجودها بتراكيز منخفضة[٣٦].

ومن أمثلة ذلك استخدام مطيافية الليزر Raman في تحليل المركبات العضوية مثل الأدوية والمركبات العطرية، حيث تساعد في تحديد البصمة الكيميائية لكل مركب. كما يُستخدم تحليل جزيء الماء (H_2O) بواسطة مطيافية الأشعة تحت الحمراء (IR) لتحديد أنماط الاهتزاز والروابط الكيميائية داخله. كذلك تُستخدم تقنيات الليزر في دراسة تركيب البروتينات والبوليمرات بهدف تحديد بنيتها ثلاثية الأبعاد، إضافة إلى التعرف على المركبات العضوية المعقدة في الأبحاث الكيميائية مثل المركبات الحلقية والعطرية[٣٧].

٢ . ٤ .٣التفاعلات الكيميائية الموجهة

تُشير التفاعلات الكيميائية الموجهة إلى استخدام أشعة الليزر للتحكم في مسار التفاعل الكيميائي وتوجيهه نحو نواتج محددة. ويتم ذلك من خلال إثارة روابط معينة داخل الجزيء أو تفكيكها بشكل انتقائي، مما يسمح بالتحكم في آلية التفاعل وتقليل النواتج الجانبية غير المرغوبة.

ومن أمثلة ذلك استخدام الليزر في تفكيك جزيء الكلور (Cl_2) بشكل انتقائي لإنتاج ذرات نشطة تُستخدم في تفاعلات كيميائية لاحقة. كما يمكن توجي تفاعل تكوين مركبات عضوية محددة عبر إثارة رابطة معينة داخل الجزيء باستخدام الليزر. ويُستخدم أيضاً في التحفيز الضوئي لإنتاج مركبات دوائية بدقة عالية مع تقليل النواتج الثانوية. بالإضافة إلى ذلك، يمكن التحكم في تفاعل ثاني أكسيد الكربون (CO_2) لتحويله إلى مركبات كيميائية مفيدة من خلال طاقة الليزر(٣٨)

٣.٥ الاستنتاجات :

١ .أثبت الليزر أنه أداة عالية الكفاءة في تحليل الأطياف الذرية والجزيئية بفضل دقته الكبيرة وأحاديته الطيفية.

٢ .وفر استخدام الليزر من قياس مستويات الطاقة والانتقالات الإلكترونية في الذرات بدقة غير مسبوقة.

٣ .ساهم الليزر في تحسين حساسية أجهزة القياس، مما يسمح بالكشف عن كميات صغيرة جدًا من المواد.

٤ .أتاح دراسة الخصائص الجزيئية مثل الاهتزازات والدورانات، مما يساعد في تحديد التركيب الجزيئي والروابط الكيميائية.

٥ .أدى استخدام تقنيات مثل التألق الليزري ومطيافية رامان إلى تقليل التداخلات وزيادة وضوح النتائج.

٦ .وفر الليزر إمكانية إجراء القياسات في الزمن الحقيقي، مما ساعد في دراسة التفاعلات السريعة.

٧ .ساهم في تطوير تطبيقات متعددة في مجالات الطب، والكيمياء، والبيئة، والفيزياء.

الاستنتاج العام:

يمكن اعتبار الليزر حجر الأساس في التطور الحديث لعلم الأطياف، حيث أحدث نقلة نوعية في دقة التحليل وفهم البنية الذرية والجزيئية

المصادر

١-Al Shammari, Ahmed Amer. Nanoscience and Nanotechnology: Science Nanotechnology: Nanotechnology and Ahmed Amer, ١. Vol. ٢٠٢٢.

٢-محمد كوسا "فيزياء الليزر ونطبيقاتة, منشورات ديمشق-سوريا ٢٠٠٦

٣- John F. Ready, Robert k. Erf, Laser applications, Academic press ٩ . ١٩٨٤inc.

٤- L. Tarasow, Laser physics and applications, MIR publishers ١٩٨٠.

٥-الخزرجي حسين علاء(٢٠١٩). "الليزر: من النظرية الى التطبيقات". مجلة الفيزياء العربية ٢٣.

٦- . Govind P. Agrawal, "Fiber-Optic Communication Systems," John Wiley ٢٠١٢Sons,.

٧- Joseph W. Goodman, "Introduction to Fourier Optics," Roberts and Company. ٢٠٠٥Publishers,

٨-سيد عفان, مجاهد محسن, سيد محمد زبير علي, المسرح التكنلوجي لليزر وتطبيقاتة الدفاعية " تكنلوجيا الدفاع ٢ (٢٠٢١) ٥٩ .

٩- Pereira-Pardo, L., & Korenberg, C ٢٠١٨ [٢٤). The use of erbium laser For the conservation of cultural heritage. A review. Journal of Cultural Heritage, ٣١, ٢٤٧-

١٠-صادق حميد جبر,الليزر وتطبيقاتة " كلية التربية للعلوم الصرفة ,جامعة بابل ٢٠٢٤

١١- Akinlabi, Esther Titilayo, Rasheedat Modupe Mahamood, and Stephen Akinwale Akinlabi, eds. Advanced manufacturing techniques using laser material processing. IGI Global, ٢٠١٦.

١٢- Kumar, Avinash, Ashwani Kumar, and Abhishek Kumar, eds. Laser-based technologies for sustainable manufacturing. CRC Press, ٢٠٢٣.

١٣- Lawrence, Jonathan R., ed. Advances in laser materials processing: technology, research and applications. Woodhead Publishing, ٢٠١٧.

١٤- Shimoda, K. (١٩٨٦). Introduction to Laser Physics. Springer

١٥- Renk, K. F. (٢٠١٧). Basics of Laser Physics: For Students of Science and Engineering (٢nd ed.). Springer

١٦- Amnon Yariv, A. (١٩٨٥). Optical Electronics (٣rd ed.). Holt, Rinehart and Winston

١٧- Yariv, A. (١٩٨٥). Optical Electronics (٣rd ed.). Holt, Rinehart and Winston

١٨- Charles K. Kao, C. K. (١٩٨٢). Optical Fiber Systems: Technology, Design and Applications. McGraw-Hill.

١٩- D. F. Walls، & Gerard J. Milburn Walls, D. F., & Milburn, G. J. (١٩٨٠). Laser Physics. Academic Press

٢٠- Valiakov, E. P. (١٩٨١). Molecular Gas Lasers. MIR Publishers

٢١- Ready, J. F., & Erf, R. K. (١٩٨٤). Laser Applications. Academic Press

٢٢- Tarasov, L. (١٩٨٠). Laser Physics and Applications. MIR Publishers

٢٣- Electro-Optics/Laser Conference. (١٩٨٤). Conference Proceedings. Brighton, UK.

٢٤-قندلا، سها عفيف. (١٩٩٠). التطبيقات العلمية لليزر. دار الثقافة العامة، دمشق

٢٥-كوسا، محمد. (١٩٨٩). فيزياء الليزر وتطبيقاته. مطبعة التعليم العالي.

٢٦-عبد الحميد، خالد، وخلف حم، كليد. (١٩٨٩). ضوئيات الكم والليزر.

٢٧- Amini, M., & colleagues. (٢٠٢٠). The evaluation of laser application in surgery: A review article. Journal of Lasers in Medical Sciences, ١١(١), ١–٧

٢٨- Zhang, Y., & Smith, J. (٢٠٢٥). A review of laser materials processing paradigm. MRS Bulletin

٢٩- Kumar, S., & Singh, P ٢٠٢٣. Applications of lasers in industries and laser welding: A review. Materials Today: Proceedings, ٧٢, ١٤٥٠–١٤٥٦.

٣٠- Brown, A., & Patel, R. ٢٠٢٦. From photonic principles to clinical practice: A review of medical laser technologies. Optics & Lasers in Engineering.

٣١-كتاب أساسيات وتطبيقات مطيافية رامان تأليف الدكتور محمد عبدمحمد ربيع.والدكتورة سميرةالقادر محرم

٣٢- Banwell C. N., Fundamentals of Molecular Spectroscopy, ٣rd Edition ١٩٦٠

٣٣-Brown C.W., Donahue S.M. and LO S.C., Advances in Near-Infrared Measurements Gabor Patonay, London, Vol.١(١٩٩٣)

٣٤-Bist H. D., James R. Durig and Sullivan J.F., Raman Spectroscopy Sixty Years On., Elsevier New York(١٩٨٩)

٣٥-Gardiner D.J. and Graves R., Practical Raman, Spectroscopy, Springer-Verla, Germany(١٩٨٩).

٣٦- Joh R.F& Kazuo N., Introductory Raman, Spectroscopy, Academic Press New York(١٩٩٤)

٣٧- Richard L.Mc., Raman Spectroscopy for , Chemical Analysis, J.D. Wine fordner, - New York, Vol.١٥٧(٢٠٠٠)

٣٨-٩. Patrick H., Catherine J. And Gavin W., Conventional Laser-Raman Spectroscopy, Ellis Horwood Limited, England(١٩٩١)