فيزياء الليزر
Physics of Lasers

مقدمة Introduction

الليزر هو مصدر ضوئي يتميز بخواص فريدة وله تطبيقات متعددة جدا تغطى مجالات مختلفة تشمل على سبيل المثال تصنيع المواد و إعدادها مثل اللحام وتقطيع ومعالجة الأسطح، خلط المعادن فى سبائك، فى الاتصالات الجوية، قياسات المسافات، معالجة المعلومات وتسجيلها، التطبيقات العسكرية والتصوير المجسم، المساحة والطب، كما يستخدم أيضا على نطاق واسع فى البحوث العلمية فى الفيزياء، الكيمياء وعلوم الأحياء. يوجد فى الوقت الحاضر عدد كبير من أنواع الليزرات المتاحة تجاريا يتراوح حجمها من أجهزة صغيرة لا تتعدى عقلة الإصبع وأجهزة ضخمة تملأ أبنية كبيرة. كل هذه الليزرات لها خصائص متميزة مشتركة. يختلف ضوء الليزر عن ضوء المصادر الضوئية الشائعة الاستخدام مثل مصابيح الإضاءة العادية أو مصابيح الفلورسنت أو مصابيح القوس.

تتكون كلمة الليزر المكتوبة بالأحرف الإفرنجية **Laser** من الأحرف الأولى من الكلمات الإنجليزية التالية:

Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation .ومعناها باللغة العربية تضخيم الضوء بواسطة الانبعاث المستحث للإشعاع.

أما إذا كان تـــردد الإشـــعاع المنبعـــث يقـــع فى منطقـــة الموجـــات الميكرونيـــة (موجات الميكروويـــف) فتـــستبدل كلمـــة **Light** بكلمـــة **Microwave** لتكـــون الكلمة **Maser**.

فى عام **1917**م اكتشف عالم الفيزياء البرت أينشتاين أنـــه تحـــت شـــروط معينـــة تستطيع الذرات والجزيئات وهى المكونات الأساسية لكـــل المـــواد امتـــصاص الـــضوء أو أي طاقة أخرى، ومن ثم يمكن حث هذه الذرات علـــى بعـــث هـــذه الطاقـــة الـــتي امتصتها على شكل جسيمات ضوئية. فى الـــسنوات مـــن عـــام **1950-1958**م اقتـــرح كـــل مـــن جـــارلس تـــاونس **C. Townes** وآرثـــر شـــالوه **A.Schawlow** مـــن الولايات المتحدة، تكبير إشـــعاعات هـــذه الجـــسيمات الـــضوئية بطريقـــة الانبعـــاث المستحث **Emission Stimulation**، وقد صمما جهازا لهذا الغـــرض، كـــان غـــاز الأمونيا هو المادة الفعالـــة فيـــه، بغـــرض الحـــصول علـــى شـــعاع ليـــزر فى منطقـــة الميكروويف، لذا أطلق عليه اسم ميزر **Maser** (حصل العالمـــان علـــى جـــائزة نوبـــل فى الفيزياء عام **1964**م على هذا التـــصميم). فى عـــام **1960**م نجـــح العـــالم تيـــدور ميمن **T. Maiman** فى إنتاج شعاع ليزر فى منطقة الـــضوء المرئـــي باســـتخدام مـــادة الياقوت الصناعي، ويعرف هذا الجهاز بـــالروبى ليـــزر **Ruby Laser**، وهـــو يبعـــث شعاعا فريدا من نوعه قرمزي اللون يفوق الشمس بريقا.

قد تم تصميم أول ليزر غازي (هيليـــوم – نيـــون) ســـنة **1961**م علـــى أيـــدي جافان بنـــت وهريـــوت **Javan, Bennett& Herriott** كمـــا اكتـــشف خـــلال السنين من **1963**م إلى **1967**م ليـــزرات غازيـــة أخـــرى. وكانـــت معظمهـــا تعمـــل بمستوى قدرة منخفض، أما الليزرات ذات القـــدرة الخارجـــة العاليـــة فقـــد تم بناؤهـــا أيضا ولكن باستخدام الانتقالات الأيونية والجزيئية.

لو انتقلنا الآن إلى ليزرات أشباه الموصلات يمكننـــا أن نقـــول بأنهـــا نـــشأت أولا فى عام **1962**م. من أكثر أنواعها المعروفـــة هـــي ليـــزر الحقـــن **Injection Laser** التي تبعث بضوئها المـــتلاحم مـــن الملتقـــى **Junction**، أي مـــن ، منطقـــة الالتقـــاء الرقيقة التي تفصل الشبه الموصل الموجـــب **P-type** عـــن الـــشبه الموصـــل الـــسالب

n-type. وتتم عملية إثارة هذا النوع من الليزرات بتطبيق مجال كهربائي، يعمل على حقن حاملات التيار إلى داخل الملتقى، وبهذا يتحول مباشرة جزء كبير من الطاقة الكهربائية المبذولة على بلورة شبه الموصل، إلى أشعة مستحثة. تعمل الليزرات المصممة بهذه الكيفية بكفاءة عالية، إلا أن المناطق الفعالة لها تكون رقيقة جدا، وتكون عادة بحدود القليل من المايكرونات Few Microns. كما توجد طرق أخرى متوفرة لإثارة أشباه الموصلات.

1.5 خصائص أشعة الليزر

يتميز شعاع الليزر بالخصائص التالية:

1- أحادية اللون أو أحادية الطول الموجي Monochromatic

2- الترابط Coherence

3- الاتجاهية Directionality

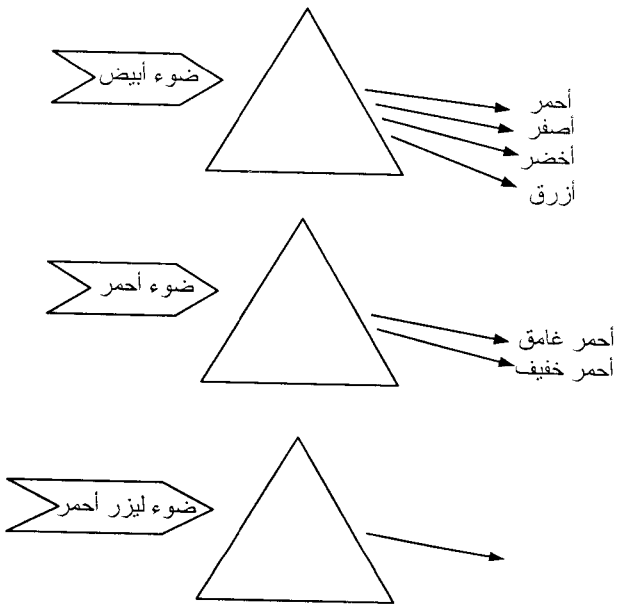
4- السطوع Brightness

1- أحادية الطول الموجي Monochromatic

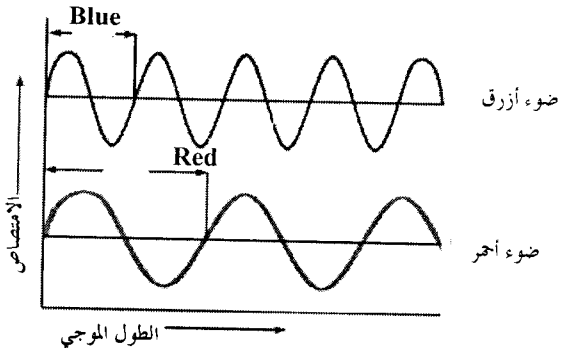
عرض حزمة الليزر متناهي الصغر، فمثلا عرض حزمة ليزر هليوم – نيون النموذجي لا يتعدى واحد نانومتر، مع العلم أنه لا يمكن الحصول على شعاع ليزر أحادى الطول الموجي تماما.

الضوء الأبيض الصادر من المصباح الكهربائي العادي يتكون من العديد من الأطوال الموجية (عرض حزمة الضوء الأبيض حوالي 300nm) عرض الطيف المرئي بأجمعه. إذا سقطت حزمة ضوء أبيض على منشور زجاجي فإنها تتفرق إلى مركباتها من الأطوال الموجية كما فى شكل(11). أما إذا سقط لون واحد من هذه الألوان وليكن الأحمر على المنشور فإنه يتفرق إلى مركبة أطواله الموجية أيضا،

وينتج المنشور حزمة ألوان طيفية تتدرج من الأحمر الداكن إلى الأحمر الفاتح كما هو موضح فى الشكل (11). لكن لا يكون للمنشور تأثير محسوس على ضوء الليزر الأحمر، ذلك لأن عرض حزمته متناهية الصغر مقارنة بالضوء الأحمر الخارج من المنشور. ومع هذا فإنه من المهم أن نعرف أنه حتى الليزر لا يمكن أن يكون أحادى اللون تماما.



شكل (11) يبين تفريق الضوء خلال المنشور.



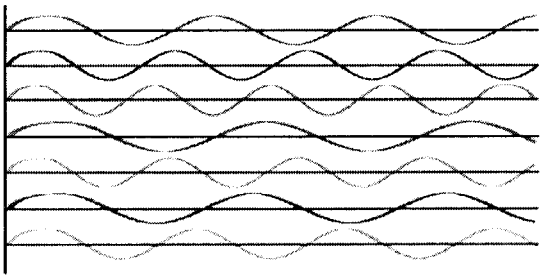
شكل (12) يبين مقارنة بين الطول الموجى للضوء الأحمر والضوء الأزرق.

2- الترابط الزماني والمكاني Spatial and Temporal Coherent

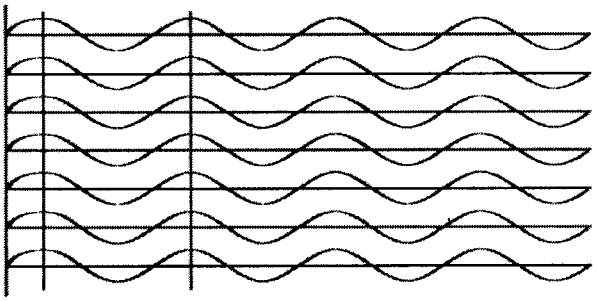
تتغير شدة وطور وطاقة الضوء الطبيعي من نقطة إلى أخرى ومن زمن لآخر عبر الحزمة المنتشرة شكل(13)، أما شعاع الليزر لا تتغير شدته ولا طوره ولا طاقته من نقطة إلى أخرى عبر حزمته (فإذا نظرنا إلى الشكل (14) نلاحظ أن حزمة الليزر لها نفس الطول الموجي، ونفس الطور. الترابط خاصية لضوء الليزر تميزه عن الأنواع الأخرى. والترابط بالنسبة للمكان يسمى الترابط المكاني Spatial Coherence والترابط بالنسبة للزمن يسمى الترابط الزماني Temporal Coherence. الضوء الصادر من الليزر يظهر كل من الترابط المكاني والزماني. الترابط المكاني يعنى أن الضوء عند قمة الحزمة يترابط مع الضوء عند قاع الحزمة. أما الترابط الزماني فإنه يحدث بسبب بقاء موجتين فى حزمة الليزر مرتبطتين لفترة زمنية طويلة وذلك عندما تتحركان مارتين بمنطقة معينة. هذا يعنى أنهما يتفقان فى الطور نفسه إحداهما مع الأخرى لعدة أطوال موجية.

توجد نتيجتان مهمتان للترابط المكاني هما الاتجاهية والبؤرية Directionality and Focussability. الضوء غير المترابط مثل ضوء الشمس يشع فى كل الاتجاهات، بينما الليزر يبعث الضوء فقط فى مخروط ضيق على طول محور المرآتين. والنتيجة الثانية للترابط المكاني تتمثل فى إمكانية تركيزها فى بقعة قطرها يساوى تقريبا الطول الموجي لضوء الليزر، عادة أقل من واحد ميكرومتر. ونتيجة للترابط الزماني يكون شعاع الليزر وحيد الطول الموجي.

تردد ضوء الشمس الأبيض يكون فى حدود 10^{14}هرتز ويكون فى حالة ضوء الصوديوم الأصفر 10^{10} هرتز بينما يكون فى حالة ضوء ليزر مستقر10^{3} هرتز. فى كل التقنيات الحديثة يمكن جعل حزمة الليزر مستقرة إلى جزء واحد فى $.5\ x10^{14}$



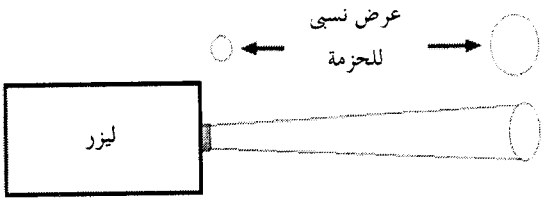
شكل (13) يبين موجات ضوء غير مترابطة.



شكل (14) يبين موجات ضوئية مترابطة (فى طور واحد)

3- الاتجاهية Directionality

حزم الليزر لا تنفرج كثيرا عند انتقالها لمسافات عدة مئات من الأميال. تقاس انفراجات حزم الليزرات النموذجية بجزء واحد من ألف جزء من الزوايا نصف القطرية. ولكن كما أنه من المستحيل أن يكون ليزر ما أحادى الطول الموجي تماما، فإن من المستحيل أيضا أن ينتج ليزر ما حزمة ليزر غير منفرجة تماما. وانفراج حزمة الليزر يمكن أن يكون صغيرا جدا مقارنة بالضوء الصادر من مصادر أخرى. معنى ذلك أن حزمة الليزر مركزة تركيزا شديدا. تسير أشعة الليزر فى خطوط مستقيمة أقرب إلى التوازي، لذا لا تخضع شدة الاستضاءة لأي سطح يعترضها لقانون التربيع العكسي شكل(15).



شكل (15) يبين شعاعا ذا اتجاهية عالية.

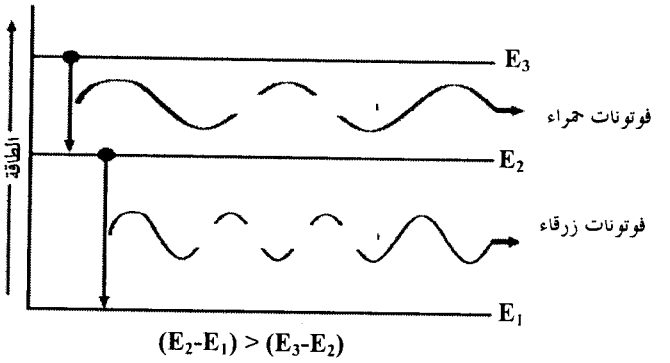
4- السطوع Brightness

يعرف سطوع أي مصدر للموجات الكهرومغناطيسية بأنه القدرة المنبعثة لكل وحدة مساحة من السطح لكل زاوية مجسمة. سطوع الليزر يكون أكبر عدة مرات من أسطع المصادر المألوفة وهذا يعود بالدرجة الأولى إلى الخصائص الاتجاهية العالية لحزمته.

الانبعاث التلقائي Spontaneous Emission

نفرض أن ذرة ما في حالة الطاقة الأرضية امتصت فوتونا طاقته ملائمة لأن ترفع الذرة من حالتها الأرضية إلى حالة الإثارة الأولى، تبقى الذرة في حالة إثارة لفترة وجيزة من الزمن مقدارها جزء من المليون من الثانية الواحدة 10^{-8} ثانية، تعرف هذه الفترة بالعمر الزمني التلقائي، وبعد انقضاء هذا الزمن تبعث الذرة الفوتون الذي أثارها تلقائيا وتعود إلى حالتها الأرضية. وينبعث هذا الفوتون بشكل عشوائي (شكل 16 يوضح الانبعاث التلقائي). أي أن الذرات التي تكون في حالة إثارة أي عند مستويات طاقة عليا، تبعث الفوتونات الضوئية تلقائيا للتخلص من حالة الإثارة – أي الطاقة الزائدة – وتعود إلى حالة الطاقة الأقل، وهذه العملية عشوائية الحدوث والفوتونات المنبعثة لا تكون مترابطة بعضها مع بعض أي لا تكون في نفس الطور. تتناسب شدة الانبعاث التلقائي مع عدد

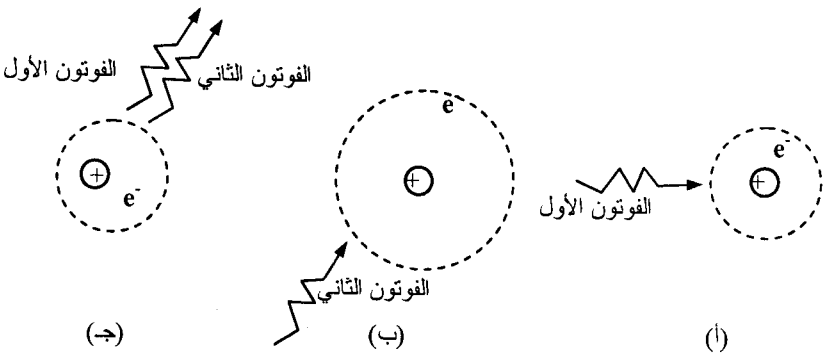
الذرات التي تهبط من مستوى الطاقة الأعلى E_2 إلى المستوى الأدنى E_1 ولا يرتبط بشدة المصدر الخارجي أو بطور أشعته.



شكل (16) يبين الانبعاث التلقائي.

الانبعاث المستحث Stimulated Emission

إذا حدث واصطدم فوتون ثاني مار له نفس طاقة الفوتون الممتص فى المادة بذرة مثارة فيها، فإن هذا الفوتون يحدث خللا فى توازنها ويجعلها تهبط اضطراريا لحالة طاقتها الأولى قبل انقضاء عمرها الزمني التلقائي (10^{-8} ثانية) وتفقد فوتونها الذي أثارها أول مرة، وبذلك يحدث ترابط وتماسك للفوتون المتحرر من الذرة والفوتون الصادم لها. ونتيجة لذلك ينطلق فوتونان من الذرة وهما على قدر كبير من الترابط والتماسك. شكل (16).

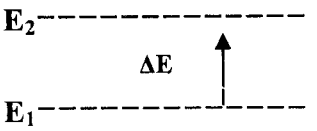


شكل (17) يبين انبعاثا مستحثا.

الانبعاث المستحث عملية فاعلة فى عمل الليزر ولو نظرنا لكلمة Laser لوجدنا أن الحرفين الثالث والرابع يعطيان معنى الانبعاث المستحث والضوء المنبعث من أي ليزر هو ضوء مترابط لأن جميع موجاته تنتشر فى نفس الاتجاه ولها نفس الطول الموجي وجميعها فى نفس الطور بعضها مع بعض. تتناسب شدة الانبعاث المستحث مع شدة المصدر الخارجي الذي حثه على الانبعاث ويكون للانبعاث المستحث نفس طور أشعة المصدر الخارجي.

الامتصاص Absorption

نفترض أن الذرة موجودة فى المستوى E_1 وكان هذا هو المستوى الأرضي، فإن هذه الذرة ستبقى فى هذا المستوى إذا لم يؤثر فيها مؤثر خارجي. نفترض أن فوتونا أو موجة كهرومغناطيسية ترددها يساوى $\upsilon = E_2-E_1/h$ سقطت على المادة، ففي هذه الحالة سوف يكون هناك احتمالية لانتقال الذرة من المستوى E_1 إلى المستوى E_2 وفرق الطاقة $\Delta E = E_2 - E_1$ تمتصها الذرة من الموجة الكهرومغناطيسية الساقطة، ويطلق على هذه العملية الامتصاص.



2.5 شروط الانبعاث الليزرى

للحصول على أشعة الليزر من الضروري توفر ثلاثة شروط أساسية وهى:

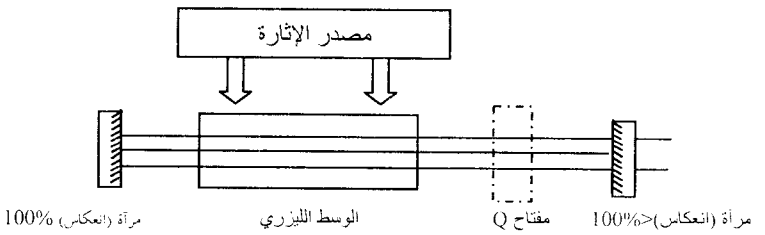
1- الانبعاث المستحث Stimulated Emission

2- الإسكان المعكوس Population Inverse

3- التكبير الضوئي Light Amplification

لكي يتم الفعل الليزرى بنجاح يجب أن تكون هناك زيادة فى عدد الذرات

المثارة مقارنة بتلك الموجودة فى حالة الطاقة الدنيا. وهـذه الحالـة المعروفـة بالإسـكان المعكوس، يتم الوصول إليهـا ببـث طاقـة مـن مـصدر خـارجي مثـل التفريـغ الكهربائي، الضوء الوميضى. تفاعـل كيميـائي أو موجـة تـردد راديـوى. يـسمى مصدر الطاقة الضخ، عندما يتم الإسكان المعكوس يحـدث الفعـل الليـزرى. يـنعكس الفوتون المستحث الناتج فى الوسط الفعـال ذهابـا وإيابـا مـرات عديـدة بواسـطة مرآتين موضوعتين عند النهايتين المتقابلتين للمـادة الفعالـة. بهـذه الطريقـة يـضخم عدد الفوتونات عدة مرات عند كل مـرور خـلال الوسـط. المنطقـة بـين المـرآتين تسمى التجويف الليزرى أو المرنن Resonator، إحـدى المـرآتين تعكـس الـضوء جزئيا فقط حيث يكون بها فتحة تسمح بانبعـاث نـسبة صـغيرة مـن أشـعة الليـزر وهذا يكون شعاع الليزر الخارج شكل(18).



شكل (18) يوضح العناصر الأساسية وطريقة عمل الليزر.

نفرض أن التوزيع الطبيعي للذرات عنـد الاتـزان، N_i فى حالـة الطاقـة E_1 فى غاز تعطى بالعلاقة التالية:

$$N_i = N_o \exp(-Ei/KT)$$

حيث No = هي عدد الذرات فى الحالة الأرضية

K = ثابت بولتزمان ($1.38 \times 10^{-23}\ JK^{-1}$)

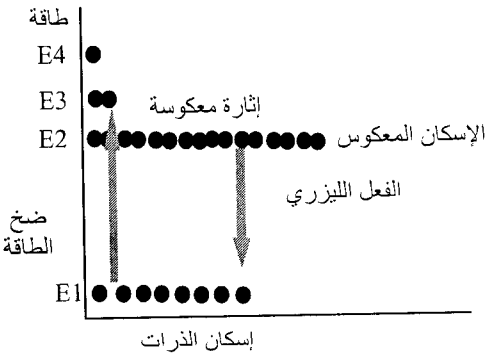
T = هي درجة الحرارة بالكيلفن

عدد الذرات N_j عند مستوى الطاقة ($E_i < E_j$) بالنسبة إلى N_i هو كالتالي:

$$N_j = \exp(-\Delta E/KT)$$

حيث ΔE هي فرق الطاقة $E_j - E_i$.

تحت ظروف الاتزان الحراري لا يمكن أن تزيد قيمة N_j عن N_i . الإسكان المعكوس هو حالة غير متزنة. حيث إن $N_J > N_i$. أبسط تمثيل للضخ الضوئي هو نظام المستويات الثلاثة شكل(19)، فى هذا النظام تضخ الذرات فى الحالة الأرضية إلى مستوى طاقة مثارة أعلى حيث تنحل تلقائيا إلى حالة غير مستقرة. بهذه الطريقة يصل الإسكان المعكوس بين الحالة الوسطى والحالة الأرضية وتنحل من الحالة الوسطى بالانبعاث المستحث.



شكل (19) يبين الإسكان المعكوس فى حالة المستويات الثلاثة.

نظام المستويات الثلاثة

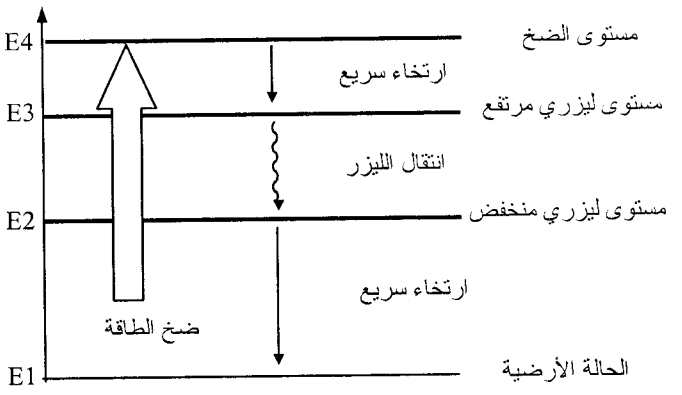
نظام المستويين لا يصلح للتضخيم الضوئي وذلك لأن الإشعاع الذي يقوم بعملية الضخ يحث الذرات على العودة إلى المستوى الأقل فى الطاقة. أما فى نظام المستويات الثلاثة نستخدم الإشعاع لضخ الذرات إلى مستوى أعلى من المستوى الذي نرغب أن تكون فيها، بعدئذ يتم الهبوط التلقائي لهذه الذرات إلى المستوى المطلوب الذي يقع دون المستوى الأول الذي تم الضخ إليه.

نفرض أننا بصدد تحقيق الإسكان المعكوس بين المستويين (2 , 1) كما فى الشكل ، تسليط شعاع ضوئي بتردد محدد $(E_1 - E_3)/h$ يرفع الذرات المثارة من المستوى (1إلي 3) ولا تلبث هذه الذرات أن تعود تلقائيا إلى المستوى (2) حيث تتراكم حتى يزيد عدد الذرات فى هذا المستوى عن عددها فى المستوى (1). لابد أن يكون اختيار المستويات الثلاثة بدقة فائقة، فمثلا يجب أن يكون معدل العودة التلقائية إلى المستوى (1) من المستوى (3) أصغر بكثير من معدل الهبوط إلى المستوى (2) وإلا فإن عدد الذرات التي تتراكم فى المستوى (2)سيتناقص بمعدل لا يسمح بخلق ظروف تؤدى إلى زيادة كبيرة فيه.

إن ميزة النظام ذي المستويات الثلاثة على النظام ذي المستويين تكمن فى أن تردد الانتقال بين المستويين ,(3 ،1) يختلف عن تردد الانتقال بين المستويين (1،2) وعليه فإن تردد الإشعاع الذي يقوم بعملية الضخ لا يمكن أن يحث الذرات على الانتقال من المستوى (2).

نظام المستويات الأربعة

يختلف الليزر الرباعي المستوى عن الليزر الثلاثي المستوى فى أنه يمتلك مستوى ليزر واطئ مميز كما نرى فى الشكل(20). غالبا ما تبدأ جميع الليزرات فى الحالة الأرضية، ويضخ بعضا منها إلى مستوى الضخ فتنحل سريعا إلى المستوى العلوي الذي يمتلك عمرا زمنيا طويلا عادة – (لكون هذا المستوى العلوي يمتلك عمرا زمنيا طويلا فإنه يسمى بالمستوى شبه المستقر) ولكن عندما يحدث الفعل الليزرى الآن، فإن الذرات تسقط إلى مستوى الليزر السفلي أكثر منه إلى الحالة الأرضية، وما أن تعانى الذرات انتقالا مستحثا إلى مستوى الليزر السفلي حتى تنحل تلقائيا إلى الحالة الأرضية، وتكون الطاقة المتحررة فى هذا الانحلال حرارة.



شكل (20) يبين الانتقال بين المستويات الأربعة .

3.5 العناصر الأساسية لليزر

يتكون الليزر أساسا من الوسط الليزرى والذي يطلق عليه أيضا الوسط الفعال، ويوضع بين مرآتين متوازيتين يكونان المرنن الضوئي أو التجويف الليزرى. عندما يثار بطريقة ملائمة فإنه يضخم الضوء بالانبعاث المستحث. وينعكس الضوء المنبعث من الوسط المادي ذهابا وإيابا بواسطة المرآتين المتقابلتين مارا خلال الوسط الفعال بعد كل انعكاس، الوسط الفعال يضخم الضوء فى كل مرور، بذلك تزداد شدة الضوء إلى قيمة عالية جدا. وتجدر الإشارة هنا بأن إحدى المرآتين تنفذ الضوء جزئيا(إحدى المرآتين تعكس الضوء 100% والأخرى تعكس فقط حوالي 99%) ومنها تخرج حزمة الليزر والأشعة العمودية على المرآتين فقط تنعكس عددا ضخما من المرات فى حين الأشعة الأخرى غير المتعامدة على المرآتين سوف تنحرف بعد عدد قليل من الانعكاسات، بعيدا عن المرآتين. هذا يعطى اتجاهية عالية لشعاع الليزر.

من ناحية طبيعة الانبعاث ينقسم شعاع الليزر إلى شعاع نبضي **Pulsed Mode** أو موجة مستمرة **Continuos Wave** وأشعة الليزر قد تكون فى الضوء المرئي أو فوق البنفسجي أو تحت الحمراء فى مناطقها الثلاث، القريبة

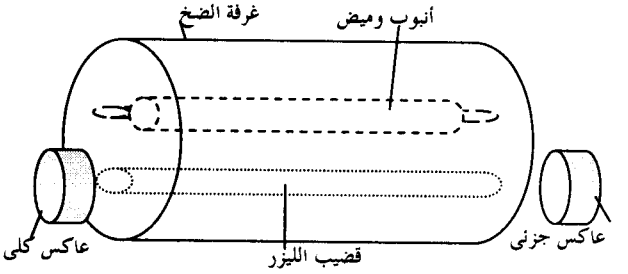
والوسطى والبعيدة. وتوصل العلمـــاء إلى أشـــعة الليـــزر فى منطقـــة الأشـــعة الـــسينية ويوضح شكل (18) طريقة عمـــل الليـــزر والعناصـــر الأساســـية المـــشتركة فى كـــل الليزرات واحدة وهى:

1- الوسط الليزرى أو الوسط الفعال
Lazing Medium or Active Medium

يوجد عدد ضخم من الأوساط الليزرية وهى المـــسئولة عـــن الفعـــل الليـــزرى. وهى إما غازية أو سائلة أو صلبة أو شبه موصلة مثـــل غـــاز ثـــانى أكـــسيد الكربـــون والأرجون والكريبتون والاكسيمر مثـــل XeCl, ArF. وصـــلب مثـــل Nd:YAG, Er:YAG والروبى Ruby الياقوت، وســـائلة مثـــل الـــصبغات الذائبـــة فى مـــذيبات مناسبة.

2- طرق الإثارة (أو الطاقة) Methods of Excitation

تختلف طريقة إثارة هذه المواد باختلاف أنواع الليـــزرات، علـــى ســـبيل المثـــال، تضخ الليزرات الصلبة (ماعدا شـــبه الموصـــلات) بمـــصادر ضـــوئية شـــديدة، عامـــة، مصباح وميـــضى أو مـــصباح قـــوس Arc Lamp تـــسمى هـــذه الإثـــارة الـــضخ الضوئي. شكل(21) يبين نموذجا لليزر المواد الصلبة.



شكل(21) يمثل نموذجا لليزر المواد الصلبة.

تضخ ليزرات الصبغة بليزر آخـــر (N_2 أكـــسيمر أو أيـــون الأرجـــون) لأنهـــا

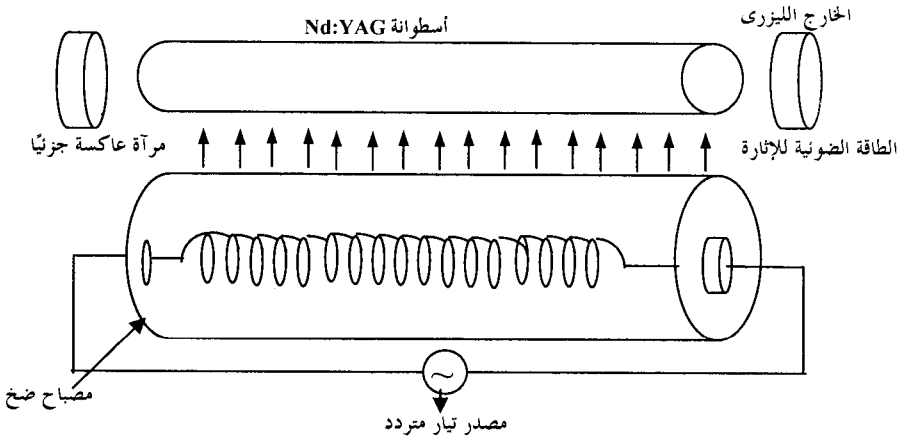
تحتاج إلى مصدر ضوئي للضخ أكثر شدة.

نعتبر على سبيل المثال تشغيل ليزر (Nd:YAG) الياج ، يتم الفعل الليزرى فى أيونات النيوديميوم Nd التي تطعم فى إتريوم ألمونيوم جارنت Yttrium Aluminum Garnet وتكون بلورة Nd-YAG على شكل قضيب صلب. فى هذا الوسط يمتص Nd^{3+} الضوء من المصباح الوميضي أو من مصباح القوس اعتمادا على ما إذا كان التشغيل المطلوب موجة مستمرة أو نبضي شكل(22).

يركز ضوء الضخ على قضيب الليزر بواسطة تجويف الضخ Pumping Cavity وتبعث أيونات Nd المثارة حزمة الليزر. ونذكر أيضا ليزر الياقوت كمثال آخر على الليزرات الصلبة. ويبين الشكل (21) الضخ الضوئي لليزرات الصلبة.

تضخ ليزرات الغاز بالتفريغ الكهربائى فى الوسط الفعال نفسه والضخ الضوئي ليس مناسبا لأن قدرة الوسط الغازي صغيرة والانتقالات الضوئية حادة جدا مما يجعل امتصاص الضوء فى الغازات غير فعال. ويبين الشكل(27) رسماً تخطيطياً لليزر غازي. فى التفريغ الكهربائى تتصادم الإلكترونات مع ذرات الغاز أو الجزيئات لإثارتها، مثلا فى ليزر الأرجون تثار الأيونات إلى مستويات طاقة إلكترونية أعلى ومنها تتم انتقالات الليزر عند أطوال موجية مختلفة.

تمثل ليزرات أشباه الموصلات نوعاً آخر من الليزرات التي أصبح لها تطبيقات واسعة وخصوصا فى المجال الطبي ويتكون أبسط أشكال ليزرات أشباه الموصلات من الوصلة P-n. وعندما يكون التيار فى الوصلة عاليا لدرجة كافية يحدث انبعاث مستحث تام منتجا حزمة الليزر. مميزات ليزرات أشباه الموصلات تتمثل فى حجمها الصغير (كرأس الدبوس) والكفاءة العالية (50%) وفرق جهد التشغيل منخفض 2 فولت.



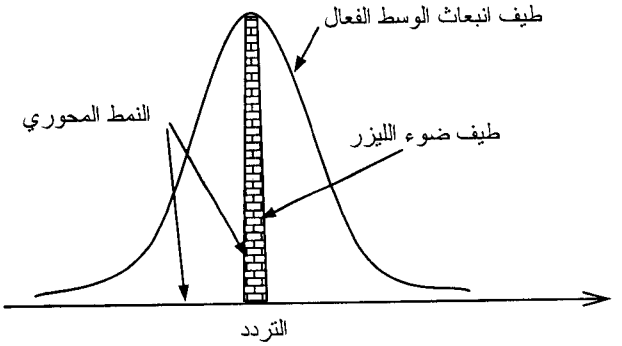
شكل(22) يبين رسماً تخطيطيًا لليزر Nd:YAG

ليزرات الأكسيمر Eximer Lasers (الاسم مشتق من كلمتين Excitation و Dimer). وتتكون من خليط من غازات نشطة، مثل الفلور والكلور وغازات خاملة مثل الأرجون والكربتون أو الزينون، مثل فلوريد الأرجون ArF وفلوريد الزينون XeF وفلوريد الهيدروجين HF. وتعمل هذه الليزرات على النمط النبضي ولها قدرات عالية فى المنطقة فوق البنفسجية عند الطول الموجي (لليزر ArF) 193 نانومتر، XeF 354 نانومتر، مع العلم أن ليزرات بخار الذهب وبخار النحاس تنتمي لهذه المجموعة من الليزرات.

3- المرنن الضوئي [التجويف الرنان] Optical Resonator

يلعب المرنن الضوئي دورا مهما فى نظام الليزر، كما ذكرنا أنه هو التجويف أو الوعاء الحاوي والمسئول عن عملية التكبير، وهو يسمح بتواجد ذبذبات الليزر عند الترددات المختارة التي تكون نماذج الموجة الموقوفة. يطلق على هذه الترددات الأنماط المحورية. بالرغم أن الوسط الفعال يبعث على مدى طيفي عريض، المرنن يتيح فعل ليزري على نمط واحد أو قليل من الأنماط المحورية داخل هذا الاتساع الطيفي. وكنتيجة لذلك يكون لضوء الليزر عرض طيفي أضيق بكثير (وحيد الطول الموجي) عن ذلك للوسط الفعال.

مما سبق نستطيع القول بأن حزمة الليزر سوف تكون متوازية وشدتها موزعة بانتظام عبر الحزمة. ولكن هذا فى الواقع ليس كذلك. ونظرا لأن الضوء موجة، فإنه يحيد أثناء الانتشار هذا الحيود يعطى انفراجا لكل حزم الضوء ذات المقطع العرضي المحدود وبسبب الحيود فإن توزيع شدة الضوء الذي ينتشر إيابا وذهابا بين المرآتين لا تكون منتظمة. فقط توزيعات مجال معين تعيد نفسها مرة أخرى بعد الحيود أثناء الانتشار بين المرآتين ويطلق عليها الأنماط المستعرضة للمرنن **Transverse Modes of Resonation**. توزيع شدة النمط المستعرض يعتمد على بارامترات المرنن مثل نصف قطر انحناء المرآتين والمسافة الفاصلة بينهما والفتحة الواضحة للمرنن. أدنى رتبة للنمط المستعرض تسمى نمط **TEMoo** (**Transverse Electro Magnetic Field**) وتوزيع شدتها القطري يكون جاوسيا. (كما فى شكل 23). وانفراج حزمة النمط **TEMoo** أقل ما يمكن. لذا يمكن تركيزه على بقعة بؤرية صغيرة جدا.



شكل (23) الخصائص الطيفية لليزر.

يمكن أن يعمل تجويف الليزر بطرق تذبذبية متنوعة، فعندما تنتقل الأمواج إيابا وذهابا بين المرآتين الطرفيتين التي تفصلهما مسافة **L** تتكون أمواج موقوفة عندما يكون

حيث **n** عدد صحيح $L = n \lambda/2$

ويعطى تردد التذبذب من المعادلة:

$$\upsilon = \frac{nc}{2L}$$

حيث c سرعة الأمواج فى وسط التجويف وتدعى الموجات المستقرة التي تمتلك ترددا يحقق هذه العلاقة والمتجهة باتجاه محور الليزر (عموديا على مستوى المرايا، الأنماط المحورية Axial Modes لليزر. وهى تشابه الأنماط الاهتزازية الحرة لمتذبذب توافقي مضمحل. ويكون الفرق بالتردد بين نمطين محوريين متعاقبين هو

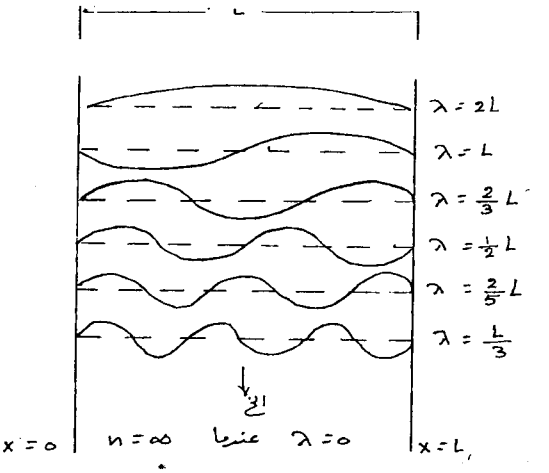
$$\upsilon_{n+1} - \upsilon_n = \Delta\upsilon = \frac{c}{2L}$$

ويكون هذا الفرق بمثابة مقلوب زمن الذهاب والعودة.

فى ليزرات غازية نموذجية طولها 1m ومعامل انكسارها 1 تكون قيمة هذه الفترة الترددية أي الفترة الترددية الفاصلة بين النمطين المتعاقبين مساوية للمقدار

$$1.5 \times 10^8 \text{ sec}^{-1} = 150 \text{ MHz}$$

وبذلك سيحوى الليزر عددا من الخطوط الطيفية تكون مفصولة عن بعضها البعض بالفترة الترددية C/2L



شكل(24)يبين الموجات الموقوفة داخل التجويف.

إن الأشعة الكهرومغناطيسية توجد داخل التجويف على صورة مسلسل من الأمواج الموقوفة Standing Stationary Waves التي يتحدد طول أمواجها (أو ترددها) بأبعاد التجويف. ولكي يستمر ويتواصل وجود موجة فى اتجاه المحور يجب أن يكون بعد أو طول التجويف L باتجاه المحور X مساويا لأعداد صحيحة من أنصاف الأطوال الموجية (λ /2) أي أن

$$L = n(\lambda/2)$$

أما بالنسبة للأمواج التي لا تحقق المعادلة فإنها تتلاشى خلال تداخلات هدامة ويبين الشكل(24) الأمواج الموقوفة.

4.5 السلوك الزمني Temporal Behavior

يمكن التحكم فى الاعتماد الزمني لضوء الليزر بطرق مختلفة. أبسط طريقة هي التحكم فى الضخ نفسه. فى حالة الخارج المستمر CW، يكون الضخ المستمر ضروريا، ومن جهة أخرى فى حالة الخارج النبضي لابد أن تكون الإثارة نبضية. الضخ النبضي يمكن أن ينتج نبضات ليزر ذات أطوال مختلفة، فى حدود عشرات قليلة من النانو ثانية إلى قليل من الميكرو ثانية. وبالاستعاضة عن ذلك يمكن استخدام إثارة مستمرة مع جهاز لإعاقة حزمة الليزر لإنتاج نبضات من الضوء. وباستخدام غالق ميكانيكي لإعاقة حزمة الليزر بالتناوب يمكن الحصول على نبضات ليزر على فترات من 0.1 ثانية فما أعلى.

5.5 مفتاح Q Q Switching

تسمح تقنية مفتاح Q بتوليد نبضة ليزرية ذات عمر قصير جدا(يتراوح بين قليل من النانو ثانية إلى قليل من عشرات النانو ثانية) وقدرة عالية جدا (قليل من الميجا واط إلى عشرات قليلة من الميجاواط). فى نظام مفتاح Q يوضع مغلق

كهروضوئى Electric optic shutter فى التجويف بين المرآتين. يغلق هذا المغلق عندما تكون المادة الفعالة مثارة. عندما تتجمع إثارة كافية يفتح المغلق بسرعة أي فى زمن حوالي نانوثانية (10^{-9} ثانية)، حينئذ ستطلق الطاقة المخزونة على هيئة نبضة ضوئية واحدة شديدة ومركزة. مبدأ هذه التقنية كما يلي: نفرض أن مغلق Shutter ادخل إلى التجويف الليزرى فعندما يكون المغلق مغلقا لا يحدث فعل ليزرى وبذلك يمكن أن يصل الإسكان المعكوس إلى قيمة عالية جدا. وعندما يفتح المغلق فجأة تنطلق الطاقة المخزونة على هيئة نبضة قصيرة ومركزة. وحيث إن هذه الطريقة تتضمن فتح وغلق Switching التجويف بمعامل Q من قيمة صغرى إلى قيمة عالية لذا تعرف بتحويل Q Switching Q. وبالأخذ فى الاعتبار أن فتح المغلق يستغرق وقتا قصيرا جدا بالمقارنة بزمن بناء النبضة (Fast Switching) فإن الخارج يتكون من نبضة عملاقة واحدة. فى حالة التشغيل البطيء Q Switching يمكن أن تتكرر النبضات.

6.5 توليد النبضة العملاقة Giant – Pulse Generation

يعد النبضان غير المنتظم فى الليزر عامل إزعاج كبير فى كثير من التطبيقات العملية وخصوصا فى مجال الاتصالات. يمكن التخلص من هذه الاضطرابات وفى الوقت نفسه زيادة الشدة القصوى زيادة كبيرة وذلك بتنظيم السيطرة على عملية إعادة التوليد فى الليزر. ويتم إنجاز ذلك عن طريق فصل (إبعاد) العاكسات عن البلورة الياقوتية ومن ثم إدخال مغلق Shutter سريع بين البلورة الياقوتية وإحدى العاكسات. فعندما يكون المغلق مقفلا يمكن بناء وتجميع الإثارة فى الياقوت إلى درجة عالية مقارنة فيما لو كان المغلق مفتوحا. ولذا يحفظ المغلق مغلقا حتى تصل الإثارة إلى مستوى عال، وعندما يفتح تتجمع الأشعة بصورة سريعة وتفرغ كل الإثارة الفائضة فى زمن قصير جدا، وتكون شدة النبضة القصيرة الناتجة كبيرة تفوق تلك النبضة الناتجة من ليزر اعتيادي وميضى بعدة مرات.

وبسبب قدرة النبضة الفائقة تدعى الومضة الناتجة بهذه الطريقة النبضة العملاقة Giant Pulse.

7.5 التوليف Tuning

يمكن توليف الليزر Tuned داخل عرض الانبعاث الطيفي للوسط الفعال. فى المبدأ كل الليزرات يمكن توليفها، لكن عمليا، المدى الطيفي للتوليف هو الذي يقرر صلاحيته لهذا الغرض. عرض معظم ليزرات الغاز خط ضيق جدا ولذا فإن هذه الليزرات لا تصلح للتوليف. ونظرا لأن ليزرات الصبغة تتميز بكبر العرض الطيفي للانبعاث فهي أهم أنواع الليزرات من ناحية التوليف. يمكن توليف ليزرات الصبغة من فوق البنفسجي حتى تحت الحمراء فى المدى الطيفي من 311 نانومتر إلى 1285 نانومتر باستخدام صبغات مختلفة. صبغات معينة مثل Scintillator, Coumasin, Xantherne تعطى مدى فوق البنفسجي والمرئي (311 – 700نانومتر). وتغطى صبغات أخرى مثل Polymethyene مدى تحت الحمراء (650 – 1285نانومتر).

8.5 شدة حزمة الليزر Intensity of the Laser Beam

تعرف شدة حزمة الليزر بأنها القدرة مقسومة على مساحة الحزمة. ونظرا لأنه يمكن تركيز حزمة الليزر إلى بقعة صغيرة جدا، يمكن الحصول على شدات عالية جدا بتركيز حزمة الليزر. فمثلا شدة حزمة ليزر الأرجون قطرها 5 ملليمتر وقدرتها واحد واط تكون حوالي 5 واط /سم^2 . وعند تركيزها عند قطر 30 ميكرومتر تزداد الشدة بمقدار مليون مرة أي مليون واط /سم^2.

تتميز حزم ليزرات النبضة بمحتوى الطاقة فى النبضة وفترتها الزمنية. يمكن الحصول على القدرة القصوى للنبضة بقسمة الطاقة على فترة النبضة. ويطلق

على الطاقة لكل وحدة المساحة Fluence. والفلوينس Fluence لكل وحدة زمن هو الشدة. وحيث إن ليزرات النبضة تعطى طاقة فى فترة زمنية قصيرة جدا، فإنها عموما، تنتج شدات أعلى بكثير من تلك التي تنتجها ليزرات الموجة المستمرة CW. من ناحية أخرى، يمكن أن تعطى طاقات عالية جدا لقدرتها على تحرير شعاع باستمرار إلى أي فترة نرغبها.

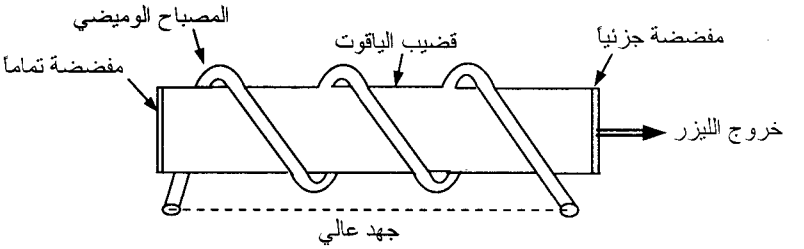
حيث إن الشدة تعتمد على مساحة بقعة الليزر التي تتغير مع المسافة من المصدر فإنها ليست خاصية ترتبط بالمصدر. السطوع Brightness الذي يعرف بأنه القدرة المنبعثة من المصدر لكل وحدة مساحة مصدر لكل وحدة زاوية مجسمة Solid Angle من الانبعاث هي خاصية للمصدر ولا تعتمد على المسافة. بالنسبة للمصدر المترابط مثل الليزر، يتناسب انفراج الحزمة عكسيا مع قطر الحزمة. أي أن الزاوية المجسمة للانبعاث تتناسب عكسيا مع مساحة الحزمة. إذن سطوع الليزر مستقل عن حجم الحزمة، لكن يعبر فقط على مثال: سطوع ليزر He:Ne قدرته واحد مللي واط (طول موجة 600 نانومتر) حوالي $3X10^5$ واط/سم^2 استراديان Steradians (W/Cm^2Sr). وبالمقارنة لضوء الشمس التي تبعث فى زاوية مجسمة 2Sr تكون تقريبا 10^3 W/Cm^2Sr. أي أن ليزر He:Ne الصغير يكون أكثر من سطوع الشمس بمقدار حوالي 300 مرة كونيا. لهذا السبب ينبغي على الإنسان أن لا يعرض عينيه إلى شعاع الليزر.

9.5 أنواع الليزرات Types of Lasers

1- ليزرات الحالة الصلبة Solid State Lasers

ليزرات الحالة الصلبة هي تلك الليزرات التي تكون المادة الفعالة فيها إما بلورة عازلة أو زجاجا. وهذه الليزرات غالبا ما تكون فيها المواد الفعالة أيونات ثنائية داخل البلورات الأيونية. ويعتبر ليزر الياقوت شكل(25) من أهم ليزرات

الحالة الصلبة، كما يعتبر من أول الليزرات ومازال يستعمل حتى الآن. والياقوت (قرنفلي اللون) هو أحد الأحجار الكريمة التي توجد فى الطبيعة ويتكون من بلورة الكورندم Al_2O_3. وقد حلت أيونات الكروم Cr^{3+} محل أيونات AL^{3+}. ويتم الحصول على مادة الليزر عن طريق إنماء البلورة من منصهر مزيج من Cr_2O_3 [0.0596~ بالوزن] وAL_2O_3. ويتم إثارة بلورة الياقوت عن طريق تشعيعها من مصباح وميضى (مصباح الزينون الوميضى بضغط 500torr ~). وليزر الياقوت عبارة عن أسطوانة من الياقوت قطرها حوالي 1cm ويتراوح طولها بين 2cm إلى 10cm ومحاطة بملفات المصباح الوميضى. الأوجه النهائية للبلورة مصقولة بصورة متوازية ومطلية بمادة عاكسة تسمح فقط بمرور جزء صغير من الضوء الساقط عليها. وعند إشعال المصباح الوميضى يبعث وميضا ذا لون أخضر وأزرق لفترة زمنية قصيرة، وتعمل أيونات الكروميوم فى الياقوت على امتصاص هذا الضوء خلال نطاقاتها الامتصاصية العريضة وبذلك يرتفع عدد الأيونات إلى داخل العديد من مستويات الطاقة العريضة الواقعة فوق مستوى الأرضى. ومن هذه المستويات يمكن لهذه الأيونات أن تغير حالتها آنيا إلى مستويات حادة أدنى منها حيث تتجمع فيها لتصبح هذه المستويات ذات كثافة تعدادية أعلى من الكثافة التعدادية للمستوى الأرضي، وبذلك يصبح الياقوت مكبرا عند الطول الموجي $6943A^0$. وليزر الياقوت يعمل كليزر ذي المستويات الثلاثة وهذه المستويات موضحة بالشكل (19)ويحدث الفعل الليزرى عادة بالانتقال من المستوى E_2 إلى المستوى E_1.



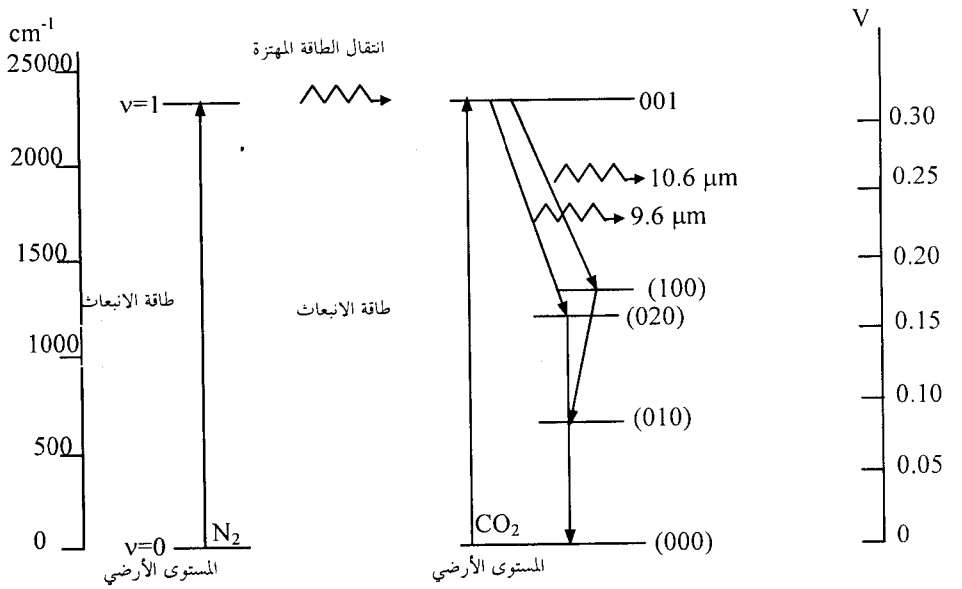
شكل(25) يمثل رسماً تخطيطياً لليزر الياقوت.

جدول (12) ليزرات الحالة الصلبة

الاسم	المادة الفعالة	مدى القدرة نبضي أو موجة مستمرة	خصائص الشعاع، الطول الموجي	التطبيقات
الياج YAG	أيونات Nd^{3+}في المادة المضيفة ياج YAG أربعة مستويات	موجة مستمرة من 10W – 0.2mw تحويل Q- 1mj-1jالكل نبضة	حزمة ذات نوعية جيدة 1064nm (IR)وأيضا SHG 532nm (مضاعفة التردد)	قياس المسافة مؤشر للرؤية الإلكترونية SHG مؤشر للرؤية البشـ
إربيوم Erbium هولميوم Holmium	أيونات Er^{3+} و HO^{3+}في مواد مضيفة مختلفة YLF ,YAG) Glass)أنظمة المستويات الثلاثة	تحويلة Q- QSwitched 1mj-100mj	غالبا آمن للعين أطوال موجية بين 1.4µm إلى 1.9 µm	لم يستقر تجاريا بعد، لكن سوف يحل محل الياج فيكثير من التطبيقات التى فيها يمكن تعرض العين البشرية للإصابة
تيتانيوم–سافير Titanium-Sapphire	أيونات Ti تيتانيوم مع سافير (AL_2O_3) كمادة مضيفة	يضخ بواسطة ليزر فقط يحتاج إلى ليزر آخر للضخ	يمكن وضعه بين 650 نانومتر و1050 نانومتر تقريبا	كل التطبيقات التي تحتاج ليزر بنبضات قصيرة للغاية(0.01ps)
الياقوت أو العقيق Ruby	+Cr3مطعم بالسافير نظام المستويات الثلاثة	1mj إلي 10j خلال بعض عشرات النانوثانية	694 نانومتر بروفيل الحزمة غير جيد، غير مستقر	مشهور اليوم بأهميته التاريخية حيث إنه أول ليزر تم بناؤه

ليزر غاز ثاني أكسيد الكربون Carbon Dioxide Laser

يعد ليزر CO_2 أحد أمثلة ليزرات الغازات الجزيئية عالية القدرة. بالإضافة إلى مستويات الطاقة الإلكترونية توجد أيضا مستويات طاقة تذبذبية وأخرى دورانية. خارج ليزر CO_2 هو ناتج الانتقالات بين مستويات الطاقة التذبذبية والدورانية التي ينتج فوتونا ذا طاقة منخفضة (طول موجي طويل).



شكل(26) يبين مستويات الطاقة فى ليزر ثاني أكسيد الكربون.

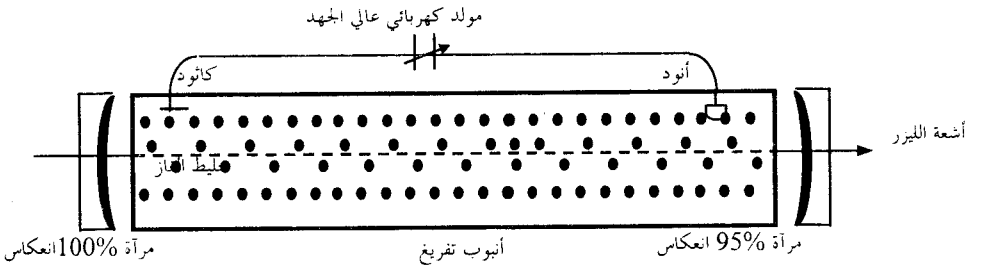
تضخ الجزيئات من حالة الطاقة الأرضية إلى حالة طاقة أعلى حيث تنحل Decay إلى حالة تذبذبية شبه مستقرة **Metastable** كما يظهر فى شكل(25). وينتج الإسكان المعكوس بين هذه الحالة وحالتي طاقة تذبذبية أدنى وهذا يعطى خطي ليزر بين **10.6** و **9.6** ميكرومتر ويوجد حول هذين الخطين الرئيسيين العديد من الخطوط الواضحة نتيجة لوجود عدد من مستويات الطاقة الدورانية المسموحة عند كل حالة تذبذبية. من المعروف أن ليزر ثاني أكسيد الكربون يستخدم عادة خليطا من ثلاثة غازات هي النيتروجين (**13%Ne**) والهليوم (**82%He**) وثاني أكسيد الكربون (**5%CO_2**)، حيث يمتص النيتروجين الطاقة وتنقل جزيئات النيتروجين المثارة طاقتها إلى ثاني أكسيد الكربون والهليوم هنا هو العامل المؤثر على حفظ فرق الإسكان المعكوس بين مستويات الطاقة المعنية لبقاء استمرارية الفعل الليزرى.

تصمم ليزرات ثاني أكسيد الكربون بطول يصل إلى عدة أمتار وقطر يتجاوز 10cm. وتتوفر هذه الأنواع من الليزرات الضخمة بقدرة خارجة تصل إلى عدة مئات من الواط وذات تشغيل مستقر وبطول موجي 10.6μm. كما يعتبر غاز النيتروجين مانحا جيدا للطاقة ويلائم العديد من الجزيئات مثل Cs_2, N_2O, CO كما يمكن استخدامه وحده كمادة فعالة لتوليد الليزر، حيث يعتبر N_2 مصدرا للأشعة المتلاحمة لعدة نطاقات ترددية وأكثرها وضوحا تلك المحصورة فى الحيز μm 0.87 ,0.89, 1.05, 1.23. كما تقوم الانتقالات الذرية والأيونية للنيتروجين بتجهيز تشكيلة مختلفة أخرى من الخطوط الليزرية. أما بخار الماء فيمكن استخدامه كمادة فعالة لتصميم ليزرات جزيئية بعدة أطوال موجية فى منطقة الأشعة تحت الحمراء الدنيا. كما تم تصميم ليزرات غازية، استخدم فيها ذرات وأيونات الهالوجينات والغازات الجوية كمواد فعالة. كما تم استحداث الاهتزازات الليزرية فى كثير من المواد وهى فى الحالة البخارية وأهمها مادة الزئبق.

ليزرات الهليوم – نيون Helium – Neon Lasers

يحتوى ليزر He – Ne على خليط من 10 أجزاء من الهليوم وجزء من غاز النيون فى أنبوب مغلق. يتم الضخ بواسطة الفعل الليزرى فى ذرات النيون. يتم الضخ بواسطة إثارة التيار المباشر (DC)، عادة 1600 فولت و5 ملليي أمبير. تثار ذرات الهليوم إلى مستوى طاقة شبه مستقر نتيجة لمرور التيار خلال خليط الغاز. تنتقل الطاقة بعدئذ إلى مستوى طاقة أعلى فى ذرة النيون حيث يحدث الإسكان المعكوس بين حالات الطاقة المثارة فى ذرة النيون. ويعد ليزر He:Ne أحد الليزرات الغازية التي تضخ كهربائيا والذي ينتج عادة حزمة حمراء الطول الموجي لها 632.8 نانومتر كما ينتج أيضا بعض الخطوط فى منطقة تحت الحمراء عند أطوال موجية تبلغ 1.10 ميكرومترا، 3.39 ميكرومترا، يصمم هذا الليزر عادة ليمنع التذبذب فى المنطقة تحت الحمراء.

قد صمم أول ليزر He -Ne على أيدي جافان وبينيت وهاروت عام 1961م وكان يتكون من أنبوبة تفريغ زجاجية طولها واحد متر وقطرها الداخلي 1.5 cm تحتوى على هليوم ضغطه حوالي 1 ملليمتر زئبق ونيون ضغطه حوالي 0.1 ملليمتر زئبق ومرآتين متوازيتين كما فى الشكل(27) . ويظهر فى شكل(23) مستويات طاقة الهليوم والنيون.



شكل (27) ليزر هليوم نيون.

جدول(13) ليزرات الغازات

الاسم	المادة الفعالة	مدى القدرة نبضى أو موجة مستمرة	خصائص الشعاع، الطول الموجي	التطبيقات
هليوم – نيون Helium - Neon	خليط من الغازات. يمتص الهليوم الطاقة من التيار ثم يمررها إلى النيون	فقط Cw 0.2mw-20mw	جيد جدا. أحيانا أكثر من 99% TEMOO 633nm	قياس المسافات، مؤشر، قياسات زاوية، مباني وإنشاءات، تعليم
أرجون Argon	أرجون متأين	Cw من 10إلي 25w. نبضي	جيد، أحيانا خطوط متعددة. أطوال موجية متعددة يحدث لها الفعل الليزرى فى نفس الوقت UV حتى 514nm	يقيس مسافات كبيرة، مساعد اتجاهي (مثال فى المطارات)، التصوير الهولوجرافى، يقيس سريان الغازات والسوائل

تابع جدول (13)

الاسم	المادة الفعالة	مدى القدرة نبضى أو موجة مستمرة	خصائص الشعاع الطول الموجي	التطبيقات
هليوم -كادميوم Helium-Cadmium	عندما يحل He-Ne مع الكادميوم محل Ne	10mw إلي 1m w	جيد جدا حيث إن تكلفة الليزر من 5 إلى 10 مرات أكثر من He-Ne	مثل He-Ne، لكن فى التطبيقات التى تحتاج طول موجي أقصر
ثاني أكسيد الكربون Carbon Dioxide	غازات CO_2	من 10mw حتى 25kw نبضي أيضا	ثقيل بعيدا 10.6μm عن IR جزء من الطيف. يلزم استخدام بصريات خاصة(غالبا قاعدة جيرمانيوم)	نتيجة للكفاءة العالية يستخدم عادة فى الأغراض الصناعية

جدول (14) بعض الليزرات الأخرى.

الاسم	المادة الفعالة	مدى القدرة نبضي أو موجة مستمرة	خصائص الشعاع، الطول الموجي	التطبيقات
ليزرات الصبغة Dye Lasers	صبغات التفلورية فى المذيبات العضوية	متوسط قدرة 10mw – 5mw جميع أنواع النبضات	تتراوح من UV حتى غالبا IR	الأطياف العلمية
ليزرات الاكزيمر Excimer Lasers	خليط من الغازات الخاملة والهالوجينات	نبضات من 10mj إلى أعلى من عدة j أثناء 5-10ns	حتى مدى فوق البنفسجي من 150 إلى 350nm	جراحة العيون (والصناعات الإلكترونية)
ليزرات الإلكترونات الحرة Free electron Lasers	تيار يتحرك من الإلكترونات	عدة w إلى أعلى من kw	لا توجد مدارات ليزر فى الصيغة التقليدية	فى الأبحاث