جمهورية العراق

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي.

جامعة بابل / كلية التربية للعلوم الصرفة.

قسم الفيزياء

الدراسات الاولية

ليزر الياقوت

مشروع بحث مقدم الى

مجلس قسم الفيزياء / كلية التربية للعلوم الصرفة جامعة بابل لنيل شهادة البكالوريوس

في علوم الفيزياء

من قبل الطالب:

رضا عباس فاضل صافي

تحت اشراف الدكتور القدير:

خالد حسن بدر

٢٠٢٣

الآية الكريمة

بِسۡمِ ٱللَّهِ ٱلرَّحۡمَٰنِ ٱلرَّحِيمِ

(وَٱللَّهُ أَخۡرَجَكُم مِّنۢ بُطُونِ أُمَّهَٰتِكُمۡ لَا تَعۡلَمُونَ شَيۡـٔٗا وَجَعَلَ لَكُمُ ٱلسَّمۡعَ وَٱلۡأَبۡصَٰرَ وَٱلۡأَفۡـِٔدَةَ لَعَلَّكُمۡ تَشۡكُرُونَ)

صدق اللَّهُ العظيم

(النحل-٧٨-)

الإهداء

(وَقُلِ اعْمَلُوا فَسَيَرَى اللَّهُ عَمَلَكُمْ وَرَسُولُهُ وَالْمُؤْمِنُونَ)

الهي لا يطيب الليل إلا بشكرك ولا يطيب النهار الا بطاعتك.... ولا تطيب اللحظات إلا بذكرك.... ولا تطيب الاخرة إلا بعفوك.... ولا تطيب الجنة إلا برؤيتك.

إلى من وضع المولى – سبحانه وتعالى – الجنة تحت قدميها الى ملاكي في الحياة... الى معنى الحنان... الى بسمه الحياة وسر الوجود... الى من كان دعائها سر نجاحي... وحنانها بلسم جراحي الى اغلى الحبايب الى من بها اكبر وعليها اعتمد.... الى الشمعة التي تنير ظلمة حياتي (امي الحبيبة).

الى من كلله الله بالهيبة والوقار... الى من علمني العطاء بدون انتظار.... الى من احمل اسمه بكل افتخار... ارجو من الله ان يمد في عمرك لترى ثمارا قد حان قطافها بعد طول انتظار وستبقى كلماتك نجوم اهتدي بيها اليوم وفي الغد والى الابد (والدي العزيز).

الى توأم روحي ورفيقة دربي... الى صاحبة القلب الطيب والنوايا الصادقة... الى من رافقتني منذ ان حملنا حقائب صغيرة ومعها سرت الدرب خطوة بخطوة وماتزال ترافقني حتى الان... اختي

الي اصدقائي ومعارفي الذين أجلهم واحترمهم.....

الى اساتذتي في الكلية .....

اهدي لكم بحثي هذا آملا ان يكتب لي الله التوفيق به وان يلهمني من العلم والمعرفة ما يمكنني من خدمة بلدي العزيز.

شكر وثناء

الحمد لله رب العالمين حمد كثيرا الحمد لله الذي حمده عز للحامدين وشكره فوز للشاكرين وذكره شرف للذاكرين وطاعته نجاة للطائعين ،الحمد لله خالق الخلق اجمعين وفالق الحب والنوى والصلاة والسلام على خير خلقه اجمعين وخاتم الانبياء والمرسلين الرسول الاعظم والنبي الاكرم الذي جاء هاديا ومبشرا وعالما ونذيرا محمد الامين قائد الغر المحجلين وعلى اله الميامين واصحابه المنتجبين واتباعهم بإحسان اجمعين.

وبعد.... فعن الرسول الاكرم (صلى الله عليه واله)قال:

"من لم يشكر الناس ،لم يشكر الله"

فبعد الانتهاء من هذا البحث وبعد حمده الله على ما سهل علي به في طلب العلم يطيب لي المقام هنا في ان اشكر استاذيالدكتور خالد حسن بدر واسجل امتناني الوخب وعرفاني العظيم، وكما اقدم شكري لكل من كان عونا لي في الوصول لهذه المرحلة من عائلتي واصدقائي وزملائي في الدراسة غير انني لن اذكر احدا منهم فعسى ان انسى واحد فأبخس حقه.

واخيرا فأني وان ذكرت بضع اسماء وشكرتها فهذا لا يعني انني اتنكر لغيرهم ممن كانوا سندا حقيقيا وعظيما ولا يعني ابدا عدم الوفاء ومن هنا اقدم بحثي لجميع بعد المعذرة وشكري الحار وتقديري المفعم بالمحبة .

الخلاصة :

لليزر هو تقنية حديثة ومهمة للغاية في العلوم والتكنولوجيا. يعمل الليزر عن طريق توليد أشعة ضوئية مركزة ومتجانسة، ويمكن استخدامها في العديد من التطبيقات المختلفة في الصناعة، الطب، الاتصالات، التصوير والكثير من المجالات الأخرى. أما بالنسبة للياقوت، فهو يعتبر واحدًا من المواد الأكثر شيوعًا في الليزرات،

زر الياقوت هو نوع من الأشعة الليزرية التي تستخدم الياقوت كوسط تفاعلي للتوليد وتضخيم الضوء. يتم إنتاج الياقوت في شكل بلورات كبيرة ونقية، ويتم استخدامها على نطاق واسع في العديد من التطبيقات الصناعية والعلمية.تستخدم أجهزة ليزر الياقوت في تقنيات القياس الدقيقة، والتطبيقات الطبية والجراحية، والاتصالات الضوئية، وتحلية المياه، والتصوير الفوتوغرافي والكثير من التطبيقات الأخرى.يعمل ليزر الياقوت عن طريق تنشيط الإلكترونات الموجودة في الياقوت لإرسال الضوء عند تردد معين، ويتم تضخيم هذا الضوء عندما يمر عبر الياقوت. وتعتمد طول الموجة على المستوى الطاقي للإلكترونات في الياقوت.يتميز ليزر الياقوت بالاستقرار والدقة العالية، ويمكنه توليد النبضات بسرعة عالية وبترددات عالية جدًا، مما يجعله مفيدًا للعديد من التطبيقات العلمية والصناعية المختلفة.

يعتبر موذلك بسبب عدد من الخصائص الفريدة التي يتمتع بها. ومن أهم هذه الخصائص:

الاستقرار: يتمتع الياقوت بثبات واستقرار عاليين، مما يجعله مفيدًا في تطبيقات الليزر الدقيقة التي تتطلب دقة عالية واستقرارية.

الشفافية: يتمتع الياقوت بشفافية عالية للضوء في نطاق الأشعة فوق البنفسجية وحتى الأشعة تحت الحمراء، مما يجعله مفيدةن الليزرات المهمة

بلورات الياقوت صلبة ومتينة ومستقرة كيميائيًا ولها موصلية حرارية جيد .

جدول المحتويات

رقم الفقرة	عنوان الفقرة	الصفحة
	الاية الكريمه	ا
	الاهداء	ب
	الشكر والثناء	ج
	الخلاصة	د
	الفصل الاول	
١-١	المقدمة	١
١-٢	الليزر	١
١-٣	تاريخ الليزر	٢
١-٤	تطبيقات الليزر	٤
١-٥	انواع الليزر	٩
١-٦	خصائص جهاز الليزر	١١
١-٧	طريقه عمل جهاز الليزر	١٢
١-٨	طريقة عمل الليزر	١٤
١-٩	استخدامات الليزر	١٥
١-١٠	اضرار استخدام الليزر	١٦
	الفصل الثاني	
٢-١	تعريف ليزر الياقوت	١٨
٢-٢	بناء ليزر الياقوت	١٨
٢-٣	عمل ليزر الياقوت	٢٠
٢-٤	اكتشاف ليزر الياقوت	٢١
٢-٥	استخدام ليزر الياقوت	٢٣
٢-٦	فوائد ومزايا جهاز ليزر الياقوت	٢٤
٢-٧	عيوب جهاز ليزر الياقوت	٢٤
٢-٨	خصائص ليزر الياقوت	٢٥
٢-٩	جهاز ليزر الياقوت	٢٦
٢-١٠	طرية عمل جهاز ليزر الياقوت	٢٨
	الخاتمة	٣٠
	المصادر	٣١

الفصل الاول

١-١المقدمة:

تعتبر تكنولوجيا الليزر من العلوم المتطورة التي تدخل في العديد من التطبيقات مثل استخدام الليزر في التطبيقات الطبية والاتصالات والأبحاث العلمية والهندسية والعسكرية. وأي مستخدم لليزر مهما اختلف تخصصه فهو بحاجة إلى فهم مبدأ عمل الليزر أي ما يعرف بفيزياء الليزر.

إن الليزر هو عبارة عن جهاز يحول الطاقة من مصادر مختلفة إلى صورة اشعاع كهرومغناطيسي. وهذا تعريف بسيط للبدء في الموضوع وتوضيح فكرة عمل الليزر حيث أننا نحصل في النهاية على شعاع كهرومغناطيسي (ضوء) يمتلك العديد من الخواص التي تميزه عن أي مصدر ضوئي. وقد جاءت تسمية كلمة ليزر LASER من الأحرف الأولي لفكرة عمل الليزر وهي Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. وتعني تكبير الضوء بواسطة الانبعاث الاستحثاثي للإشعاع الكهرومغناطيسي. وقد تنبأ بوجود الليزر العالم البرت اينشتاين في ١٩١٧ حيث وضع الأساس النظري لعملية الانبعاث الاستحثاثي stimulated emission وتم تصميم أول جهاز ليزر في ١٩٦٠ بواسطة العالم T.H. Maiman باستخدام بلورة الياقوت ويعرف بليزر الياقوت Ruby laser.[١]

يستخدم الليزر أشعة ضوئية أحادية الطول الموجي إي 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، فتشتد طاقتها. ويمكن تشبيه 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 لبلورات من مواد مناسبة (مثل الياقوت الأحمر) عالية النقاوة يمكن تحفيز إنتاجها لأشعة ضوئية من لون واحد وكذلك تكون في طور موجي واحد. عندئذ تتطابق الموجات على بعضها البعض – عن طريق انعكاسها عدة مرات بين مرآتين داخل بلورة الليزر فتصبح كالعسكر في الكتيبة – فتنتظم الموجات وتتداخل تداخلا بناء وتخرج من الجهاز بالطاقة الكبيرة المرغوب

١-٢ الليزر :

الليزر LASER وهو اختصار للجملة الإنجليزية (Light Amplification by Stimulated Emission Of Radiation)، يعرّف الليزر بأنه عبارة عن إشعاع كهرومغناطيسي يرسل كميات متعادلة من الضوء من حيث التردّد، والطور الموجيّ، تندمج مع بعضها البعض لتصبح على هيئة نبضة ضوئيّة تتسم بالطاقة العالية وذات تماسك شديد، وتُعتبر زاويته منفرجة إلى حد ما، ويتم الاعتماد على تحفيز الإشعاع ليتم توليده. ٠ seconds 0 seconds of ومنح انفراج زاوية الأشعة الليزريّة وما تمتاز به من طاقة عالية وأهميّة بالغة إذ أصبحت [٢]تُستخدم في مجالات متعدّدة من أبرزها القياس، حيث يتم الاستعانة بها لتعطي نتائج ذات دقة عالية في قياس المسافات الصغيرة والكبيرة، كما يتم استخدامها لغايات توليد الحرارة في عمليّات القطع الصناعي، وفي المجال الطبي يتم استخدامها في العمليات الجراحية.[٤]

١-٣ تاريخ تقنية الليزر:

الليزر هو عبارة عن جهاز يقوي موجات الضوء، ويضخمها ويكررها، ويكون الضوء موجه بشكل جيد، وهناك أنواع مختلفة من الليزر، وكل نوع له خصائص مميزة عن غيره،[١] وقد مرت تقنية الليزر بالعديد من التطورات منذ اكتشافها إلى يومنا هذا، سنتعرف عليها بالتفصيل كم يلي:

١٩١٧: اكتشف ألبرت أينشتاين التقنية الأساسية لعمل جهاز الليزر وهي ظاهرة الانبعاث المحفز والتي تنص على أنه من الممكن تحفيز الإلكترونات في الضوء لإصدار ضوء بطول موجي معين.[٢][٣]

١٩٢٨: لاحظ الفيزيائي الألماني رودلف فالتر لادنبرغ انبعاثات محفزة، ولكنها كانت بدون أي فائدة علمية.[٤]

تطور تقنية الليزر في فترة الخمسينات والستينات

تميزت فترة الخمسينات بما يلي بالنسبة لتقنية الليزر:

١٩٥٢: قام تشارلز هارد تاونر من جامعة كولومبيا في نيويورك، ببناء جهاز يمكنه توليد وتضخيم الموجات الدقيقة، بناءً على نظرية أينشتاين، وقد سماه اسم مازر والتي تعني تضخيم أشعة المايكرويف عن طريق الانبعاث المحفز للإشعاع.[٥][٣]

١٩٥٩: اقترح جوردون جولد، طالب الدراسات العليا بجامعة كولومبيا، إنشاء مرنانًا ضوئيًا يمكنه إنشاء حزمة ضيقة من الضوء المتماسك، وأطلق عليه اسم الليزر.[٢]

١٩٦٠: بنى ثيودور ميمان النموذج الأولي لجهاز الليزر في مختبر هيوز للأبحاث، واستخدم الياقوت الأحمر كوسيط نشط وإصدار شعاع أحمر من الضوء بطول موجي ٦٩٤.٣ نانومتر.[٢]

١٩٦٤: اخترع كومار باتيل أول جهاز ليزر باستخدام ثاني أكسيد الكربون، للحصول على قوة شعاع عالية، ولاستخدام الليزر في حفر المعادن ولحامها.[٥]

تطور تقنية الليزر في فترة السبعينات والثمانينات

في هذه الفترة تطورت تقنية الليزر بالشكل التالي:

١٩٧٢: اخترع تشارلز هنري ليزر آبار الكم، والذي يعد أكثر كفاءة من ليزر الصمام الثنائي التقليدي، ويتطلب أقل تيار للوصول إلى عتبة الليزر.[٣]

١٩٧٦: اكتشف جون إم جي مادي ومجموعة آخرون في جامعة ستانفورد في كاليفورنيا أول ليزر إلكتروني حر، وهو عبارة عن ليزر يستخدم حزمة من الإلكترونات التي يتم تسريعها إلى سرعة قريبة من سرعة الضوء، ثم تمر عبر مجال مغناطيسي لإنتاج شعاع متماسك، وتتميز هذه التقنية بما يلي:[٣]

عدم تلف المواد أو حدوث مشاكل في العدسة الحرارية كما تلك التي تصيب الليزر العادي.

تحقيق ذروة إشعاع عالية جدًا.

١٩٨١: منح آرثر شاولو ونيكولاس بلومبيرج جائزة نوبل في الفيزياء، لعملهما على تطوير عملية التحليل الطيفي بالليزر.[١]

١٩٨٥: استخدم ستيفن تشو من مختبرات بيل، عملية التبريد بالليزر، لإبطاء ومعالجة والتحقق من سلوك الذرات.[٣]

تطور تقنية الليزر في التسعينات

تميزت هذه الفترة بما يلي:

١٩٩٤: اختراع ليزر الشلال الكمي (QC)، وهو أول ليزر أشباه موصلات، يمكنه أن يبعث الضوء في وقت واحد، وبأطوال موجية متعددة ومنفصلة، يعد هذا الليزر مثاليًا للاستشعار عن بعد للغازات في الغلاف الجوي.[٣]

١٩٩٦: اختراع أول ليزر ذري نابض، والذي يستخدم المادة بدلًا من الضوء.[٣]

١٩٩٧: تطوير ليزر نيتريد الغاليوم، والذي ينبعث منه ضوء أزرق بنفسجي لامع.[٣]

الألفية وتقنية الليزر

تطورت تقنية الليزر بشكل كبير في الألفية، وحدث فيها ما يلي:

٢٠٠٣: إطلاق أول طائرة تعمل بالليزر، بحيث تم التحكم بها عن طريق ليزر أرضي يتتبع الطائرة أثناء الطيران، ويوجه حزمة الطاقة الخاصة بها إلى الخلايا الكهروضوئية المحمولة على الطائرة لتشغيل مروحة الطائرة.[٣]

٢٠٠٦: بناء أول ليزر سيلكون هجين، يعمل بالكهرباء، وقيل أن هذا الاختراع مفيد لعمليات تصنيع أنابيب نقل المعلومات في أجهزة الكمبيوتر منخفضة التكلفة.[٣]

٢٠٠٩: استخدمت وكالة ناسا الليزر لجمع البيانات حول النقاط العالية والمنخفضة على القمر، واستخدامها لإنشاء خرائط ثلاثية الأبعاد للقمر.[٣]

٢٠١١: أنتج العلماء ليزرًا حيًا، وتم استخدامه لتعديل الخلايا وراثيًا لإنتاج مادة جديدة، هذا النقد فتح الباب أمام استخدام الليزر في التطبيقات الطبية، والفوتونية الحية، وفي نفس العام تم إنتاج ليزر أكسيد الزنك النانوي الموجي في جامعة كاليفورنيا بوساطة البروفيسور جيانلين ليو.[٣]

٢٠١٤: استخدمت وكالة الفضاء الأوروبية الليزر لإنشاء جيجابيت بين قمر صناعي في مدار أرضي منخفض، وآخر في مدار متزامن مع الأرض، مما سهل عملية تدفق المعلومات بين الأقمار الصناعية وبالتالي إلى الأرض.[٣]

٢٠١٥: تم إنتاج ليزر رامان عشوائي قادر على إنتاج صورة واسعة المجال وخالية من البقع في وقت قصير يبلغ حوالي نانو ثانية، وتم تنفيذها على إنتاج صور مجهرية للخلايا الحيوانية ومكوناتها.[٣]

٢٠١٩: طور العلماء طريقة لتوصيل هم سات للمستمعين باستخدام الليزر، قد تسمح هذه التقنية بإرسال رسائل سرية للجيش والإعلام.[٣]

١-٤ تطبيقات الليزر:

يستخدم الليزر حاليا في مجالات متعددة كاستعمالها في الأقراص المدمجة وفي صناعة الإلكترونيات وقياس المسافات بدقة -خاصة أبعاد الأجسام الفضائية وفي الاتصالات.

تطبيقات الليزر الطبية:

تستخدم أشعة الليزر في معالجة بعض أمراض العيون حيث يتم تسليط أشعة ليزر عالية الطاقة على شكل ومضات في نقطة معينة في العين لزمن قصير -أقل من ثانية-. ومن أمراض العيون التي يستخدم فيها الليزر:

- اعتلال الشبكية السكري.
- ثقوب الشبكية.
- انسداد أو تخثر الوريد الشبكي.
- الزرق (ارتفاع ضغط العين)
- عيوب الانكسار الضوئي في العين (طول أو قصر النظر واللابؤرية)
- انسداد القنوات الدمعية.
- بعض الأورام داخل العين.
- عمليات التجميل حول العين.
- حالات اندثار البقعة الصفراء.

كما يستخدم الليزر في العمليات الجراحية مثل جراحة المخ والقلب والأوعية الدموية والجراحة العامة. في عام ١٩٦٠ اخترع جهاز الليزر الذي يطلق الأشعة وحيدة اللون والاتجاه ويمكن أن تتركز بدرجة عالية بوساطة عدسة محدبة. كما أن هناك الكثير من المواد القادرة على إطلاق أشعة الليزر منها المتجمدة (الياقوت الاحمر وزجاج النيوديميوم) ،والغازية(الهيليوم والنيون والزينون) مواد شبه موصلة (زرنيخ، الجاليوم وانتيمون الإنديوم).

تطبيقات الليزر في الصناعة:

عندما يجري تحفيز جهاز الليزر بوساطة الكهرباء ترتفع طاقة ذراتها من المستوى الأدنى إلى المستوى الأعلى ،وتعاود الانخفاض إلى مستوى الطاقة الأدنى مرورا بالمستوى الأوسط نتيجة عدم استقرار الجسيمات الواقعة في مسار الطاقة، عندها تنبعث الفوتونات التي تعطي رنينا في جهاز الليزر وتخرج من الجهاز بطاقة كبيرة وصلت أقصى ما وصلت إليه ١٧٠٠ مليون ميجاواط ويتم التفاعل في ثلاثة على عشرة ملايين ثانية وضغطها مليون وخمسين الف كيلو جرام على السنتيمتر المربع ودرجة الحرارة بين ١٠٠-٢٠٠ الف درجة. ويأمل العلماء باستعمال تلك الطريقة في التوصل إلى الاندماج النووي للعناصر الخفيفة مثل الهيدروجين الثقيل والتريتيوم والليثيوم بغرض إنتاج الطاقة الكهربائية.

وتستخدم أنواع من أجهزة الليزر كالموصوفة أعلاه ولكن تعمل بطاقات أقل، تصل حرارتها إلى بين ١٠٠٠ و ١٨٠٠ درجة مئوية في الصناعة في قطع ألواح الصلب، قد يصل سمك اللوح منها ٣ سنتيمتر. وميزتها أنها تقطع بدقة متناهية حيث يُوجه جهاز الليزر بوساطة الحاسوب.

ومن استخدامات الليزر لحام المواد الصلبة والنشطة والمواد التي تتمتع بدرجة انصهار عالية مع امتيازها بدقة التصنيع بسبب إطلاقها لحزمة كثيفة ضيقة مركزة، كما تستطيع أشعة الليزر فتح ثقب قطره ٥ مايكرومتر خلال ٢٠٠ ميكرو ثانية في أشد مواد المعمورة صلابة (الماس والياقوت الأحمر والتيتانيوم) وبفضل قصر مدة التصنيع لا يحدث أي تغير في طبيعة المادة.

كما لها استخدام مهم آخر وهو قياس المسافات بدقة متناهية، سواء المسافات القصيرة أو الطويلة. وأشعة الليزر تستطيع قياس عشرة امتار دون إحداث خطأ يتجاوز واحد على عشرة آلاف من المتر. كما استخدمت أشعة الليزر في تحديد بعد القمر عن الأرض. وقد تم ذلك في في السبعينيات حيث وضع رواد الفضاء على القمر مرآة لعكس الليزر عند سقوطه عليها، وبعد ذلك وُجه شعاع ليزر من الأرض إلى القمر وبانعكاسه على المرآة على سطح القمر وعودته إلى الأرض استطاع العلماء حساب بعد القمر عن الأرض بدقة لم يتوصلوا إليها من قبل.

وهي تستخدم أيضا في تحديد الأهداف بدقة بالغة جدا، حيث أن كان الهدف على مسافة ٢٠ كم ووجهنا شعاع ليزر فسوف ينحصر مقطع الشعاع في دائرة ضوئية قطرها ٧ سم فقط. وإذا أطلقت إلى القمر فسيكون قطر الدائرة المشكلة ٣,٢ كم فقط.

الصناعات الكهربائية:

البقعة الفائقة الشدة في حرارتها والمتكونة من تركيز طاقة الليزر تستعمل في صناعة الدوائر والأجهزة الإلكترونية الدقيقة . وكمثال على ذلك من الممكن لحام (إذابة وصهر) نهايتي سلكين منفصلين صغيرين بعد وضعهما داخل أنبوب زجاجي **مغلق وبدون الحادة إلى إخراجهما من الأنبوب الزجاج وبدون التأثير عليه ، بينما يمتص من قبل نهايتي السلكين ويصهرهما مع بعضهما . ربما نذكر القارئ الكريم بملايين المصابيح واللمبات الكهربائية والإلكترونية والتي يمكن إعادة تصنيعها بهذه الطريقة.**

الرادار:

استخدمت إلى حد قريب أجهزة الرادار Radar ، كوسيلة للكشف عن الأجسام القريبة وتعيين مواقعها ، وهذا الجهاز من الحرب العالمية الثانية وحتى اليوم وضع في تطبيقات سواء كانت عسكرية أو صناعية عديدة . واليوم ينظر إلى أشعة الليزر كبديل واسع وقوع ، والجهاز المستخدم يعرف باسم الايدر Lidar حيث يمكن بأجهزة الكايدولايت تصوير المعمورة من الجو وإعطاء أدق التفاصيل على خطوط بيانية .

أمكن قياس المسافة بين الأرض والقمر بدقة عالية باستخدام العاكس التراجعي الذيو وضع على سطح القمر ، ووجد أن خطأ القياس كان قليلاً جداً بالمقارنة بالطرق التقليدية المتبعة سابقاً ، علماً بأن ضوء الليزر يأخذ زمناً قدره ثانيتين ونصف في ذهابه وإيابه من الأرض إلى القمر – وقد استخدم الليزر النبضي – ويعرف بصدى النبضات الليزرية.

التلوث:

إذا كانت ملائمة وآمنة للإقلاع والهبوط في المطارات .

من الليزرات الشائعة الاستعمال لهذا كما استخدم الصدى النبضي لليزر في دراسة وقياس التلوث الجوي في المدن الصناعية التي تكثر بها المداخن المختلفة من بقايا المحروقات النفطية أو الفحم الحجري . وكذلك يمكن مساعدة الطيارين في الكشف عن الأحوال الجوية الغرض هو ليزر خليط الهليوم والنيون وذلك لبساطة تصنيعه وصغر حجمه خصوصاً للقدرات الصغيرة مثل ٠.٥ ملي واط.

التطابق الهندسي:

في البحث عن المراكز الهندسية وفي التأكد بدقة من توازي وتعامد المستويات يعطي الليزر، إما بالنظر المباشر أو بالقراءة الرقمية ، الدقة في التطابقات الهندسية حيث يحل وبكفاءة محل جهاز الفيديولايت الهندسي المعروفي والمستخدم في حفر أنفاق السيارات والقاطرات تحت أو فوق سطح الأرض

نسخ المعلومات:

يستطيع الليزر التعرف على الرموز المختلفة سواء كانت كتابات معينة أو رموز تجارية أو مصطلحات مخفية ، حيث إن شعاعه الدقيق يمكن أن يتحرك حول الرموز ، ويمكن كشف الحزم المنعكسة منها أو النافذة بأجهزة خاصة تعطي صورة دقيقة عن ماهية هذه المعلومات ، وإذا ربطت هذه الأجهزة بالكمبيوتر استطاع آلياً برمجة عمله لاعطاء الكشف الواضح أو نسخ ونقل المعلومات . ومن الأعمال الأخرى في التسجيل بشعاع الليزر هي : نقل المعلومات من أجهزة المراصد الفلكية ، ونقل وصف خطوط المطابع الورقية ، والتسجيل التلفزيوني وقراءة الميكروفلم والكتابة منه على مواد

مختلفة إما مباشرة أو باستخدام محولات كهروستاتيكية والعمل جاري لإيجاد مواد جديدة حساسة لضوء ليزر الهليوم – نيون . يعطي ضوء الليزر فوائد مهمة في عمليات التسجيل والنسخ منها:

أ) السرعة العالية جداً والتي لا وجود لجهاز ميكانيكي أو الكتروني حالي يضاهيها .

ب) التحليل النقي والذي لا يحتوي على ذبذبات تداخليه أو ضوضاء صوتية .

ج) السيطرة الكفاءة على استعماله عند ربطه بأجهزة الكمبيوتر وأجهزة التنظيم الصوتية والضوئية.

القياسات:

تستخدم صفة أو أكثر من صفات الليزر الرئيسية في القياس بهذه الأشعة مثل آحادي الطول الموجي ، والترابط الموجي ، والشدة العالية التركيز ، والتفريق القليل لحزمته .

والليزر حساس في القياس والتعرف على العيوب السطحية في المواد مثل الخدوش والكسور، والحُفر وقياس سماكة وأقطار الأجزاء المختلفة ، وخصوصاً في قطع الغيار التي كثيراً ما يحصل الخطأ في التشخيص العادي لها.

دراسة المواد:

ويستخدم ف علم الطيف في دراسة المواد المختلفة كماً ونوعاً ، وكان سابقاً يتم دراسة المواد باستخدام الموجات الكهرومغنطيسية في الترددات الراديوية إلى منطقة الميكروويف ، أي باستخدام ترددات تتراوح بين ٣٠ كيلة هيرتز و وما زاد عن ذلك تستخدم مصادر متعددة غير دقيقة.

الصناعات الإلكترونية الدقيقة:

يدخل الليزر في صناعة الإلكترونات Resistors المختلفة من تقليم وتقصيص دقيق لأبعادها، إما يدوياً أو آلياً وبذلك يعطي حجم وقيمة كهربائية للمقاومة دقيقة جداً ، بالإضافة إلى الحفر في المواد المختلفة لتكوين المتسعات المتناهية الصغر ، وكذلك يدخل في لحم ووضع العديد من الدوائر الإلكترونية الدقيقة والصغيرة الحجم المستخدمة في الأجهزة الإلكترونية المختلفة.

السباكة وحدة القطع والحفر:

الشدة الحرارية لليزر وخصوصاً بعد تركيزه وصغر مقطعه وسهولة السيطرة عليه يجعله مهماً في عالم السباكة ومعاملة المواد ، حيث أنه قادر على إذابة وتبخير المعادن ، من ثقبها إلى حفرها ، ومن قطعها إلى لحمها مع بعضها ، كلها يمكن أن تتم بهذه الأشعة بمجهود قليل وبدقة عالية ، كونه لا يحتاج إلى ضغط ميكانيكي في عمله . وقد أثبت باستخدام الليزر النبضي بطاقة ٢٠ جول في النبضة

الواحدة ،إمكانية تبخير المادة بدلاً من إذابتها ، و ٥ جول من النبضات المستمرة قادرة على الثقب واستعماله كمثقاب .

آلات التصوير:

في هذا المجال يدخل الليزر في أعمال كثيرة منها : آلة تصوير (كاميرا) سينمائية ذات سرعة عالية حوالي ١٠.٠٠٠ صورة في الثانية لمراقبة التفاصيل الزمنية والمكانية للظواهر الحرجة مثل الانفجارات المختلفة ، ومراقبة أبخرة الاحتراق المتصاعدة من المحركات النفاثة . . . الخ.

الاتصالات اللاسلكية:

أجهزة الاتصالات الكهرومغنطيسي العصرية معتمدة كلياً على الترددات الراديوية والموجات الدقيقة (الميكروويف) أما إهمال الموجات الضوئية في الاتصالات فهو لعدم توفر المصادر الضوئية بالإضافة إلى الصعاب الكثيرة الناتجة عن تفرق وتشتت الموجات الضوئية والامتصاص الجوي لها ... إلا أنه بتطور الليزر أوجد المصدر الضوئي المثالي للاتصالات اللاسلكية المستقبلية .

الاستخدامات العسكرية:

وتجري في أمريكا أبحاثا هائلة لاستخدام الليزر ذو طاقة عالية جدا لتدمير الصواريخ المعادية عاليا في الفضاء قبل وصولها إلى أمريكا، واستطاعوا تحقيق بعض النجاح على هذا الطريق ولكن الأبحاث لا زالت مستمرة ،أولا لإتقان هذه التكنولوجيا الجديدة، ثم بناء شبكة عظمي لاكتشاف الصواريخ المعادية حين انطلاقها، ويتبع ذلك توجيه أجهزة الليزر القوي (أو سلاح الليزر) على الصاروخ المعادي لتدميره في الفضاء، وتتضمن هذه التكنولوجيا أيضا استخدام الأقمار الصناعية وقيامها بدور في هذا النطاق. وقد رصدت الولايات المتحدة أموالا باهظة لإحداث تقدم في هذا المشروع.[٤]

١-٥ انواع الليزر

انواع الليزر التي تصدر ضوء في نطاق الموجة الطويلة، والتقنية المتبعة واللون ونوع مادة الليزر.

الليزر الغازي:

تستخدم غازات كثيرة لإنتاج شعاع الليزر، وهي تستخدم في أغراض كثيرة. . (HeNe) ليزر الهيليوم النيون الذي ينبعث في مجموعة متنوعة من الموجات في نطاق ٦٣٣ نانومتر وهو شائع في التعليم نظرا لتكلفتها المنخفضة.

ليزر ثاني أكسيد الكربون:

يمكن أن ينبعث بقدرة عدة مئات كيلووات عند ٩.٦ ميكرومتر و ١٠.٦ ميكرومتر، وغالبا ما تستخدم في صناعة القطع واللحام. تبلغ كفاءة ليزر ثاني أكسيد الكربون أكثر من ١٠ ٪.

ليزر أيون الأرجون:

ينبعث ضوء في نطاق طول الموجة من ٣٥١ نانومتر إلى- ٥٢٨.٧ نانومتر اعتمادا على البصريات وأنبوب الليزر، وعلى عدد مختلف من خطوط الطيف الصالحة للاستعمال، لكن الخطوط الأكثر شيوعا هي ٤٥٨ نانومتر و ٤٨٨ نانومتر و٥١٤.٥ نانومتر.

والنيتروجين عرضية التفريغ الكهربائي في الغاز عند الضغط الجوي. الليزر الغازي رخيص والأشعة فوق البنفسجية الناتجة لها طول موجة 337.1 نانومتر.

المعادن يزر ايون هي ليزر الغاز التي تولد موجات الأشعة فوق البنفسجية العميقة. الهليوم—فضية (224 HeAg) نانومتر والنيون—النحاس (248 NeCu) نانومتر مثالين. هذه الليزر بشكل خاص ls التذبذب الضيقة لأقل من ٣ غيغاهيرتز، مما يجعلهم مرشحين للاستخدام.

لليزر الكيميائي:

الليزر الكيميائية تعمل بواسطة تفاعل كيميائي، ويمكن أن تحقق القوى عالية في عملية مستمرة، فعلى سبيل المثال، في ليزر فلوريد الهيدروجين (٢٧٠٠-٢٩٠٠ نانومتر) وفلوريد الديوتيريوم الليزر (٣٨٠٠ نانومتر) في رد فعل هو مزيج من الهيدروجين أو الديوتريوم الغاز مع نواتج الاحتراق من الاثيلين في ثلاثي فلوريد النتروجين.. كانوا اخترعها جورج C. بيمنتل.

ليزر الجوامد:

مواد الليزر الصلبة تحتوي في العادة على «المنشطات» حيث تشوب بلورة أحادية بالأيونات التي توفر الطاقة اللازمة. وعلى سبيل المثال، كان أول ليزر يعمل هو ليزر الروبين وهو مصنوع من بلورة الياقوت (الكروم - أكسيد الألمنيوم كذلك يستخدم الكروم أو النيوديميوم كمشوبات. وينتمي إلى فئة ليزر الجوامد أيضا ألياف الليزر باعتبارها وسيلة فعالة وعملية، وهي تستخدم في الكتابات على المصنوعات وأجزائها، كما تستخدم في لحام المعادن.

ليزر اشباه الموصلات:

هي نوع من أنواع ليزر الجوامد، ولكن في المصطلحات العرفية الليزر «ليزر الحالة الصلبة» تستثني اشباه الموصلات من هذا الاسم.

النيوديميوم هو مشترك تشويب في مختلف البلورات الأحادية بما في ذلك إيتيريوم (الثانية: ايفو ٤)، إيتيريوم فلوريد الليثيوم (الثانية: YLF) وإيتيريوم الألومنيوم العقيق (الثانية: ان دي). كل هذه المشوبات يمكن أن تنتج ليزر عالي بلنسبة إلى طيف الأشعة تحت الحمراء بطول موجة ١٠٦٤ نانومتر وهي تستخدم لقطع المعادن واللحام ووسم المعادن والمواد الأخرى، وأيضا في التحليل الطيفي ولإعادة ضخ صبغة الليزر.

ليزر شبه الموصلات أيضا شائعة الاستعمال في ترددات أو أطوال موجة مختلفة، تستهدم لإنتاج الضوء ٥٣٢ نانومتر (الأخضر، مرئيا)، ٣٥٥ نانومتر الأشعة فوق البنفسجية و ٢٦٦ نانومتر (الأشعة فوق البنفسجية) عندما يكون ضوء تلك الموجات مطلوبا . إتيربيوم، هولميوم، الثوليوم والإيربيوم هي الأخرى مشتركة في ليزر الجوامد في النطاق ١٠٢٠-١٠٥٠ نانومتر. إتيربيوم يستخدم في بلورات مثل روب واي بي دي:، روب واي:، روب واي، روب واي: أنظمة هوائية، روب واي: بنين، روب واي: CaF2، وعادة ما تعمل في مختلف أنحاء ١٠٢٠-١٠٥٠ نانومتر. فهي فعالة جدا ويمكن أن تعمل بالطاقة العالية بسبب عيب صغير الكم ارتفاع قوى للغاية في البقول قصير جدا لا يمكن أن يتحقق مع روب واي بي دي:. هولميوم - مخدر يغ بلورات تنبعث منها في ٢٠٩٧ نانومتر وشكل فعال الليزر التي تعمل على أطوال موجات الأشعة تحت الحمراء بقوة تمتصه الأنسجة الحاملة للمياه.. من هو، ان دي عادة ما تعمل في وضع نابض، ومرت عبر الألياف الضوئية الأجهزة الجراحية للمفاصل تطفو على السطح، وإزالة تسوس من الأسنان، وتتبخر والسرطانات، ويطحنون الكلى والمرارة الحجارة.

ليزر الاشعة تحت الحمراء:

يستخدم ليزر الأشعة تحت الحمراء عادة كطيف ذو نبضة قصيرة جدا. ليزر التيتانيوم - الياقوت مشوّب (تي: الياقوت) تنتج غاية القيود الحرارية في ليزر الحالة الصلبة تنشأ عن السلطة صفهم

المضخة التي تتبدى في شكل حرارة والطاقة الطاقة الصوتية. هذه الحرارة، وعندما يقترن الحرارية العالية البصرية معامل (د ن / د تي) يمكن أن تؤدي إلى يصور فوتوغرافيا الحرارية، فضلا عن انخفاض كفاءة الكم.. يمكن لهذه الأنواع من المسائل يمكن التغلب عليها عن طريق الصمام الثنائي رواية أخرى، ضخت ليزر الحالة الصلبة، الصمام الثنائي ضخ رقيقة قرص ليزر.. القيود الحرارية في هذا النوع من الليزر يمكن تخفيفها باستخدام هندسة الليزر المتوسطة التي سمك هو أصغر بكثير من قطر شعاع مضخة.. هذا يسمح لمزيد من الانحدار حتى الحرارية في المواد. قرص ليزر رقيقة وقد ثبت أن تنتج ما يصل إلى مستويات كيلوواط من الكهرباء.[٢]

الليزر الصلب:

يُستخدم الليزر الصلب (بالإنجليزية:Solid-state Lasers) في عملية توليد الليزر الصلب باستخدام مواد صلبة، مثل: البلورات، أو الزجاج، ممزوجة بأحد العناصر الأرضية النادرة، ويعدُّ هذا الوسيط هو مصدر الكسب البصري في هذا النوع، ويكون عادةً العنصر المختلط فيه الكروم، أو النيوديميوم، أو الثوليوم، أو الإربيوم، أو الإيتربيوم.[٢] يعدُّ ليزر الياقوت أشهر ليزر من الحالة الصلبة، وهو أول ليزر صُنِع على الإطلاق، ويعدُّ ليزر Nd: YAG من أنواع الليزر الصلب الشائعة، وهو ليزر عقيق الإيتريوم المصنوع من الألومنيوم المشبع بالنيوديميوم، والمستخدم في عملية معالجة المواد.[٢]

ليزر الألياف:

يعدُّ ليزرالألياف (بالإنجليزية:Fiber Lasers) أحد أنواع الليزر الصلب، وتكون الألياف البصرية، مثل: زجاج سيليكا الممزوجة بأحد العناصر الأرضية النادرة هي الوسيط المستخدم في ليزر الألياف، وإنَّ خصائص عملية توجيه الضوء للألياف الضوئية هي التي تجعل هذا النوع مختلفًا.[٢] ويكون ليزر الألياف أكثر استقامة وأصغر من بقية أنواع الليزر، وهذا ما يجعله أكثر دقة، ولذلك تتميز بكفاءتها الكهربائية الجيدة، وتكاليف تشغيلها المنخفضة، وتكاليف صيانتها المنخفضة أيضًا، ومن الأمثلة عليها: الليزر الليفي المشبع بالإيتربيوم، والليزر الليفي المشبع بالإربيو.[٢]

١-٦ خصائص شعاع الليزر[٥] :

١) أحادي اللون أي أحادي الطول الموجي Monochromatic

يكون شعاع الليزر في الغالب مكوناً من موجات ضوئية ذات طول موجي واحد ، فلو مررنا شعاعاً من الليزر عبر منشور زجاجي فإنه لا يتحلل .

٢) توازي الحزم الضوئية Collimation

حيث يسير الليزر مسافات كبيرة بحزمة ذات انفراجيه قليلة دون انتشار أو تلاشي حيث وجد أن شعاع الليزر المرسل من الأرض والمنعكس بوساطة مرآة موضوعة على سطح القمر يتبقى من شدته ما هو كاف لأجل الكشف عنه عند عودته للأرض بعد أن قطع أكثر من ٧٥٠٠٠٠ كم .

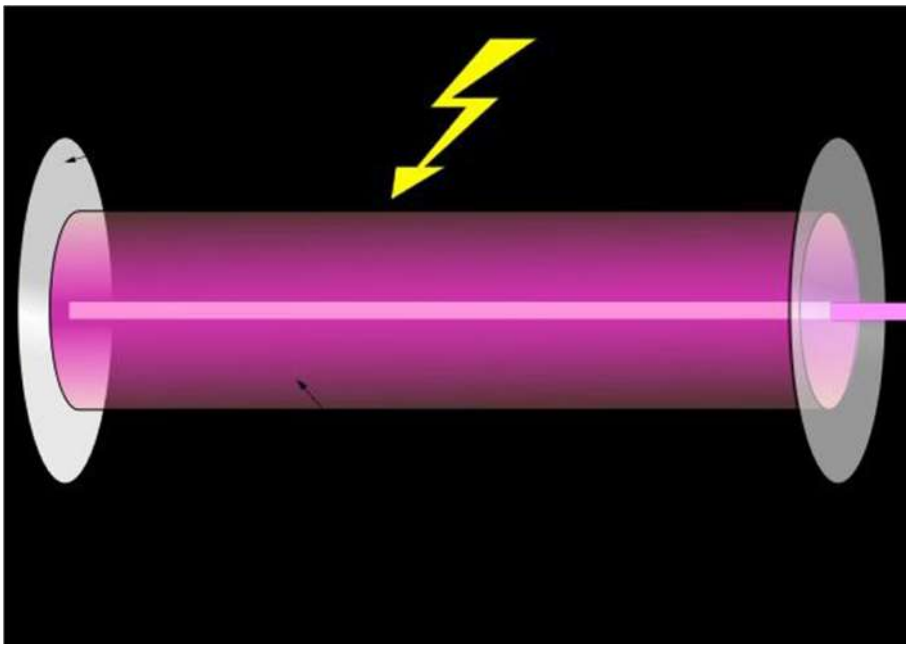
٣) الترابط (التشابه) Coherence

حيث يكون لأشعة الليزر صفات متماثلة من حيث الطور والاتجاه والطاقة وهذه الخاصية هي التي تجعلها تتداخل فيما بينها تداخلاً بناءاً .

٤) الشدة العالية High Intensity

شدة الشعاع عالية ومركزّة في حزمة ذات قطر ضيق لا يتجاوز الواحد مم ، وتنتج هذه الشدة عن التطابق التام في الطور بين الموجات حيث تكون قمم الموجات متطابقة مع بعضها البعض مما يجعلها مؤثرة جداً عند سقوطها على المواد والكائنات الحية ، كما أن تركيز الطاقة المنبعثة في حزمة ضيقة قليلة الانفراج يجعل لشعاع الليزر شدة عالية .

١-٧ طريقه عمل الليزر:



الشكل (١-١) طريقه عمل الليزر

١. مادة توليد الليزر.

٢. مضخة طاقة لإثارة إلكترونات الوسط الليزرية.

٣. مرآة عاكسة قوية.

٤. مخرج الأنبوب (مرآة نصف شفافة).

٥. خروج شعاع الليزر.

هذا الشكل س يوضح أجزاء جهاز الليزر:

(١) الوسط أو البلورة المنتجة لأشعة الليزر.

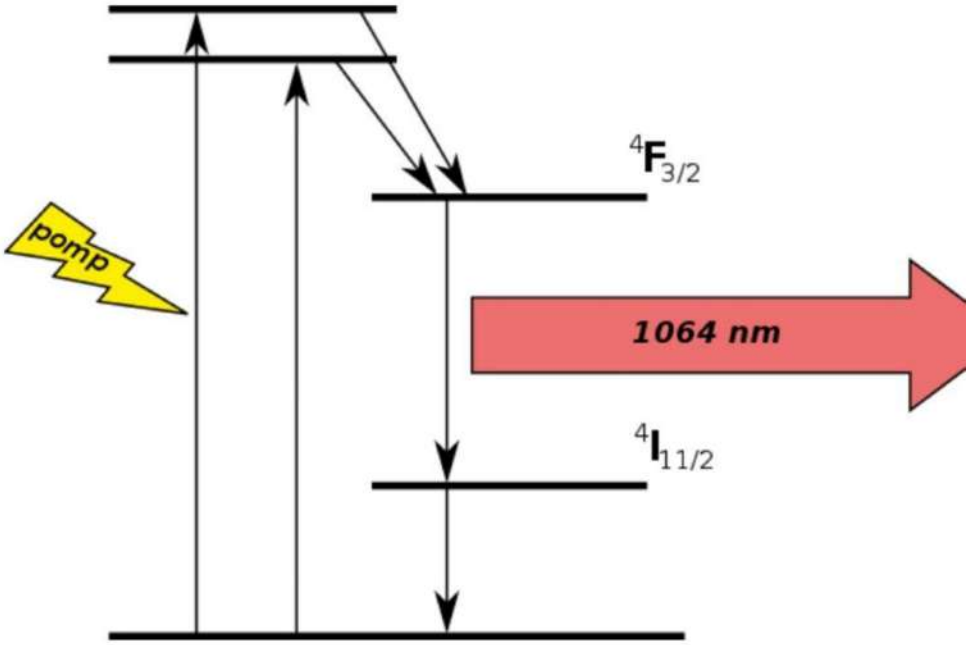
(٢) طاقة كهربائية لتحفيز الوسط الليزرية على إصدار موجات ضوئية ذات طول موجة واحدة (ضوء بلون واحد).

(٣) عاكس للضوء (مرآة).

(٤) عدسة خروج الشعاع وقد تكون مستوية أو عدسة مقعرة.

(٥) شعاع الليزر الخارج (خرج ليزري)

ويعمل جهاز الليزر على توليد و انعكاس ضوء ذو لون واحد، أي ذو طول موجة واحدة بين المرآة الخلفية (٣) وعدسة خروج شعاع الليزر (٤). ويتم ذلك بتحفيز الوسط الليزري (١) على إنتاج ذلك اللون من الضوء؛ وهي خاصية من خصائص البلورة المختارة أو الوسط الليزري (يمكن أن يكون الوسط غاز معين ، مثل ثاني أكسيد الكربون وبعد انعكاس أشعة الضوء داخل الوسط عدة مرات بين (٣) و (٤) تصل الموجات الضوئية المتجمعة إلى وضع التناسق . عندئذ تتميز الموجات الضوئية بانتظام طورها خطوتها) وتخرج من العدسة (٤) كشعاع ليزر شديد الطاقة.



الشكل (١-٢)

الشكل (١-٢) مثال للوسط الليزري بلورة النيوديميوم كوسط كسب ليزر . عنما تثار الإلكترونات في النيوديميوم بواسطة المضخة الكهربائية (أصفر) وتعلو إلى مستوى طاقة عالي ومنه تهبط فورا لمستوى الطاقة الوسطي F وتبقى فيه مدة (تلك خاصية لمادة الليزر) . ثم تهبط فجأة إلى مستوى الطاقة I ، فينبعث منها ضوء ١٠٦٤ نانومتر . عند انتقال الإلكترونات من F إلى I كمجموعة في ذرات النيوديميوم تخرج جميعها بضوء طول موجته ١٠٦٤، وتخرج من البلورة متناسقة كشعاع ليزر قوي.

١-٨ طريقة عمل الليزر

الشكل ص: يوضح مستويات الطاقة للإلكترونات في ذرة النيوديميوم . في حالة عدم اثارة ذرة النيوديميوم تشغل الإلكترونات المستوى الأرضي (المستوى السفلي في الشكل). ولكن يمكن إثارة الإلكترون بواسطة جهاز يصدر أشعة من الخارج أو كهرباء (تسمى مضخة) فيثار الإلكترون ويرتفع إلى مستوى طاقة أعلى ؛ إلا أنه لا يبقى فيه طويلا وخلال ما هو أقل من ثانية يهبط إلى مستوى طاقة متوسط F ، وفي هذا المستوى من الطاقة يستطيع الإلكترون البقاء فيه عدة ثوان.

تعمل المضخة الضوئية على إثارة عدد كبير من الإلكترونات في الوسط الليزري وتبقى عدة ثوان في المستوى F ؛ إلا انها سرعان أن تهبط كمجموعة من مستوى الطاقة F إلى مستوى الطاقة المنخفض I . انتقال الإلكترونات في البلورة من مستوي الطاقة المرتفع F إلى مستوى الطاقة المنخفض I يكون مصحوبا بإطلاقه شعاع ضوء ذو طول موجة طولها ١٠٦٤ نانومتر (هذه خاصية بلورة الليزر). تنطلق تلك الأشعة ذات طول الموجة ١٠٦٤ نانومتر دفعة واحدة وتنعكس عدة مرات بين المرآتين

فتتناسق أطوال تلك الموجات وتخرج من المرآة النصف شفافة (٤ في الشكل س) وتكون بذلك قد تناسقت ووصلت إلى قوتها وتصيب الهدف.

فمن مواصفات الشعاع الخارج (شعاع الليزر) الهامة أن لون ضوؤه واحد ، أصفر أو أزرق أو بنفسجي ، أو قد يكون أشعة تحت الحمراء ، كما توجد ليزرات تصدر أشعة إكس وبالنسبة إلى جهاز الليزر فله خاصيتان مهمتان:

نصف قطر الانحناء:

قد يكون سطح العدسة الداخلي مستويا أو مقعرا وذلك بحسب الغرض المرغوب فيه. ويطلى السطح الداخلي للعدسة بطلاء فضي نصف عاكس حتى يستطيع شعاع الليزر الخروج من الوسط إلى الخارج. وإذا كانت هناك رغبة في تجميع الشعاع الخارج وتركيزه في بؤرة يكون السطح الخارجي للعدسة مقعرا. كما يطلى السطح الخارجي بطلاء يمنع الانكسار، لكي يتيح خروج شعاع الليزر الناتج من دون فاقد.

معامل انعكاس العدسة:

يعتمد عدد الانعكاسات لأشعة الضوء المتراكمة داخل الوسط الليزري على نوع الوسط المستخدم. ففي "ليزر الهيليوم-نيون " نحتاج إلى درجة انعكاس للمرآة بنسبة ٩٩% لكي يعمل الجهاز بكفاءة. وأما في حالة "ليزر النيتروجين" فلا حاجة للانعكاس الداخلي (درجة انعكاس ٠%) حيث أن ليزر النيتروجين يتميز بدرجة فائقة عل إنتاج الأشعة. ومن جهة أخرى تعتمد خواص العدسة المتعلقة بانعكاس الضوء على طول موجة الضوء. ولهذا يُعطي للخواص الضوئية للعدسة عناية خاصة عند تصميم جهاز ليزر

١-٩ استخدامات الليزر:

يستخدم الليزر حاليا في مجالات متعددة كاستعمالها في الأقراص المدمجة وفي صناعة الإلكترونيات وقياس المسافات بدقة -خاصة أبعاد الأجسام الفضائية- وفي الاتصالات. كما تستخدم أشعة الليزر في معالجة بعض أمراض العيون حيث يتم تسليط أشعة ليزر عالية الطاقة على شكل ومضات في نقطة معينة في العين لزمن قصير -أقل من ثانية-. ومن أمراض العيون التي[٧]يستخدم فيها الليز:

١-اعتلال الشبكية السكري.

٢-ثقوب الشبكية.

٣-انسداد أو تخثر الوريد الشبكي.

٤-الزرق (ارتفاع ضغط العين).

٥-عيوب الانكسار الضوئي في العين (طول أو قصر النظر واللابؤرية).

٦-انسداد القنوات الدمعية.

٧-بعض الأورام داخل العين.

٨-عمليات التجميل حول العين.

٨-حالات اندثار البقعة الصفراء.

كما يستخدم الليزر في العمليات الجراحية مثل جراحة المخ والقلب والأوعية الدموية والجراحة العامة إزالة الشعر.

في عام ١٩٦٠ اخترع جهاز الليزر الذي يطلق الأشعة وحيدة اللون والاتجاه ويمكن أن تتركز بدرجة عالية بوساطة عدسة محدبة. كما أن هناك الكثير من المواد القادرة على إطلاق أشعة الليزر منها المتجمدة (الياقوت الأحمر وزجاج النيوديميوم، والغازية[٦] (الهيليوم والنيون والزينون مواد شبه موصلة (زرنيخ الجاليوم وانتيمون الإنديوم).

١-١٠ اضرار استخدام اشعة الليزر:

أضرار استخدام أشعة الليزر في الوقت الحالي ينتشر استخدام الليّزر بشكل كبير وملحوظ وفي مجالات واسعة، وعلى الرّغم من الفائدة الّتي تنتج من استخدامه، إلّا أنّه قد يُصيب الإنسان ببعض الأضرار في الأجزاء الّتي تمّ تعريضها للأشعة، وما يلي الأضرار الناتجة عن استخدام اللّيزر:[٣]

أضرار جلديّة: الإصابة بتصبّغات الجلد؛ وتعني تصبّغات الجلد ظهور بقع لونها أبيض، وتظهر هذه البقع على الجلد بسبب عدم إمكانيّة الميلانين من الوصول إلى الجلد بسبب تعريضها للّيزر، وقد تكون التصبّغات عبارة عن بقع غامقة اللّون؛ وتظهر بسبب حدوث زيادة في إفراز مادّة الميلانين في المنطقة التي تمّ تعريضها لليزر. حدوث تهيّج وتورّم في الجلد، وظهور بعض الانتفاخات، والإصابة بحكّة في المنطقة المعرّضة للأشعة؛ وتعدّ هذه الأضرار مؤقّتة وتزول بعد فترة من الاستخدام. الإصابة ببعض الألم الموضعي، وبعض الوخزات في المنطقة المتعرّضة.

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

أضرار عامّة في الجسم: الإصابة بالعدوى: عند المعالجة باللّيزر تُصبح المنطقة المعالجة حسّاسة جداً وتُصاب بالتهيّج؛ لذلك تُصبح أكثر معرّضة للإصابة بالعدوى بشكل أكبر، فيجب الاهتمام في تنظيفها بشكل مستمر. الإصابة بالحروق: تتميّز أشعة الليّزر بارتفاع درجة حرارتها بشكل كبير؛ لذلك من

الممكـن أن يُصـاب الجلـد الحسّـاس بـبعض الحـروق عنـد المعالجـة بالأشّـعة، وتختلـف إمكانيّـة الإصـابة بـالحروق ودرجـة الحـروق بـاختلاف نـوع الجلـد وطبيعتـه، ونـوع بشـرة ا

الفصل الثاني

ليزر الياقوت

٢-١ تعريف ليزر الياقوت

ليزر الياقوت هو ليزر ذو حالة صلبة يستخدم بلورة الياقوت الاصطناعية كوسيط ليزر خاص به. ليزر الياقوت هو أول ليزر ناجح طوره ميمان في عام ١٩٦٠.

ليزر الياقز هو أحد أنواع الليزر ذات الحالة الصلبة القليلة التي تنتج الضوء المرئي. ينبعث منها ضوء أحمر عميق بطول موجي ٦٩٤.٣ نانومتر.

٢-٢بناء ليزر الياقوت

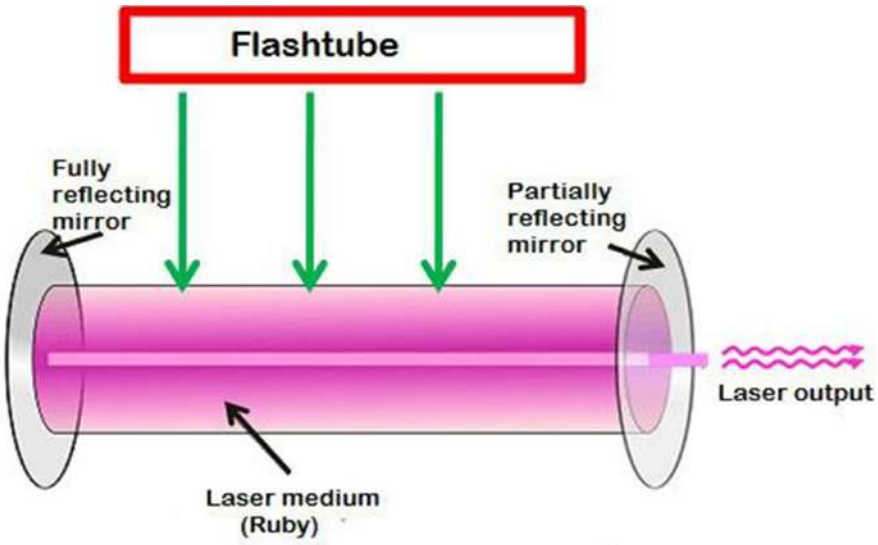
يتكون ليزر الياقوت من ثلاثة عناصر مهمة: وسيط الليزر ومصدر المضخة والرنان البصري.

متوسط الليزر أو متوسط الكسب في ليزر الياقوت

في ليزر الياقوت ، تعمل بلورة واحدة من الياقوت (Al2O3: Cr3 +) على شكل أسطوانة كوسيط ليزر أو وسيط نشط. يتكون وسط الليزر (الياقوت) في ليزر الياقوت من مضيف من الياقوت (Al2O3) مخدر بكميات صغيرة من أيونات الكروم (Cr3 +). الياقوت له خصائص حرارية جيدة

ليزر الياقوت(Ruby laser) هو نوع من أنواع ليزرات الحالة الصلبة حيث تستخدم فيه بلورة الياقوت كوسط فعال لليزر .

يتكون جهاز ليزر الياقوت من قضيب اسطواني من الياقوت وهو عبارة عن اكسيد الالمينيوم طعمت بحوالى ٠.٠٥% من مادة الكروم cr التى تكسب البلورة اللون و الوردي التي تثار وتبعث اشعة الليزر ، كما نجد ايضا مصباح الزينون الذي يستخدم في عملية الضخ ويكون بشكل حلزوني حول القضيب حتى يتم الحصول على كمية من الضوء بغرض إثارة ذرات الكروم لتنتقل من مستوى طاقة أدنى الى مستوى طاقة اعلى، توجد كذلك مرآتان عند طرفي القضيب احداهما عاكسة بنسبة ١٠٠% والأخرى عاكسة بحوالى ٩٥% لعكس اشعة الليزر داخل القضيب وذلك لحث الذرات من مستوى الطاقة الأعلى الى مستوى الطاقة الأدنى .[9]



الشكل (٢-١) بناء ليزر الياقوت

مصدر المضخة أو مصدر الطاقة في ليزر الياقوت

مصدر المضخة أو مصدر الطاقة في ليزر الياقوت

مصدر المضخة هو عنصر من عناصر نظام ليزر الياقوت الذي يوفر الطاقة لوسط الليزر.

في ليزر الياقوت ، يلزم عكس السكان لتحقيق انبعاث الليزر.

انعكاس السكان هو عملية تحقيق عدد أكبر من السكان في حالة طاقة أعلى من حالة الطاقة المنخفضة.

من أجل تحقيق الانعكاس السكاني ، نحتاج إلى توفير الطاقة لوسط الليزر (الياقوت).

في ليزر الياقوت ، نستخدم الفلاشتيوب كمصدر للطاقة أو كمصدر للمضخة. يوفر الفلاشتيوب الطاقة لوسط الليزر (الياقوت). عندما تكتسب إلكترونات حالة الطاقة المنخفضة في وسط الليزر طاقة كافية من flashtube ، فإنها تقفز إلى حالة الطاقة الأعلى أو الحالة المثارة.

نهايات قضيب الياقوت الأسطواني مسطحة ومتوازية. يتم وضع قضيب الياقوت الأسطواني بين مرآتين. يتم تطبيق الطلاء البصري على كل من المرايا. تسمى عملية ترسيب طبقات رقيقة من المعادن على ركائز زجاجية لصنع أسطح مرآة بالفضة. كل مرآة مطلية أو مطلية بالفضة بشكل مختلف.

في أحد طرفي القضيب ، تكون المرآة مطلية بالفضة بالكامل ، بينما في طرف آخر ، تكون المرآة مطلية بالفضة جزئيًا.

ستعكس المرآة الفضية بالكامل الضوء تمامًا بينما تعكس المرآة المطلية جزئيًا بالفضة معظم الضوء ولكنها تسمح لجزء صغير من الضوء من خلالها بإنتاج ضوء الليزر.

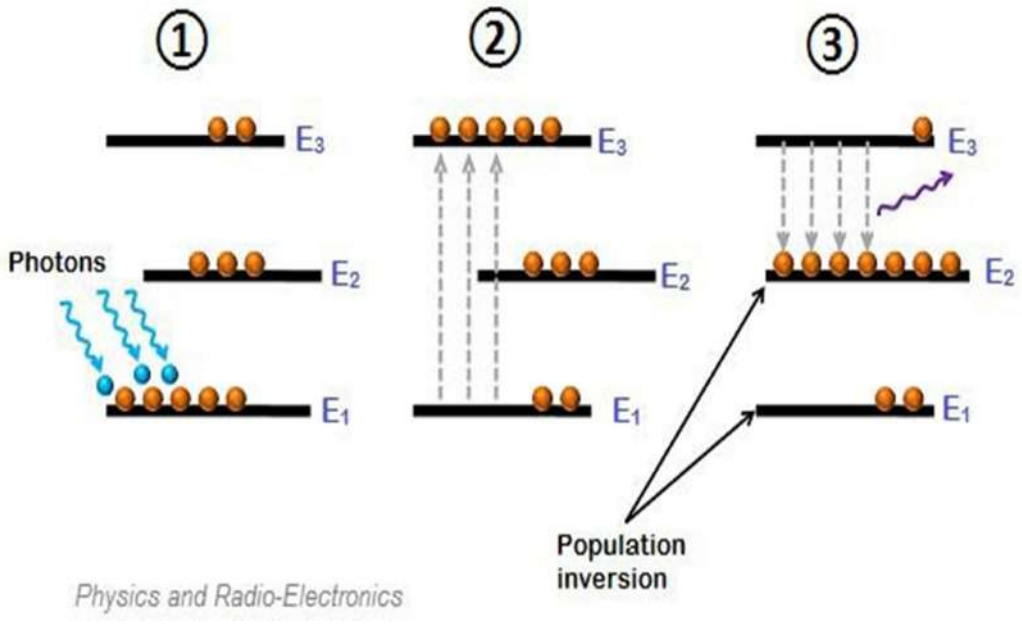
٢-٣ عمل ليزر الياقوت

ليزر الياقوت هو ليزر ثلاثي المستويات. في ليزر الياقوت ، تُستخدم تقنية الضخ البصري لتزويد الطاقة إلى وسط الليزر. وساق الياقوت هو مادة انتاج الليزر. (٢) فرق جهد عالي يعمل على تزويد الفلاش بالطاقة الكافية لتوليد ضوء ذو شدة عالية ولفترة زمنية قصيرة. هذا الضوء يعمل على اثارة الذرات في بلورة الياقوت إلى مستويات الطاقة الأعلى. أخرى لتطلق فوتونات. الضخ البصري هو تقنية يستخدم فيها الضوء كمصدر للطاقة لرفع الإلكترونات من مستوى الطاقة المنخفض إلى مستوى الطاقة الأعلى.

ضع في اعتبارك وسيط ليزر الياقوت يتكون من ثلاثة مستويات طاقة E1 و E2 و E3 مع عدد N من الإلكترونات.

نفترض أن مستويات الطاقة ستكون E3> E2> E1. يُعرف مستوى الطاقة E1 بالحالة الأرضية أو حالة الطاقة المنخفضة ، ويُعرف مستوى الطاقة E2 بالحالة غير المستقرة ، ويُعرف مستوى الطاقة E3 بحالة المضخة.

لنفترض أن معظم الإلكترونات في البداية في حالة طاقة منخفضة (E1) وأن عددًا ضئيلًا فقط من الإلكترونات في الحالة المثارة (E2 و E3)



الشكل (٢-٢) عمل ليزر الياقوت

عندما يتم توفير الطاقة الضوئية لوسط الليزر (الياقوت) ، فإن الإلكترونات في حالة الطاقة المنخفضة أو الحالة الأرضية (E1) تكتسب طاقة كافية وتقفز إلى حالة المضخة (E3).

عمر حالة المضخة E3 صغير جدًا (١٠-٨ ثوانٍ) لذلك لا تبقى الإلكترونات في حالة المضخة لفترة طويلة. بعد فترة قصيرة ، يقعون في الحالة المستقرة E2 عن طريق إطلاق طاقة غير إشعاعية. عمر الحالة المستقرة E2 هو ١٠-٣ ثوانٍ وهو أكبر بكثير من عمر حالة المضخة E3. لذلك ، تصل الإلكترونات إلى E2 أسرع بكثير من مغادرتها E2. ينتج عن هذا زيادة في عدد الإلكترونات في الحالة غير المستقرة E2 وبالتالي يتم تحقيق انعكاس السكان.

بعد فترة ، تقع الإلكترونات في الحالة الثابتة E2 في حالة الطاقة المنخفضة E1 عن طريق إطلاق طاقة على شكل فوتونات. وهذا ما يسمى بالانبعاث التلقائي للإشعاع.

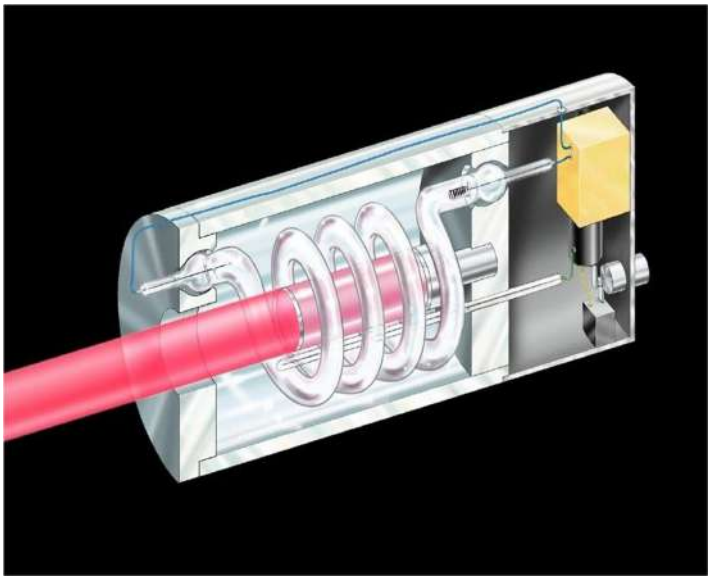
٢-٤ اكتشاف ليزر الياقوت

الليزر الياقوتي (أو ليزر الياقوت) هو نوع من أنواع ليزر الحالة الصلبة والذي يستعمل بلورة من الياقوت (معالجة بطريقة Verneuil process) كوسط فعال لليزر. ءاخترع ثيودور ميمان في مختبرات HRL Laboratories سنة ١٩٦٠.[١][٢] أول ليزر في العالم عُرف باسم "ليزر الياقوت" في عام ١٩٦٠. ويتكون الكريستال الياقوتي من أكسيد الألومنيوم ، حيث تم استبدال بعض ذرات الألومنيوم بذرات الكروم. يعطي الكروم الياقوت الأحمر النابض بالحياة. في ليزر الياقوت ،

تتشكل بلورة الياقوت في أسطوانة. يتم وضع مرآة عاكسة بالكامل على أحد الطرفين ومرآة عاكسة جزئيًا على الطرف الآخر. مصباح عالي الكثافة ملتف حول أسطوانة الياقوت لتوفير وميض من الضوء الأبيض الذي يؤدي إلى عمل الليزر.

الأطوال الموجية الخضراء والزرقاء في الوميض تثير الإلكترونات في ذرات الكروم إلى مستوى طاقة أعلى. عند العودة إلى حالتها الطبيعية ، تصدر الإلكترونات ضوءها الأحمر الياقوتي المميز. تعكس المرايا بعضًا من هذا الضوء ذهابًا وإيابًا داخل بلورة الياقوت ، مما يحفز ذرات الكروم المثارة الأخرى لإنتاج المزيد من الضوء الأحمر ، حتى تتراكم نبضات الضوء إلى طاقة عالية وتستنزف الطاقة المخزنة في البلورة - ينتج هذا ما نعتقد عادةً مثل "ضوء الليزر".

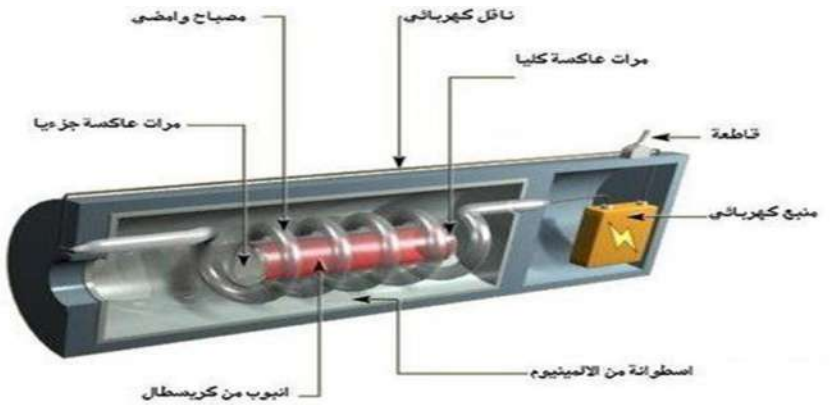
على الرغم من اختراع العديد من أنواع الليزر المختلفة منذ جهاز ميمان ، إلا أن ليزر الياقوت لا يزال مستخدمًا ، بشكل أساسي كمصدر ضوئي للإجراءات الطبية والتجميلية ، وأيضًا في التصوير الفوتوغرافي عالي السرعة والصور النبضية.



الشكل (٢-٣) ليزر الياقوت.مخطط جهاز ليزر ياقوتي.

كان هذا الشكل من أول أشكال الحصول على الليزر

يصدر الليزر الياقوتي نبضات تشاهد في المجال المرئي عند طول موجة مقداره ٦٩٤.٣ نانومتر، وله لون أحمر، ويكون عمر النبضة الواحدة من مرتبة ميلي ثاني



الشكل (٢-٤) اجزاء ليزر الياقوت

٢-٥ استخدامات ليزر الياقوت

١- ليزر الياقوت من الممكن استخدامه في التصوير الضوئي Optical Holography وذلك نظرا للطاقة العالية للنبضات الناتجة منه.

٢- من الممكن أيضا استخدامه في قياس خواص البلازما مثل كثافة الاليكترونات ودرجة الحرارة.

٣- ويستخدم أيضا في إزالة الوشم المرسوم على الجلد.

٤-يستخدم في المعامل البحثية ، ولا سيما في التحليل الطيفي. يجعل نطاق الضبط الكبير هذه الليزرات الليفية جذابة لتوليد نبضات أقل من بيكو ثانية قابلة للضبط بأطوال موجية قصيرة.

٥- يتم استخدام ليزر الياقوت في NASA (تجربة Lidar لاستشعار الغلاف الجوي) لقياس بخار الماء والهباء الجوي وتأثيراتها على عمليات الغلاف الجوي.

٦-تُستخدم أنظمة ليزر الياقوت لدراسة التفاعلات الكيميائية على مقاييس زمنية فائقة السرعة.

٧- في الآونة الأخيرة ، تم تطوير أجهزة للتحكم في الطور الطيفي وسعة النبضات فائقة السرعة وقياسها من أجل إيجاد تطبيقات في مجال التحكم المتماسك الذي أصبح أكثر تعقيدًا في هذه الأيام الأخيرة.

٨-في علم الأحياء ، يعتبر ليزر الياقوت مفيدًا في الفحص المجهري متعدد الفوتونات (MPM) ، والذي تطور ليصبح أداة مخبرية رائدة غير جراحية لدراسة الظواهر البيولوجية الأساسية.

٩- بالإضافة إلى ذلك ، كان لليزر الياقوت دورًا فعالًا في مجالات مثل الفيزياء غير الخطية وتوليد التيراهيرتز. وبالتالي فإن قدرة ليزر الياقوت على توليد نبضات فائقة السرعة وقابلية ضبط الطول

المـوجي العـريض تمكـن مـن تحقيـق تقـدم غيـر مسـبوق عبـر مجموعـة مـن المجـالات العلميـة والصـناعية وما بعدها.

٢-٦ فوائد أو مزايا ليزر الياقوت:

فيما يلي مزايا أو مزايا الياقوت:

*إنـها اقتصـادية.

*قطر شعاع ليزر الياقوت أقل نسبيًا من نوع ليزر ثاني أكسيد الكربون.

*طاقة إخراج ليزر الياقوت ليست أقل من نوع ليزر He-Ne.

*الياقوت في حالة صلبة وبالتالي لا توجد فرصة لإهدار مادة الوسط النشط.

* نظـرًا لقوتهـا المنخفضـة فـي الإنتـاج ، تُعـرف باسـم الليـزر مـن الدرجـة الأولـى. ومـن ثـم يـتم اسـتخدامها كلعب للأطفال. يمكن استخدامها أيضًا كقطعة زينة وعرض فني

٢-٧ عيوب ليزر الياقوت :

فيما يلي عيوب ليزر الياقوت

* لا يحـدث أي انبعـاث محفـز كبيـر فـي ليـزر اليـاقوت حتـى يـتم تحفيـز نصـف إلكترونـات الحالـة الأرضـية على الأقل إلى الحالة الفوقية المستقرة.

*كفاءة هذا النوع من الليزر أقل نسبيًا.

* التجويف البصري لهذا الليزر قصير مقارنة بأنواع الليزر الأخرى.

٢-٨ خصائص ليزر الياقوت:

يتم إعطاء بعض خصائص ليزر الياقوت على النحو التالي:

١- ليزر الياقوت هو أول ليزر يعمل تم تطويره في عام ١٩٦٠

٢- ليزر الياقوت هو ليزر نابض ثلاثي المستويات مع أطوال نبضة تصل إلى جزء من الألف من الثانية.

٣- يستخدم هذا الليزر بلورة الياقوت الصطناعية من أكسيد الألومنيوم كوسيط ربح

٤-يتم استخدام الكروم المتأين الثلاثي كمشوب للأيونات النشطة ، بتركيز يصل

٥- بلورات الياقوت صلبة ومتينة ومستقرة كيميائيًا ولها موصلية حرارية جيد

٦- يتم ضخ ليزر الياقوت بصريًا باستخدام مصباح فلاش.

٧- في ليزر الياقوت ، يتم استخدام الماء أو النيتروجين السائل كمبرد.

٨- تنتج هذه الليزرات نبضات من الضوء المرئي بطول موجي ٦٩٢٨٦٩٢٨ه A و ٦٩٤٣٦٩٤٣ه A ، بطول موجة سائد ٦٩٤٣٦٩٤٣ه A وهو لون أحمر غامق

٩- يعتمد ليزر الياقوت بشكل كبير على درجة الحرارة.

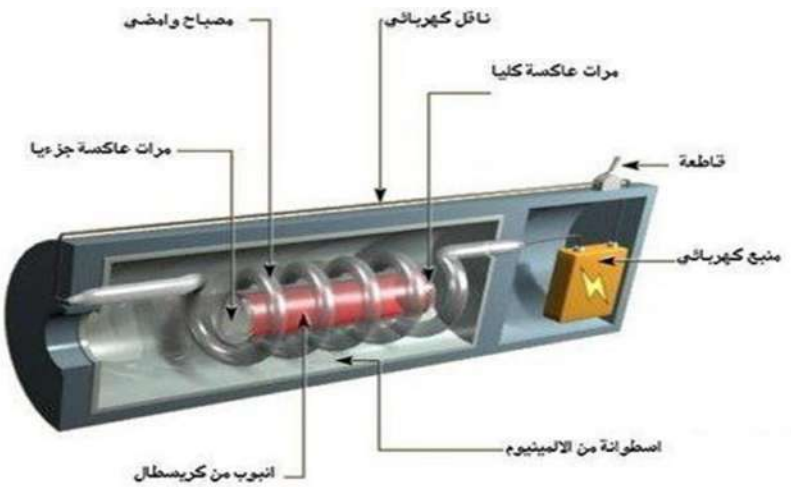
١٠- يعمل ليزر الياقوت العملي بحوالي ١١ كفاءة

١١- معدل تكرار النبض منخفض نسبيًا ، من ١١ إلى ٢٢ نبضة في الثانية.

٢-٩ جهاز ليزر الياقوت

ملاحظة: هنالك العديد من أنواع الليزرات منها ليزر الحالة الصلبة والسائلة والغازية ، ويتولد الليزر بأطوال موجية مختلفة .

* تركيب جهاز ليزر الياقوت :



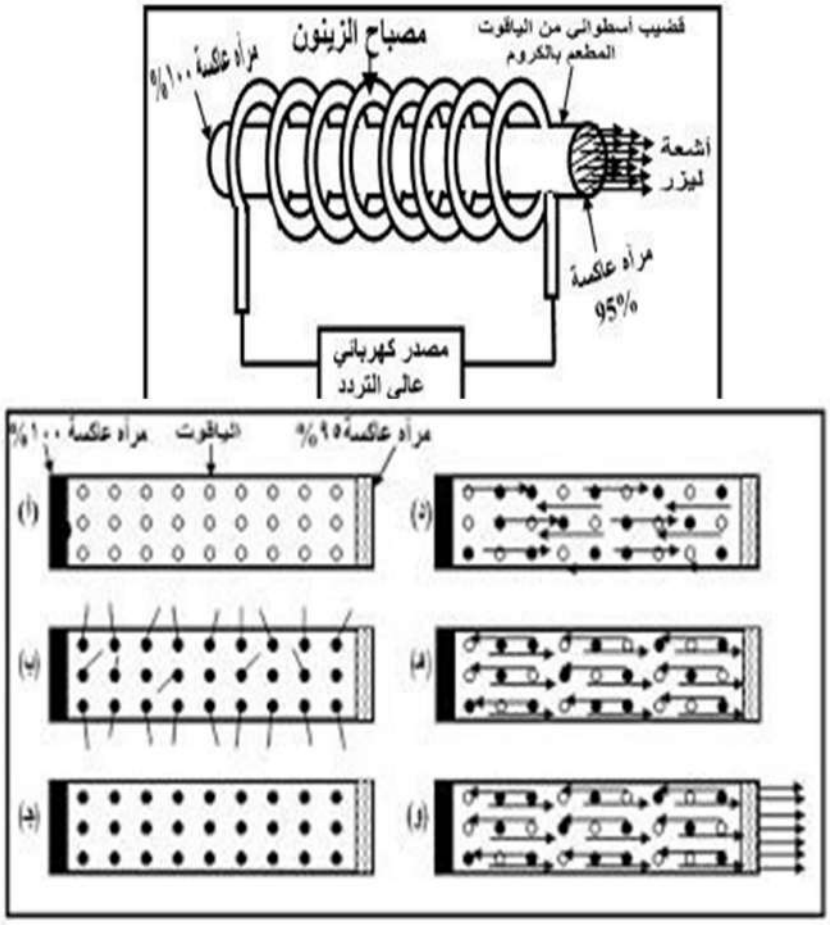
الشكل (٢-٤)تركيب جهاز ليزر الياقوت

١ـ قضيب أسطواني من الياقوت وهو عبارة عن بلورة من أكسيد الألمنيوم AL2O3 طعمت بحوالي ٠.٠٥% من مادة الكروم (cr) التي تكسب البلورة اللون الوردي وهي التي تثار وتبعث بأشعة الليزر.

٢ـ مصباح الزينون ويكون بشكل حلزوني حول القضيب (علل) حتى يتم الحصول على أكبر كمية من الضوء بغرض إثارة ذرات الكروم لتنتقل من مستوى أدنى إلى مستوى أعلى.

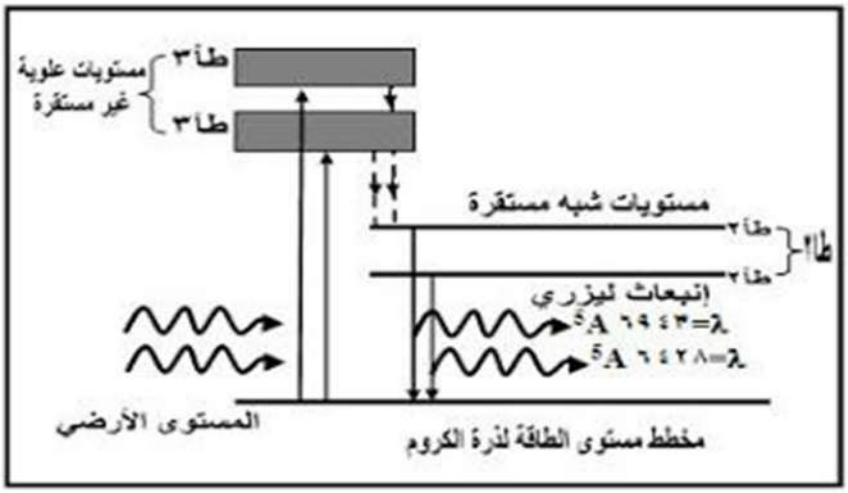
٣ــ مرآتــان توضــعان عنــد طرفــي القضــيب إحــداهما عاكســة ١٠٠% والأخــرى عاكســة بحــوالي ٩٥% وضـيفتهما عكـس أشـعة الليـزر داخـل القضـيب بهـدف حـث ذرات أخـرى علـى الانتقـال مـن (طـ٢١) إلـى (طـ١) .

٤ـ مصدر جهد كهربائي عالي التردد.



الشكل (٢ـ٥)

٢-١٠ طريق عمل جهاز ليزر الياقوت



الشكل (٢-٦) عمل جهاز ليزر الياقوت

١ــ تثـار ذرات عنصـر الكـروم بواسـطة مصـباح الزينـون فتنتقـل مـن المسـتوى الأرضـي(طـا١) إلـى المسـتوى العلـوي المثـار (طـأ٣، طـأ٣) وهـذان المسـتويان غيـر مسـتقران وزمـن عمـر كـلاً منهمـا(١٠أس٨-) ثانية أي أن الذرات تمكث فيه فترة زمنية تكاد لا تذكر.

٢ـ تنتقل هذه الذرات تلقائياً من (طـأ٣، طـأ٣) إلى مستوى الطاقة (طا١) على مرحلتين هما:

أ ــ تعـود الـذرات مـن المسـتوى(طـأ٣، طـأ٣) إلـى المسـتوى شـبه المسـتقر (طـأ٢، طـأ٢)الـذي زمـن عمـره حـوالي (٣٠×١٠أس٣-) ثانيـة وبـذلك يحـدث اسـتيطان عكسـي للـذرات فيـه وهـذا هـو الشـرط الأول للحصول على أشعة الليزر.

ب ــ تنتقـل بعـض ذرات الكـروم مـن (طـأ٢، طـأ٢) تلقائيـاً إلـى مسـتوى الطاقـة (طـا١) وتبعـث بفوتونـات فـي كـل الاتجاهـات فتتشـتت ولا يبقـى منهـا سـوى الفوتونـات التـي تتحـرك ذهابـاً وإيابـاً عمـودي علـى مرآتـي الجهاز وموازية لمحور اسطوانة قضيب الياقوت .

٣ــ تعمـل هـذه الفوتونـات المتحركـة عموديـاً علـى المـرآتين علـى حـث الـذرات الموجـودة فـي (طـأ٢، طـأ٢) علـى العـودة إلـى (طـا١) قبـل موعـد عودتهـا تلقائيـا ممـا يـؤدي إلـى انبعـاث فوتونـات لهـا نفـس التـردد والطـور والاتجاه للفوتونات التي قامت بحثها.

٤ــ ونتيجة لحركة الفوتونات بين المرآتين ذهاباً وإياباً بسبب الانعكاسات على المرآتين فإنها تستحث ذرات أخرى على العودة إلى (طـ١) في كل ذهاب وإياب وبذلك يزداد ويتضخم عدد الفوتونات المنبعثة.

٥ــ عندما تزداد شدة الحزمة الضوئية إلى حداً معيناً فإنه ينفذ نسبة معينة منها إلى الخارج خلال المرآة العاكسة ٩٥ % ، على شكل حزمة متوازية ذات شدة عالية موحدة التردد ..... (أشعة ليزر) .

٦ــ الذرات التي انتقلت بالحث من (طـ٢) إلى المستوى (طـ١) يعاد ضخها (إثارتها) إلى المستويين العلويين (طـَ٣، طـَ٣) بواسطة مصباح الزينون ، وهكذا تستمر العملية.

ملاحظة:

١-من الشكل المقابل الذي يمثل مستويات الطاقة لعنصر الكروم نلاحظ أن:

١ــ المستوى (طـ٢) هو عبارة عن مستويين(طـَ٢، طـَ٢) وبالتالي فان الإشعاع الليزري يعطي في الحقيقة طولين موجيين مناظرين للانتقالين التاليين

الخاتمة

(فَمَنْ كَانَ يَرْجُو لِقَاءَ رَبِّهِ فَلْيَعْمَلْ عَمَلًا صَالِحًا وَلَا يُشْرِكْ بِعِبَادَةِ رَبِّهِ أَحَدًا « الكهف: ١١٠»)

صدق الله العظيم.

وفي خاتمة هذا البحث أذكركم ونفسي بتقوى الله، وبالعمل الصالح لوجه الله تعالى، ونحمد الباري ونشكره على فضله ونعمه ورحمته، ها نحن نخط بأقلامنا الخطوط الأخيرة لهذا البحث بعد رحلة كبيرة من الجهد والتعب والسهر، وقد عرضنا بهذا البحث بعد بحث وجهد عميق موضوع(ليزر الياقوت)

هذا وقد كانت رحلة ممتعة تستحق التعب والعناء، وهي كانت رحلة ارتقت بالفكر والعقل وقد عرجت بالأفكار الهامة لهذا الموضوع، وما هذا الجهد إلا نقطة في بحر العلم وجهد العلماء الذين سبقونا في العلم والبحث، وهذا الجهد هو قليل على البحث العلمي ولكن يكفينا شرف المحاولة، فإن أخطأنا فمن أنفسنا والشيطان، وإن وفقنا فمن الله عز وجل، وقد قال عماد الدين الاصفهاني :"رأيت انه لا يكتب انسان كتابا في يومه إلا قال في غده لو غير هذا لكان احسن ولو زيد كذا لكان يستحسن ولو قدم هذا لكان افضل ولو ترك هذا لكان اجمل وهذا من اعظم العبر وهو دليل على استيلاء النقص على جملة البشر.." .

وأخيراً لقد تقدمنا باليسير في العلم، ونرجو أن نكون قد وفقنا وينال رضاكم، وصل اللهم وسلم على سيدنا محمد النبي الأمي وخير معلم والهادي والمبعوث رحمة للعالمين سيدنا محمد وعلى آهله وصحبة أجمعين.

المصادر

١- Wills, Stewart. "Cassini's Earthbound Partners". Optics and Photonics News. The Optical Society. Archived from the original on 7 July 2018. Retrieved 7 July 2018.

٢- ^ (W. Demtröder, Laser Spectroscopy, 3rd Ed. (Springer, 2009

٣- ^ "California scientists able to control the weather using lasers - www.express.co.uk". 28 September 2017. Archived from the original on 2018-10-23. Retrieved 2018-10-23.

٤- ^ "The man who wants to control the weather with lasers - www.cnn.com". CNN. 24 April 2015. Archived from the original on 2018-10-23. Retrieved 2018-10-23.

٥- ^ Duarte FJ, ed. (2009). "Chapter 9". Tunable Laser Applications (2nd ed.). Boca Raton: CRC Press.

٦- ^ Duarte FJ (2016). "Tunable Laser Microscopy". In Duarte FJ (ed.). Tunable Laser Applications (3rd ed.). Boca Raton: CRC Press. pp. 315–328. ISBN 9781482261066.

٧- ^ "Thales GLOW". Thalesgroup.com. Archived from the original on 2012-03-23. Retrieved 2011-09-25.

٨- ^ "Red Dot Sights / Reflex Sights & Holosights Explained". ultimak.com. Archived from the original on 2012-12-27. Retrieved 2013-07-27.

٩- ^ "The Worldwide Market for Lasers - Market Review and Forecast 2012". Strategies Unlimited. 5th Edition: 56–85. January 2012.

١٠- ^ Sparkes, M.; Gross, M.; Celotto, S.; Zhang, T.; O'Neil, W (2008). "Practical and theoretical investigations into inert gas cutting of 304 stainless steel using a high brightness fiber laser". Journal of Laser Applications. 20 (1042–346X): 59–67. Bibcode:2008JLasA..20...59S. doi:10.2351/1.2832402.

١١- https://www.azza20711.com/

١٢-كتب فيزياء الليزر musa abdalmaged ١٤ أغسطس ٢٠١٩

١٣كتاب مبادئ الليز محمد البلازما الإلكترونيات والكهرباء Electronics and Electricity

١٤-بحوث فيزياءمحمد الشرعبي ٢٠ فبراير ٢٠١٨

١٥-musa abdalmaged ٢٣ أبريل ٢٠١٨

١٦-/http://www.uok.edu.sy

١٧-الليزر و استخداماته الحديثة

١٨- ↑ "Laser", britannica, Retrieved 5/9/2021. Edited.

١٩-↑ "What Is a 18-Laser?", spaceplace, Retrieved 5/9/2021. Edited.

٢٠-↑ "MATTHEW WESCHLER, ،How Lasers Work", www.science.howstuffworks.com, Retrieved 4/9/2021. Edited ^ أ ب ت ث Jeff Hecht (29-11-2017), "Laser" ،www.britannica.com, Retrieved 4/9/2021. Edited.

٢١-^ أ ب "Laser Applications", photonics, Retrieved 4/9/2021. Edited. ↑ "Don’t aim laser pointers at a person’s head and eyes", laserpointersafety, Retrieved 4/9/2021. Edited. ↑ Susan E. Matthews, "How Lasers Can Damage Eyes Over Long Distances", livescience, Retrieved 4/9/2021. Edited.

٢٢-↑ "Laser Safety Program: Biological Effects of Laser Radiation", **blink,**