تفاعل الإشعاع مع المادة

تمهيد لبعض المفاهيم الاساسية

الليزر : LASER : كلمة مأخوذة من عبارة

"Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation."

أي تضخيم الضوء بواسطة الانبعاث المحفز للإشعاع .

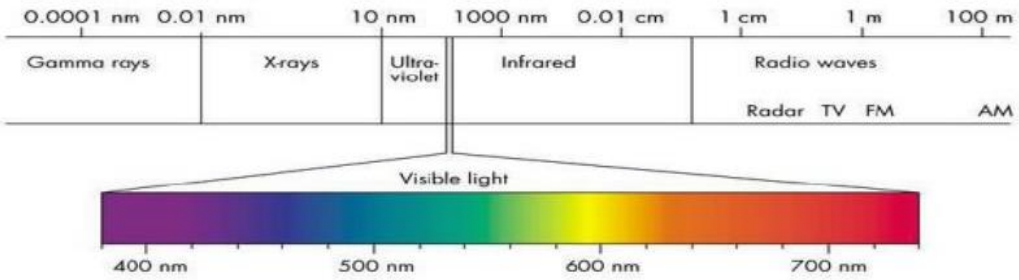
يعتبر الليزر واحد من أنجح الحلول ، ويعرف بـــ "حل يبحث عن مشـكلة". وهو تطبيق أســاســي في مختلف المجالات المدنية والعسكرية. حيث يستخدم في الطب والصناعة والاتصالات بالألياف البصرية وتكنولوجيا المعلومات والالكترونيات الاستهلاكية. نتيجة للتطور العلمي والتكنولوجي الســريع الذي شــهدناه في مختلف مجالات الحياة البشــرية ، والذي أدى إلى ظهور تحديات ومشاكل جديدة نتيجة لهذا التطور، أصبح من الضروري إيجاد حلول علمية وعملية متقدمة لحل تلك المشاكل والتحديات.

قام ثيودور ميمان بتشــغيل أول ليزر في 16 مايو 1960 في مختبر هيوز للأبحاث في كاليفورنيا ، من خلال إضاءة مصباح فلاش عالي الطاقة على قضيب ياقوت ذات أسطح مغطاة بالفضة.

الليزر هو إشعاع كهرومغناطيسي تتساوى فوتوناته في التردد وتتطابق في جهة الموجة ، حيث تتداخل موجات الفوتونات بشكل بنّاء في حزمة ذات طاقة عالية مع تماسك(تشاكه) زماني ومكاني وبزاوية انفراج صغيرة جدًا. يمكن ترتيب شعاع الليزر الناتج في موجات مستمرة أو نبضات ذات تردد عال ومدة نبض قصيرة جدًا. حجم بقعة حزمة الليزر تتراوح من عُشر قطر شعرة الإنسان إلى قطر مبنى كبير جداً.

طيف اشعة الليزر والأطوال الموجية

يعتمد لون شــعاع الليزر على طول الموجة ، والذي يمكن تغييره بدقة حيث تتراوح الأطوال الموجية التي يمكن الحصــول عليها من أشــعة الميكروويف (1.25 ســم تســمى ميزر) ، والأشــعة تحت الحمراء ، والضــوء المرئي ، والأشــعة فوق البنفسجية ، ثم الأشــعة السينية، كما هو موضح في الشكل (1-1).



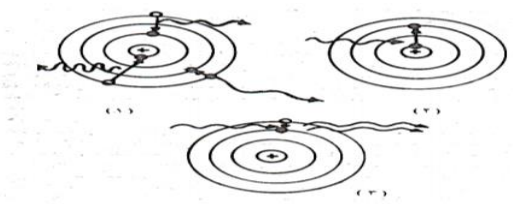
شكل 1-1 طيف الاشعاع الكهرومغناطيسي

Region	Wavelentgh λ nm $1nm = 10^{-9}\ m$	Frequency $f = c/\lambda$ Hz	Energy= hf $1\ ev = 1.6 \times 10^{-19}\ J$ ev(per photon)
Radio	$> 10^8$	$< 3 \times 10^9$	$< 10^{-5}$
Microwave	$10^8 - 10^5$	$3 \times 10^9 - 3 \times 10^{12}$	$10^{-5} - 0.01$
Infrared	$10^5 - 700$	$3 \times 10^{12} - 4.3 \times 10^{14}$	$0.01 - 2$
Visible	700 - 400	$4.3 \times 10^{14} - 7.5 \times 10^{14}$	$2 - 3$
Ultraviolet	400 - 1	$7.5 \times 10^{14} - 3 \times 10^{17}$	$3 - 10^3$
X ray	$1 - 0.01$	$3 \times 10^{17} - 3 \times 10^{19}$	$10^3 - 10^5$
Gamma (γ) ray	< 0.01	$> 3 \times 10^{19}$	$> 10^5$

بنفسجي	نيلي	ازرق	اخضر	اصفر	برتقالي	احمر نانو متر nm
400	440	470	530	580	620	700

Table (1-1): The wavelength and energy for several spectrum regions

وضع العالم اينشتاين في بداية القرن العشرين الاساس النظري لعملية انتاج اشعة الليزر ولكن الاستفاده بتطبيقه عمليا لم يأتي الا بعد اربعين عام ، حيث ان الليزر ناتج من عملية الانبعاث المحفز لذرات اوجزيئات وسط معين و يبين الشكل 1-2 : (1): ان الذرة او الجزيئة المتهيجة تبعث تلقائيا (بدون مؤثر خارجي) اشعاعا كهرومغناطيسيا عشوائي في الاتجاه والطور من اجل العودة الى وضع الاستقرار الذي تكون فيه طاقة الذرة اقل مايمكن أي ان الكترون الذرة في مستوى الطاقه الارضي لايفقد ولا يمتص طاقه عند دورانه في هذا المدار تكفي لارتقائه الى مستوى أعلى.



شكل 1-2 : (1)عملية الانبعاث الذاتي العشوائي (2) عملية امتصاص لفوتون ساقط (3) عملية الانبعاث المحفز

ولكي تكون الذرة مهيجة لابد ان تمتص مقدارا من الطاقة على شكل شعاع كهرومغناطيسي(فوتونات) ينتقل فيه الكترون الذرة من مستوى طاقة اوطأ (المستوى الارضي) الى مستوى اعلى بالطاقة وتسمى تلك بعملية الامتصاص لاحظ الشكل 1-2 : (2). وهنالك طرق مختلفه لتحريض او لاثارة الالكترون في الذره كالتصادم المتكرر نتيجة زيادة درجة حرارة الغاز مثلا ،وتدعى طرق التحريض هذه بطريقة الضخ (أي ضخ ذرات الماده من المستويات الواطئه لها عموما الى المستويات الاعلى منها) ومعظم هذه الطرق مستخدمه في عمل انبعاث اشعة الليزر.

وعندما تكون الذره متهيجه فانها ستحاول العودة الى موضع الاستقرار عن طريق انتقال الالكترون من مستوى طاقه عالي الى مستوى طاقه واطئ يصاحبها انبعاث طاقه (فوتونات) لاحظ الشكل 1-2 : (3) تدعى تلك بعملية الانبعاث وهي على نوعين :

1- انبعاث تلقائي :

هو الانبعاث الذي يحصل عندما تنتقل الذرة من مستوى طاقه عالي إلى مستوى طاقه واطئ بصوره تلقائيه وبدون مؤثر خارجي ونتيجة للانتقال التلقائي هذا فأن الذره ستبعث فوتون ذو طاقه مساويه لفرق الطاقه بين المستويين.ان جميع مصادر الضوء التقليديه كمصباح بخار الصوديوم، أو بخار الزئبق تعمل على اساس الانبعاث التلقائي.

2- الانبعاث المحفز

يتم هذا الانبعاث عن طريق تحفيز الذره وهي في المستوى المتهيج لكي تنتقل الى مستوى طاقة اوطأ ويتم ذلك بواسطة اصطدام هذه الذره بفوتون له طاقه مساوية تماما الى فرق الطاقة بين المستويين مما يؤدي الى انبعاث فوتون ثان له نفس التردد ونفس الطور للفوتون المحفز. وسنتطرق لاحقا بشيء من التفصيل الى هذين الانبعاثين وصفاتهما . وعموما ان احتمالية حدوث الانبعاث المحفز في وسط ذري او جزيئي في حالة التوازن تكون ضعيفة حيث ان الصعوبه في حالة الموجات المرئية تقع في تأهيل المستوى الذي سيحفز ومع تطور فكرة التأهيل العكسي وتقنية تنفيذه اصبح بالامكان نطبيق فكرة الانبعاث المحفز في مدى الضوء المرئي والحصول على الليزر.

الأنبعاث الذاتي spontaneous emission

نفرض ان هناك نظام ذري ذو مستويين للطاقة بحيث $E_2 > E_1$ كما في الشكل(1-11) وللسهولة نفرض ان E_1 هو المستوى الأرضي لذرة المادة ، وان الذرة في البداية تقع في المستوي (2) وبسب كون طاقة المستوى (2) اكبر من المستوى (1) فالذرة طبيعيا (تلقائيا) تحاول الاضمحلال الى المستوى (1) وبهذا تحرر طاقة بمقدار $E_1 - E_2$ على شكل (فوتونات)موجة كهرومغناطيسية . هذه الظاهرة تدعى بالانبعاث الذاتي ، وتردد الموجة يعبر عنها بدلالة قانون بلانك اي

$$v = \frac{E_2 - E_1}{h}$$

واذا فرضنا ان وحدة الحجم تحوي عدد من الذرات N_2 في المستوى (2) في الزمن t سيكون معدل الاضمحلال $\left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{sp}$ متناسبا مع العدد N_2 اي ان :

$$\left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{sp} = -AN_2$$

حيث A : احتمالية الانبعاث الذاتي (معامل أينشتاين) ويساوي مقلوب لزمن بقاء الذرة في المستوى المتهيج (متوسط زمن عمر الانبعاث الذاتي τ_{sp}) اي ان :

$$A = \frac{1}{\tau_{sp}}$$

وحداته sec^{-1}

الأنبعاث المُحفز *stimulated emission*

نفرض ان الذرة موجودة ايضا في المستوى (2) ولكن هذه المرة بحضور اشعاع كهرومغناطيسي متواجد في الوسط وبتردد ν بحيث ان $h\nu$ يساوي تماما $E_2 - E_1$ الفرق بين طاقتي المستويين (1) و (2) . عند توفر هذا الشرط اي عندما يكون تردد الموجات الساقطة مساوي لتردد الانتقال الذري فهناك احتمالية محدودة لهذا الاشعاع ان يحفز الذرة التي هي في المستوى (2) ويجبرها على الانتقال الى المستوى الأوطأ (1) وفي هذه الحالة يتحرر فرق الطاقة $E_2 - E_1$ للذرة المنتقلة على شكل موجات كهرومغناطيسية تضاف الى الموجة الساقطة وتتحد صفاتهما معا بشكل خاص لاحظ الشكل(1-12) . ففي هذه الحالة وبسبب كون عملية الانبعاث المحفز عملية اضطرارية من قبل الموجة الساقطة فالموجة المنبعثة من اي ذرة محفزة في المستوى (2) تكون متحدة في الطور مع الموجة الساقطة وبنفس اتجاهها . ويمثل ذلك الفرق بين الأنبعاث المحفز والأنبعاث الذاتي يحصل بصورة تلقائية بمجرد وجود الذرة في حالة متهيجة فالذرة المضمحلة تبعث اشعاعا كهرومغناطيسيا لا يكون له علاقة طور محددة بتلك التي تبعثه ذرة اخرى متواجدة في المستوى ذاته كما ان هذا الاشعاع قد ينتقل باي اتجاه في الفضاء .

واذا فرضنا ان وحدة الحجم تحوي عدد من الذرات N_2 في المستوى (2) في الزمن t سيكون معدل الانتقال $\left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{st}$

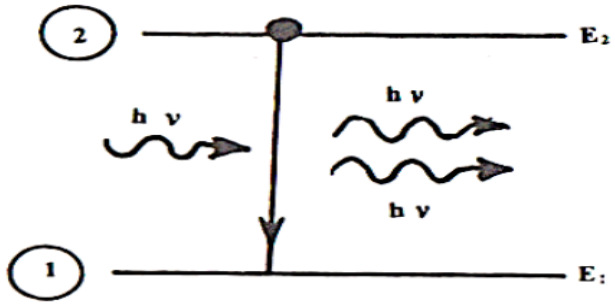
نتيجة الأنبعاث المحفز :

$$\left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{st} = -W_{21}N_2$$

حيث W_{21} : احتمالية الانتقال المحفز وكما هو الحال للمعامل A يكون للمعامل W وحدات sec^{-1} ولكن المقدار W لا يماثل المقدار A من ناحية كون W لا يعتمد فقط على الانتقال المحدد بين المستويين (1) و(2) و انما يعتمد ايضا على شدة الأشعاع الكهرومغناطيسي الساقط . ولموجة كهرومغناطيسية مستوية يكون :

$$W_{21} = \sigma_{21} F$$

حيث يمثل المقدار F التدفق الفوتوني للموجة الساقطة اما ثابت التناسب σ_{21} فهو كمية لها ابعاد المساحة وتدعى بمقطع الانبعاث المحفز وتعتمد فقط على صفات الانتقال المعطى .



الأمتصاص Absorption

لنفرض الان ان الذرة متواجدة في المستوى الأوطأ الأرضي للطاقة (المستوى 1) فانها ستبقى هناك مالم تتعرض الى محرض خارجي . فعند تعرض الوسط الى اشعاع كهرومغناطيسي ذي تردد ν بحيث ان $h\nu$ يساوي تماما $E_2 - E_1$ الفرق بين طاقتي المستويين (1) و (2) . عند توفر هذا الشرط اي عندما يكون تردد الموجات الساقطة مساوي لتردد الانتقال الذري فهناك احتمالية محدودة للذرة للأرتقاء الى المستوى الاعلى (2) اذ تغذي الموجة الكهرومغناطيسية الساقطة الذرة بمقدار فرق الطاقة $E_2 - E_1$ الذي تحتاجه لأتمام عملية الأنتقال وتدعى بعملية الأمتصاص لاحظ الشكل(1-13)

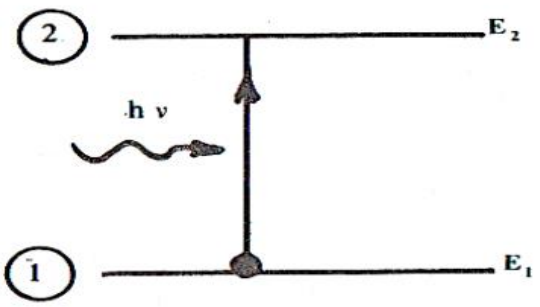
واذا فرضنا ان وحدة الحجم تحوي عدد من الذرات N_1 في المستوى (1) في الزمن t سيكون معدل الأمتصاص

$$\left(\frac{dN_1}{dt}\right)_{ab} = -W_{12}N_1 \qquad \left(\frac{dN_1}{dt}\right)_{ab}$$

حيث W_{12} : احتمالية الامتصاص وحداته sec^{-1} وتعتمد ايضا على شدة الأشعاع الكهرومغناطيسي الساقط وكذلك على الانتقال الذري بين المستويين المعنيين . ولموجة كهرومغناطيسية مستوية يكون :

$$W_{12} = \sigma_{12} F$$

حيث يمثل المقدار F التدفق الفوتوني للموجة الساقطة اما ثابت التناسب σ_{12} فهو كمية لها ابعاد المساحة وتدعى بمقطع الأمتصاص وتعتمد فقط على صفات الانتقال المعطى .



الشكل(1-13) عملية الامتصاص

ان مقطعي الأمتصاص والأنبعاث المحفز متساويان $\sigma_{12} = \sigma_{21}$ وهذا يعني تساوي احتمالية عمليتي الأمتصاص والأنبعاث المحفز $W_{12} = W_{21}$ عند تواجد الذرة في اشعاع كهرومغناطيسي مناسب وهي نتيجة توصل اليها اينشتاين لذلك يمكن الأكتفاء بكتابة الرمز σ وكذلك الرمز W ليشير الى مقطع الأنتقال او احتماليته على التوالي كما يمكن القول ان عملية الانبعاث المحفز هي عملية امتصاص سالبة (او باتجاه معاكس).

حسابات اينشتاين للمعاملات الأحتمالية

لما كان انبعاث الخط الطيفي لانتقال معين لا يعتمد فقط على تأهيل المستوي الاعلى بل ايضا على احتمالية حدوث هذا الأنتقال .

افترض اينشتاين وجود مادة في تجويف للأشعاع الكهرومغناطيسي حيث تكون جدران التجويف بدرجة حرارة منتظمة (T) وعند حصول التوازن الحراري ينتشر الأشعاع الكهرومغناطيسي خلال التجويف فيصيب المادة المغمورة فيه ويكون لهذا الاشعاع توزيع طيفي كثافته ρ_v .وعلى افتراض وجود مستويين لطاقة ذرات المادة (شكل 1-16) وتأهيل هذين المستويين N_1 و N_2 ذرة لكل متر مكعب على التوالي فاحتمالية حدوث العمليات الثلاث (الأمتصاص ، الانبعاث الذاتي ، الانبعاث المحفز) بين هذين المستويين تكون بالشكل الاتي :

1- <u>الانبعاث الذاتي</u>

ويحدث من المستوى 2 الى المستوى 1 باحتمالية مقدارها A_{21} ذرة لكل ثانية وبأنبعاث طاقة تساوي hv_{12} وان عدد مثل هذه الأنتقالات في الثانية الواحدة وفي المتر المكعب من المادة يساوي ($A_{21}\,N_2$)

2- <u>الأمتصاص</u>

ويحدث نتيجة وجود مادة في وسط اشعاع كهرومغناطيسي وبكثافة ρ_{v12} حيث ان ذرةالمادة في المستوى 1 قد تمتص هذا الأشعاع وتقفز الى المستوى 2 بأحتمالية تساوي W_{12} ذرة لكل ثانية حيث ان :

$$W_{12} = B_{12}\,\rho_{v12}$$

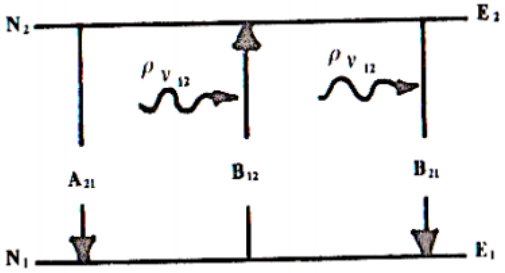
حيث المقدار B_{12} ثابت ويدعى بمعامل B - لأينشتاين . اما عدد الأنتقالات من المستوى 1 الى المستوى 2 في الثانية الواحدة وللمتر المكعب من المادة ف يساوي ($W_{12}\,N_1$)

3- <u>الأنبعاث المحفز</u>

ويحدث ايضا نتيجة وجود مادة في وسط اشعاع كهرومغناطيسي وبكثافة ρ_{v12} حيث ان ذرةالمادة في المستوى 2 قد تتحفز بسبب الأشعاع وتقفز الى المستوى 1 بأحتمالية تساوي W_{21} ذرة لكل ثانية حيث ان :

$$W_{21} = B_{21}\,\rho_{v12}$$

حيث المقدار B_{21} ثابت ويدعى بمعامل B - لأينشتاين . اما عدد الأنتقالات من المستوى 2 الى المستوى 1 في الثانية الواحدة وللمتر المكعب من المادة ف يساوي ($W_{21}\,N_2$)



(شكل 1-16)

ولما كانت المادة في حالة توازن ثرموداينميكي فان عدد الانتقالات نحو الأسفل يجب ان يعادل عدد الأنتقالات نحو الأعلى اي ان

$$B_{12}\,N_1\,\rho_{v12} = A_{21}\,N_2 + B_{21}\,N_2\;\rho_{v12}$$

بترتيب الحدود والقسمة على N_2

$$\rho_{v12} = \frac{A_{21}\,N_2}{B_{12}\,N_1 - B_{21}\,N_2} = \frac{A_{21}}{B_{12}\,\dfrac{N_1}{N_2} - B_{21}}$$

وباستخدام احصائية بولتزمان لحالة التوازن الثرموداينميكي يكون توزيع ذرات المادة على مستويات الطاقة :

$$\frac{N_2}{N_1} = e^{-hv/kT}$$

$$\rho_{v12} = \frac{A_{21}}{B_{12}\;e^{hv/kT} - B_{21}}$$

ولكن احتمالية حدوث عملية امتصاص المادة لأشعاع الجسم الأسود مكافئة تماما لأحتمالية حدوث عملية الأنبعاث المحفزلذلك

$$B_{12} = B_{21} = B \quad \text{and} \quad A_{21} = A$$

$$\rho_v = \frac{8\,\pi h v^3/c^3}{e^{hv/kT} - 1}$$ معادلة بلانك

$$\frac{8\,\pi\,h\,v^3/c^3}{e^{hv/kT} - 1} = \frac{A}{B\;e^{hv/kT} - B} = \frac{A}{B(e^{hv/kT} - 1)}$$

$$\frac{A}{B} = \frac{8\,\pi\,h\,v^3}{c^3}$$

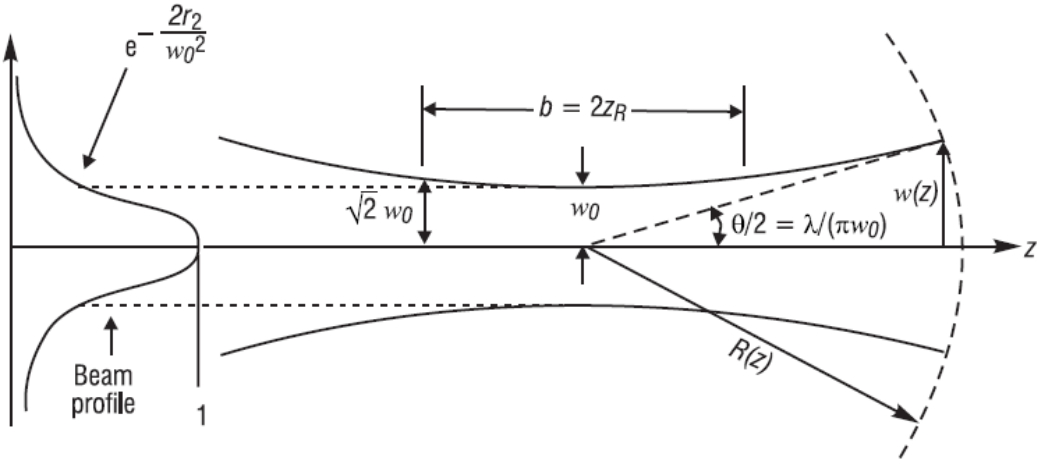
خواص الليزر

خصائص أشعة الليزر : Collimationالنقاوة الطيفية

1- النقاوة الطيفية spectral purity :

وهي الصفة التي تمثل اقتراب الشعاع الليزري من صفة أحادية الطول الموجي وهذه الصفة موجودة في الليزر أكثر من باقي المصادر التقليدية والكمية التي تعبر عن درجة هذه الصفة هي تعريض خط الانبعاث (Δv_o) ويعتمد هذا المقدار على المصدر الضوئي ومستوى الطاقة الأعلى للأنتقال . ان أفضل قيمة ل(Δv_o) هو الصفر ولكن هذا غير ممكن في الليزرات النبضية اذ ان :

وان درجة صفة أحادية الموجة Monochomaticity تتناسب عكسياً مع عدد الصيغ المتذبذبة ويمكن التغلب على ذلك (كثرة الصيغ المتذبذبة) نقاوة طيفية عالية من خلال تشغيل الليزر بصورة ليزر الصيغة المفردة التي تم تناولها سابقا" منفردة وكذلك العمل على استقرارية التشغيل بهذه الصيغة وان النقاوة الطيفية لها صلة وثيقة بالتشاكه .



الشكل يوضح مخطط للشكل الكاوسي للنمط المستعرض TEM_{00} وبعض المتغيرات المتعلق بحزمة الليزر الكاوسي الشكل

ومن الواضح من الشكل يمكن حساب تخصر الحزمة الليزرية بالمعادلة التالية:

$$w(z) = w_0\left[1 + \left(\frac{\lambda z}{\pi w_0^2}\right)^2\right]^{1/2}$$

ونصف قطر التكور كما يلي:

$$R(z) = z\left[1 + \left(\frac{\pi w_0^2}{\lambda z}\right)^2\right]$$

2- الاتجاهية العالية Directionality

وهي من الصفات التي أحرزت الاعجاب وشدت الانتباه حيث ان الحزمة تكون ذات توسع قليل جداً (اي ان زاوية الانفراج صغيرة بالمقارنة مع المصادر الضوئية الأخرى , عدا ليزرات أشباه الموصلات

ويعبر عن درجة الاتجاهية بمقدار زاوية الانفراج : وهي الزاوية المستوية المحصورة بين حافة الحزمة ومحورها كما في المخطط اعلاه ويستعان بتحديد الزاوية بقوانين الحيود وحسب لنتاج ليزر يتذبذب بالصيغة المستعرضة TEM_{00} فان زاوية انفراج الليزر

$$\Theta = \frac{2\lambda}{\pi w_0}$$

$$= 0.64 \frac{\lambda}{D}\Theta$$

D : قطر فتحة المسرب للمصدر الضوئي وتساوي $2\ \omega_0$

يمكن تقليص زاوية الانفراج لحزمة الليزر عن طريق توسيع الحزمة بمرور الحزمة بالاتجاه المعاكس خلال تلسكوب.

3- السطوع (النصوع) Brightness (Luminance)

ان صفة السطوع كمية تعتمد على كيفية تسديد الضوء المنبعث من المصدر فضائياً وكذلك على قدرة نتاج المصدر وعلى استجابة الكاشف (العين البشرية)للضوء , اذ ان العين لا ترى الا الجزء المرئي من الطيف الكهرومغناطيسي. ويعرف السطوع لمصدر ضوئي على انه مقدار الطاقة المنبعثة في وحدة الزمن ولوحدة المساحة من السطح ضمن وحدة الزاوية المجسمة.

$$B = \frac{P}{A\Omega}$$

حيث P: قدرة المصدر

A: مساحة المقطع العرضي

Ω: الزاوية المجسمة

ويظهر عدم اعتماد الشدة على زاوية الانفراج

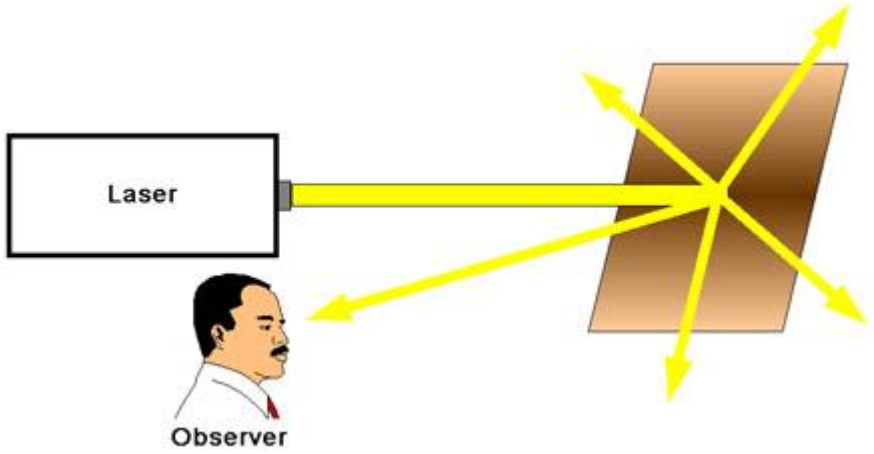
سوال واجب: اثبت بالمعادلة ان سطوعيه الضوء الخارج من اكبر من سطوع الشمس

4- الموالفة (التنغيم) The Tuning

وهي عملية تحوير نتاج الليزر لغرض الحصول وبشكل مستمر وتدريجي على أطوال موجية مختلفة تقع ضمن نطاق الانبعاث للوسط الفعال الليزري

5- نموذج التبقع (speckl pattern)

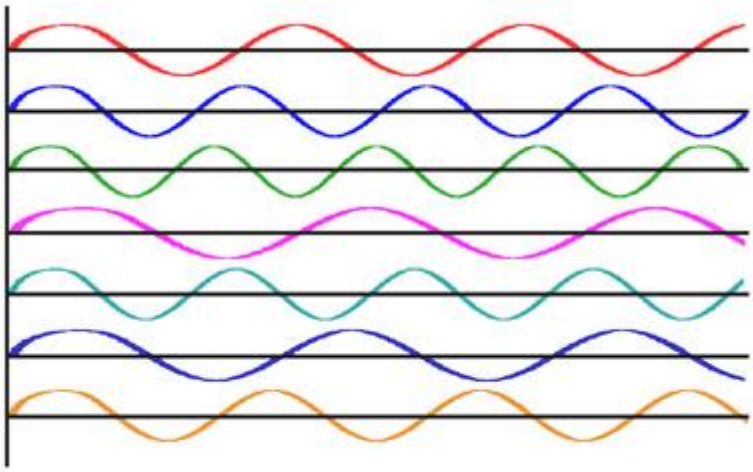
وهي ظاهرة خاصة بأشعة الليزر المتشتتة من سطح خشن حيث تمثل النتوءات على الجدار بمثابة مصادر نقطية فعندما يحدث تداخل بناء تتكون نقطة مضيئة وأما اذا حدث تداخل اتلافي فتتولد بقع داكنة . كما في الشكل وهي ايضا صفة من صفات الحيود ولها تطبيقات طبية متعددة



Viewing laser speckle

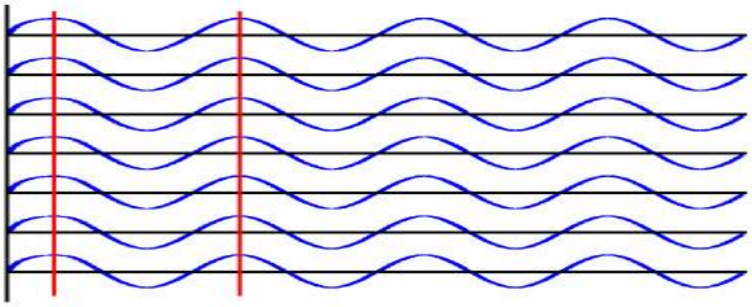
التشاكه (Coherence)

وهي صفة المحافظة على شكل الموجة ثابتاً بمرور الزمن (التشاكه الفضائي) وهذا يحدث عندما يكون عرض الخط الطيفي صغير جداً, وان يكون الفرق بين أي نقطتين على جبهة الموجة ثابتاً بمرور الزمن (التشاكه الزمني).



Incoherent light waves

Coherent light waves



1- التشاكه الفضائي: فرق الطور بين اي نقطتين على الجبهة الواحدة ثابتا مع الزمن

$$\ell_t = \frac{r\lambda}{S}$$

ℓ_t : طول التشاكه الفضائي يرتبط بالطول الموجي λ , وقطر مصدر الليزر S و r مساحة الحزمة الليزرية

2- التشاكه الزمني : ان انتشار التردد بقيمة واحدة للتردد وبتعريض الخط الطيفي اي تبقى الموجات بطور واحد ولمختلف الاطوال الموجية كلما الشعاع ذا لون احادي الموجي اصبح ذا تشاكه زمني اكبر.

اساسيات عمل الليزر

لكي تعمل اجهزة الليزر يجب ان يتوفر لها اربع شروط اساسية وهي :

1- وجود الوسط الفعال

وهو القاعدة الاساس لعمل الليزر ويتمثل بنظام ذو عدد كبير من الذرات او الجزيئات او الأيونات والتي تبعث طيفا يقع جزء منه في المدى المرئي من الاشعاع الكهرومغناطيسي .

2- تحقيق التأهيل العكسي

وهو شرط ضروري لجعل عملية الانبعاث المحفز نشطة عن طريق استخدام طرق ضخ معينة تنفذ وفق مخططات خاصة تناسب مستويات الطاقة لذرات الوسط الفعال .

3- التغذية الأسترجاعية

وهو شرط ضروري لكي يأخذ الاشعاع تذبذبه الصحيح للحصول على حزمة من الاشعة ذات درجة عالية من صفة الاتجاهية وصفه التشاكه . ويمكن تحقيقه باستخدام المرنان .

4- شرط العتبة :

وهو شرط مهم لعمل كل من الليزر والميزر ولابد من تحقيق متطلبات هذا الشرط لتبدأ عملية التكبير في الوسط الفعال ومن ثم عملية التذبذب في المرنان .

الخسارة الكلية في جهاز الليزر

هناك عدة عوامل تسبب خسارة في جهاز الليزر وعلى الرغم من تباين مقاديرها لاختلاف انواع الليزر الا انها تشترك في معضمها واهمها :

1- النفوذ من مرايا المرنان حيث تصنع مرآتي المرنان بحيث تكون احداها ذات انعكاس كلي والاخرى ذات انعكاس جزئي وهي المرآة التي يخرج منها الليزر، كذلك هناك خسارات اخرى في المرايا ناتجة من الامتصاص والتطاير والحيود.

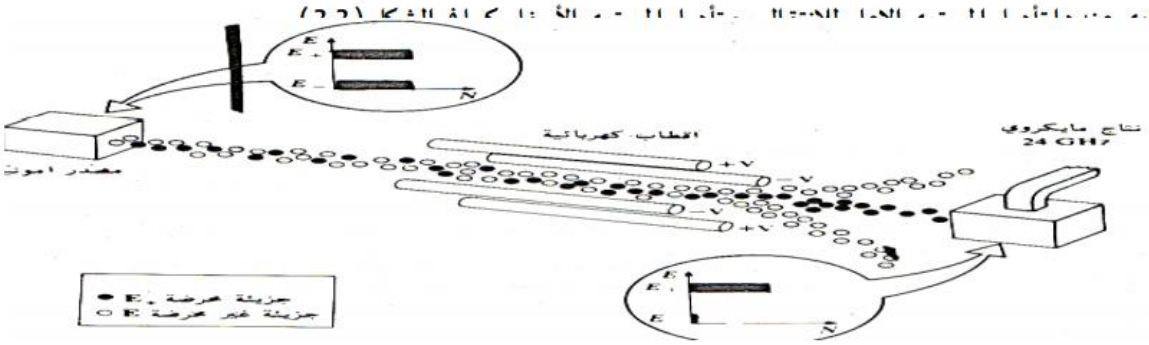
2- الخسارة في الوسط الفعال لليزر بسبب حدوث انتقالات اخرى لا علاقة لها بانتقال الليزر ويحدث ذلك نتيجة امتصاص الوسط لنطاق عريض من طاقة الضخ اضافة للخسارة الناجة من التطاير بسبب فقدان الوسط الفعال للتجانس البصري وهذه الخسارة توجد بشكل خاص في ليزر الحالة الصلبة .

ان جميع انواع الخسائر عدا خسائر النفوذ في المرايا يشارلها بالمقدار γ ، بالتالي سيتقلص معامل الكسب G الى $(G - \gamma)$ ولحساب الربح عند العتبة سنحسب مقدار التغير في شدة الاشعاع نتيجة رحلة واحدة له داخل المرنان ، وعلى افتراض ان الوسط يملىء الفسحة بين المرأتين M_1 , M_2 واللتين لهما قدرة انعكاسية R_1 , R_2 على التوالي وانهما على مسافة l بينهما :

خطط الضخ

الغرض من الضخ هو تحقيق التأهيل العكسي بمقدار يتجاوز القيمة الحرجة لمستويين بحيث يؤدي الى انتاج اشعاع يتضخم عن طريق الانبعاث المحفز وذلك لا يمكن تحقيقه باستخدام نظام ذري مكون من مستويين فقط للطاقة (خطة ضخ ذو مستويين) وذلك بسبب تولد حالة الاشباع عند استخدام شعاع كهرومغناطيسي شديد ذو تردد مناسب حيث يتساوى تأهيل المستويين ويصبح الوسط شفافا للاشعاع .

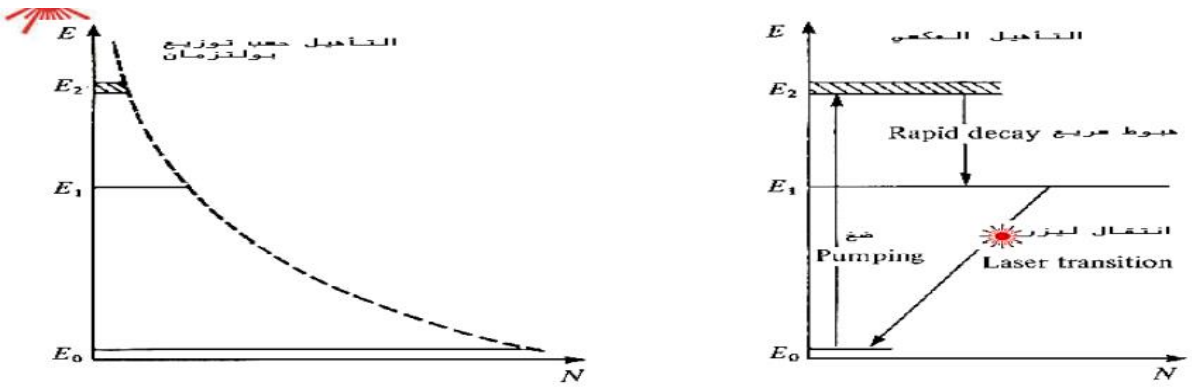
ولكن لابد من الاشارة الى نظام المستويين الذي استخدم في ميزر الامونيا والذي تحقق عن طريق الفصل الفيزياوي في بين حالتي الجزيئة وبالتالي الأختلاف في استجابة جزيئات الأمونيا ذات الطاقة العالية والمتواجدة في المستوى الاعلى بالحركة باتجاه معين عن تلك المتواجدة في المستوى الأوطأ بالحركة بالاتجاه الاخر وذلك باستخدام مجال كهربائي غير متجانس من خلال ترتيب معين لأقطاب المجال ثم جعل تلك الجزيئات تتجه الى مرنان لغرض تكبير الاشارة ضمن تردد مناسب وباستمرار ضخ الجزيئات المحرضة الى المرنان نحصل على الميزر حيث ان التأهيل العكسي في الميزر لا يتحقق الا عن طريق عملية الفصل بين الجزيئات ولا يمكن تحقيقه فقط بضخ جزيئات الامونيا باشعاع كهرومغناطيسي شديد ذو تردد 24 كيكاهيرتز اذ سرعان ما يصل وسط غاز الامونيا الى حالة الاشباع ويتساوى



مستويات معتمدين بذلك على عدد المستويات لتنفيذ عملية الضخ وتحقيق التأهيل العكسي لمستويي الطاقة ذات العلاقة بالانبعاث المحفز.

اولا – خطة ضخ ذو ثلاث مستويات

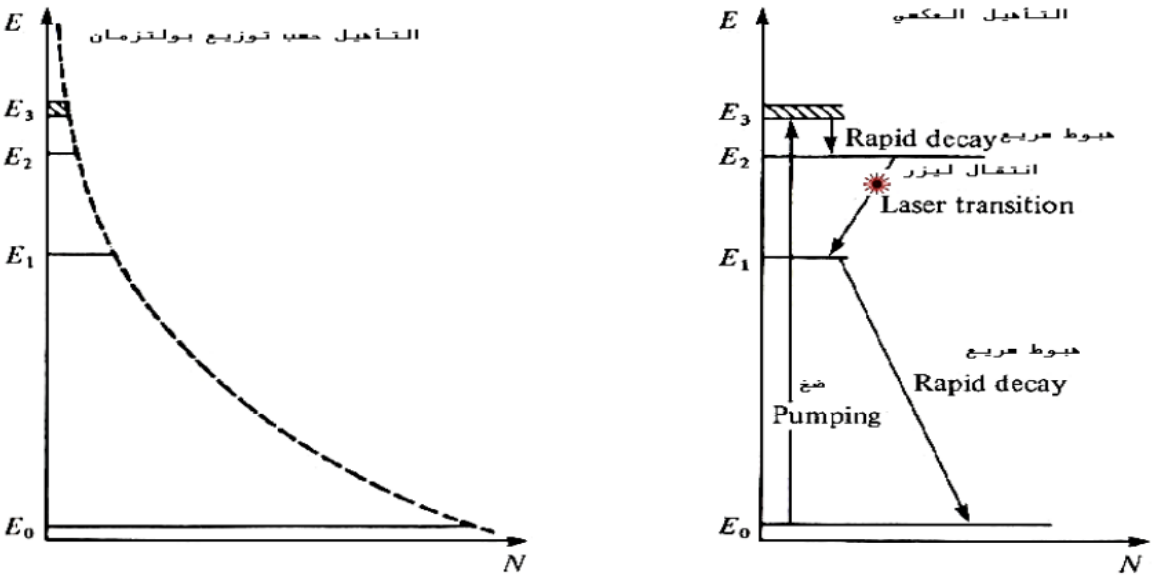
تم اقتراحها من قبل العالم بلومبركن في جامعة هارفرد عام 1956 ، حيث يتم فيها رفع الذرات بالضخ بطريقة من المستوى الارضي E_0 الى المستوى E_2 والذي يجب ان يكون متوسط زمن عمره قصير جدا وبذلك سوف تهبط الذرات بسرعة الى المستوى E_1 الذي يكون متوسط زمن عمره طويل جدا وعند تحقق هذين الشرطين يمكننا تعبئة المستوى E_1 بالذرات عن طريق الضخ من المستوى الارضي E_0 وعبر المستوى E_2 (حدوث تأهيل عكسي) ويتولد اشعاع الليزر المطلوب عند الانتقال من المستوى E_1 الى المستوى الارضي E_0 كما في الشكل(2-3) . ومن امثلته ليزر الياقوت .



الشكل(2-3) : تأهيل مستويات الطاقة لنظام مكون من ثلاث مستويات

ثانيا –خطة ضخ ذو اربع مستويات

وفيها ترفع الذرات من المستوى الارضي E_0 الى المستوى E_3 والذي يجب ان يكون متوسط زمن عمره قصير جدا وبذلك سوف تهبط الذرات بسرعة الى المستوى E_2 الذي يكون متوسط زمن عمره طويل جدا وبالتالي يمكننا تعبئة المستوى E_2 بالذرات وحدوث تأهيل عكسي بين المستوى E_2 والمستوى E_1 ويتولد اشعاع الليزر المطلوب عند الانتقال من المستوى E_2 الى المستوى E_1 بعدها يحصل هبوط سريع من المستوى E_1 الى المستوى الارضي E_0 كما في الشكل(2-4) . ومن امثلته ليزر النديميوم - ياك.



الشكل(2-4) : تأهيل مستويات الطاقة لنظام مكون من اربع مستويات

طرق الضخ

عملية الضخ هي العملية التي يتم فيها ارتقاء الذرات من المستوى الارضي E_0 الى المستوى E_2 في خطة ذي ثلاث مستويات او الى المستوى E_3 في خطة ذي اربعة مستويات- وتختلف ميكانيكية الضخ باختلاف طرقها وتعتمد على طبيعة المادة الفعالة .ومن انواعها الضخ البصري والكهربائي والكيمياوي .

انواع طرق الضخ

اولا - الضخ البصري

وفيه يتم استخدام مصدر ذو قدرة عالية لتحريض الوسط الفعال الذي تقوم ذراته او ايوناته او جزيئاته بامتصاص هذه الطاقة فتساعدها على الانتقال الى مستوى طاقة اعلى . وتستخدم هذه الطريقة في في ليزر الحالة الصلبة (ليزر الياقوت او النديميوم ياك) و ايضا في ليزر الحالة السائلة (ليزر الصبغة) والتي يكون فيها الانبعاث والامتصاص على شكل نطاق (تعريض) وليس خط .

وتستخدم لغرض الضخ بهذه الطريقة مصابيح خاصة فللحصول مثلا على ليزر نبضي ***pulsed laser*** نستخدم مصاابيح ومضية كمصباح زينون *Xe* او كربتون *Kr* بضغط عالي يتراوح بين 450 و 1500 تور (*1 Tr = 1 mm Hg = 1/760 atm = 133,3224 Pa*) وللحصول على ليزر الموجة المستمرة نستخدم مصباح الكربتون بضغط عالي يتراوح بين 4000 و8000 تور او مصباح تنكستن –يود

وتعتمد كفاءة الضخ باستخدام مصباح ومضي على اربعة عوامل :

1- كفاءة النقل η_t: وتمثل نقل الطاقة من المصباح الى المادة الفعالة وتعتمد على تصميم الجهاز البصري
2- الكفاءالاشعاعية η_r: وتمثل كفاءة تحويل الطاقة الكهربائية المجهزة للمصباح الى ضوء في مدى طول موجي يقع ضمن مدى الحزمة اللازمة للضخ في وسط الليزر
3- كفاءة الأمتصاص η_a : وتمثل الجزء الذي امتص فعليا في وسط الليزر من الاشعاع وتعتمد على خواص الوسط
4- الكفاءة الكمية η_q : حيث ان الذرات التي تصعد عن طريق الضخ لا تهبط جميعها الى المستوى الاعلى لليزر والمطلوب تأهيله فبعض الذرات يهبط مباشرة الى المستوى الارضي او تهبط الى مستويات اخرى لا علاقة لها بالضخ. وتعتمد على خواص الوسط ان كفاءة الضخ η_p تمثل حاصل ضرب المقادير الاربعة اي ان :

$$\eta_p = \eta_t \ \eta_r \ \eta_a \ \eta_q$$

ان تحسين كفاءة الضخ تتمثل في تحسين الكفاءة الاشعاعية للمصباح عن طريق تحسين تقنية تصنيع المصباح بحيث يكون له طيف انبعاث يو افق طيف الامتصاص للوسط الفعال. كذلك قد يتم الضخ البصري باستخدام اشعة الليزر ذاتها باختيار ليزر ذو طول موجي معين للحصول على ليزر بطول موجي يختلف عن الليزر المستخدم وبالتالي توسيع نطاق الاطوال الموجية لليزر وتوفيرها

ثانيا – الضخ الكهربائي

تستخدم هذه الطريقة في ليزر الغاز وليزر شبه الموصل .

الأثارة في ليزر الغاز

يحتاج وسط الغاز الى فرق جهد كهربائي مناسب لاحداث التفريغ الكهربائي عن طريق مرور تيار كهربائي خلاله وبهذا تكون الايونات والالكترونات السريعة وتكتسب هذه الجسيمات طاقة اضافية نتيجة تعجيلها من قبل المجال الكهربائي فتصطدم مع ذرات الغاز او جزيئاته مسببه تحريضها ويعد التصادم بين الالكترونات السريعة وذرات اوجزيئات الغاز هو المصدر الرئيسي للاثارة داخل انبوب التفريغ . حيث تكون حركة الايونات اقل اهمية من حركة الالكترونات (بسبب الاختلاف الكبير في الكتلة)وبالتالي طاقة الالكترون اكبر بكثير من تلك للايون .

عموما يتم الضخ في الغاز من خلال احدى عمليات الأثارة الاتية :

1- الأثارة المباشرة :حيث يتألف الغاز من نوع واحد من المكونات تتم عملية الأثارة عن طريق الألكترونات وفق معادلة التصادم الأتية

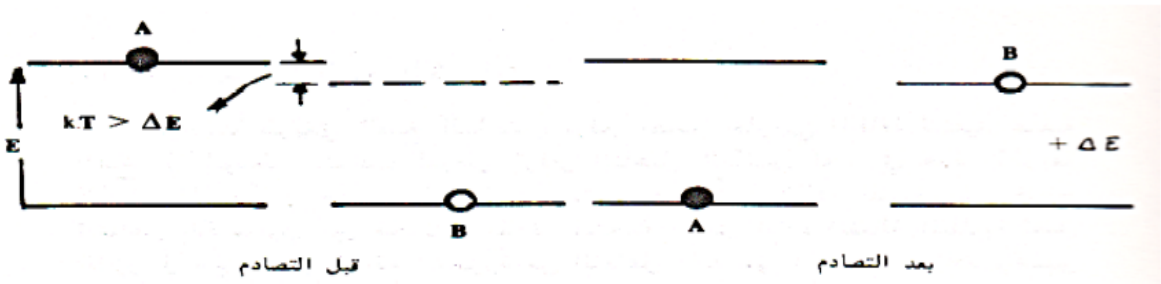
$$e + X = X^* + e$$

حيث X تمثل الذرة او الجزيئة في الحالة الارضية بينما X^* الذرة او الجزيئة في الحالة المحرضة

2- الأثارة غير المباشرة : حيث يتألف الغاز من نوعين من المكونات (خليط من A و B) ويتم التهيج نتيجة التصادم بين الجسيمات المختلفة (انتقال الطاقة الرنيني) فأذا فرضنا الجسيم A^* في الحالة المتهيجة والجسيم B في الحالة الارضية على فرض ان $KT < \Delta E$ فهناك احتمالية بان نجد الجسيم A في الحالة الأرضية و B^* بعد التصادم كما في الشكل (2-7)ويمكن تمثيله بالمعادلة الأتية

$$A^* + B \rightarrow A + B^* + \Delta E$$

حيث يدل المقدار ΔE على الطاقة الممنوحة من قبل A وقد لا تساوي الطاقة المتصة من قبل B ويظهر هذا الفرق موجبا او سالبا في الطاقة الحركية الانتقالية وعندما يكون ΔE يساوي صفر فمعنى ذلك انتقال تام للطاقة ويدعى بالانتقال الرنيني للطاقة ومن امثلته ليزر هيليوم – نيون .



الشكل (2-7) تبادل الطاقة شبه الرنيني بين ذرتين بعملية تصادم

وتتم عن طريق تسليط فرق جهد كهربائي على البلورة يعمل مجاله الكهربائي على حقن الالكترونات والفجوات الى منطقة الملتقى واعادة الالتحام و انتاج الليزر.

ثالثا -الضخ الكيمياوي

في هذه الطريقة لا نحتاج الى مصدر خارجي للطاقة فهو يتوفر ضمنيا في المادة المستخدمة ، حيث ان ناتج التفاعل الكيمياوي بين مكونات المادة المنتخبة يشكل المادة الفعالة المطلوبة لعمل الليزر في حين تعمل الطاقة المتحررة من التفاعل ذاته على اثارة هذه المادة وتحقيق التأهيل العكسي لها . مثال ذلك ليزر فلوريد الهيدروجين

$$F + H_2 = HF^* + H$$

$$H + F_2 = HF^* + F$$

حيث ان الجزيئة المتهيجة HF^* تشكل المادة الفعالة في الليزر الكيمياوي ولها القابلية على انتاج الانبعاث المحفز.

س واجب: لماذا تستخدم خطة ضخ اربع مستويات مادام لدينا خطة بثلاث مستويات قادرة على تحقيق التاهيل العكسي وانتاج الليزر

المرنان البصري Optical Resonator

المرنان هو تجويف رنيني ، يشكل مصدر التغذية الأسترجاعية في أجهزة الميزر والليزر وهو تصميم ضروري لدعم التكبير الحادث في الوسط الفعال نتيجة الأنبعاث المحفز وكذلك توجيهه والمحافظة على صيغة أحادية الموجة لأنبعاثه. ويتألف من مرآتين متقابلتين بحيث يتطابق محورهما البصري والمسافة بينهما بضع سينتمرات والقدرة الانعكاسية لهما عالية جدا احدهما شفافة جزئيا يخرج الليزر منها.

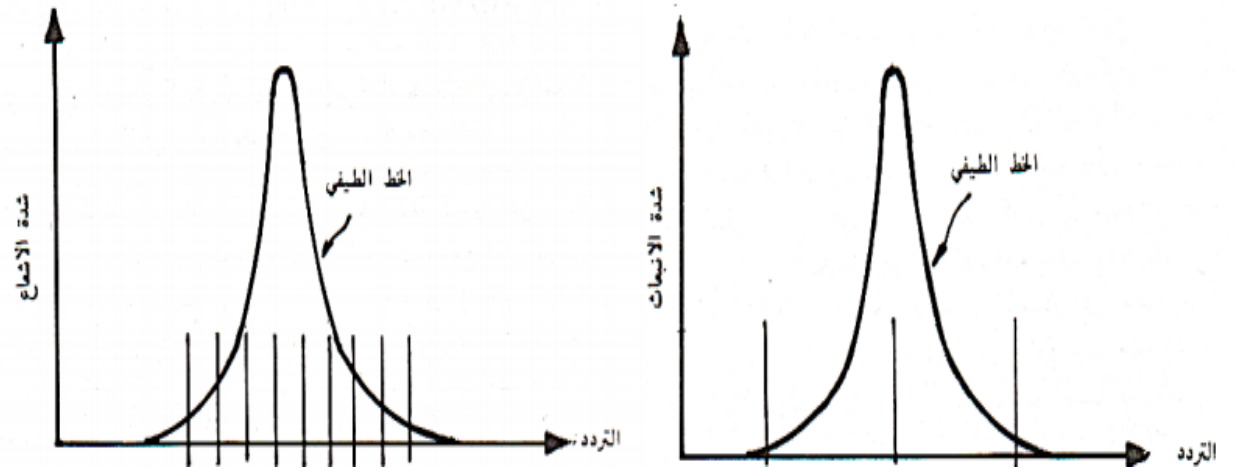
توضع المادة الفعالة في تجويف رنيني مناسب لتردد الاشعاع المنبعث بحيث يعمل هذا التجويف كمذبذب رنيني مكون ما يسمى بالموجات الو اقفة وهذا ما استخدم فعلا في حالة الميزر حيث تم تصميم تجويف معدني ذي ابعاد وشكل يناسب طول الموجة المايكروية بحيث يسمح لتذبذب صيغة واحدة تطابق تردد الأنبعاث المحفز للموجة شكل (3-1) . اما في حالة الليزر ونظرا لقصر موجته فان المسافة بين اي صيغتين للتذبذب صغيرة جدا وهذا يعني تواجد عدد كبير من صيغ التذبذب ضمن المنحني الذي يمثل غلاف الخط الطيفي للانبعاث شكل (3-2) لذلك يجب انتخاب صيغ قليلة منها عن طريق تجويف بشكل معين ولهذا السبب فان مرنان الليزر يختلف عن مرنان الميزر بنقطتين رئيسيتين هما :

1- مرنان الليزر يكون مفتوح اي لاتوجد له جدران جانبية مسببة خسارة الحيود نتيجة فقدان جزء من الطاقة المتسربة من الجوانب.

2- ابعاد مرنان الليزر كبيرة جدا بالمقارنة بطول موجة الليزر.

س/ علل سبب استخدام مرنان مفتوح في مدى الاشعة المرئية ؟

ج/ في المرنان المفتوح تكون صيغة التذبذب القليلة والمنتخبة هي تلك المنتقلة باتجاه يوازي محور المرنان ، ورغم كونها خسارة لكن هذه الحالة تسمح باستمرار التذبذب للصيغ القليلة بينما بقية الصيغ تُفقد (تخرج من الجوانب) بعد رحلة واحدة داخل المرنان.



ترددات صيغ التذبذب

انواع المرنان

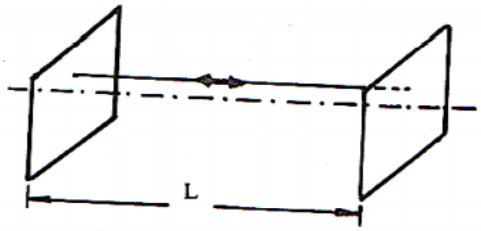
1- مرنان المرآتين المستويتين – المتوازيتين ((مرنان فابري-بيرو))

وهو يتألف من مرآتين مستويتين متقابلتين بشكل توازي أحدهما الأخرى وبالتالي يكون حساسا فأي خطأ بسيط في تطابق محوري المرآتين او المسافة بينهما يكون سببا في حيود معظم الاشعة وبالتالي زيادة الخسارة ولهذا السبب يكون التعامل مع المرايا المقعرة اسهل . ان طول المرنان يساوي عدد صحيح من أنصاف الطول الموجي :

$$L = n\lambda / 2$$

λ : طول موجة الليزر ، L: طول المرنان ، n: عدد صحيح . أما الترددات الرنينية فتكون :

$$\nu = n\left(\frac{c}{2L}\right)$$



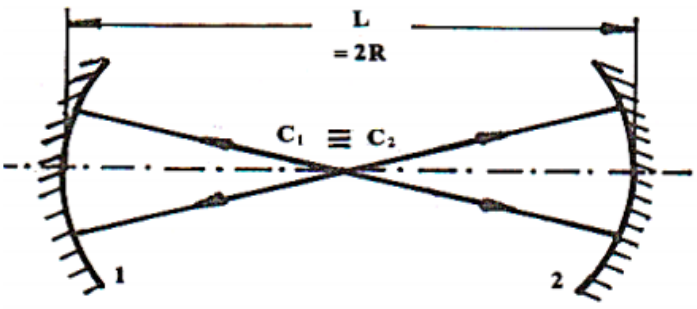
شكل (3-3)

2- المرنان الكروي

للتغلب على خسارة حيود الأشعة في مرنان فابري – بيرو ، تحدب المرآتين قليلاً ونحو الخارج ، ويكون على هيئة أشكال مختلفة منها :

أ- المرنان الكروي – المتحد في المركز:

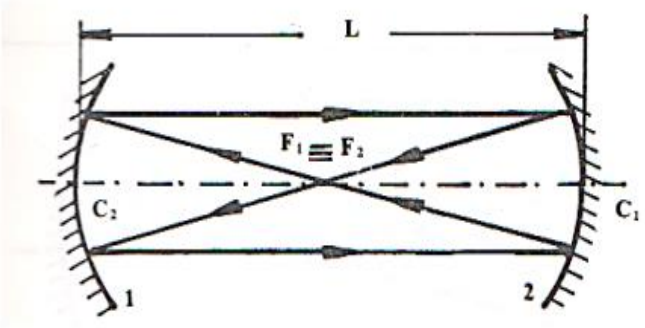
وفيه تكون المرآتان الكرويتان المقعرتان متساويتان في التكور ، بحيث ينطبق مركز تكور الأولى على الثانية و المسافة بينهما تساوي قطر أحدهما $2R$.



شكل (3 – 4) : المرنان الكروي – المتحد في المركز .

ب-المرنان الكروي – المتحد في البؤرة

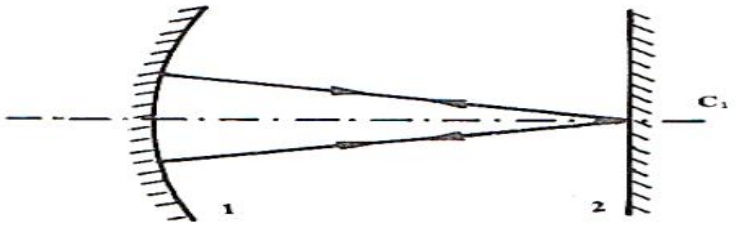
ويتألف أيضاً من مرآتين مقعرتين متساويتان في التكوروان المسافة الفاصلة بين المرآتين تساوي R اي ان بؤرة المرآة الأولى $F1$ تقع على بؤرة المرآة الثانية $F2$ وهذا يعني ان مركز تكور احدهما يقع على قطب المرآة الأخرى



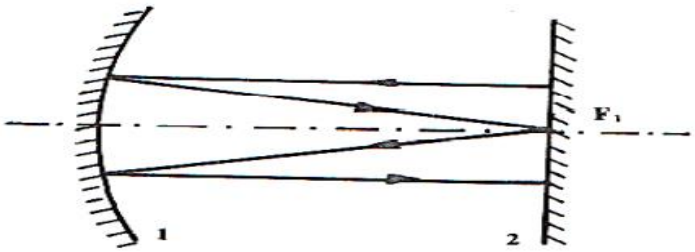
شكل (3-5)

ج- المرنان الكروي – المستوي

ويتألف هذا المرنان من مرآة كروية مقعرة واخرى مستوية كما يوضحه الشكل (3-6) لمرنان نصف كروي حيث توضع المرآة المستوية في مركز المرآة المقعرة بينما يوضح الشكل (3-7) مرنان نصف بؤري حيث توضع المرآة المستوية في بؤرة المرآة المقعرة



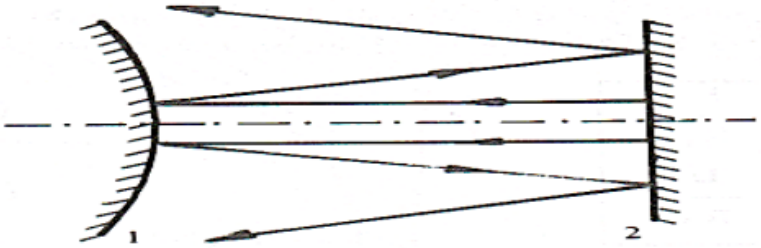
شكل (3-6) مرنان نصف كروي



شكل (3-7) مرنان نصف بؤري

استقرارية المرنان

ان المرنان الكروي بصورة عامة يحوي مرآتين كرويتين اما ان تكون R نصف قطر تكور المرآة موجباً للمرآة المقعرة وسالباً للمحدبة وصفراً للمستوية وهذا ما يؤثر على خسارة الحيود وعدد صيغ التذبذب وترددها وسعتها وبذلك يكون المرنان أما مستقر والذي يكون فيه تقعر المرآتين بشكل يحفظ فيه الشعاع متمركزاً بالقرب من محور المرنان ، أما المرنان غير المستقر ففيه تكون أشعة الضوء تواصل حركتها بعيداً عن محور المرنان فينتج عنها خسارة والشكل (3-8) لمرنان غير مستقر.



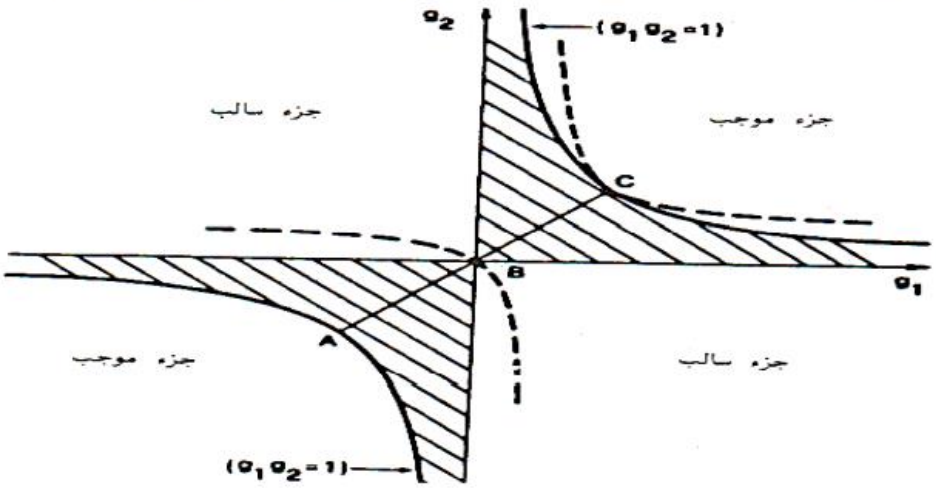
الشكل (3-8) مرنان غير مستقر

ان استقرارية المرنان تخضع للمقادير R_1,R_2,L والشرط هو : $0 < g_1g_2 < 1$

اذ ان g_1 و g_2

$$g_1 = 1- (L/ R_1)$$
$$g_2 = 1- (L/ R_2)$$

ويمكن تمثيل شرط الأستقرار بمخطط يعرف بمخطط الأستقرار كما يوضحه الشكل (3-9) ، تكون فيه $g1$ على محور السينات و$g2$ على محور الصادات ، ثم نرسم منحني الحدود $g_1g_2 = 1$ والمناطق المظللة تحقق الشرط (تخضع لمرنان مستقر) وخارج المنطقة المظللة تخضع لمرنان غير مستقر. أما الخط المستقيم والذي يصنع زاوية مقدارها (45°) مع محوري (g_1) و (g_2) فيمثل أعداد المرنان التي تملك مرآتيهما نصف قطر تكور متساوي ، اذ ان (A) تمثل مرنان متحد في المركز و(B) متحد في البؤرة و(C) ذو المرآتين المس



صيغ التذبذب للمرنان

لحساب صيغ التذبذب في المرنان يجب حساب خسارة الحيود في المرآتين وكذلك يدخل شكل المرآتين و ابعادهما بالاضافة الى المسافة بينهما في مثل هذه الحسابات .

أ- المرنان ذو المرآتين المستويتين – المتوازيتين

نفرض ان مرآتي المرنان مربعة الشكل وطول ضلعها ($2a$) والمسافة بين المرآتين L فأن ترددات الرنين تكون

$$\nu = \frac{c}{2}\left[\left(\frac{n}{L}\right)^2 + \left(\frac{m}{2a}\right)^2 + \left(\frac{l}{2a}\right)^2\right]^{1/2}$$

حيث ان n , m , l اعداد صحيحة

الصيغ الطولية للتذبذب

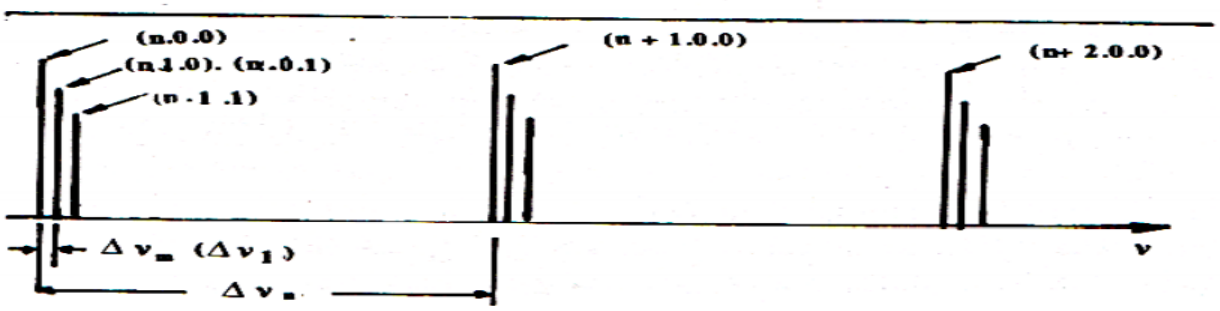
هي صيغ التذبذب التي يكون لها نفس المقادير m , l وتختلف بالمقدار n سوف تختلف فيما بينها فقط في كيفية توزيع المجالين الكهربائي والمغناطيسي على امتداد محور المرنان Z (اي طوليا) والفاصلة الترددية $\Delta\nu_n$ بين صيغتين طوليتين متعاقبتين تختلفان بالمقدار n بمقدارواحد تكون بحدود بضع مئات ميكاهيرتز تعطى بالمعادلة

$$\Delta\nu_n = \frac{c}{2L}$$

الصيغ المستعرضة للتذبذب

هي صيغ التذبذب التي يكون لها نفس المقادير n وتختلف بالمقدار m اوالمقدار l اوكليهما سوف تختلف فيما بينها فقط في كيفية توزيع المجالين الكهربائي والمغناطيسي بالاتجاه المستعرض والفاصلة الترددية $\Delta\nu_n$ بين صيغتين مستعرضتين متعاقبتين تختلفان بالمقدار m بمقدارواحد تكون بحدود بضع ميكاهيرتزوتعطى بالمعادلة

$$\Delta\nu_m = \frac{c\ L}{8\ n\ a^2}\left(m + \frac{1}{2}\right)$$

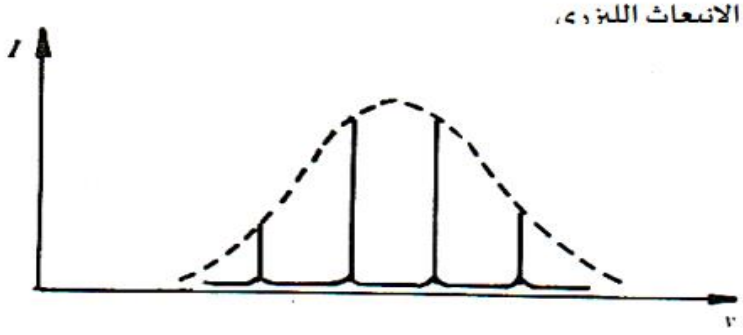


الشكل (3-10) يوضح صيغ التذبذب الرنينية لمرنان المرآتين المستويتين المتوازيتين

سؤال : كم صيغة تذبذب تقع ضمن خط الأنتقال لليزر؟

الجواب : ان عدد صيغ التذبذب الطولية تعتمد على :

1. عرض الخط الطيفي
2. طول مرنان الليزر ، فكلما زاد طول المرنان كلما قلت الفاصلة الترددية بين اي صيغتين وهذا يؤدي الى تذبذب عدد اكبر من الصيغ ضمن خط الانبعاث الليزري

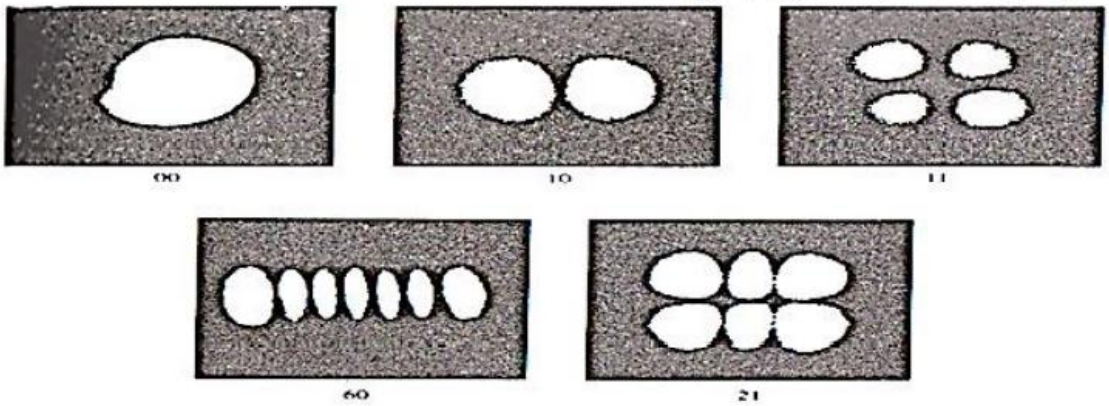


الشكل (3-11) يوضح صيغ التذبذب الطولية

اما عدد صيغ التذبذب المستعرضة فتعتمد على

1- شكل المرآة
2- حجم المرآة

عندما تتواجد عدد من صيغ التذبذب في نتاج الليزر يقال عنه ليزر متعدد الصيغ ويمكن عمليا الحصول على تذبذب صيغة مستعرضة واحدة بادخال عوامل خسارة تعمل على اضمحلال الصيغ المستعرضة الاخرى وذلك يتم بوضع حاجز ذو فتحة دائرية يمكن التحكم بمقدارها لتعمل على المحور البصري للمرنان والغاية منها حجب جميع صيغ التذبذب عدا الصيغة المستعرضة TEM_{00} المطابقة للمحور البصري



الشكل (3-11) يوضح صيغ التذبذب المستعرضة

نفرض ان مرآتي المرنان مربعة الشكل وطول ضلعها ($2a$) والمسافة بين المرآتين L اكبر بكثير من a ولحساب قدر البقعة $\omega(z)$ في الموضع Z بحيث ان مركز المرنان ليمثل نقطة الاصل ($Z=0$) ستكون المعادلة :

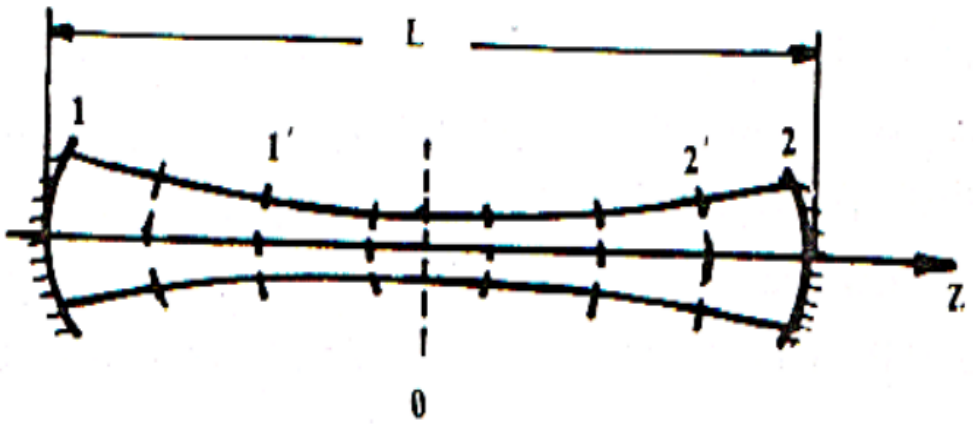
$$\omega(z) = \omega_0 \left[1 + \left(\frac{2Z}{L}\right)^2\right]^{1/2}$$

حيث ω_0 تمثل قدر البقعة عند مركز المرنان $Z=0$ وتعطى بالمعادلة

$$\omega_0 = \left[\frac{L\lambda}{2\pi}\right]^{1/2}$$

في الشكل(3-12) يلاحظ ان للحزمة خصر يكون في الموضع $Z=0$ في هذه الحالة يكون ω_0 يمثل قدر البقعة عند الخصر كذلك يمكن ملاحظة ان قدر البقعة عند المرآتين اي عند $z = \mp\frac{L}{2}$ يكون :

$$\omega = \left[\frac{L\lambda}{\pi}\right]^{1/2}$$



الشكل(3-12)

كذلك توصف حزمة الليزر بدلالة تكور جبهة الموجة ويعبر عن نصف قطر تكور جبهة الموجة عند موضع ما داخل المرنان على امتداد محوره Z بالمقدار $R(z)$ ويعطى بالمعادلة :

$$R(z) = Z\left[1 + \left(\frac{L}{2Z}\right)^2\right]$$

- عند الموضع $Z=0$ فان $R(z) = \infty$ اي ان شكل جبهة الموجة مستوي
- عند الموضع $z = \mp\frac{L}{2}$ (اي عند المرآتين)فان $R(z) = L$ اي ان شكل جبهة الموجة كروي

عامل النوعية للمرنان *quality factor*

من اساسيات مناقشة عمل اي مرنان هو التعرض لمبدأ Q اي عامل النوعية ويعطى بالمعادلة الاتية :

$$Q = \frac{2\pi\ E_s}{E_l}$$

حيث E_s تمثل الطاقة المخزونة بينما E_l تمثل الطاقة المتبددة خلال دورة واحدة

ان التجويف الرنيني ذو عامل النوعية العالي يخزن الطاقة بصورة جيدة والعكس صحيح ويتراوح عامل النوعية لمرنان الليزر بين $10^5 - 10^8$.

اضافة لذلك يرافق عامل النوعية العالي الخط الطيفي الضيق نسبيا في حين يرافق عامل النوعية الواطيء الخط الطيفي العريض نسبيا وهذه العلاقة بين Q وعرض الخط الطيفي يمكن التعبير عنها بالمعادلة

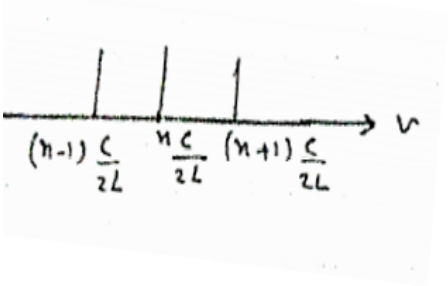
$$Q = \frac{\nu}{\Delta\nu}$$

نظريا لو افترضنا ان الطاقة المتبددة تساوي صفر يكون لعامل النوعية قيمة لا نهائية ولكن عمليا لابد من وجود خسارة وهذا يعني ان الخط الطيفي له تعريض بسيط وحاليا يمكن تقليص عرض الخط الطيفي لقيمة تقارب 1 هرتز.

س2/ برهن ان الفاصلة الترددية بين اي صيغتين طولية تكون مساوية لمرنان فابري بيرو يدعم صيغة التذبذب المستعرضة TEM_{00}

$$v = \frac{c}{2}\left[\left(\frac{n}{L}\right)^2 + \left(\frac{m}{2a}\right)^2 + \left(\frac{l}{2a}\right)^2\right]^{1/2}$$

بمقارنة TEM_{ml} مع TEM_{00} نجد $m=0$ ، $l=0$



$$v_n = \frac{c}{2}\left[\left(\frac{n}{L}\right)^2\right]^{1/2} = n\frac{c}{2L}$$

$$v_{n+1} = (n+1)\frac{c}{2L}$$

$$v_{n-1} = (n-1)\frac{c}{2L}$$

$$\Delta v_n = v_n - v_{n-1} = n\frac{c}{2L} - (n-1)\frac{c}{2L} = \frac{c}{2L}(n - n + 1) = \frac{c}{2L}$$

$$\Delta v_n = v_{n+1} - v_n = (n+1)\frac{c}{2L} - n\frac{c}{2L} = \frac{c}{2L}((n+1-n) = \frac{c}{2L}$$

وهذا يعني ان الفاصلة الترددية بين اي صيغتين طولية متتاليتين هو مقار ثابت $\frac{c}{2L}$

س3/ احسب عدد الصيغ الطولية ضمن خط الانبعاث الليزري لمرنان فابري –بيرو طوله $1m$ ومعامل النوعية هو 1×10^6 يدعم صيغة التذبذب المستعرضة TEM_{00} علما ان طول موجة الليزر $1.06\ \mu m$ ومعامل انكسار الوسط الفعال 1.5 .

$$Q = \frac{v}{\Delta v}$$

$$\Delta v = \frac{c}{Q\ \lambda} = \frac{3 \times 10^8}{1 \times 10^6 \times 1.06 \times 10^{-6}} = 2.8 \times 10^8\ Hz$$

$$\Delta v_n = \frac{c}{2L\,n} = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 1 \times 1.5} = 10^8\ Hz$$

$$N = \frac{\Delta v}{\Delta v_n} = \frac{2.8 \times 10^8}{10^8} \approx 3\ mode$$

س4/ ليزر CO_2 طول موجته $10.6\ \mu m$ و انبعاثه يكون بحزمة كاوسية قطرها $2mm$ عند مرآة الخروج الليزري علما ان طول المرنان الكروي $10\ cm$ احسب زاوية الانفراج وقدر حزمته عند مركز المرنان وعند المرآتين ؟

$$\emptyset = k\frac{\lambda}{D} = 0.64\ \frac{10.6 \times 10^{-6}}{2 \times 10^{-3}} = 3 \times 10^{-3}\ radian$$

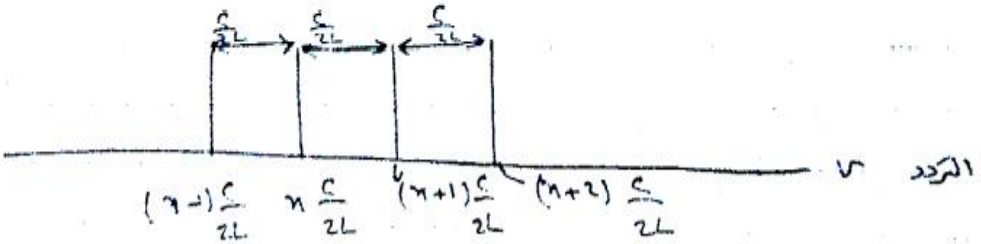
$$\omega_0 = \left[\frac{L\lambda}{2\pi}\right]^{1/2} = \left[\frac{10 \times 10^{-2} \times 10.6 \times 10^{-6}}{2 \times 3.14}\right]^{1/2} = 4.11 \times 10^{-4}\ m$$

$$\omega = \left[\frac{L\lambda}{\pi}\right]^{1/2} = \left[\frac{10 \times 10^{-2} \times 10.6 \times 10^{-6}}{3.14}\right]^{1/2} = 5.81 \times 10^{-4}\ m$$

س6/ مرنان بصري طوله $0.1\,m$ ومعامل انكسار الوسط يساوي 1.5 احسب الفاصلة الترددية واحسب عدد الصيغ المحورية في المرنان اذا كان اتساع الخط الطيفي $3\,GHz$ (ارسم شكلا توضيحيا).

$$\Delta\nu_n = \frac{c}{2L} = \frac{3\times10^8}{2(0.1)} = 1.5\times10^9\ \text{Hz}$$

$$N = \frac{\Delta\nu}{\Delta\nu_n} = \frac{3\times10^9}{1.5\times10^9} = 2\ mode$$



سؤال واجب/ حدد الاستقرارية للمرنان عندما يكون

1- مرنان ذات مراتيين مستويتين متوازيتين
2- مروان كروي فيه ((L=10cm)، (r_1=5cm)، (r_2=20cm)

المحاضرة السادسة

أنواع الليزر

صنفت انواع الليزر حسب المادة الفعالة المستخدمة وهي :

1- ليزر الحالة الصلبة
2- ليزر الحالة السائلة
3- ليزر الحالة الغازية
4- ليزر شبه الموصل
5- الليزر الكيمياوي

وعلى الرغم من كون الوسط الفعال في ليزر شبه الموصل هو مادة بحالة صلبة الا ان جوهر عمل هذا النوع من الليزر يختلف تماما عن ليزر الحالة الصلبة وكذلك يختلف الليزر الكيمياوي عن كل هذه الاصناف في ميكانيكية ضخ الطاقة اليه.

ليزر الحالة الصلبة

يكون الوسط الفعال فيه عبارة عن بلورة عازلة او قطعة زجاج لها خطوط طيفية حادة وهي مواد صلبة شفافة شديدة التماسك تقاوم الحرارة . وتعمل الايونات المطعمة والمتواجدة بنسب قليلة (0.01- 0.1) في البلورات الايونية كوسط فعال . تكون مادة الليزر الصلبة على شكل قضيب (طوله 6 سم وقطر 6 ملم) صقل طرفاه ليصبحا على درجة عالية من النعومة والتوازي ويدعى بقضيب الليزر الذي يوضع بين مرآتين متقابلتين (اويطلى طرفاه ليشكلا مرآتي المرنان) ويضخ بصريا باستخدام مصباح ومضي والذي غالبا ما يكون ذو تصميم لولبي يحيط بقضيب الليزر

ان الانتقالات المستخدمة تتضمن مستويات تعود الى القشرة الداخلية غير المملؤة لهذه الايونات وبالتالي لا تتأثر بشدة بمجال البلورة مما يجعلها انتقالات حادة (اي ان قيمة σ عالية وقيمة τ لها طويلة نسبيا) بهذا يكون معدل الضخ عند العتبة واطيء نسبيا .

$$G = -\alpha = \sigma (N_2 - N_1)$$

$$N_{th} = N_2 - N_1 = \frac{R_{th}}{A_{21}} = R_{th}\tau_2$$

ويكون نتاج الليزر نبضي في معظم الحالات بسب كون الضخ البصري ومضي وطول موجة هذا النوع من الليزر يقع في المدى القريب من الاشعة تحت الحمراء (1- 2.6 مايكرومتر) . كذلك يمكن الحصول على ليزر مستمر باستخدام مصدر ضوئي ذو نتاج ثابت الطاقة في عملية الضخ.

1. ليزر الياقوت

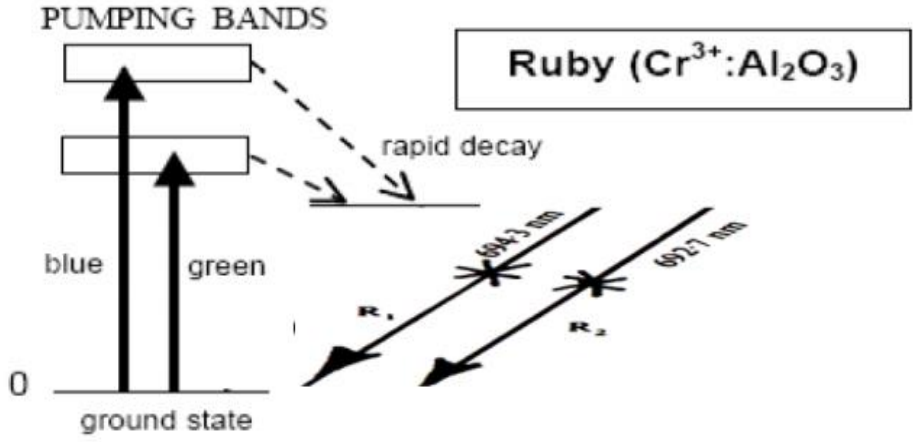
أكتشف عام 1960 والوسط الفعال هو بلورة الياقوت *(Ruby)* وهي عبارة عن أوكسيد الألمنيوم (Al_2O_5) المطعم بأيونات الكروم *(Cr+3)* بنسبة تطعيم حوالي *(5%)* من الوزن الكلي بتركيز أيونات فعالة حوالي $10^{22}\ m^{-3}$. يكون لون البلورة أحمر وقطر بلورة الياقوت يتراوح ما بين (*1-20 mm*) وطولها (*50 -100 mm*) .

اما الاشعاع اللازم للضخ البصري فيقع في مدى الضوء الصادر من مصباح الزينون *xe* الومضي بضغط 600 ملي بار.

ويعمل بنظام المستويات الثلاثية *(Triple-Level System)* ويحتاج تبريد جيد جد ا ونمط التشغيل نبضي والطول الموجي لشعاع الليزر الخارج (*nm* 694.3)الأقوى(و (*nm* 692.9)

كذلك يمكن تشغيل ليزر الياقوت بموجة مستمرة *CW* اذا ما استخدم للضخ مصدر ضوئي ثابت الشدة مثل مصباح زئبقي بضغط عالي او باستخدام ليزر اخر.

ويستخدم ليزر الياقوت في تطبيقات عملية مثل التصوير المجسم وتجارب تعيين المدى



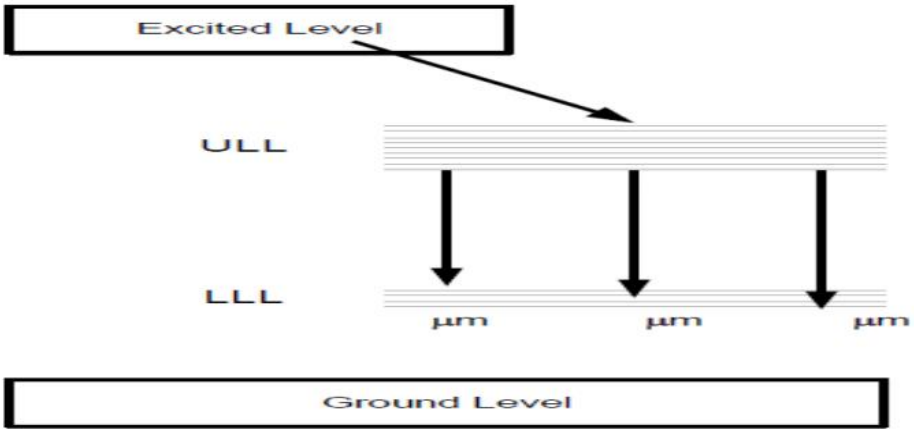
2. ليزر النيوديميوم

هو الليزر الاكثر شيوعا لأنواع ليزر الحالة الصلبة ويعمل بخطة ضخ ذو اربع مستويات وهو على نوعين :

- ليزر النيوديميوم-ياك (Neodymium:YAG)

يعتبر واحد من أهم أنواع الليزرات عموما وقد أكتشف عام 1964 الوسط الفعال هو بلورة الياك *(YAG)* وهي عبارة عن أوكسيد اليتريوم ألمنيوم $(Y_3Al_5O_{12})$ المطعم بأيونات النيوديميوم (Nd^{+3}) بنسبة تطعيم لا تتجاوز . *(1.5%)* يكون لون البلورة أرجواني .يتم الضخ باستخدام المصباح الوميضي بكفاءة لا تتجاوز *(1.5%)* أو باستخدام ليزر أشباه الموصلات بكفاءة تصل إلى *(70%)* ويحتاج تبريد جيد ونمط العمل مستمر ونبضي .الأطوال الموجية لشعاع الليزر الخارج ثلاثة هي *(1.4μm)* و(*(1.06 μm)* الأقوى و *(0.9 μm)*

تمتاز بلورة الياك بمقاومة عالية ضد التلف وصلادة ضد الكسر ونوعية بصرية عالية.



الشكل 2-5

-

- ليزر النيدميوم-زجاج (Neodymium:Glass)

الوسط الفعال هو الزجاج المطعم بأيونات النيديميوم (Nd^{+3}) بنسبة تطعيم تصل إلى (6 %) يكون لون البلورة أرجواني .وأبعاد البلورة من بضعة مايكرون الى طول 2 متروقطر 8 سم .

ويتم الضخ باستخدام المصباح الوميضي بكفاءة لا تتجاوز (1.5 %) أو باستخدام ليزر أشباه الموصلات بكفاءة تصل إلى (70 %) ويعمل بنظام المستويات الرباعية وتحتاج تبريد جيد .ونمط العمل نبضي الأطوال الموجية لشعاع الليزر الخارج ثلاثة هي *(1.4μm)* و(*(1.06 μm)* الأقوى و*(0.9 μm)* .لليزر النديميوم تطبيقات عديدة في تصنيع المعادن وتعيين المدى والجراحة الليزرية

المحاضرة السادسة

ليزرات الحالة السائلة (ليزر الصبغة) *(Dye Lasers)*

اكتشف عام 1965 و الوسط الفعال فيه عبارة عن صبغة عضوية *(Organic Dye)* مذابة في محلول مناسب مثل الماء أوالكحول الأثيلي وغيرها.تكون جزيئة الصبغة كبيرة الحجم مقارنة بالجزيئات الصلبة والغازية.ويتضمن كل مستوى إلكتروني في جزيئة الصبغة عددا كبيرا من المستويات الدورانية والاهتزازية بحيث تصبح المستويات الإلكترونية عريضة نسبيا وعند انتقال جزيئة الصبغة المتهيجة من مستوى إلكتروني عال إلى مستوى إلكتروني واطئ فان الطول الموجي المنبعث يعتمد على فرق الطاقة بين المستويات الثانوية (الدورانية والاهتزازية) لكلا المستويين الإلكترونيين وبذلك يمكن الحصول على شعاع الليزر بأطوال موجية متعددة بحيث يكون خط الطيف الليزري عريضا ولتقليل عرض الخط الطيفي لنتاج ليزر الصبغة تستخدم المواشير ومحرزات الحيود ضمن منظومة الليزر ويمكن توليف ليزر الصبغة للحصول على طول موجي واحد من حزمة الليزر ليتذبذب داخل المرنان ويشتت الأطوال الموجية الأخرى خارج المنظومة للحصول على شعاع الليزر بطول موجي واحد .

ويعمل بنمط مستمر ونبضي ومصدر الضخ يتم باستخدام المصباح الوميضي *(Flash Lamp)* كما في ليزرات الحالة الصلبة. يمكن أن يتم ضخ الوسط الفعال باستخدام شعاع ليزر آخر مثل ليزر بخار النحاس *(Cu-vapor Laser)* وهذه الطريقة تكون ذات كفاءة أعلى من طريقة الضخ بالمصباح الوميضي.

تستخدم ليزرات الصبغة الأبحاث العلمية كالدراسات الطيفية والكيمائية الضوئية وفصل النظائر الكيميائية وخاصة نظائر اليورانيوم.

تمتاز ليزرات الحالة السائلة بما يلي:

1. إ مكانية الحصول على حزمة عريضة من الأطوال الموجية لليزر وهذا يسمى *(Tuning)* التنغيم
2. سهولة تكوين الوسط الفعال (إذابة الصبغة في المحلول)
3. إ مكانية تغيير تركيز الصبغة بسهولة(تقليله بتخفيف المحلول أو زيادته بتركيز المحلول)
4. لا توجد عيوب بلورية
5. سهولة عملية التبريد من خلال تحريك المحلول

مساوئ ليزرات الحالة السائلة هي:

1. عدم الاستقرار بسبب حركة السائل
2. يمكن أن يسبب المذيب إلى منع توليد الليزر
3. تتأثر بالحرارة بشكل كبير جدا
4. تتحلل الصبغة عند تعرضها إلى الضوء

من أبرز أنواع ليزرات الصبغة:

1. ليزر الصبغة رودامين *G 6 (R6G)* ويبعث في المدى (570-610) *nm*
2. ليزر الصبغة رودامين *B (RB)* ويبعث في المدى (605-635) *nm*
3. ليزر صبغة الكومارين *(Coumarin)* ويبعث في المدى (400-*575*) *nm*
4. ليزر صبغة البوليميثان (*Polymethane*) ويبعث في المدى (710- 950) *nm*

ليزر الحالة الغازية (Gas Lasers)

الوسط الفعال هو عبارة عن أنبوب من الزجاج أو السيراميك يحتوي على غاز واحد مثل ليزرات الأركون والزينون والهيدروجين والنيتروجين أو خليط من غازين مثل ليزرات الهيليوم-نيون وفلوريد الهيدروجين وكلوريد الزينون أو خليط من أكثر من غازين مثل ليزرات. *CO2:N2:He*

كما تقسم الليزرات الغازية إلى أنواع عديدة حسب آلية توليد الليزر إلى:

1. ليزرات الغازات المتعادلة مثل*(He-Cd) (He-Ne)*
2. ليزرات الغازات الأيونية مثل *(Ar+)* و*(Kr+)*
3. ليزرات الغازات الجزيئية مثل *(CO2)* و*(KrF)*

يكون تركيز الذرات أو الجزيئات حوالي $m3(10^{19}-10^{18})$ لذلك يكون حجم منظومة الليزر الغازي أكبر من حجم منظومة ليزر الحالة الصلبة.

لا يمكن ضخ الليزر الغازي باستخدام المصباح الوميضي لأن نطاق الامتصاص للغاز يكون ضيقا جد ا وبالتالي عملية الضخ تكون غير كفوءة. ومصدر الضخ هو عبارة عن مجهز قدرة كهربائية يقوم بتحويل القدرة الكهربائية إلى قطبين كهربائيين في الأنبوب(الأنود والكاثود) الذي يحتوي على الغاز(أو الغازات) فيحدث التفريغ الكهربائي للغاز(توليد البلازما) ويتولد الليزر.

يمكن أن يتم تبريد أنبوب التفريغ الكهربائي من خلال مرور ماء أو هواء بارد حول الأنبوب أو من خلال ضخ الغازات(أو الغازات) بسرعة كبيرة إلى داخل أنبوبالتفريغ.

عادة تكون مرايا الليزر الغازي ملصوقة على أنبوب التفريغ كما يمكن فصلها عنه.

المحاضره السابعة

- **ليزر الهيليوم-نيون(Helium-Neon)**

هو عبارة عن نوع من ليزر الغاز يستخدم أنبوبة من زجاج الكوارتز والوسط الفعال خليط من غازي الهيليوم والنيون بنسبة 1:10 موضوعين في أنبوبة زجاجية طولها *(10-80)cm* وقطرها *(2-10)mm* تحت ضغط (0.6 *mm Hg*)ومر أتان مستويتان متوازيتان ومتعامدتان على محور الانبوبة إحداهما عاكسة والأخرى شبة منفذة بالإضافة إلى مجال كهربائى عالى التردد أو فرق جهد مستمر يسلط على الغاز داخل الانبوبة لإحداث تفريغ كهربى و إثارة ذرات الغاز.يعتبر هذا الليزر مهما لأنه قليل الكلفة وكثير الاستخدامات ويعمل بنمط مستمر*(CW)* وليس خطر عند الاستخدام الطول الموجي الخارج هو *(632.8nm)* في المنطقة الحمراء

طريقة العمل

1- يعمل فرق الجهد على إثارة ذرات الهيليوم المثارة إلى مستويات طاقة أعلى

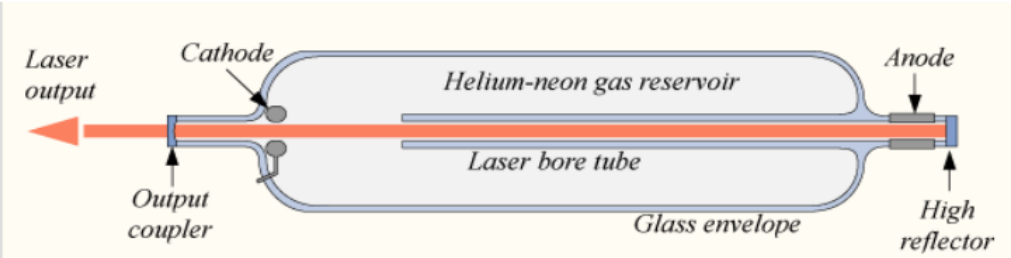
2-عند تصادم ذرات الهيليوم المثارة مع ذرات النيون غير المثارة تحدث إثارة لذرات النيون نتيجه تقارب قيم طاقه مستويات اثارتهما ويتحقق التأهيل المعكوس لذرات النيون حيث تتراكم في مستوى الإثارة شبه المستقر (فترة العمر له كبيرة نسبيا حوالى 0.001 ثانية

3-تهبط بعض ذرات النيون تلقائيا إلى مستوى ادنى وتنتج فوتونات طاقتها تساوى الفرق بين طاقتى المستويين تقوم بحث ما بقى من ذرات النيون في المستوى شبه المستقر لكى يحدث انبعاث مستحث

4-تحدث انعكاسات متكررة تبادلية للفوتونات التي تتحرك موازية لمحور الانبوبة على المرآتين في نهايتى الانبوبة (التجويف الرنينى) فيحدث تضخيم لهذا الإشعاع

5-عندما تصل شدة الإشعاع إلى حد معين يخرج جزء منه من خلال المراة العاكسة جزئيا على شكل شعاع ليزر ويبقى باقى الإشعاع داخل الانبوبة لتستمر عملية الانبعاث و إنتاج الليزر

6-ذرات النيون تعود لتثار بالتصادم مع ذرات الهيليوم التي بدورها تثار بفعل التفريغ الكهربى داخل الانبوبة وهكذا..



الشكل 5-3 مخطط لمنظومة ليزر الهيليوم-نيون

الاستخدامات

يستخدم في المختبرات العلمية واغراض الترصيف وقراءة الرموز وغيرها

- **ليزر ايون الأركون Ar^+ (*Argon Ion*)**

الوسط الفعال هو غاز الأركون المتأين وله طولين موجيين خارجين هما الازرق *488 nm* والأخضر المزرق 514.5 *nm* طول أنبوب التفريغ *m* (1-2) وتيار التفريغ الكهربائي بحدود *50 A* وفولتية مقدارها *(250V)* والتبريد يتم بواسطة الماء يتم تأهيل المستوى الأعلى لأنتقال الليزر بعمليتي تصادم متتاليتين مع الألكترونات الناتجة من التفريغ الكهربائي فالتصادم الأول يؤين الذرة والثاني يحرض هذا الايون .يستخدم في التطبيقات الطبية وخاصة جراحة العيون وكذلك في ضخ ليزرات أخرى مثل ليزر الصبغة.

- **ليزر ثنائي أوكسيد الكاربون(*CO2 Laser*)**

الوسط الفعال هو عبارة عن خليط من غازات ثنائي أوكسيد الكاربون(*CO2*) والنيتروجين (*N2*) والهيليوم (*He*) بنسب معينة . يوضع الخليط في أنبوب زجاجي يحتوي قطبين كهربائيين(الكاثود والأنود)ويتم تسليط الجهد الكهربائي على خليط الغازات بين القطبين فيتولد الليزر من غاز CO_2 أما دور غاز النيتروجين فهو تحسين عملية الضخ(عملية انتقال الطاقة الرنيني) أما دور غاز *He* فهو تبريد غاز *CO2* ويمكن ان يعمل هذا الليزر بالنمط المستمر والنبضي وينتج قدرات عالية جد ا . يستخدم هذا الليزر في مجالات كثيرة جدا في عمليات القطع واللحام والجراحة الطبية وتحديد المدى وهو أكثر أنواع الليزرات استخدام وتصل كفاءة هذا الليزر إلى حوالي *(30 %)* وهي كفاءة عالية مقارنة بباقي أنواع الليزر .ويبعث مجموعة من الأطوال الموجية ما بين .(9.2 – 10.8) مايكرومتر ولكن الطول الموجي الأقوى هو $10.6\mu m$

هنالك ستة أنواع من هذا الليزر هي:

1. ليزر الجريان الطولي والتفريغ المحوري (*Longitudinal-Flow Axial- Discharge CO2 Laser*)
2. ليزر الجريان السريع (*Fast Flow CO2 Laser*)
3. ليزر الأنبوب المختوم (*Sealed-off CO2 Laser*)
4. ليزر التهيج المستعرض للغاز (*TE CO2 Laser*)
5. ليزر التهيج المستعرض عند الضغط الجوي (*TEA CO2 Laser*)
6. ليزر الغاز الديناميكي (*Dynamic Gas CO2 Laser*)

ليزر أشباه الموصلات(Semiconductor Laser)

تم اكتشاف هذا النوع من الليزر عام 1961 وهو يعتبر من ليزرات الحالة الصلبة لأن الوسط الفعال عبارة عن مادة صلبة ولكنه ليس بلورة مطعمة بأيونات فعالة و إنما تركيب من مواد شبه موصلة مانحة *(n-type)* وقابلة *(p-type)* وتمثل حزمة التوصيل *(Conduction band)* مستوي الليزر العلوي وحزمة التكافؤ *(Valence Band)* مستوي الليزر السفلي ويتم الضخ من خلال تيار كهربائي يحرك الإلكترونات والفجوات ما بين هاتين الحزمتين.

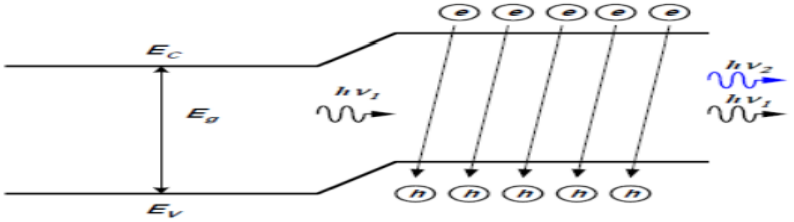
تعتبر مادة كاليوم – ارستايد *(GaAs)* أكثر المواد شبه الموصلة التي تستخدم كقاعدة لتصنيع ليزرات أشباه الموصلات وهذا النوع من ليزرات أشباه الموصلات يبعث في المنطقة تحت الحمراء القريبة حول الطول الموجي *0.87* مايكرومتر.

1. صغيرة الحجم
2. رخيصة الثمن
3. يتم ضخها مباشرة باستخدام التيار الكهربائي
4. كفاءتها عالية)تصل إلى 32%
5. يمكن التحكم بشدة شعاع الليزر المنبعث من خلال التحكم بتيار الضخ الكهربائي
6. يمكن تنغيم الليزر الخارج أي الحصول على أطوال موجية محددة من نفس الجهاز.

- **ليزرات ثنائي الوصلة *(p-n Junction Lasers)***

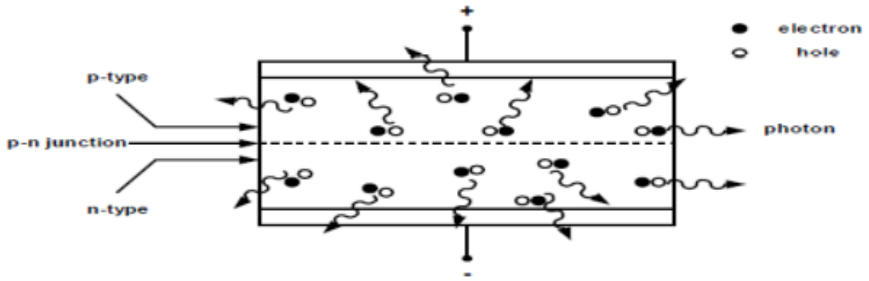
عند سقوط موجة ضوئية (فوتون) يمتلك طاقة أكبر من فجوة الطاقة(*Eg*) للمادة شبه الموصلة فإن الإلكترونات تهيج وتصعد من المستوي الأرضي (حزمة التكافؤ) إلى المستوي المتهيج (حزمة التوصيل) وتترك وراءها فجوات . تبقى الإلكترونات في المستوي المتهيج فترة زمنية محددة تسمى فترة *(Level Lifetime)* عمر المستوي وتنزل بعد ذلك إلى المستوي الأرضي مرة أخرى وتتحد مع الفجوات وتبعث إشعاع. وهذه العملية تمثل الانبعاث التلقائي.

إذا كانت الإلكترونات في المستوي المتهيج وسقط فوتون يمتلك طاقة تساوي فجوة الطاقة *(Eg)* فإن الإلكترونات تتحفز على النزول إلى المستوي الأرضي وتتحد مع الفجوات وتبعث إشعاع. وهذه العملية تمثل الانبعاث المحفز التي هي شرط توليد الليزر



شكل 5-4 مخطط للمستويات الطاقية لليزر أشباه الموصلات ذي الوصلة الثنائية

هذا النوع من ليزرات أشباه الموصلات ذات الوصلة الثنائية تعمل في حالة الانحياز الأمامي(*Forward Bias*) أي أن الطرف الموجب لمصدر الفولتية يربط إلى الجزء الأمامي (*p-type*) والجزء السالب لمصدر الفولتية يربط إلى الجزء السالب لثنائي الوصلة (*n-type*) وإن الوصلة الثنائية تمثل المنطقة الفعالة التي يتولد فيها وينبعث منها الليزر كما هو واضح من الشكل



الشكل 5-6 مخطط توضيحي لليزر أشباه الموصلات ذي الوصلة الثنائية

هذا النوع من ليزرات أشباه الموصلات يعمل بالنمط النبضي فقط لأنه يحتاج إلى تيار انحياز أمامي عالي وكذلك بسبب ارتفاع درجة حرارة التركيب الذي يتلف الليزر. ويعتمد الطول الموجي لشعاع الليزر على قيمة فجوة الطاقة للمادة شبه الوصلة .

- **ليزر إكسايمر *excimer laser***

هو نوع من الليزر الغازي واسمه مشتق من المصطلح الإنجليزي *Excited Dimer* (تعني الجزيئات الثنائية المثارة) اكتشف عام 1970 ينتج أشعة فوق البنفسجية ويستخدم عادة في جراحة العيون وفي صناعة أشباه الموصلات .

ويستخدم ليزر الإكسايمر عادة مخلوطا من غازين خاملين مثل الأرجون والكريبتون أو الزينون وغاز نشيط مثل الفلور أو الكلور . وعند الوصول إلى حالة مناسبة من الإثارة الكهربائية في مخلوط الغاز تتكون جزيئات وسطية تسمى إكسايمر وهي جزيئات لا تتكون إلا في حالة إثارة وبذلك تنتج ضوء الليزر الذي يكون في نطاق الأشعة فوق البنفسجية وله طول موجة محدد. ويحدد نوع الجزئي المستخدم طول الموجة لليزر إكسايمر. وتعبأ الغازات المستخدمة في زجاجات بأسطونات جهاز الليزر التي ينتج فيه الإكسايمر. ويجب تجديد مخلوط الغازات بين حين وآخر حيث أن خواص المخلوط تتغير بالاستخدام و أيضا تتغير أثناء أوقات عدم الاستخدام،

ويمكن إنتاج ليزر إكسايمر في هيئة نبضات فقط ويبلغ زمن النبضة بين 4 و 40 نانو ثانية .ويبلغ معدل إنتاج النبضات في الليزر من هذا النوع حالياً عدة كيلو هيرتزعلى الأكثر. ويستخدم ليزر إكسيمر كثيراً في الصناعة حيث تبلغ طاقة النبضات نحو 2و1 جول.

الليزر الكيمياوي *Chemical laser*

في هذا النوع تكون المادة الفعالة الكيمياوية بحالة صلبة او سائلة او بحالة بخار غاز. وتتكون جزيئة الوسط الفعال نتيجة التفاعل الكيمياوي بين المواد المستخدمة وتؤدي الطاقة المتحررة من التفاعل الى تهيج هذه الجزيئات مسببه الانبعاث المحفز بين مستوياتها التذبذبية لذا يقع معظم الاشعاع في مدى الاشعة تحت الحمراء .

ان تركيب الجهاز يعتمد على نوع التفاعل ومواده الكيمياوية و تشغيله لا يحتاج الى دوائر الكترونية معقدة ولا الى مصادر خارجية لضخ الطاقة الا انه يحتاج بشكل مستمر ضخ المواد اللازمةللتفاعل . ان الليزر الكيمياوي يمكن ان ينتج نبضات ليزر بقدرة اعلى ما تنتجه الانواع الاخرى . استخدامات هذا النوع من الليزر تقع اغلبها في الاغراض العسكرية

انواع الليزر الكيمياوي

1. ليزر فلوريد الهيدروجين *HF* 2- ليزر كلوريد الهيدروجين *HCl* 3- ليزر بروميد الهيدروجين *HBr*
4- ليزر فلوريد الديتريوم *DF*

المحاضره الثامنة

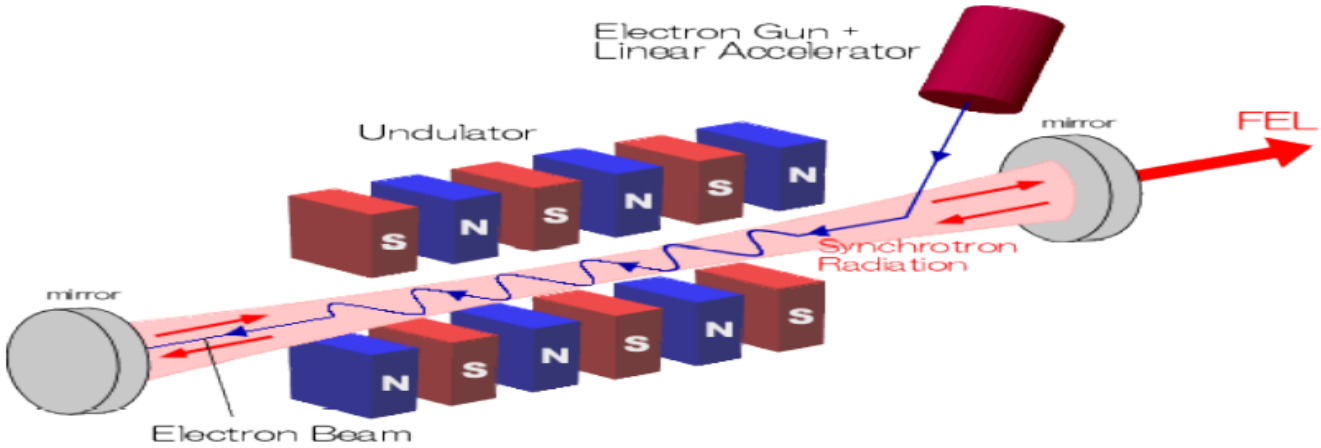
ليزر الالكترون الحر

أن الوسط الفعال في هذا النوع من الليزر عبارة عن شعاع الإلكتروني، وهذه الإلكترونات محررة تماماً من الذرات، وتمر بطريقة خاصة خلال مجال مغناطيسي للتحكم في مسارها.

ويعد ليزر الإلكترونات الحرة، من الناحية النظرية، مصدر ضوء بالغ التكيف، إذ يمكن موالفته لأي طول موجي مطلوب، وهو يعمل بقدرة عالية. أما الليزرات الأخرى، فإنها تنتج الضوء عند أطوال موجية محددة، تتفق مع انتقالات الطاقة في أوساطها الليزرية.

يبين الشكل ادناه الرسم التخطيطي لتكوين ليزر الإلكترون الحر ، حيث تنطلق الاكترونات من معجّلِ خطي يقذف الإلكترونات الحرة بطاقة 14 كيلو وات وتزداد سرعة شعاع الالكترونات حتى تصل إلى سرعة الضوء تقريبا ثم يتذبذب الشعاع خلال مُذَبذب بشكل دوري ليقطع مجال مغناطيسي ناتج من ترتيب مغانط بشكل أقطاب متناوبة ضمن تجويف الليزر على طول طريق الشعاع يدعى "المتمايل"(***undulater***) لكي يجبر الالكترونات على اتخاذ شكل جيبي اثناء مرورها فيه. ونتيجة لزيادة سرعة الالكترون وتذبذبه على طول المسار ينطلق الفوتون. وهكذا بالنسبة لبقية الالكترونات حيث تَبْدأُ ببَعْث إشعاعِ متشاكه يتم تغذيته وتكبيره بين مرايا المرنان مما يُؤدّي إلى زيادةِ قوَّةِ الإشعاعِ و انتاج الليزر.

استعمل ليزر الالكترون الحر في المجال الطبي عام 1999 في الجراحة لازالة الانسجة التالفة في المخ ، وكذلك استعمل في المجال العسكري كسلاحِ ذو طاقةِ مُوَجَّهِ ضدّ الصّواريخ



المحاضره الثامنة

تطبيقات الليزر

هنالك عدد هائل من تطبيقات الليزر أهمها:

1. التطبيقات الصناعية (القطع والتثقيب واللحام والتصليد)
2. القياسات والفحص (قياس المسافات والترصيف البصري وكشف العيوب)
3. التطبيقات الطبية والبيولوجية (أمراض العين والجراحة والتجميل والاستئصال والتصوير الأحيائي)
4. التطبيقات العسكرية (التوجيه والتتبع وتقدير المدى)
5. التطبيقات التجارية(الأقلام الضوئية والطابعات الليزرية وقارئات الأقراص المدمجة)
6. الاتصالات البصرية

اولا : التطبيقات الصناعية (Industrial Applications)

يعتمد استخدام الليزر في التطبيقات الصناعية بمجموعة من الأمور أهمها:

1. الطول الموجي لشعاع الليزر
2. طاقة أو قدرة شعاع الليزر (الطاقة في حالة الليزر النبضي والقدرة في حالة الليزر المستمر)
3. حجم شعاع الليزر
4. إنفراجية شعاع الليزر (يفضل أقل ما يمكن)
5. نمط شعاع الليزر (يفضل النمط الأساسي)
6. أبعاد منطقة المعالجة
7. امتصاصية المادة لشعاع الليزر
8. انعكاسية المادة لشعاع الليزر
9. التوصيلية الحرارية للمادة
10. سرعة حركة شعاع الليزر
11. الأجزاء البصرية المستخدمة
12. استخدام الغازات المساعدة

المحاضره الثامنة

• محاسن استخدام الليزرفي التطبيقات الصناعية:

1 .عدم وجود تماس مباشر بين العينة ومنظومة الليزر ولذلك لا يوجد تلوث أو إجهادات ميكانيكية.

2.استخدام الليزر لا يؤثر على الخواص الفيزياوية للمادة لأن المنطقة التي تتأثر صغيرة جد ا.

3.يمكن استخدام الليزر مع مواد مختلفة مثل المعادن والسيراميك والزجاج والخشب دون حدوث تلف للمادة.

4.إمكانية العمل في مواضع صعبة مثل الزو ايا والانحناءات وغيرها

5.العمل يتم بسرعة عالية ودقيقة فمثلا يمكن إجراء عملية قطع المعادن بسرعة *(10m/min)*وهي أسرع عشر مرات من الطر ائق التقليدية.

6.يمكن أن تكون عملية استخدام الليزر مبرمجة أوتوماتيكيا لغرض الدقة.

7.يمكن الحصول على قدرات عالية جد ا.

8.شعاع الليزر لا يتلف نتيجة الاستخدام كما في حالة الآلات المستخدمة في *(Arc Welding)*وقوس اللحام *(Cutters)* الطر ائق التقليدية كالقواطع وغيرها *(Drillers)* .والمثقبات

9.ا لعمل بالليزر يتم بهدوء وبدون تلوث كما في الطر ائق التقليدية

• مساوئ استخدام الليزرفي التطبيقات الصناعية:

1. الكلفة التصنيعية والتشغيلية لمنظومة الليزرتكون عالية.
2. منظومة الليزرتحتاج إلى خبرة جيدة لتشغيلها وديمومة عملها.
3. مخاطر القدرة العالية.
4. تحتاج منظومة الليزرإلى سيطرة وتحكم دقيقين.

ثانيا: القياسات والفحص *measurements and detection*

يستخدم الليزرفي قياس المسافات بدقة متناهية، سواء المسافات القصيرة أو الطويلة. وأشعة الليزرتستطيع قياس عشرة امتاردون إحداث خطأ يتجاوزواحد على عشرة آلاف من المتر.كما استخدمت أشعة الليزرفي تحديد بعد القمر عن الأرض. وقد تم ذلك في السبعينيات حيث وضع رواد الفضاء على القمرمرآة لعكس الليزرعند سقوطه عليها، وبعد ذلك وُجه شعاع ليزرمن الأرض إلى القمر وبانعكاسه على المرآة على سطح القمروعودته إلى الأرض استطاع العلماء حساب بعد القمرعن الأرض بدقة لم يتوصلوا إليها من قبل. كذلك يمكن تستخدم أيضا في تحديد الأهداف بدقة بالغة جدا، حيث أن كان الهدف على مسافة 20 كم ووجهنا شعاع ليزر فسوف ينحصر مقطع الشعاع في دائرة ضوئية قطرها 7 سم فقط. وإذا أطلقت إلى القمر فسيكون قطر الدائرة المشكلة 3,2 كم فقط.

كما يستخدم الليزر في عمليات الترصيف البصري والتي تعني وضع مجموعة من الأشياء على استقامة واحدة كالجسور والطرق والأرصفة ونصب الماكينات والمصانع.
كذلك يمكن استخدام الليزر في الكشف عن العيوب الموجودة داخل المادة من خلال تسليط الليزر ونقل صورة عن التركيب الداخلي ومعرفة إذا ما كانت هنالك عيوب في التركيب البلوري أم لا.

ثالثا :التطبيقات الطبية والبيولوجية *(medical and biological applications)*

يستخدم ليزر أيون الأركون لأخضر Ar^+ في عمليات معالجة انفصال الشبكية في العين ومعالجة الحول وكذلك معالجة تمزق الأنسجة داخل القرنية.
كما يستخدم ليزر ثنائي أوكسيد الكاربون CO_2 في إجراء الجراحة داخل جسم الإنسان في مناطق يصعب وصول يد الجراح إليها بالطرائق التقليدية مثل جدران القلب والجدار الداخلي للمريء والرئتين والجمجمة كما يستخدم الليزر في إزالة تخثر الدم داخل الأوعية الدموية وصمامات القلب.

يستخدم ليزر النيديميوم-ياك *(Nd:YAG)* في عمليات إزالة الأوشام *(Tattoos)* والعلامات الوراثية *(Moles)* في جلد الإنسان والتي هي عبارة عن تجمعات للأوعية الدموية في منطقة محدودة .

تستخدم الليزرات التي تعمل في المنطقة فوق البنفسجية والأشعة السينية من الأطوال الموجية في تصوير الخلايا الحية دون إتلافها أو تدميرها حيث يتم امتصاص هذه الأطوال الموجية من قبل أنسجة هذه الخلايا

المحاضره التاسعة
استخدامات الليزر

رابعا : التطبيقات العسكرية (military applications)

انتشر استخدام الليزر في نظم التسليح المختلفة خلال السنوات الأخيرة انتشاراً خطيراً، وكان له أثر بالغ في زيادة فاعليتها، فأصبحت معدات الليزر تتداول من الجندي المشاة، حتى المقاتلات والقاذفات، بل وبدأت تدخل في نظم الحرب ضد الصواريخ الباليستية. توجد أسلحة الليزر حاليًا في المراحل المبكرة ، حيث يجب إجراء الكثير من الأبحاث قبل ذلك حتى المستوى المطلوب. يمكن للسلاح المادي أن يدمر أي هدف عن طريق توصيل كميات من الطاقة ، حيث يمتص الهدف جزء منها ، مما يؤدي إلى ارتفاع كبير في درجة الحرارة وتدميره.
يشتمل نظام سلاح الليزر على مصدر ليزر، ومجموعة عدسات بصرية لتركيز الشعاع على المسافة المطلوبة ، وأدوات للكشف عن الهدف وتتبع الهدف . حيث ان إجراءات تتبع الهدف تتم باستخدام شعاع الليزر (مرآة التوجيه السريعة). ، كذلك يجب وجود نظام كمبيوتر للتحكم في المكونات المختلفة.

هناك عدد من الفوائد لأسلحة الليزر مقارنة بالاسلحة التقليدية:

1- تنتشر أشعة الليزر بسرعة الضوء. لذلك ، لا يوجد أي تأخير في وقت إطلاق السلاح على الهدف ، ان سرعة الضوء العالية تسمح بزيادة الدقة مع الحد الأدنى من أخطاء التصويب للهدف المتحرك.
2- تتبع الأهداف القادرة على المناورة يكون اسهل وذلك عن طريق تحريك المرآة ، حيث المرايا أقل وزنا من البندقية ويمكن نقلها بشكل أسرع.
3- لا يوجد أي أضرار جانبية على البيئة من استخدام أشعة الليزر مثل القنابل أو المواد الكيميائية الخطرة.
4- ذخيرة غير محدودة
5- التحكم في درجة تدمير الهدف من منخفضة المستوى إلى مستوى ضرر دائم عالي الطاقة.

من ناحية أخرى ، هناك عيوب لأسلحة الليزر، حيث تتطلب كميات هائلة من الطاقة ، نتيجة انعكاسية المادة المصنوع منه الهدف.وكذلك خسارة الناتجة من الغلاف الجوي يؤدي الى توهين شعاع الليزر، مثل التشتت والامتصاص والاضطراب.

المحاضره التاسعة
استخدامات الليزر

وتقع أنواع الليزر المستخدمة حالياً في نظم التسليح في حيز الضوء المرئي والأشعة تحت الحمراء والاشعة فوق البنفسجية والسينية، وإن كان النوع الأول، الذي يقع في حيز الضوء المرئي غير مستخدم حالياً على نطاق واسع؛ لأنه يقع في نطاق الضوء الأحمر مما يجعله سهل الاكتشاف. ومن الناحية الأخرى فإن الليزر الذي يقع في حيز الأشعة تحت الحمراء حديث الاستخدام في التطبيقات العسكرية، ويمتاز بالعمل في حيز الأشعة تحت الحمراء البعيدة، مما يحقق له قدرة على اختراق الضباب والدخان والأمطار، ويفضل كذلك استخدامه مع نظم الرؤية السلبية بالاستشعار الحراري، نظراً لعمله في النطاق الموجي نفسه، فيمكنه بالتالي التعامل مع الأهداف نفسها التي ترى بالمنظار الحراري. وتتعدد مجالات الاستخدامات العسكرية لأشعة الليزر، ونلخص أهمها فيما يلي:

اولا : جهاز رادار الليزر

تعرف أجهزة رادار الليزر باسم "ليدار *LADAR*" ، وهي الحروف الأولى من عبارة *Laser Detection and Ranging* ، وتعني "الكشف وقياس المدى بواسطة الليزر". وهذا النوع من الرادار يتميز بدقته العالية في كشف ومتابعة وتعيين الأهداف. وهنا تستخدم أشعة الليزر في الإرسال، بدلاً من الأشعة الرادارية، ويكون جهاز الاستقبال كهروضوئياً بدلاً من المستقبل الإلكتروني التقليدي في الرادار.

ويستخدم جهاز الليدار في قياس المدى من القواعد الأرضية أو من السفن أو من الطائرات والمركبات الفضائية. ويستخدم أيضاً في الاستشعار عن بعد، إذ تتم دراسة مكونات الغلاف الجوي وقياس بعض المكونات الكيماوية فيه. ويتكون جهاز رادار الليدار بوجه عام من:

1. مرسل
2. أجهزة ضوئية للإرسال.
3. مستقبل يتكون من أجهزة ضوئية لتجميع الأشعة المنعكسة من الهدف، ثم مرشح *Filter* ليقلل من تداخل الموجات الضوئية.

ثانيا :قياس المسافة

تعتمد نظرية تشغيل جهاز قياس المسافة بالليزر على إطلاق نبضة ليزر لكي تصل إلى هدف مرئي ضوئياً، فتنعكس منه هذه النبضة إلى جهاز الاستقبال، وتقوم دوائر خاصة بحساب الزمن من لحظة الإطلاق حتى عودة النبضة، وبالتالي حساب مسافة الهدف، إذ أن سرعة انتشار الموجات الضوئية معلومة. وعلى هذا الأساس فإن الجهاز يتكون من:

1-تليسكوب للتصويب، حتى يتمكن المستخدم من تحديد الهدف المراد تقدير مسافته.
2-المرسل، وبه مصدر الليزر، وغالباً ما يستخدم الياج في الأغراض العسكرية.
3- المستقبل، وبه الكاشف *Detector*.

المحاضره التاسعة
استخدامات الليزر

وتدخل معدات قياس المسافة بالطبع في أغلب النظم الميدانية، ابتداء من الجندي الذي يحمل معدة مدمجة في نظارة الميدان لقياس مسافة الهدف بدقة كبيرة، إلى نظم إدارة النيران لأطقم المدفعية، ونظم إدارة النيران للدبابات. وتكون الأخيرة بالطبع مرتبطة ومدمجة ضمن حاسب إدارة النيران.

وجدير بالذكر أن ليزر ثاني أكسيد الكربون له دور فعال في نظم تقدير المسافة، وإدارة نيران المدرعات، فقد بدأ إنتاج مقدرات مسافة بالليزر تستخدم ليزر ثاني أكسيد الكربون، بدلاً من ليزر "الياج"، لاستخدامه متكاملاً مع أجهزة الرؤية الليلية الحرارية، مما يسمح باستخدام الكاشف الحراري للرؤية الليلية والتصويب نفسه، وبالتالي فإن ذلك يقلل من تكلفة المعدة العسكرية المتكاملة. وتجري الدراسة الآن لاستخدام هذا الأسلوب مع قاذف الصاروخ المضاد للدبابات "تو*TOW*" ، والدبابة الكورية طراز *XK-1*.

ويتميز ليزر ثاني أكسيد الكربون بأن درجة نفاذيته خلال السحب والدخان أفضل منها في الأنواع الأخرى، مثل الياج أو الياقوت. ويرجع ذلك إلى أن تأثير ذرات الغبار والدخان يزيد عكسيا مع الطول الموجي، فكلما قل الطول الموجي كلما زادت درجة تشتت الشعاع. وحيث إن ليزر ثاني أكسيد الكربون طوله الموجي عالي نسبياً، فإنه لا يتأثر بالغبار والدخان، ولكن العامل المؤثر على انتشار موجات ليزر ثاني أكسيد الكربون هو نسبة بخار الماء في الهواء.

وقد تم تزويد أنظمة الأسلحة المضادة للدبابات، و أنظمة الصواريخ المضادة للطائرات من طراز "رولاند *ROLAND*" ، بجهاز قاس المسافة بالليزر الذي يستخدم غاز ثاني أكسيد الكربون عند الطول الموجي 10.6 ميكرون. وتم دمج هذا الجهاز الليزري مع جهاز تصوير حراري يعمل في الطول الموجي 8-12 ميكرون.

و أنتجت كندا جهاز التصويب الليزري طراز *CLASS* ، الذي يستخدم مع أسلحة الضرب المباشر، مثل القاذف "كارل جوستاف" عيار 84 مم، والقواذف عديمة الارتداد عيار 106 مم. ويتكون الجهاز من مقدر مسافة ليزري، غير ضار بالعين لمدى حتى 4000متر، ونظام تكثيف للصورة من الجيل الثالث، وحاسب ذي قدرة على الاحتفاظ ببيانات عشرة أنواع من الذخيرة.

التطبيقات التجارية

يستخدم الليزر في مجال التسويق من خلال استخدام اقلام ليزرية تقوم بمسح المنتوجات والتعرف على شفرة الانتاج المثبتة عليها وهي تقنية سريعة ودقيقة في عمليات العد والتصنيف كما يستخدم ليزر أشباه الموصلات الأحمر في الطابعات الليزرية حيث يوفر الدقة والتركيز العاليين .

كما أن الأقراص المدمجة (*CD*) (*Compact Discs*) هي أيضا تعتمد على الليزر في عملها حيث يستخدم ليزر *He-Ne* أو ليزر أشباه الموصلات الأحمر في عملية الكتابة والقراءة لهذه الأقراص.

المحاضره العاشرة

سادسا : الاتصالات البصرية *Optical Communications*

من الممكن استخدام التضمين ***Modulation*** لشعاع الليزر لغرض حمل الإشارات الكهرومغناطيسية ونقلها من نقطة إلى نقطة أونقاط أخرى بسرعة عالية ودقة متناهية حيث يبلغ النطاق الترددي لحزمة الليزر حوالي 10^{14} اما في حالة الاشارات الصوتية فان هذا الرقم يزداد اكثروعليه فان قابلية اشعاع الليزر على نقل المعلومات اعلى بكثير جدا من الموجات الدقيقة أو الموجات الراديوية.

تتألف منظومة الاتصالات البصرية بشكل أساسي من ثلاثة أجزاء هي المصدر الضوئي(الليزر)والوسط الناقل(الجو أو الألياف البصرية)والكاشف الضوئي

وتتميز الاتصالات البصرية بما يلي:

1. سعة كبيرة لحمل الإشارات
2. خسائر قليلة
3. عدم التداخل فيما بين الإشارات
4. التوصيلات البينية تكون ذات سرعة عالية
5. إن خطوط النقل تكون متوازية

من أمثلة الاتصالات البصرية الحديثة هي:

1. شبكات الهاتف المتقدمة(الشبكات الضوئية)
2. الشبكة العالمية للمعلومات *(Internet)* والبريد الإلكتروني*(Email)*
3. مراكز الخدمة الهاتفية المركزة لمنظومات الهواتف النقالة*(Mobiles)*
4. شبكات المساحة المحدودة *(LAN)* لتناقل البيانات

المحاضره العاشرة

سابعا : التصوير المجسّم *Holography*

هو تشكيل خيال ثلاثي الأبعاد من صورة واحدة منفردة من دون استخدام عدسات للرؤية. والصورة الثلاثية الأبعاد صورة مجسمة ***hologram*** سجلت عليها أشكال لا يمكن إدراكها على هيئة شرائط وحلقات متناوبة بيضاء وسوداء لها طول وعرض. فإذا أضيئت هذه الأشكال بضوء ليزري وحيد طول الموجة يظهر بعدها الثالث، أي العمق، واضحاً، ويبدو الخيال بأبعاده الثلاثية كما في حالة الجسم الأصلي المصور.

إن الخيال في الصورة الفوتوغرافية العادية ينتج فقط عن تغيرات شدة الضوء المنعكس عن الجسم المصور، أما التصوير الثلاثي الأبعاد فإنه يسجل إضافة إلى ذلك أطوار الأمواج المنعكسة، أو يسجل تراكب مقدمات الأمواج المنعكسة، التي تكون بأطوار مختلفة بعضها عن بعض. ولما كان الضوء الطبيعي يتألف من أمواج متعددة الأطوار، وهي أمواج ألوان الطيف، كانت أطوار الأمواج المنعكسة عن الجسم المصوروالناتجة عن حزمة ضوئية طبيعية تكون عشوائية تماماً.

ويعد دينس غابور *Dennis Gabor* صاحب فكرة التصوير المجسم، وقد حصل على جائزة نوبل في الفيزياء عن هذا الاختراع عام 1971.

وجد غابور أن بالإمكان الاستفادة من القدرة العالية للمجهر الإلكتروني باستخدام حزمة من الإلكترونات لإنجاز صورة مجسمة لجسم ما، ثم فحص تلك الصورة المجسمة باستخدام أشعة من ضوء وحيد التواتريمكن الحصول عليه بإسقاط شعاع ضوئي عبر ثقب صغير جداً. ولكن هذه التقنية كانت تؤدي إلى إنقاص شدة الضوء إلى درجة لا تكفي للتصوير المجسم. ولذلك تولدت لديه قناعة لسنوات طويلة، بأن هذا الموضوع له أهمية نظرية فقط، لكن انتشار أشعة الليزر في أواخر الستينات غيّر الوضع فجأة وأصبح بالإمكان تطبيق نظرية غابور عملياً.

فعندما يُنظر إلى جسم ما بالعين المجردة تُدرك على الفور أبعاده الثلاثة. وهناك أسباب ثلاثة للشعور بالعمق. منها تحريك الرأس حول الجسم الذي يُنظر إليه وتغيرات وضع الخيال في الدماغ. أما أهم هذه الأسباب فهو أن كل عين تنظر إلى الجسم بزاوية رؤية مختلفة عن العين الأخرى. ومن ثم سيتكون في كل عين خيال يختلف قليلاً عن الخيال المتشكل في العين الثانية، أي إن المسار الضوئي لأشعة كل خيال يختلف قليلاً عن المسار الضوئي للآخر، وينطبق هذان الخيالان على الشبكية، ويتولى الدماغ دمجهما معاً فيحدث الشعور بالبعد الثالث.

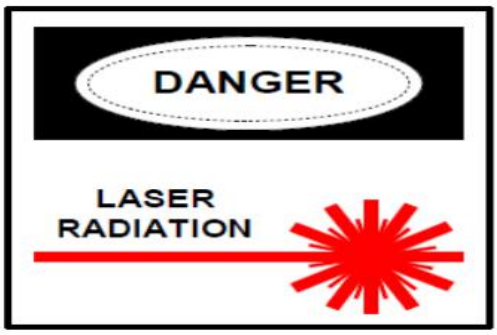
الشعور بالبعد الثالث.

ولتحقيق الرؤية المجسمة الاصطناعية بين صورتين، لابد من إعادة تركيب الخيالين المصورين *M1*، *M2* وصنع ما يسمى اللوحة المصورة الثلاثية الأبعاد، بحيث ينطبق الخيالان أحدهما على الآخر، وتكون العينان مكان مركزي التصوير *O1*، *O2* ونضع الصورتين متطابقتين كما في حالة التصوير الأصلية، وفي حالات خاصة يمكن تحقيق الرؤية المجسمة بالنظر بالمحاور العينية المتلاقية أو بالنظر بالمحاور المتوازية.

المحاضره العاشرة

السلامة المهنية والأمان في مختبرات الليزر

العلامة المبينة أدناه تعني أن المكان فيه جهازليزرلذلك يجب أخذ الاحتياطات اللازمة لغرض السلامة المهنية والأمان عند العمل في هذا المكان.



تنقسم مصادر الخطر في مختبرات الليزر إلى ما يلي:

اولا : مخا طر الإشعاع *(Radiation Hazards)*:

أ. تأثير الإشعاع على العين في جميع الليزرات تسبب تلف القرنية أو تلف الشبكية مما قد يحدث عمى دائمي. كما أن الأطوال الموجية الأقصر هي الأكثر ضررا.

ب. تأثير الإشعاع على الجلد وخاصة ليزرات *CO2* و *Nd:YAG* و *KrF* أما الليزرات المرئية *(Visible)* فيكون تأثيرها أقل إذا كانت قدرتها قليلة مثل ليزر *He-Ne* وليزر أشباه الموصلات التجاري.

Activa

ثانيا : مخاطر القدرة الكهربائية: *(Electrical Power Hazards)*

وتتمثل بما يلي :

أ. تأثير القدرة الكهربائية العالية من مجهز القدرة*(Power Supply)*

ب. الصعقة الكهربائية من نقاط التوصيلات والكيبلات

ثالثا : مخاطر الانفجار: *(Explosion Hazards)*

أ. انفجار المصابيح الوميضية في ليزرات الحالة الصلبة أو السائلة

ب. المتسعات الكهربائية في مجهزات القدرة الكهربائية عموما

ج. المحاليل الكيمياوية في ليزرات الحالة السائلة أو الليزرات الكيمياوية

المحاضره العاشرة

رابعا : مخاطر التسمم: (Poisoning Hazards)

أ. المواد المذابة أو المذيبة في ليزرات الحالة السائلة ليزر R6G وليزر(RB.

ب. ا لأبخرة الناتجة في الليزرات الكيمياوية)ليزر HF وليزر) DF وليزرات بخار المعدن)ليزر بخار النحاس وليزر بخار الرصاص(وخاصة غاز أول أوكسيد الكاربون السام.

ج. ا ستخدام النتروجين السائل. (Liquid Nitrogen)