



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

الليزر وتطبيقاته

بحث مقدم من قبل الطالب (صادق حميد جابر) كجزء من
متطلبات نيل شهادة البكالوريوس في كلية التربية للعلوم
الصرفة

بإشراف :
م. م سيف حسن حميد

2024 م

1445 هـ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

(يَرْفَعِ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ وَاللَّهُ بِمَا تَعْمَلُونَ خَبِيرٌ)

صدق الله العلي العظيم

سورة المجادلة آية 11

الإهداء

إلى خالق الروح والقلم وبارئ الذر والنسم وخالق كل شيء من
العدم إلى من بلغ الرسالة وأدى الأمانة ونصح الأمة إلى

نبي الرحمة ونور العالمين إلى السادة الأطهار وعروته الوثقى أهل
بيت النبوة ع

إلى مراد قلبي والأقرب لي من نفسي المغيب عن الأبصار والكامن
بعين البصيرة إلى بقية الله الأعظم صاحب العصر والزمان (عجل
الله فرجه) إلى من علمني أن الدنيا كفاح وسلاحها العلم والمعرفة
إلى الذي لم يبخل عني بأي شيء إلى من سعى لأجل راحتي
ونجاحي إلى أعظم وأعز رجل في الكون أبي العزيز
إلى تلك الحبيبة ذات القلب النقي إلى من اوصاني الرحمن بها براً
واحساناً إلى من سعت وعانت من أجلي إلى من كان دعائها سر
نجاحي أُمي الحبيبة

إلى من اشاركهم لحظاتي إلى كل من يفرحون لنجاحي وكأنه
نجاحهم

أخوتي وأصدقائي بكل حب اهدىكم هذا جهدي المتواضع

شكر وتقدير

في البداية ، الشكر والحمد لله ، جل في علاه ، فإليه يُنسب الفضل كله في إكمال – والكمال يبقى لله وحده – هذا العمل.

وبعد الحمد لله ، فإتني أتقدم إلى أستاذي ومشرف البحث (م. م سيف حسن) بأسمى كلمات الشكر والامتنان لأشرافه على بحثي لنيل شهادة البكالوريوس ويشرفني أن اختتم بالشكر والامتنان إلى أسرتي الغالية التي قدمت كل ما بوسعها لكي أصل إلى ما أنا عليه الآن لهم كل الحب والتقدير...

المحتويات

ت	الموضوع	رقم الصفحة
1	عنوان البحث	I
2	الآية	II
3	الإهداء	III
4	شكر وتقدير	IV
5	المحتويات	V
6	الخلاصة	VI
7	الفصل الأول	
8	1_1 المقدمة	1
9	1_2 الدراسات السابقة	3
10	1_3 أهداف البحث	5
11	الفصل الثاني	
12	2_1 الجانب النظري	6
13	2_2 الليزر	6
14	2_3 جهاز الليزر	9
15	2_4 مكونات جهاز الليزر	9
16	2_5 مبدأ عمل الليزر	11
17	2_6 خصائص إشعاع الليزر	17
18	2_7 أنواع الليزر	18
19	الفصل الثالث	
20	3_1 تطبيقات الليزر	20
21	3_2 مخاطر الليزر	25
22	الاستنتاجات	27
23	المصادر	28

تثبيت الأشكال

ت	رقم الشكل	رقم الصفحة
1	شكل رقم (1)	7
2	شكل رقم (2)	8
3	شكل رقم (3)	12
4	شكل رقم (4)	13
5	شكل رقم (5)	15

الخلاصة

يتناول هذا البحث دراسة الليزر وظهوره الى العمل البصري لألبرت أينشتاين في اوائل القرن العشرين حيث تطورت الليزرات وتطور استخدامها في العديد من المجالات وهو يعني تضخيم الضوء بالانبعاث المحفز ويعد جهاز الليزر اداة بصرية مصممة لإنتاج ضوء الليزر ومعالجة لمجموعة واسعة من التطبيقات وكذلك دراسة مكونات الليزر منها الوسط النشط ومصدر طاقة الأتارة وعناصر بصرية لمعالجة الشعاع ومرنان لتعزيز التماسك وتضخيم الضوء والتعرف على مبدأ عمل الليزر حيث تتفاعل الفوتونات مع الذرات في الليزر بثلاث طرق امتصاص الإشعاع والانبعاث التلقائي والانبعاث المحفز ودراسة خصائص الليزر حيث يمتاز شعاعه بأربعة مميزات هي احادية الطول الموجي والتماسك والاتجاهية والكثافة العالية ودراسة انواع الليزر مثل ليزر الغاز وليزر الحالة الصلبة وليزر اشباه الموصلات وليزر الألياف وليزر الصبغة وليزر الاكسيمر وموضحة بالتفصيل في هذا البحث والتعرف على تطبيقات الليزر فهو يستخدم في تطبيقات عملية كثيرة مثل الطب والرعاية الصحية والتصنيع ومعالجة المواد وفي الاتصالات السلكية واللاسلكية وفي مجالات اخرى متعددة مذكورة وموضحة في البحث ودراسة مخاطر الليزر الصحية والبيئية ومخاطر السلامة.

الفصل الأول

الدراسات السابقة

في المشهد المتطور باستمرار للعلوم والتكنولوجيا الحديثة يبرز الليزر باعتباره ابتكاراً تحولياً له آثار بعيدة المدى. لقد تطورت أشعة الليزر التي تم صياغتها من اختصار "تضخيم الضوء عن طريق انبعاث الإشعاع المحفز" من التأملات النظرية إلى أدوات لا غنى عنها في مختلف التخصصات [1] يعود ظهور الليزر إلى العمل البصري لألبرت أينشتاين في أوائل القرن العشرين مع تحقيقه الملموس من قبل ثيودور ميمان في عام 1960 [2][1] يكمن المبدأ الأساسي لليزر في الانبعاث المتحكم به للضوء المتماسك من خلال العمليات المحفزة وهو المفهوم الذي أثار منذ ذلك الحين عدداً لا يحصى من الاختراقات والابتكارات [4][3]. من الاتصالات والتصنيع إلى الإجراءات الطبية وأنظمة الدفاع أصبح الليزر منتشرًا في كل مكان مما أحدث ثورة في كيفية إدراكنا للعالم وتفاعلنا معه [5] عندما نبدأ في هذا الاستكشاف فإننا لا نكشف عن الأعاجيب التكنولوجية التي أتاحتها الليزر فحسب بل نكشف أيضاً عن الإمكانيات التي يحملها لتشكيل مستقبل البحث العلمي والتقدم الصناعي [6] إنضم إينا في هذه الرحلة المضيئة عبر عالم الليزر حيث يلتقي الضوء بالابتكار ويتم إعادة تعريف الحدود. يمكن إرجاع بداية تكنولوجيا الليزر إلى التأملات النظرية لألبرت أينشتاين في أوائل القرن العشرين ولاسيما عمله في نظرية الكم للإشعاع [1]. ومع ذلك فإن الإنجاز الملموس لليزر ظهر عام 1960 عندما قام ثيودور ميمان بتطوير أول ليزر وظيفي مما يمثل لحظة محورية في تاريخ الابتكار العلمي [2]. منذ ذلك الحين تطورت أجهزة الليزر إلى مجموعة أدوات متنوعة وقوية مع تطبيقات تغطي مجالات متعددة. لقد أدت المساهمات الأخيرة للباحثين العرب إلى إثراء فهم وتطبيق تكنولوجيا الليزر بشكل كبير. أعمال جديرة بالملاحظة لعبد المجيد وآخرون. (2017) سلط الضوء على التطورات الحديثة في تكنولوجيا الليزر وعرض التطور المستمر في هذا المجال [4] بالإضافة إلى ذلك قدم الخرجي (2019) رؤى قيمة حول الأسس النظرية لليزر مما ساهم في فهم أوسع لمبادئها وتطبيقاتها المحتملة [3] يتضمن المبدأ الأساسي لليزر التحكم في انبعاث الضوء المتماسك من خلال العمليات المحفزة وهو المفهوم الذي حفز العديد من الاختراقات والابتكارات. وقد قطع الباحثون العرب ممثلين بأحمد

(2018) خطوات كبيرة في استكشاف تطبيقات الليزر في التصنيع مما يؤكد تأثير الليزر على العمليات الصناعية [5]. وقد دفع هذا الجهد العالمي التعاوني الليزر إلى أن يصبح أدوات منتشرة في كل مكان مما أحدث ثورة في الصناعات والتخصصات العلمية على حد سواء. عندما نتعمق في التفاصيل المعقدة لتقنية الليزر يصبح من الواضح أن الأبحاث الحديثة التي أجراها الحكيم (2020) قد سلطت الضوء على الابتكارات في أبحاث الليزر مما يؤكد بشكل أكبر على الطبيعة الديناميكية لهذا المجال [6]. ومن خلال البناء على العمل التأسيسي لرواد مثل أينشتاين وميمان يواصل الباحثون المعاصرون كشف الإمكانيات الكاملة لليزر وتشكيل مشهد البحث العلمي والتقدم الصناعي.

1_2. الدراسات السابقة :

زرفاوي واخرون. (2009). "دراسة الليزر وتطبيقاته." في هذا العمل المبدع يتعمق الزرفاوي وكريبي في اختراع الليزر وتطبيقاته التي لاتعد ولا تحصى مما يجعله أحد أهم الابتكارات في العصر الحديث. من بداياتها المتواضعة كمصدر بسيط للضوء إلى تأثيرها التحويلي عبر مجالات متنوعة تستكشف الدراسة الفضول والتحفيز الذي يقود الأبحاث المكثفة منذ إنشاء أول ليزر في عام 1960. مع التركيز على أوصاف الجسيمات والموجات بالإضافة إلى ظواهر مثل الانعكاس والانتكاس والتداخل توضح الدراسة نطاقاً واسعاً من التطبيقات التي تشمل الطب والزراعة والاتصالات. ومن خلال التحليل والتأمل الشاملين يسلم المؤلفون الضوء على الآثار العميقة لتكنولوجيا الليزر في تشكيل حياة الإنسان والبحث العلمي.

عبد السلام واخرون. (2014). "أستخدام الليزر في التطبيقات الصناعية." تبحث هذه الدراسة في تأثير أشعة الليزر على المواد وتستكشف استخدام جهاز الليزر ثاني أكسيد الكربون في عمليات القطع والنحت والنقش مع الاستفادة في المقام الأول من التأثيرات الحرارية. ومن خلال التجربة لوحظ أن امتصاص شعاع الليزر بواسطة عينات مختارة أدى إلى تأثيرات حرارية. وشمل التنفيذ العملي جهاز ثاني أكسيد الكربون المعروف بقدراته العالية على الاختراق واعداداته التي يمكن التحكم فيها مما يوفر تنوعاً اعتماداً على المادة التي تتم معالجتها. يساهم هذا البحث بروى قيمة حول التطبيقات العلمية لأشعة الليزر في البيئات الصناعية مع تسليط الضوء على كفاءتها وقدرتها على التكيف في عمليات التصنيع المختلفة.

علي عبد الفانز (2020). "التقدم في تكنولوجيا الليزر." :مراجعة شاملة. " في هذه الدراسة يقدم سميث فحصاً شاملاً للتطورات في تكنولوجيا الليزر والتي تشمل تطبيقات مختلفة عبر المجالات الصناعية والطبية والعلمية. تتعمق المراجعة في تطور مكونات الليزر وانواعه وتوضح مبادئها التشغيلية وتسلم الضوء على التطورات الملحوظة. ومن خلال تحليل شامل للأدبيات ودراسات الحالة الموجودة تعرض الدراسة

التأثير التحويلي لليزر في التصنيع الدقيق والتشخيص الطبي والأبحاث المتطورة. لا تحدد مراجعة سميث الشاملة الحالة الحالية لتكنولوجيا الليزر فحسب بل تقدم أيضاً رؤى حول الاتجاهات المستقبلية المحتملة والاتجاهات الناشئة في هذا المجال مما يعزز فهماً أعمق لدور هذه التكنولوجيا المحورية في المجتمع الحديث

محمود ستار. (2019). "استكشاف تطبيقات الليزر: تحليل مقارن." تتعمق دراسة جونسون في التطبيقات المتنوعة لليزر عبر الصناعات والممارسات الطبية والبحث العلمي. من خلال التحليل المقارن لتقنيات الليزر وكفاءتها تهدف الدراسة إلى الكشف عن الاستخدامات المثلى لليزر في سباقات مختلفة. من خلال دراسة دراسات الحالة والنتائج التجريبية يسلط جونسون الضوء على تعدد استخدامات الليزر في مهام مثل معالجة المواد والجراحة والتحليل الطيفي. ويقدم البحث رؤى قيمة حول العوامل التي تؤثر على اختيار أنظمة الليزر وتحسينها لتطبيقات محددة مما يساهم في تقدم تكنولوجيا الليزر وتكاملها في مختلف المجالات.

3_1. أهداف البحث:

يهدف هذا البحث على التكم عن مقدمة مختصرة حول موضوع الليزر ومتى ظهر الليزر وذكر العلماء الذين اكتشفوا الليزر وقاموا بتطويره والتطرق إلى الدراسات السابقة التي تخص الليزر والتعرف على مفهوم الليزر وجهاز الليزر ومعرفة خصائص الليزر وأنواعه ومبدأ عمله ويهدف أيضاً إلى التعرف على تطبيقات الليزر وعددها كثير لا يمكن حصرها في هذا البحث لكن نتعرف على عدد بسيط منها أما أواخر البحث سنتعرف على مخاطر الليزر والاضرار الناتجة عن استخدامه.

الفصل الثاني

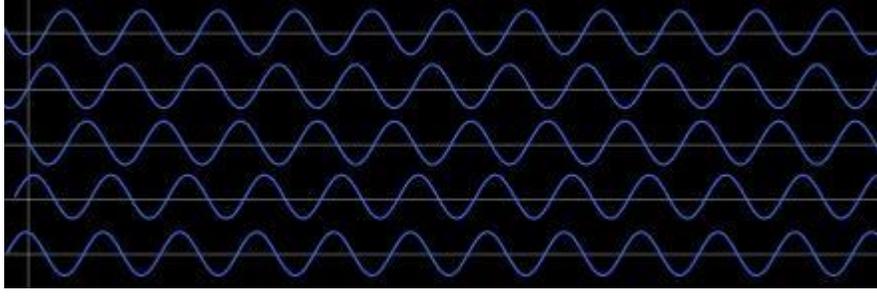
الليزر

1_2. الجانب النظري :

يقدم هذا القسم نظرة عامة على الاعتبارات ذات الصلة بدراسة الليزر مع توضيح أهمية فهم تكنولوجيا الليزر في التطبيقات المختلفة. أنه يمهد الطريق لفحص مكونات أجهزة الليزر وتشغيلها وخصائصها مما يوفر سياقاً للمناقشات اللاحقة حول أجهزة الليزر ووظائفها وأنواعها. بالإضافة إلى ذلك تناقش المقدمة أهمية خصائص إشعاع الليزر وأثارها في مختلف المجالات مما يضع الأساس لاستكشاف شامل لأشعة الليزر في الأقسام اللاحقة.

2_2. الليزر :

الليزر (LASER) باللغة الإنجليزية تعني "LIGHT AMPLIFICATION BY STIMULATED EMISSION OF RADIATION" وهو اختصار لعبارة تضخيم الضوء عن طريق الانبعاث المحفز للإشعاع "وهو جهاز يولد شعاعاً ضوئياً متماسكاً وأحادي اللون ومتجهاً من خلال عملية الانبعاث المحفز. وهو يعمل عن طريق تحفيز الذرات أو الجزيئات لإصدار فوتونات في الطور مع الفوتون الوارد وبالتالي تضخيم الطاقة الضوئية. يتميز الليزر بقدرته على إنتاج حزم ضوئية عالية التركيز بأطوال موجية محددة مما يجعله أدوات لا تقدر بثمن في مجالات مختلفة مثل الطب والاتصالات والتصنيع والأبحاث يستخدم الليزر أشعة ضوئية أحادية الطول الموجي أي لها نفس طول الموجة وهي تتولد في أنواع معينة من البلورات النقية. ويعمل جهاز الليزر على تسوية طور الموجات الضوئية بحيث تكون جميعها في نفس الطور، فتشند طاقتها. بين الشكل المجاور الموجات الضوئية التي لها نفس الطور



شكل رقم (1): موجات في نفس الطور، (كما في الليزر)

ويمكن تشبيهه نبضة شعاع الليزر بالكتيبة العسكرية حيث يتقدم جميع العسكر بخطوات متوافقة منتظمة وبينما يشع المصباح عادي الضوء في موجات ضوئية مبعثرة غير منتظمة فلا يكون لها طاقة الليزر فتكون كالناس في الشارع كل منهم له اتجاه غير الآخر ولكن باستخدام البلورات من مواد مناسبة (مثل الياقوت الاحمر) عالية النقاوة يمكن تحفيز إنتاجها لأشعة ضوئية من لون واحد أي ذو طول موجي واحد) وكذلك تكون في طول موجي واحد عندئذ تتطابق الموجات على بعضها البعض - عن طريق انعكاسها عدة مرات بين مرآتين داخل بلورة الليزر فتصبح كالعسكر في الكتيبة- فتنظم الموجات وتتداخل تداخلا بناء وتخرج من الجهاز بالطاقة الكبيرة المرغوب فيها[7]



شكل رقم (2)

هذه الصورة توضح ليزر اشباه الموصلات هو أحد المصادر الشائعة لليزر ذو القدرات المتوسطة ويستخدم في

مجالات متعددة ويتواجد بأطياف مختلف

3_2. جهاز الليزر :

جهاز الليزر هو أداة بصرية مصممة لإنتاج ضوء الليزر ومعالجته لمجموعة واسعة من التطبيقات. ويتكون عادة من عدة مكونات رئيسية بما في ذلك وسط نشط ومصدر طاقة لإثارة الوسط وعناصر بصرية لمعالجة الشعاع ومرنان لتعزيز التماسك وتضخيم الضوء. يعد الوسط النشط والذي يمكن أن يكون غازاً أو سائلاً أو شبه موصل أو مادة صلبة أمراً بالغ الأهمية لإصدار الفوتونات من خلال الانبعاث المحفز. يقوم مصدر الطاقة والذي يمكن أن يكون تفرغاً كهربائياً أو ضخاً ضوئياً أو ليزراً آخر بتنشيط الوسط النشط لبدء عملية الليزر. يتم استخدام العناصر البصرية مثل المرايا والعدسات والمرشحات للتحكم في اتجاه وتركيز وخصائص شعاع الليزر. يتيح الرنان المكون من مرآيا على طرفي تجويف الليزر انعكاس الضوء وتضخيمه داخل الجهاز مما يساهم في توليد شعاع ليزر متماسك ومكثف. تأتي أجهزة الليزر في أنواع وتكوينات مختلفة مصممة خصيصاً لتطبيقات محددة بدءاً من المؤشرات البسيطة المحمولة إلى الأنظمة المعقدة المستخدمة في البحث العلمي والإجراءات الطبية وتقنيات الاتصالات والعمليات الصناعية [8][9].

4_2. مكونات جهاز الليزر :

الوسط النشط : الوسط النشط الذي يشمل مواد مثل الغازات (مثل الهيليوم والنيون) والسوائل (مثل الصبغة) وأشباه الموصلات (مثل زرنكسيد الغاليوم) أو المواد ذات الحالة الصلبة (مثل الياقوت أو بلورات النيوديميوم المخدرة). يخضع لانبعاث محفز لإصدار الفوتونات [8].

مصدر المضخة : يوفر مصدر المضخة مثل مصباح الفلاش أو التفريغ الكهربائي أو الضخم البصري أو أي ليزر آخر الطاقة اللازمة لإثارة الذرات أو الجزيئات داخل الوسط النشط مما يؤدي إلى بدء عملية الليزر [9].

التجويف البصري: يتكون التجويف البصري من مرآتين موجودتين في طرفي جهاز الليزر. تعكس هذه المرايا الفوتونات المتولدة داخل الوسط النشط مما يسهل التضخيم من خلال تمريرات متعددة. مرآة واحدة عاكسة جزئياً لتمكين جزء من ضوء الليزر من الخروج كشعاع خرج [10].

وسط كسب الليزر: داخل الوسط النشط تعمل منطقة محددة تُعرف باسم وسط كسب الليزر على تعزيز الانبعاث المحفز مما يؤدي إلى تضخيم الضوء الوارد وتعزيز تماسك وكثافة شعاع الليزر [10].

آلية الإثارة: تتضمن آلية الإثارة طرقاً مثل التيارات الكهربائية أو الضخ البصري أو التفاعلات الكيميائية أو مصادر الطاقة الأخرى لتنشيط الوسط النشط وتحقيق الانقلاب السكاني وهو شرط أساسي لعملية الليزر [11].

إلكترونيات التحكم: تشرف إلكترونيات التحكم على معلمات مثل خرج الطاقة ومدة النبض ومعدل التكرار وجودة الشعاع مما يضمن تشغيل الليزر بشكل مستقر وموثوق به لتطبيقات محددة [12].

نظام التبريد: تعمل أجهزة الليزر وخاصة عالية الطاقة على توليد الحرارة أثناء التشغيل. يتم استخدام أنظمة التبريد بما في ذلك المراوح أو التبريد السائل أو المبردات

الكهروحرارية لتبديد الحرارة والحفاظ على درجات حرارة التشغيل المثلى للمكونات [12].

5_2. مبدأ عمل الليزر :

في الليزر تتفاعل الفوتونات مع الذرات بثلاث طرق :

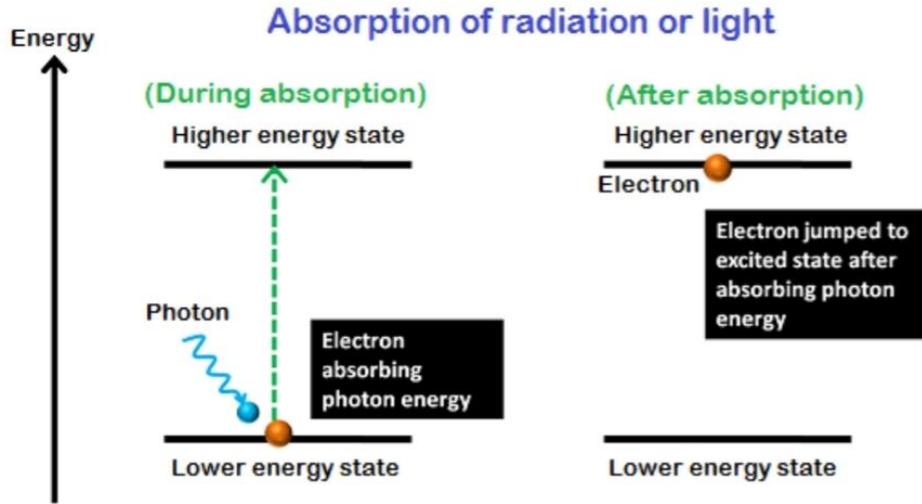
- امتصاص الإشعاع
- الانبعاث التلقائي
- الانبعاث المحفز

1_ امتصاص الإشعاع :

امتصاص الإشعاع هو العملية التي تمتص من خلالها الإلكترونات الموجودة في الحالة الأرضية الطاقة من الفوتونات لتنتقل إلى مستوى الطاقة الأعلى.

الإلكترونات التي تدور بالقرب من النواة تكون في مستوى طاقة أقل أو حالة طاقة أقل بينما الإلكترونات التي تدور بعيداً عن النواة تكون في مستوى طاقة أعلى . تحتاج الإلكترونات الموجودة في مستوى الطاقة الأدنى إلى بعض الطاقة الإضافية للانتقال إلى مستوى الطاقة الأعلى. يتم توفير هذه الطاقة الإضافية من مصادر الطاقة المختلفة مثل الحرارة أو المجال الكهربائي أو الضوء.

دعونا نفكر في مستويين للطاقة E_1 و E_2 للإلكترونات E_1 . هي الحالة الأساسية أو حالة الطاقة المنخفضة للإلكترونات و E_2 هي الحالة المثارة أو حالة الطاقة الأعلى للإلكترونات تسمى الإلكترونات الموجودة في الحالة الأرضية إلكترونات الطاقة المنخفضة أو إلكترونات الحالة الأرضية بينما تسمى الإلكترونات الموجودة في الحالة المثارة إلكترونات الطاقة العالية أو الإلكترونات المثارة [13].



شكل رقم.(3) : هذه الصورة توضح عملية امتصاص الإشعاع أو الضوء من قبل الإلكترون.

بشكل عام لا تستطيع الإلكترونات الموجودة في حالة الطاقة المنخفضة الانتقال إلى حالة الطاقة الأعلى . إنهم بحاجة إلى طاقة كافية للانتقال إلى حالة الطاقة الأعلى.

عندما تسقط فوتونات أو طاقة ضوئية تساوي فرق الطاقة بين مستويي الطاقة ($E_2 - E_1$) على الذرة تكتسب إلكترونات

الحالة الأرضية طاقة كافية وتقفز من الحالة الأرضية (E_1) إلى

الحالة المثارة. (E_2)

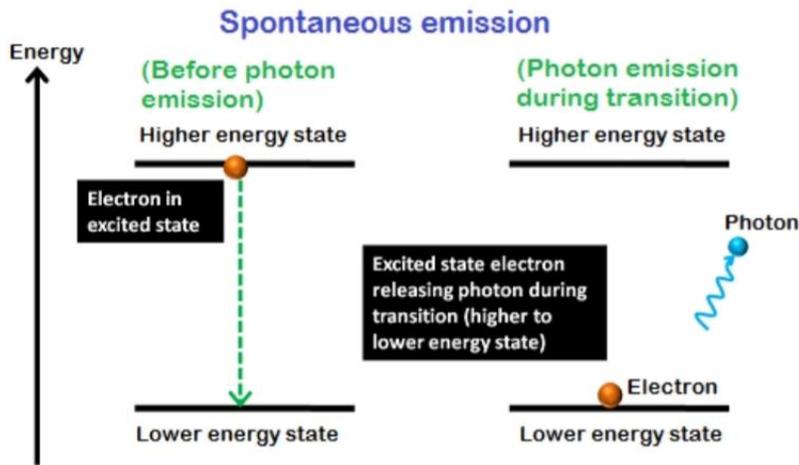
يحدث امتصاص الإشعاع أو الضوء فقط إذا كانت طاقة الفوتون الساقط تتطابق تمامًا مع فرق الطاقة بين مستويي

الطاقة. ($E_2 - E_1$) [13]

2_ الانبعاث التلقائي :

الانبعاث التلقائي هو العملية التي تعود من خلالها الإلكترونات في الحالة المثارة إلى الحالة الأرضية عن طريق انبعاث الفوتونات.

يمكن للإلكترونات الموجودة في الحالة المثارة أن تبقى لفترة قصيرة فقط . يُعرف الوقت الذي يمكن أن يبقى فيه الإلكترون المثار في حالة طاقة أعلى (E2) بعمر الإلكترونات المثارة . عمر الإلكترونات في الحالة المثارة هو 8_10 ثانيه [14].



شكل رقم(4) : هذه الصورة توضح عملية الانبعاث الذاتي، حيث ينتقل الإلكترون من حالة طاقة أعلى إلى حالة طاقة أقل، مطلقاً فوتوناً في العملية.

وهكذا بعد العمر القصير للإلكترونات المثارة فإنها تعود إلى حالة الطاقة المنخفضة أو الحالة الأرضية عن طريق إطلاق الطاقة على شكل فوتونات.

في الانبعاث التلقائي تتحرك الإلكترونات بشكل طبيعي أو تلقائي من حالة (حالة طاقة أعلى) إلى حالة أخرى (حالة طاقة أقل) وبالتالي فإن انبعاث الفوتونات يحدث أيضاً بشكل طبيعي. لذلك ليس لدينا أي سيطرة على الوقت الذي سيفقد فيه الإلكترون المثار الطاقة في شكل ضوء.

تشكل الفوتونات المنبعثة في عملية الانبعاث التلقائي ضوءاً عادياً غير متماسك الضوء غير المتماسك عبارة عن حزمة من الفوتونات مع تغيرات متكررة وعشوائية في الطور بينها. بمعنى آخر الفوتونات المنبعثة في عملية الانبعاث التلقائي لا تتدفق تمامًا في نفس اتجاه الفوتونات الساقطة [14].

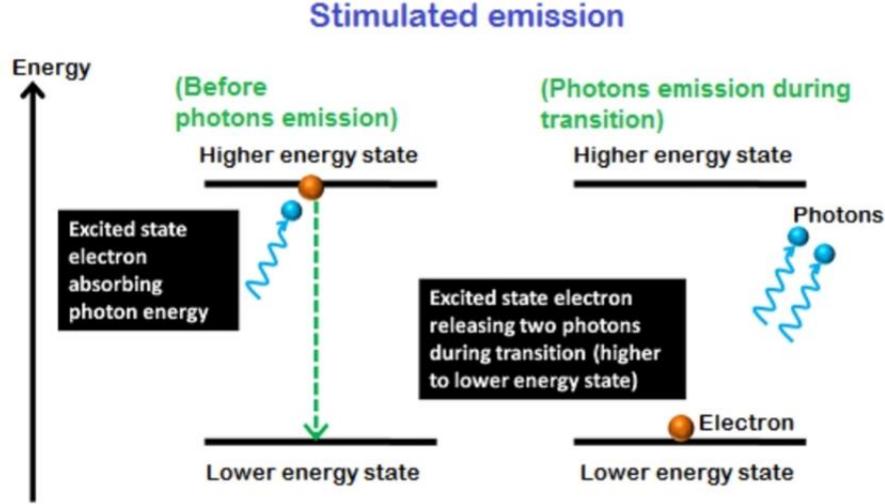
3_ الانبعاث المحفز:

الانبعاث المحفز هو العملية التي يتفاعل من خلالها الفوتون الساقط . مع الإلكترون المثار ويجبره على العودة إلى الحالة الأرضية. في الانبعاث المحفز يتم توفير الطاقة الضوئية مباشرة إلى الإلكترون المثار بدلاً من توفير الطاقة الضوئية إلى إلكترونات الحالة الأرضية.

على عكس الانبعاث التلقائي فإن الانبعاث المحفز ليس عملية طبيعية بل هو عملية اصطناعية. في الانبعاث التلقائي تبقى الإلكترونات في الحالة المثارة هناك حتى انتهاء عمرها الافتراضي بعد إكمال حياتهم يعودون إلى الحالة الأرضية عن طريق إطلاق الطاقة على شكل ضوء.

ومع ذلك في الانبعاث المحفز لا تحتاج الإلكترونات الموجودة في الحالة المثارة إلى الانتظار حتى انتهاء حياتها . يتم استخدام تقنية بديلة لإعادة الإلكترون المثار بالقوة إلى الحالة الأرضية قبل اكتمال حياته. تُعرف هذه التقنية باسم الانبعاث المحفز.

عندما يتفاعل الفوتون الساقط . . مع الإلكترون المثار فإنه يجبر الإلكترون المثار على العودة إلى الحالة الأرضية. يطلق هذا الإلكترون المتحمس طاقة على شكل ضوء أثناء سقوطه على الحالة



شكل رقم (5) : هذه الصورة توضح عملية الانبعاث المحفز تظهر الصورة الإلكترون في حالة طاقة أعلى قبل الانبعاث والانتقال إلى حالة طاقة أقل بعد إطلاق فوتونات خلال هذه العملية.

في الانبعاث المحفز ينبعث فوتونان (ينبعث فوتون إضافي واحد) أحدهما بسبب الفوتون الساقط والآخر بسبب إطلاق طاقة الإلكترون المثار . وبالتالي ينبعث فوتونان.

عملية الانبعاث المحفز سريعة جدًا مقارنة بعملية الانبعاث التلقائي.

جميع الفوتونات المنبعثة في الانبعاث المحفز لها نفس الطاقة ونفس التردد وهي في طور . ولذلك فإن جميع الفوتونات الموجودة في الانبعاث المحفز تسير في نفس الاتجاه [14]. يعتمد عدد الفوتونات المنبعثة في الانبعاث المحفز على عدد الإلكترونات في مستوى الطاقة الأعلى أو الحالة المثارة وكثافة الضوء الساقط.

يمكن كتابتها على النحو التالي:

عدد الفوتونات المنبعثة a عدد الإلكترونات في الحالة المثارة + شدة الضوء الساقط [14].

6_2. خصائص إشعاع الليزر:

يمتلك إشعاع الليزر العديد من الخصائص الفريدة التي تميزه عن مصادر الضوء التقليدية وتجعله ذو قيمة عالية لمختلف التطبيقات. وتشمل هذه الخصائص التماسك، وأحادية اللون، والاتجاه، والكثافة العالية.

1. التماسك : ضوء الليزر متماسك، مما يعني أن الموجات المنبعثة من الليزر تكون في الطور مع بعضها البعض.

وينتج عن هذا التماسك واجهة موجية محددة جيدًا ، مما يمكن أشعة الليزر من الحفاظ على خصائصها المكانية والزمانية على مسافات طويلة. يسمح التماسك لليزر بإنتاج أنماط تداخل وتحقيق تصوير عالي الدقة في تطبيقات مثل التصوير المجسم وقياس التداخل[15].

2. أحادية اللون : إشعاع الليزر أحادي اللون، ويتكون من موجات ضوئية ذات طول موجي واحد أو نطاق ضيق من الأطوال الموجية. يمكن عرض النطاق الترددي الضيق هذا لليزر من إنتاج ضوء بألوان محددة بدرجة نقاء عالية، مما يسهل التحليل الطيفي الدقيق والتطبيقات القائمة على الألوان في مجالات مثل التشخيص الطبي والاتصالات [16].

3. الاتجاهية: تظهر أشعة الليزر اتجاهية عالية، مما يعني أنها تنتشر بطريقة مركزة ومتوازية مع الحد الأدنى من الاختلاف. يمكن هذا الانتشار الاتجاهي أشعة الليزر من توصيل طاقة مركزة إلى أهداف محددة بدقة عالية، مما يجعلها مثالية لتطبيقات مثل القطع بالليزر واللحام ومعالجة المواد [17].

4. الكثافة العالية : يتميز إشعاع الليزر بكثافته العالية، حيث تتجاوز كثافات الطاقة بكثير مصادر الضوء التقليدية. تتيح هذه الكثافة العالية لليزر توليد درجات حرارة وضغوط شديدة في المناطق المحلية، مما يتيح تطبيقات مثل جراحة الليزر والاستئصال بالليزر، وتوليد البلازما المستحثة بالليزر [18].

7_2. أنواع الليزر :

1. ليزر الغاز :يستخدم ليزر الغاز خليط الغاز كوسيط نشط لتوليد ضوء الليزر. ومن الأمثلة على ذلك ليزر الهيليوم النيون (HeNe) ، وليزر ثاني أكسيد الكربون (CO2)، وليزر الأرجون الأيوني، وليزر الإكسيمر. تشتهر أجهزة الليزر الغازية بإنتاجها العالي الطاقة ونطاقها الواسع من الأطوال الموجية، مما يجعلها مناسبة لتطبيقات مثل القطع بالليزر واللحام والجراحة الطبية [17].

2 . ليزر الحالة الصلبة : يستخدم ليزر الحالة الصلبة وسطاً بلورياً أو زجاجياً صلباً مشبعاً بالأيونات كوسيط نشط. تشمل الأمثلة ليزر عقيق ألومنيوم الإيتريوم المغطى بالنيوديميوم (Nd:YAG)، وليزر الياقوت، وليزر الصمام الثنائي لأشباه الموصلات. توفر ليزرات الحالة الصلبة كفاءة عالية وضغطاً وموثوقية، مما يجعلها سائدة في العديد من التطبيقات بما في ذلك الوشم بالليزر والنقش والإجراءات الطبية [10].

3.ليزر أشباه الموصلات: يستخدم ليزر أشباه الموصلات المعروف أيضاً باسم ليزر الصمام الثنائي، مادة شبه موصلة كوسيط نشط فهي صغيرة الحجم، وموفرة للطاقة، وفعالة من حيث التكلفة، مما يجعلها تستخدم على نطاق واسع في الاتصالات السلكية واللاسلكية، وأجهزة التخزين الضوئية، ومؤشرات الليزر تعد أشعة الليزر أشباه الموصلات أيضاً مكونات مهمة في أنظمة اتصالات الألياف الضوئية وتقنيات الطباعة بالليزر [12].

4. ليزر الألياف :يستخدم ليزر الألياف . الألياف الضوئية كوسيط نشط لتوليد ضوء الليزر. إنها توفر جودة عالية من الشعاع والاستقرار، والكفاءة، مما يجعلها مناسبة لتطبيقات القطع الصناعية واللحام ومعالجة المواد. تُستخدم ألياف الليزر أيضاً في الاتصالات والاستشعار والتشخيص الطبي نظراً لصغر حجمها وتعدد استخداماتها [19].

5. ليزر الصبغة: تستخدم أشعة الليزر الصبغية جزيئات الصبغة العضوية المذابة في مذيب كوسيط نشط. إنها توفر نطاقاً واسعاً من الأطوال الموجية القابلة للضبط وطاقات النبض العالية، مما يجعلها ذات قيمة للبحث العلمي والتحليل الطيفي والتطبيقات الطبية مثل الأمراض الجلدية وطب العيون [20].

6. ليزر الأكسيمر: يستخدم ليزر الأكسيمر مخاليط هاليد الغاز النادرة كوسيط نشط لإنتاج ضوء فوق بنفسجي قصير الطول. يتم استخدامها في الطباعة الحجرية الضوئية لتصنيع أشباه الموصلات، وكذلك في جراحة العيون لإجراءات مثل الليزك (بمساعدة الليزر في القرنية الموضعية) و PRK (استئصال القرنية الانكساري الضوئي) [20].

الفصل الثالث

تطبيقات ومخاطر الليزر

1_3. تطبيقات الليزر:

في هذا الفصل، سنشرح في استكشاف التطبيقات الواسعة والمتعددة الاستخدامات لتكنولوجيا الليزر، والتي تغلغت تقريباً في كل جانب من جوانب الحياة الحديثة منذ بداياته المتواضعة كفضول علمي إلى وجوده في كل مكان في الصناعة والرعاية الصحية والدفاع وما بعدها، أحدث الليزر تغييراً جذرياً في الطريقة التي نتفاعل بها مع العالم من حولنا. ومن خلال الخوض في التطبيقات المتعددة الأوجه لليزر، نكشف عن نسيج غني من الابتكار والإبداع والتقدم الذي يشمل العديد من القطاعات والتخصصات ومنها:

1. تطبيقات الليزر في الفيزياء: تشمل تطبيقات الليزر في الفيزياء

التحليل الطيفي بالليزر والضخ البصري وجراحة الليزر، حيث يستخدم التحليل الطيفي بالليزر لدراسة خصائص الذرات والجزيئات.

يمكن استخدام ضوء الليزر لإثارة الذرات أو الجزيئات إلى مستويات طاقة عالية والتي يمكن أن تتحلل منها مرة أخرى إلى الحالة الأرضية، مما يؤدي إلى إصدار فوتون و يمكن الكشف عن الفوتونات المنبعثة وتحليلها لتحديد مستويات الطاقة للذرة أو الجزيء.

يستخدم الضخ البصري لإنشاء انعكاس سكاني، وهو أمر ضروري لعملية الليزر. يحدث الانقلاب السكاني عندما يكون هناك عدد أكبر من الذرات في حالة الإثارة أكثر من الحالة الأرضية. يمكن تحقيق ذلك عن طريق تسليط ضوء الليزر على الذرات والذي سيمتص الفوتونات ويتحمس

لمستويات طاقة أعلى. [20].

2. تطبيقات الليزر في الكيمياء :

1 - تستعمل الليزرات للاغراض التشخيصية لإنتاج تغيرات كيميائية غير قابلة للانعكاس (الكيمياء الضوئية) مثل فصل نظائر اليورانيوم والديتريوم وعملية فصل اليورانيوم تتم

بطريقتين:

أ- التأين الضوئي للنظير المرغوب U235 بضوء ذي طول موجي ملائم طالما ان النظير ضح شعاعيا"

ب- بعد ذلك باستخدام حقل كهربائي تكون مادة اليورانيوم بشكل بخار ذري

2 - استطرارة رامان المضادة لاستطرارة ستوك CARS تقنية يمكن

الحصول منها على تركيب وخصائص الجزيئات متعددة الذرات وتستخدم لقياس التركيز ودرجة الحرارة لصنف معين من الجزيئات.

3. الاتصالات السلكية واللاسلكية:

في قلب عالمنا المترابط تقع شبكة معقدة من شبكات الاتصالات، مدعومة بسرعة ودقة تكنولوجيا الليزر. نحن نتعمق في البنية التحتية المعقدة لأنظمة اتصالات الألياف الضوئية، حيث يعمل الليزر بمثابة العمود الفقري لنقل البيانات بسرعة عالية عبر مسافات شاسعة. من مراكز البيانات المزدهمة التي تزود حياتنا الرقمية بالطاقة إلى كابلات الألياف الضوئية التي تتقاطع مع قاع المحيط، يتيح الليزر إمكانية الاتصال

السلس، مما يتيح الاتصال الفوري وتبادل المعلومات على نطاق عالمي [21].

4. التصنيع ومعالجة المواد:

في عالم التصنيع، يظهر الليزر كأدوات لا غنى عنها لتشكيل المواد الخام وقطعها وتحويلها إلى منتجات نهائية بدقة وكفاءة لا مثيل لهما. نحن نستكشف عددًا لا يحصى من تطبيقات الليزر في البيئات الصناعية، بدءًا من القطع واللحام بالليزر في صناعة السيارات والفضاء وحتى وضع العلامات والنقش بالليزر في الأجهزة الإلكترونية الاستهلاكية والتغليف. مع ظهور تقنيات التصنيع المضافة مثل تليد الليزر الانتقائي والطباعة الحجرية المجسمة، يمهد الليزر الطريق لعصر جديد من الإنتاج المخصص حسب الطلب، مما يحدث ثورة في الطريقة التي نصمم بها البضائع ونصنعها

[21]

أكثر أنواع الليزر المستخدمة في التطبيقات الصناعية هي:

1. ليزر ثنائي أوكسيد الكربون CO2 المستمر

2. ليزر ثنائي أوكسيد الكربون CO2 النبضي

3. ليزر النيديميوم-ياك (Nd:YAG) المستمر

4. ليزر النيديميوم-ياك (Nd:YAG) النبضي

5. ليزر النيديميوم – زجاج (Nd:Glass) النبضي

6. ليزر الياقوت (Ruby) النبضي

7. ليزر التيتانيوم-زفير (TiSapphire)

8. ليزر فلوريد الكربتون (KrF)

9. ليزر فلوريد الأركون (ArF)

5. الطب والرعاية الصحية:

في مجال الطب، يقدم الليزر مجموعة من التقنيات الجراحية ذات التدخل الجراحي البسيط وأدوات التشخيص المتقدمة التي تعيد تعريف حدود الرعاية الصحية الحديثة. نحن نتعمق في غرف العمليات حيث يقوم الليزر بإجراء إجراءات دقيقة بدقة متناهية، بدءًا من جراحة العيون بالليزر والعلاجات الجلدية وحتى طب الأسنان والإجراءات التجميلية بمساعدة الليزر. وبعيدًا عن طاولة العمليات، يلعب الليزر دورًا حاسمًا في التصوير الطبي والتشخيص، مما يمكن الأطباء من النظر بعمق إلى جسم الإنسان بوضوح ودقة، مما يحدث ثورة في الطريقة التي نشخص بها الأمراض ونعالجها [22].

6. الدفاع والأمن :

في الخطوط الأمامية للدفاع والأمن، يظهر الليزر كأدوات قوية للمراقبة والاستهداف والردع في عالم متزايد التعقيد والترابط نحن ندرس دور الليزر في التطبيقات العسكرية، بدءًا من أنظمة الأسلحة الموجهة بالليزر ودرع الدفاع الصاروخي إلى أسلحة الطاقة الموجهة والاتصالات في ساحة المعركة. بفضل سرعته ودقته وتعدد استخداماته، يوفر الليزر وسيلة فعالة لحماية الأمن القومي والحماية من التهديدات الناشئة في مشهد جيوسياسي دائم التغير [23].

7. التطبيقات البيئية والجوية:

في مجال العلوم البيئية وأبحاث الغلاف الجوي، يوفر الليزر نافذة فريدة على التفاعل المعقد بين الأنظمة الطبيعية والنشاط البشري. نحن نستكشف استخدام الليزر في الاستشعار عن بعد والرصد البيئي، بدءًا من أنظمة LIDAR التي ترسم خريطة لسطح الأرض بتفاصيل غير مسبوقة وحتى LIDARS الجوية التي تستكشف تكوين وديناميكيات الغلاف

الجوي بدقة ودقة. بفضل قدرتها على اختراق حجاب الهواء والفضاء، تمكن أشعة الليزر العلماء من كشف أسرار ماضي كوكبنا وحاضره ومستقبله، مما يوفر رؤى لا تقدر بثمن حول تأثير تغير المناخ والنشاط البشري على العالم الطبيعي [22].

8. الحفاظ على التراث الثقافي:

في مجال الحفاظ على التراث الثقافي، يظهر الليزر كأدوات قوية للحفاظ على كنوز تاريخنا الإنساني المشترك لكي تعتر به وتستمتع به الأجيال القادمة. نحن نستكشف الفن الدقيق للتنظيف والترميم بالليزر، حيث يزيل الليزر بدقة قرونًا من الأوساخ والتحلل من القطع الأثرية والآثار

التي لا تقدر بثمن، مما يكشف عن جمال وحرفية العصور الماضية من المعابد القديمة في مصر إلى كاتدرانيات العصور الوسطى في أوروبا، يقدم الليزر وسيلة لطيفة وفعالة لحماية تراثنا الثقافي ضد ويلات الزمن والاضمحلال، مما يضمن استمرار قصص وإنجازات أسلافنا لأجيال قادمة [24].

2_3. مخاطر الليزر :

1. المخاطر الصحية :

يمكن أن يشكل إشعاع الليزر مخاطر صحية كبيرة على الأفراد المعرضين له، على الرغم من الفائدة التي تنتج من استخدامه، إلا أنه قد يُصيب الإنسان ببعض الأضرار في الأجزاء التي تم تعريضها للأشعة، وما يلي الأضرار الناتجة عن استخدام الليزر:

أضرار جلدية الإصابة بتصبغات الجلد؛ وتعني تصبغات الجلد ظهور بقع لونها أبيض، وتظهر هذه البقع على الجلد بسبب عدم إمكانية الميلانين من الوصول إلى الجلد بسبب تعريضها لليزر، وقد تكون التصبغات عبارة عن بقع غامقة اللون؛ وتظهر بسبب حدوث زيادة في إفراز مادة الميلانين في المنطقة التي تم تعريضها لليزر.

حدوث تهيج وتورم في الجلد، وظهور بعض الانتفاخات، والإصابة بحكة في المنطقة المعرضة للأشعة؛ وتعد هذه الأضرار مؤقتة وتزول بعد فترة من الاستخدام. الإصابة ببعض الألم الموضعي وبعض الوخزات في المنطقة المعرضة.

أضرار في العين، وتعد العين من الأعضاء الحساسة في الجسم وقد تُصاب بأضرار كبيرة عند استخدام الليزر، لذلك يجب الاهتمام وأخذ الحيطة والحذر عند معالجتها بالأشعة، فقط تُسبب بعض الأخطاء باستخدام الليزر إلى حدوث أضرار بالغة في العين، ومن هذه الأضرار الحاصلة ما يلي: حدوث ضغط في سوائل العين. الإصابة بجفاف في القرنية.

أضرار عامة في الجسم الإصابة بالعدوى: عند المعالجة بالليزر تُصبح المنطقة المعالجة حساسة جداً وتُصاب بالتهيج؛ لذلك تُصبح أكثر معرضة للإصابة بالعدوى بشكل أكبر، فيجب الاهتمام في تنظيفها

بشكل مستمر.

الإصابة بالحروق: تتميز أشعة الليزر بارتفاع درجة حرارتها بشكل كبير؛ لذلك من الممكن أن يُصاب الجلد الحساس ببعض الحروق عند المعالجة بالأشعة، وتختلف إمكانية الإصابة بالحروق ودرجة الحروق باختلاف نوع الجلد وطبيعته، ونوع بشرة الجسم. وضعت الهيئات التنظيمية مثل إدارة السلامة والصحة المهنية (OSHA) والمعهد الوطني الأمريكي

للمعايير (ANSI) حدود التعرض وإرشادات السلامة للحماية من هذه يعد الامتثال لهذه المعايير أمرًا بالغ الأهمية لتقليل مخاطر ذلك، المخاطر. ومع الآثار الصحية الضارة بين مستخدمي الليزر والعاملين في بيئات الليزر. [25]

2. المخاطر البيئية:

يمكن أن تؤدي عمليات التصنيع ومعالجة المواد بالليزر إلى توليد انبعاثات خطيرة ونفايات تشكل مخاطر بيئية. وتشمل هذه الملوثات المحمولة جواً مثل المواد الجسيمية والمركبات العضوية المتطايرة (VOCs) ، بالإضافة إلى مجاري النفايات السائلة والصلبة التي تحتوي على مواد كيميائية سامة ومعادن ثقيلة. تتضمن الجهود المبذولة للتخفيف من هذه المخاطر تنفيذ تدابير منع التلوث، مثل التحكم في الانبعاثات واستراتيجيات تقليل النفايات، لتقليل البصمة البيئية لعمليات الليزر. بالإضافة إلى ذلك، يعد الالتزام باللوائح البيئية ومبادرات الاستدامة أمرًا ضروريًا لضمان الإدارة المسؤولة للموارد الطبيعية والنظم البيئية المتأثرة بتكنولوجيا الليزر. [23]

3. مخاطر السلامة:

يشكل تشغيل وصيانة معدات الليزر مخاطر على سلامة الموظفين بسبب احتمال وقوع حوادث وإصابات. وتشمل هذه المخاطر، المخاطر الكهربائية، والمخاطر الميكانيكية، ومخاطر شعاع الليزر الناتجة عن التعرض للإشعاع المباشر أو المنعكس تتضمن استراتيجيات إدارة المخاطر الفعالة تنفيذ بروتوكولات السلامة، مثل تقييمات المخاطر، وإجراءات الإغلاق/ الإغلاق، ومتطلبات معدات الحماية الشخصية، لتقليل احتمالية وقوع الحوادث والتخفيف من عواقبها. علاوة على ذلك، تعد مبادرات التدريب والتعليم المستمرة أمرًا بالغ الأهمية لتعزيز ثقافة السلامة بين مستخدمي الليزر وتعزيز الوعي بالمخاطر المحتملة وأفضل الممارسات للتشغيل الآمن. [25]

الاستنتاجات :

1. الليزر هو جهاز يبعث شعاعاً من الضوء المتماسك من خلال عملية التضخيم البصرية.
2. ان موضوع الليزر وخلال السنوات العشرة الأخيرة احتل موقعاً في الحديث من جوانب العلوم والتقنيات المختلفة فمثلاً استبدلت المصابيح التقليدية و الطيفية منها والحرارية بمصدر الليزر.
3. ان الليزر يمتلك أربعة خصائص رئيسية وهي التماسك والاتجاهية وأحادية اللون والكثافة العالية.
4. أتوقع لأشعة الليزر وأجهزته مستقبلاً مذهلاً مشرقاً في العلوم التطبيقية خاصة عند دمجها مع تقنية الألياف الضوئية
5. على الرغم من تطور استخدام الليزر إلا أنه يواجه الكثير من الصعوبات لأنه لا يزال هناك مخاوف من تأثير استخدامه وضرورة ضبط تقنية العمل به.
6. أن تطبيقات الليزر كثيرة لا يمكن حصرها في هذا البحث منها في المجالات العلمية والصناعية وفي الطب والتي بدأت تنتشر انتشاراً واسعاً وتلقى قبولاً كبيراً نظراً لجودتها ودقتها .
7. أن اهم تطبيقات الليزر هي التطبيقات الطبية وذلك لارتباطها المباشر بحياة وصحة الانسان فالليزر يستخدم بالكثير من التطبيقات الطبية المتعلقة بالتشخيص الدقيق والعلاج وكذلك الكثير من التطبيقات في مجال الرعاية الصحية.

المصادر

- [1] أينشتاين أ. (1921) على نظرية الكم للإشعاع". مجلة الجمعية البصرية الأمريكية 45.
- [2] Maiman, T. H. (1960). "Stimulated Optical Radiation In Ruby." Nature, 32.
- [3] الخزرجي حسين علاء (2019). "الليزر : من النظرية إلى التطبيقات." مجلة الفيزياء العربية 23.
- [4] عبد المجيد ح. وآخرون. (2017). "التطورات الحديثة في تكنولوجيا الليزر " المجلة العربية للعلوم 112.
- [5] أحمد راند محمود (2018) تطبيقات الليزر في التصنيع. " وقائع المجمع العربي للعلوم والتكنولوجيا 78.
- [6] الحكيم س . ع (2020). "الابتكارات في أبحاث الليزر . " مجلة الابتكار العربي 45.
- [7] . زحاف صالح، زرفاوي & يعقوب (2009) . (دراسة الليزر وتطبيقاته Doctoral Dissertation).
- [8].Anthony E. Siegman, "Lasers," University Science Books, 1986 .
- [9] Peter W. Milonni and Joseph H. Eberly, "Lasers," John Wiley & Sons, 2010 .
- [10]Orazio Svelto, "Principles of Lasers," Springer, 2010 .
- [11] Amnon Yariv and Pochi Yeh, "Photonics: Optical Electronics in Modern Communications," Oxford University Press,2007.
- [12] Govind P. Agrawal, "Fiber-Optic Communication Systems," John Wiley.& Sons, 2012.
- [13] . بوخطة ربيعة &، حريز نور الهدى. دراسة طيفية لعنصر الإيتريوم في بعض أنواع الزجاج (DOCTORAL dissertation) جامعة قاصدي مرباح ورقلة.
- [14] Herd, R. M., Dover, J. S., & Arndt, K. A. (1997). Basic laser . principles Dermatologic clinics, 15(3), 355-372.
- [15] .Joseph W. Goodman, "Introduction to Fourier Optics," Roberts and Company Publishers, 2005.

[16]Milo Wolff, "Exploring the Physics of the Unknown Universe: An Adventurous Journey into the World of Particles, Fields, and Waves," Taylor & Francis Group, 2019.

[17]Mark Csele, "Fundamentals of Light Sources and Lasers," John Wiley & Sons, 2004.

[18]Dieter Meschede, "Optics, Light and Lasers: The Practical Approach to Modern Aspects of Photonics and Laser Physics," Wiley-VCH, 2008.

[19]Johan Nilsson, "High-Power Fiber Lasers: A Review," IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, 2013.

[20]F.J. Duarte, "Dye Laser Principles," Academic Press, 1990 .

[21] Shin, Y. C., Wu, B., Lei, S., Cheng, G. J., & Lawrence Yao, Y. (2020). Overview of laser applications in manufacturing and materials processing In recent years. .Journal of Manufacturing Science and Engineering, 142(11), 110818

[22] Sroka, R., Stepp, H., Hennig, G., Brittenham, G. M., Rühm, A., & Lilge, L. (2015). Medical laser application: translation into the clinics. Journal of Biomedical Optics, 20(6), 061110_061110.

[23] سيد عفان، مجاهد محسن، وسيد محمد زبير علي "المسح والتحليل التكنولوجي لليزر وتطبيقاته الدفاعية." تكنولوجيا الدفاع 17.2 (2021): 583-592.

[24]Pereira-Pardo, L., & Korenberg, C. (2018). The use of erbium laser For the conservation of cultural heritage. A review. Journal of Cultural Heritage, 31, 236-247.

[25] Daggett, C., Daggett, A., McBurney, E., & Murina, A. (2020). Laser Safety: the need for protocols. Cutis, 106(2), 87-92.

