الفصل الثاني

الميزر والليزر

الميزر : MASER : كلمة مأخوذة من عبارة Microwave Amplification By Stimulated Emission Of Radiation أي تضخيم الموجات المايكروية بواسطة الانبعاث المحفز للإشعاع .

في البداية،تمكن العالم تاونس وطلابه من الحصول على الميزر خلال عام 1954 حيث لاحظ ان جزيئات الامونيا تمتص اشعة ذات طول موجة 1.25 سم ولتطبيق فكرة الانبعاث المحفزبين اثنين من مستوياتها ولغرض تكبير الموجة واحراز التأهيل العكسي قام بفصل جزيئات الامونيا 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.

وبظهور ميزر الامونيا طرحت طرق اخرى كثيرة بهدف الحصول على التأهيل العكسي تختلف عن طريقة فصل الجزيئات ومن هذه الطرق الضخ البصري وبينما كانت تقنية الميزر في طريقها الى الرسوخ كانت الرغبة شديدة لتوسيع نطاق تطبيق تقنية الانبعاث المحفز ليشمل طيف الاشعة تحت الحمراء والاشعة المرئية وبالتالي الحصول على ما يسمى بالميزر البصري والذي يحتاج تصنيعه اجراء تحويرات مهمة والتغلب على الكثير من الصعوبات والمشاكل ومنها :

1- تكون الفروق في مستويات الطاقة اللازمةلتوليد اشعة مرئية كبيرة مقارنة بالمقدار KTفي درجة حرارة الغرفة بينما تكون فروق الطاقة في حالة الميزر صغيرة مقارنة بالمقدار KT ذلك يؤدي الى ضرورة البحث عن اساليب اخرى لتأهيل المستوى المتهيج للطاقة والمطلوب تحفيزه وبالتالي يكون معدل ضخ الطاقة لجهاز الليزر اعلى بكثير مما عليه في الميزر.

2- في نطاق الاشعة المرئية يكون الانبعاث التلقائي A هو المهيمن على عملية الانبعاث المُحفز B وذلك لوجود العامل ν^3 في المعادلة ادناه والمطلوب في حالة الليزر تقليص الانبعاث التلقائي والعمل على تقوية الانبعاث المحفز.

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

3- سهولة تصميم المرنان في حالة الميزر بحيث يناسب طول الموجة المايكروية (حوالي 1.25 سم) وتسمح فقط باحتواء صيغة تذبذب واحدة . اما في حالة التطبيق في نطاق الطيف المرئي يكون طول الموجة صغير جدا (متوسط طول الموجة حوالي 0.00005 سم) وبالتالي فان اي تصميم يمكن تحقيقه عمليا سيسمح بتواجد عدد كبير من صيغ التذبذب تقع ضمن النطاق الترددي وتلك الصيغ تضعف عمل الليزر وتؤثر على استقراريته.

4- في مدى الموجات المايكروية ولعملية الانبعاث المحفز يمكن يمكن انجاز الضخ البصري باستخدام اشعة صادرة من مولدات اشارة يمكن موالفة ترددها مع التردد المطلوب بينما لم تكن تتوفر وقتها مصادر ضوئية تعمل بنفس الطريقة وبقدرة عالية قبل ظهور مصادر الليزر ذاتها .

لقد كان واضحا لدى العالمان تاونس وشافلوف بان الشرط الضروري لنجاح الميزر البصري هو توجيه معظم طاقة الاشعاع المرئي الى عدد قليل جدا من صيغ التذبذب. لهذا اقترحا بان تحول جميع صيغ التذبذب داخل التجويف عدا القليل منها الى صيغ مبددة

للطاقة لكي نحجب التذبذبات المر افقة لها . ولقد ادى هذا الاستنتاج الى فكرة استخدام مقياس التداخل للباحثين فابري- بيرو ليعمل كمرنان الذي هو عبارة عن تركيب نصف مفتوح بمر آتين متعاكستين متقابلتين يوضع الوسط الفعال بينهما وهو يمثل الان التصميم القياسي لمرنان اجهزة الليزر.

وقد شيد الأمريكي ثيودور مايمان أول ليزر في عام 1960م في مختبرات بحوث هيوز في الولايات المتحدة الامريكية والذي اعتمد في انجازه على ما نشره تاونس وبعد عدة ايام فقط . حيث استخدم مايمان الياقوت الوردي كوسط فعال لاول ميزر بصري (سمي فيما بعد بالليزر) بخطة ضخ تتضمن ثلاث مستويات لتوليد التأهيل العكسي مستخدما مصباح ومضي من الزينون للتشعيع . بعد ذلك في عام 1960 تم الحصول على الليزر بخطة ضخ من اربع مستويات ويعتبر ايضا من ليزرات الحالة الصلبة . ثم اعلن جافال ومجموعة بحثه على نجاح تشغيل ليزر حالة الغاز (ليزر هيليوم –نيون) بطرقة الضخ الكهربائي حيث يكون الليزر الناتج منه ثابت الشدة (مستمر) وليس نبضي كما هو الحال في ليزر الياقوت .

اما تقنية ليزر شبه الموصل فبدأت في عام 1962 حيث تتم عملية الاثارة في مادة شبه الموصل باستخدام مجال كهربائي بحيث يمكن الحصول على الليزر من الملتقى (منطقة التقاء سطحي البلورتين n و p) . بينما تم اكتشاف ليزر الحالة السائلة والليزر الكيماوي في او ائل عام 1963 .

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 .

التأهيل العكسي وشرط العتبة

ان الربح ومعامل الكسب في عملية الانبعاث المحفز يعتبر مقدار صغيرا لذا يستوجب تقليص كافة مسببات الخسارة في جهاز الليزر ومنها الخسارة الناتجة من امتصاص مرايا المرنان ولتقليصها تستخدم طلاءات عازلة ذي قدرة انعكاس عالية لأكساء المرايا وبطبقات عديدة بدلا من الطلاء المعدني ، ان هذه الطبقات المتعاقبة ذات سمك $\frac{\lambda}{4}$ ومعاملات انكسار متعاقبة (عالي ثم واطيء) ترسب بالتعاقب على مادة الاساس الزجاجية وبسبب الاختلاف في الطور والذي يحدث عند موضع تلامس اي طبقتين تكون جميع الاشعة المنعكسة بطور واحد وتتداخل بشكل بناء. تستخدم عادة اكثر من عشرين طبقة للحصول على انعكاسية تقرب من 99.9%

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 .

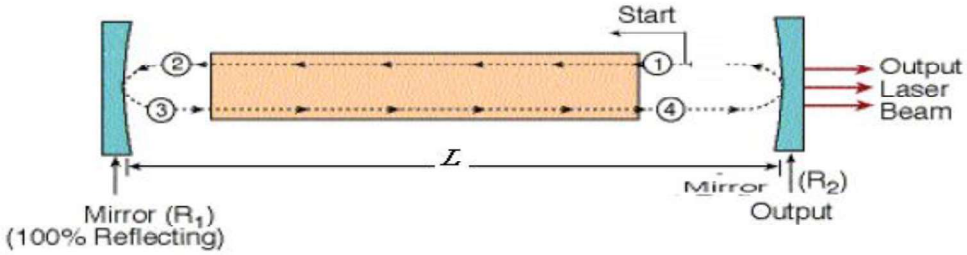
ان جميع انواع الخسائر عدا خسائر النفوذ في المرايا يشار لها بالمقدار γ ، بالتالي سيتقلص معامل الكسب G الى $(G-\gamma)$ ولحساب الربح عند العتبة سنحسب مقدار التغير في شدة الاشعاع نتيجة رحلة واحدة له داخل المرنان ، وعلى افتراض ان الوسط يملىء الفسحة بين المرآتين M_1 ، M_2 واللتين لهما قدرة انعكاسية R_1 ،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

$$I = I_0\, e^{(G-\gamma)l}$$

وان هذه الشدة بعد انعكاسها عن المرآة M_1 ستصبح $I = R_1 I_0\, e^{(G-\gamma)l}$

وبعد رحلة كاملة تصبح الشدة $I = R_1 R_2 I_0\, e^{2l(G-\gamma)}$

لذلك فان مقدار الربح Γ وبعد رحلة كاملة يعبر عنه $\Gamma = \frac{I}{I_0} = R_1 R_2\, e^{2l(G-\gamma)}$



شكل (2-1)

فاذا كان الربح اكبر من واحد عند التردد المطلوب فان التضخيم ينمو وكذلك التذبذب . اما في حالة كون الربح اقل من واحد فان التذبذب يتلاشى لذا يمكن كتابة شرط العتبة على النحو التالي :

$$R_1 R_2 \, e^{2l(G_{th}-\gamma)} = 1$$

حيث تمثل G_{th} معامل كسب العتبة ويساوي

$$G_{th} = \gamma + \frac{1}{2l} \, ln \, (\frac{1}{R_1 R_2})$$

يمثل الحد الاول من المعادلة اعلاه الخسارة في الوسط الفعال (خسارة الحجم) ويمثل الحد الثاني الخسارة في تصميم المرنان $(R_1 R_2, l)$ وهذه الخسارة تتضمن التسرب النافع لنتاج الليزر.

ولجهاز ليزر يعمل بموجة مستمرة cw فان قيمة معامل الكسب عند العتبة G_{th} تساوي القيمة نفسها في حالة الاستقرار وغالبا ما يطلق عليها بمعامل كسب الاشباع G_s ولهذه الحالات يكون الربح مساويا الى مجموع الخسارة في جهاز الليزر.

ان الخسارة بدلالة التأهيل العكسي يمكن التعبير عنه بالمقدار N وكالاتي

$$N = \frac{G}{\sigma} = \left(N_2 - \frac{g_2}{g_1} \, N_1 \right)$$

$$W = B \, \rho_v = B\rho \;\; g(\Delta v)$$

$$I = \frac{\rho c}{n}$$

$$F = \frac{I}{\hbar \omega} = \frac{\frac{\rho c}{n}}{\frac{h}{2\pi} \, 2\pi v} = \frac{\rho c}{nhv}$$

$$\sigma = \frac{W}{F} = \frac{B \, \rho \, g(\Delta v)}{\frac{\rho c}{nhv}} = \frac{Bn \, hv \, g(\Delta v)}{c} = \frac{Bn \, hv \, g(\Delta v)}{c}$$

$$N = \frac{G}{\sigma} = \frac{G}{\frac{Bn \, hv \, g(\Delta v)}{c}} = \frac{Gc}{Bn \, hv \, g(\Delta v)}$$

عند العتبة يكون للتأهيل العكسي قيمة حرجة اي ان :

$$N_c = \frac{G}{\sigma} = \left(N_2 - \frac{g_2}{g_1} \, N_1 \right)_c = \frac{G_{th} \, c}{Bn \, hv \, g(\Delta v)}$$

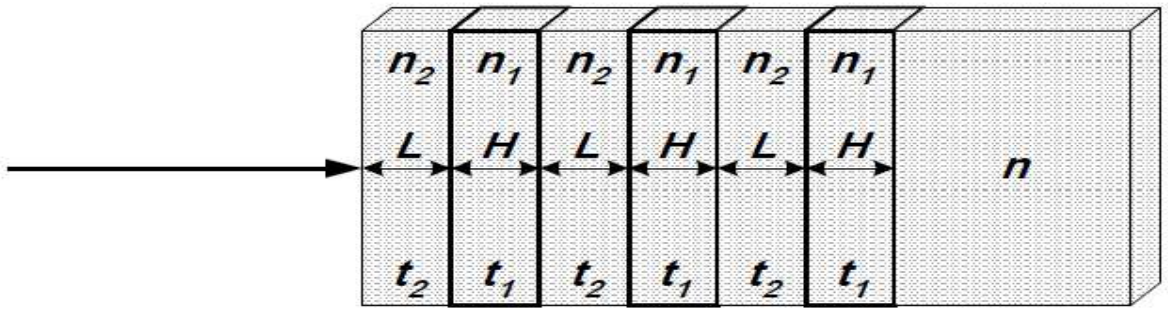
انعكاسية مرايا المرنان

يعتبر عامل الكسب والكسب في عملية الانبعاث المحفز مقدارًا صغيرًا ، لذلك من الضروري تقليل جميع أسباب الخسارة في جهاز الليزر ، بما في ذلك الخسارة الناتجة عن امتصاص مرايا الرنان.

لتقليل ذلك ، يتم استخدام الطلاءات العازلة للكهرباء ذات الانعكاسية العالية لتغليف المرايا بالعديد من الطبقات بدلاً من الطلاء المعدني ، نظرًا لأن الطلاءات العازلة للكهرباء لا تمتص الضوء ، فإن 100٪ من الضوء الساقط يصبح عاكسًا دون أي خسارة.

هذه الطبقات المتعاقبة لها سمك (t) معين مقداره ربع الطول الموجي لحزمة الليزر الناتجة $\lambda/4$ وتمتلك تلك الطبقات معاملات انكسار متعاقبة (عالية ثم منخفضة كما هو موضح في الشكل (2-2)) تترسب على التوالي على الركيزة الزجاجية.

بسبب الاختلاف في الطور الذي يحدث عند نقطة تلامس أي طبقتين ، تكون جميع الأشعة المنعكسة في طور واحد وتتداخل بشكل بناء. عادةً ما يتم استخدام أكثر من عشرين طبقة للحصول على انعكاس بنسبة 99.9٪ تقريبًا.



الشكل (2-2)

يتم حساب انعكاسية المرآة متعددة الطبقات على النحو التالي:

$$R = \frac{n_2^{k+1} - n\, n_1^{k-1}}{n_2^{k+1} - n\, n_1^{k+1}}$$

Where n : The refractive index of the base material

n_1 : High dielectric layer refractive index

n_2 : Low dielectric layer refractive index

K : number of layers

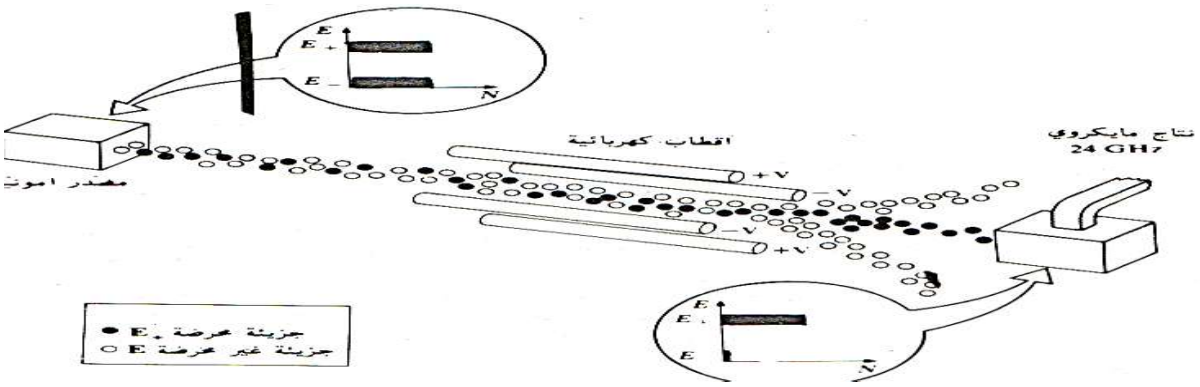
بينما تعتمد انعكاسية المرآة المعدنية على كثافة المعدن ρ (غم / سم 3) والطول الموجي (بالميكرومتر) لليزر المستخدم على النحو التالي:

$$R = 100 - 3.65\sqrt{\frac{\rho}{\lambda}}$$

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 عندها تأهيل المستوى الاعلى للانتقال مع تأهيل المستوى الأسفل كما في الشكل (2-2) .



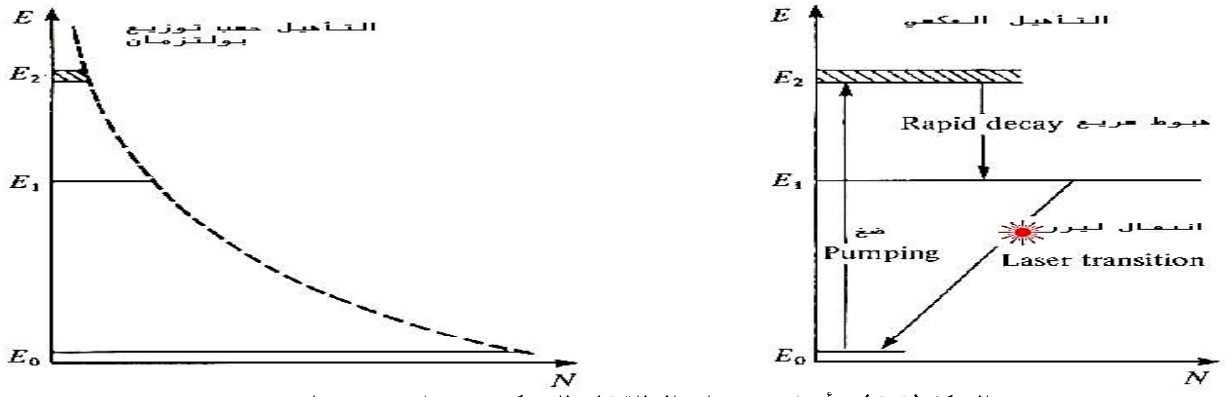
شكل 2-2

وبناء على ما تقدم لا يمكن انتاج ليزر الا با ستخدام ثلاث او اربع مستويات للطاقة وعندها يسمى بليزر الثلاث مستويات او ليزر الاربع 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

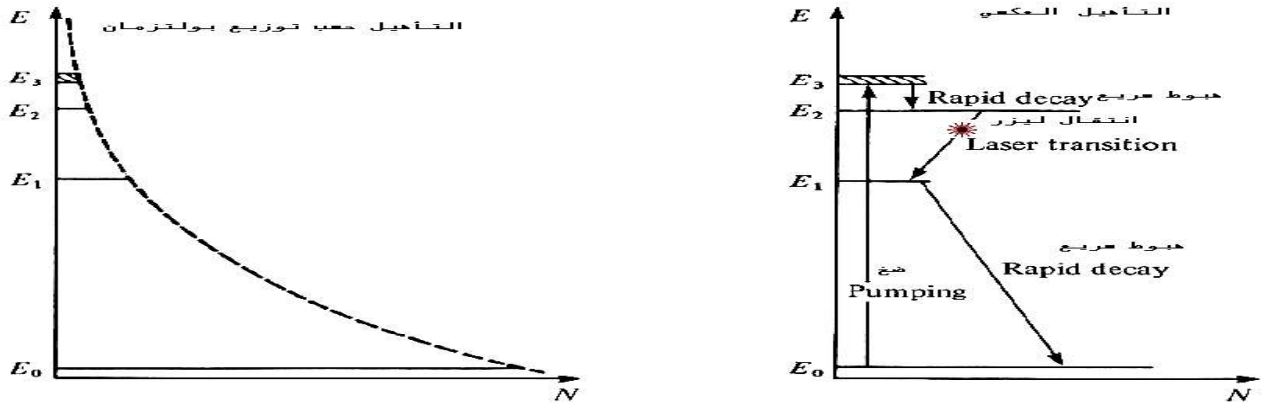
المستوى الارضي E_0 وعبر المستوى E_2 (حدوث تأهيل عكسي) ويتولد اشعاع الليزر المطلوب عند الانتقال من المستوى E_1 الى المستوى الارضي E_0 كما في الشكل(2-3) . ومن امثلته ليزر الياقوت .



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 و المستوى 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) : نأهيل مستويات الطاقة لنظام مكون من اربع مستويات

س/ لماذا نستخدم خطة اربعة مستويات ما دامت لدينا خطة بثلاث مستويات قادرة على تحقيق التأهيل العكسي و انتاج الليزر؟

ج/ان التأهيل العكسي في خطة اربعة مستويات اسهل من خطة بثلاث مستويات اذ تكون قدرة الضخ في الاربع مستويات اقل بسبب ان جميع الذرات تقريبا (N_t) تكون في الحالة الأرضية قبل الضخ حسب توزيع بولتزمان فعند استخدام خطة ضخ من ثلاث مستويات نبدأ برفع الذرات من المستوى الأرضي E_0 الى المستوى E_2 بعدها تهبط بسرعة الى المستوى E_1 لذا يبقى المستوى E_2 فارغ تقريبا وبالتالي يتحتم علينا رفع $½ N_t$ الى المستوى E_1 عبر المستوى E_2 لكي نساوي اولا تأهيله مع المستوى الارضي E_0 بعد هذا يكون وصول اي ذرة اضافية الى المستوى $E2$ اشارة الى تحقيق التأهيل العكسي . بينما عند استخدام خطة ضخ ذي اربع مستويات وما

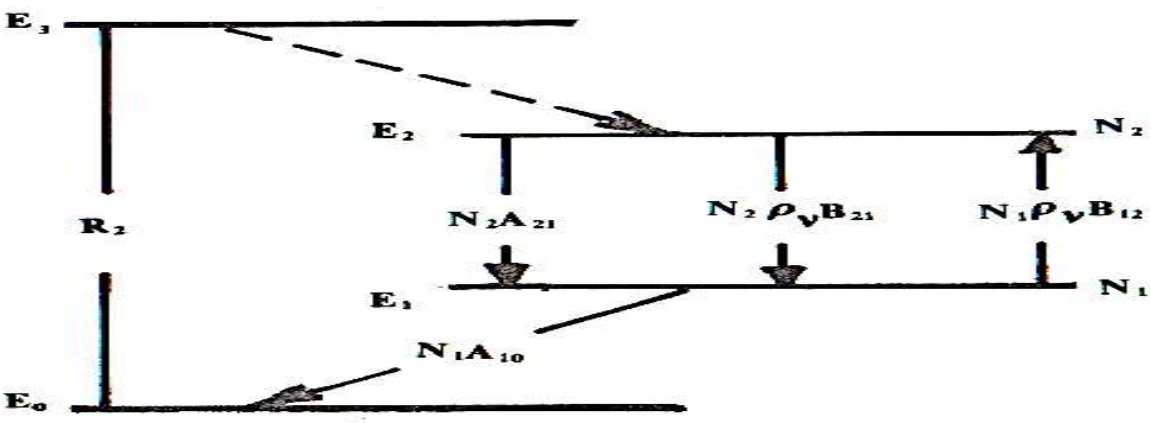
دام المستوى E_1 فارغا في البداية فان اي ذرة تصعد الى المستوى E_2 عن طريق المستوى E_3 ستحقق تأهيلا عكسيا . وبناء على ما تقدم فمن الانسب اختيار الوسط الذي يعمل بمنظومة ضخ ذي اربع مستويات وهذا هو سبب استخدامها بكثرة .

قدرة الضخ

لحساب قدرة الضخ اللازمة للوصول الى العتبة يجب حل المعادلات التي تعبر عن معدلات التغير في تأهيل مستويات الطاقة لوسط الليزر بدلالة عمليات الأمتصاص والأنبعاث ومعدل الضخ . لهذا سنستعين بمخطط ليزر ذي اربعة مستويات كما في الشكل (2-5) مع فرض ان طاقة المستوي E_1 اصغر بكثير من kT لذا فان تأهيل المستوي نتيجة سخونة الوسط بدرجة حرارة T يهمل كذلك نفرض ان الضخ انتقائي ويحدث فقط للمستوي E_3 وبمعدل R_2 لذا يكون معدل التغير في تأهيل المستويين الاول والثاني والذي يحدث بينهما الانتقال الليزري على النحو الاتي :

$$\frac{dN_2}{dt} = R_2 - N_2\ A_{21} + N_1\ \rho_v\ B_{12} - N_2\ \rho_v\ B_{21}$$

$$\frac{dN_1}{dt} = N_2\ A_{21} + N_2\ \rho_v\ B_{21} - N_1\ \rho_v\ B_{12} - N_1\ A_{10}$$



الشكل(2-5) :الانتقالات الواردة لنظام مكون من اربع مستويات

فأذا تم الضخ بمعدل ثابت فان معدلات التغير اعلاه تساوي صفر اي ان "

$$\frac{dN_1}{dt} = \frac{dN_2}{dt} = 0$$

وبجمع المعادلتين ينتج :

$$\frac{dN_2}{dt} = 0 = R_2 - N_2\ A_{21} + N_1\ \rho_v\ B_{12} - N_2\ \rho_v\ B_{21}$$

$$\frac{dN_1}{dt} = 0 = N_2\ A_{21} + N_2\ \rho_v\ B_{21} - N_1\ \rho_v\ B_{12} - N_1\ A_{10}$$

بالجمع

$$0 = R_2 - N_1\ A_{10}$$

$$N_1 = \frac{R_2}{A_{10}}$$

$$\frac{dN_2}{dt} = 0 = R_2 - N_2\ A_{21} + N_1\ \rho_v\ B_{12} - N_2\ \rho_v\ B_{21}$$

$$N_2\ (\rho_v\ B_{21} +\ A_{21}) = R_2 + N_1\ \rho_v\ B_{12}$$

$$N_2 = \frac{R_2 + N_1\ \rho_v\ B_{12}}{(\rho_v\ B_{21} +\ A_{21})}$$

وبالتعويض عن N_1 ينتج

$$N_2 = \frac{R_2 + \frac{R_2}{A_{10}}\ \rho_v\ B_{12}}{(\rho_v\ B_{21} +\ A_{21})} = \frac{R_2(1 + \frac{\rho_v\ B_{12}}{A_{10}}\ )}{(\rho_v\ B_{21} +\ A_{21})}$$

$$N_2 - N_1 = \frac{R_2\left(1 + \frac{\rho_v\ B_{12}}{A_{10}}\ \right)}{(\rho_v\ B_{21} +\ A_{21})} - \frac{R_2}{A_{10}}$$

$$= \frac{R_2\ A_{10}\left(1 + \frac{\rho_v\ B_{12}}{A_{10}}\ \right) - R_2(\rho_v\ B_{21} +\ A_{21})}{A_{10}(\rho_v\ B_{21} +\ A_{21})}$$

$$= \frac{R_2\ A_{10} + R_2\ \rho_v\ B_{12} - R_2\ \rho_v\ B_{21} - R_2\ A_{21}}{A_{10}(\rho_v\ B_{21} +\ A_{21})} = \frac{R_2\ (A_{10} - A_{21})}{A_{10}(\rho_v\ B_{21} +\ A_{21})}$$

$$\therefore \quad N_2 - N_1 = R_2\left[\frac{(1 - \frac{A_{21}}{A_{10}})}{(\rho_v\ B_{21} +\ A_{21})}\right]$$

حيث ان $A_{21}=\frac{1}{\tau_2}$ و $A_{10}=\frac{1}{\tau_1}$

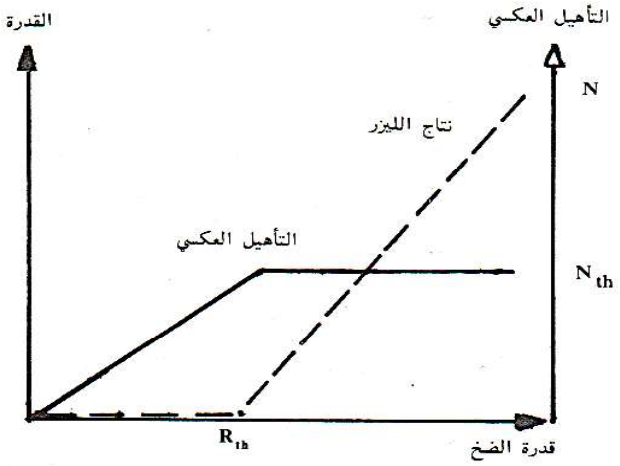
ولحدوث التأهيل العكسي يجب ان يكون A_{21} اصغر من A_{10} (كي لا تكون الاشارة سالبة بالبسط) وهذا الشرط يكافيء كون τ_2 اكبر من τ_1 اي ان المستوى الاعلى لانتقال الليزر يكون له متوسط زمن عمر اكبر من المستوى الأوطأ وفي معظم انواع الليزر يكون τ_2 اكبر من τ_1 اي ان المقدار $(1 - \frac{A_{21}}{A_{10}})$ يساوي تقريبا واحد ، وكذلك اذا كانت قدرة الضخ لا تكفي للوصول الى العتبة فان مقدار التأهيل العكسي الناتج لا يكفي لدعم التكبير في الوسط وفي هذه الحالة تهمل (ρ_v) لان طاقة الوسط تظهر على شكل انبعاث ذاتي اي ان :

$$\therefore \quad N_2 - N_1 = \frac{R_2}{A_{21}}$$

وعند العتبة تصبح

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

ان التأهيل العكسي ينمو بصورة طردية ومع زيادة قدرة الضخ حتى وصول العتبة عندها تحصل حالة الأشباع فلا يمكن زيادة التأهيل العكسي مهما ازدادت قدرة الضخ والشكل (2-6) يوضح العلاقة بين هذه المقادير وعلاقتها ايضا بقدرة نتاج الليزر.



الشكل (2-6)

ان الطاقة التي نحتاجها لضخ ذرة واحدة الى المستوى (2) تساوي E_3 ولرفع العدد N_{th} المتواجد في وحدة الحجم نحتاج الى قدرة P_{th} وتعطى :

$$P_{th} = \frac{E_3\, N_{th}}{\tau_2}$$

اذا ازدادت قدرة الضخ P عن مقدار P_{th} فان هذا يمكن ان يعمل على ازدياد مقدار $(\rho_v\ B_{21})$ لكن يبقى المقدار N_{th} ثابتا ومن المعادلة

$$N_{th} = N_2 - N_1 = R_2 \left[\frac{(1 - \frac{A_{21}}{A_{10}})}{(\rho_v\ B_{21} + A_{21})} \right]$$

وحيث ان $\frac{R_{th}}{A_{21}} = N_{th}$ وان $\frac{A_{21}}{A_{10}}$ يساوي تقريبا صفر

$$\frac{R_{th}}{A_{21}} = \frac{R_2}{(\rho_v\ B_{21} + A_{21})}$$

$$\rho_v = \frac{A_{21}}{B_{21}}\left(\frac{R_2}{R_{th}} - 1\right)$$

بينما قدرة انتاج الليزر W تعطى بالمعادلة

$$W = W_0\left(\frac{P}{P_{th}} - 1\right)$$

حيث W_0 مقدار ثابت

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 مصابيح 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- الكفاءةالاشعاعيةη_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

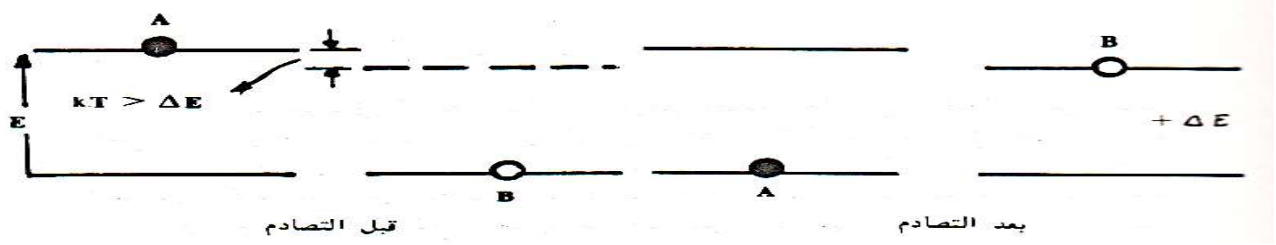
$$e + X = X^* + e$$

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

الأثارة في شبه الموصل

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.

مسائل الفصل الثاني

س1/ احسب قدرة الأنعكاسية لمرآتي المرنان واللازمة لدعم تذبذب الليزر في مرنان طوله ($0.098\,m$) وله معامل كسب صافي (1 m^{-1}) بأفتراض ان للمرآتين القدرة الأنعكاسية ذاتها ؟

$$G_{th} = \gamma + \frac{1}{2l}\, ln\left(\frac{1}{R_1 R_2}\right)$$

$$G_{th} - \gamma = 1 \quad and \;\; R_1 = R_2 = R$$

$$G_{th} - \gamma = \frac{1}{2l}\, ln\left(\frac{1}{R^2}\right)$$

$$1 = \frac{1}{2(0.098)}\, ln\left(\frac{1}{R^2}\right) \quad \therefore \;\; R^2 = e^{-0.2} \quad \therefore R = 0.905 = 90.5\%$$

س2/ في ليزر النديميوم ياك يكون زمن عمر المستوى الأعلى ($\tau_2 = 230\ \mu sec$) وطول موجته ($1.06\mu m$) ومعامل انكسار الوسط $n=1.82$ علما ان $\Delta v = 3 \times 10^{12}\ Hz$ احسب قيمة التأهيل العكسي للحصول على معامل كسب صافي ($1\ m^{-1}$)؟

$$N = \frac{Gc}{Bn\, h\nu\, g(\Delta v)}$$

$$g(\Delta v) = \frac{1}{\Delta v} \quad and \quad v = \frac{c}{\lambda} \quad and \;\; A = 1/\tau$$

$$\frac{A}{B} = \frac{8\,\pi\, h\, v^3}{c^3} = \frac{8\,\pi\, h}{\lambda^3} \quad \therefore B = \frac{\lambda^3}{8\,\pi\, h\ \tau} = \frac{(1.06 \times 10^{-6})^3}{8 \times 3.14 \times 6.625 \times 10^{-34} \times 230 \times 10^{-6}}$$

$$B = 3.1 \times 10^{17}\ m^3 W^{-1} s^{-3}$$

$$N = \frac{Gc}{Bn\, h\nu\, g(\Delta v)} = \frac{G\ \lambda\ \Delta v}{Bn\, h} = \frac{1 \times 1.06 \times 10^{-6} \times 3 \times 10^{12}}{3.1 \times 10^{17} \times 1.82 \times 6.625 \times 10^{-34}} = 8.5 \times 10^{21}\ m^{-3}$$

س3/ احسب قدرة الضخ عند العتبة لليزر نديميوم –ياك علما ان التأهيل العكسي الحرج $9 \times 10^{21}\ m^{-3}$ وان متوسط زمن عمر الانبعاث التلقائي $\tau_2 = 300\ \mu sec$ وان طاقة المستوى الأعلى لليزر هي ($1.6\,ev$)

$$P_{th} = \frac{E_3\, N_{th}}{\tau_2} = \frac{1.6 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 9 \times 10^{21}}{300 \times 10^{-6}} = 7.6 \times 10^{6}\ \text{w/m}^3$$

س4/ احسب التأهيل العكسي الحرج لليزر نديميوم –ياك ؟ علما ان قدرة الضخ عند العتبة 1 ميكا *(watt/m3)* وان متوسط زمن عمر الانبعاث التلقائي 100 *(μsec)* وان طاقة المستوى الأعلى لليزر هي 10 *(ev)* الجواب: 6.25×10^{19}

$$N_{th} = \frac{\tau_2\, P_{th}}{E_3} = \frac{100 \times 10^{-6} \times 1 \times 10^{6}}{10 \times 1.6 \times 10^{-19}} = 6.25 \times 10^{19}\ m^{-3}$$