



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 المحفز بين 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 المحرصة 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 تحويلات مهمة والتغلب على الكثير من الصعوبات والمشاكل ومنها :

- 1- تكون الفروق في مستويات الطاقة اللازمة لتوليد اشعة مرئية كبيرة مقارنة بالمقدار KT في 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 المحفز B وذلك لوجود العامل v^3 في المعادلة ادناه والمطلوب في حالة الليزر تقليل الانبعاث التلقائي والعمل على تقوية الانبعاث المحفز .

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

- 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 استقراره .

- 4- في مدى الموجات المايكروية ولعملية الانبعاث المحفز يمكن يمكن انجاز الضخ البصري باستخدام اشعة صادرة من مولدات اشارة يمكن موائفة 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 بمرأتين متعاكستين متقابلتين يوضع الوسط الفعال بينهما وهو يمثل الان التصميم القياسي لمرنان اجهزة الليزر.

وقد شيد الأمريكي ثيودور مايمان أول ليزر في عام 1960 م في مختبرات بحوث هيوز في الولايات المتحدة الامريكية والذي اعتمد في انجازه على ما نشره تاونس وبعد عدة ايام فقط . حيث استخدم مايمان الياقوت الوردى كوسط فعال لأول ميزربصري (سمي فيما بعد بالليزر) بخطة ضخ تتضمن ثلاث مستويات لتوليد التأهيل العكسي مستخدما مصباح ومضى 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) بطريقة 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 البلوريتين n و p) . بينما تم اكتشاف ليزر الحالة السائلة والليزر الكيماوي في اوائل 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 التشاكة . ويمكن تحقيقه باستخدام المرنان .

4- شرط العتبة :

وهو شرط مهم لعمل كل من الليزر والميزر ولا بد 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 ولتقليلها 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 معظمها واهمها :

- 1- النفوذ من مرايا المرنان حيث تصنع مرآتي المرنان بحيث تكون احدها ذات انعكاس كلي والاخرى ذات انعكاس جزئي وهي المرآة التي يخرج منها الليزر ، كذلك هناك خسائر اخرى في المرايا ناتجة من الامتصاص والتطير 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 الناجمة من التطير 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 يمليء الفسحة بين المرآتين M_1, M_2 وللتين 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

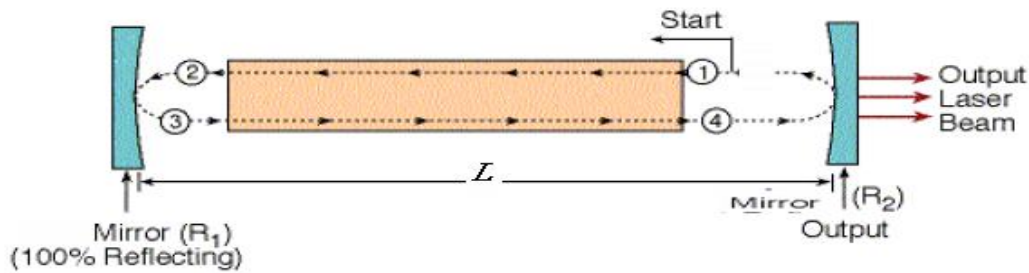
$$I = R_1 I_0 e^{(G-\gamma)l}$$

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 (1-2)



فإذا كان الريح اكبر من واحد عند التردد المطلوب فان التضخيم ينمو وكذلك التذبذب . اما في حالة كون الريح 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

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

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 الريح مساويا الى مجموع الخسارة في جهاز الليزر.

ان الخسارة بدلالة التأهيل العكسي يمكن التعبير عنه بالمقدار N وكالاتي

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

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

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

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

$$\sigma = \frac{W}{F} = \frac{B \rho g(\Delta v)}{\frac{\rho c}{n h \nu}} = \frac{B n h \nu g(\Delta v)}{c} = \frac{B n h \nu g(\Delta v)}{c}$$

$$N = \frac{G}{\sigma} = \frac{G}{\frac{B n h \nu g(\Delta v)}{c}} = \frac{G c}{B n h \nu g(\Delta v)}$$

عند العتبة يكون للتأهيل العكسي قيمة حرجة اي ان :

$$N_c = \frac{G}{\sigma} = \left(N_2 - \frac{g_2}{g_1} N_1 \right)_c = \frac{G_{th} c}{B n h \nu g(\Delta v)}$$



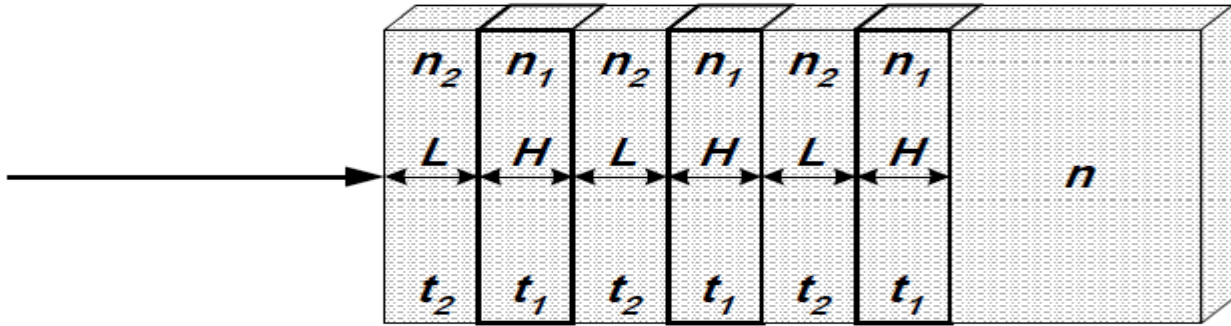
انعكاسية مرايا المرنان

يعتبر عامل الكسب والكسب في عملية الانبعاث المحفز مقداراً صغيراً ، 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 ، نظراً لأن الطلاءات العازلة للكهرباء لا تمتص الضوء ، فإن 100٪ من الضوء الساقط يصبح عاكساً 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٪ تقريباً.



الشكل (2-2)

يتم حساب انعكاسية المرآة متعددة الطبقات على النحو التالي:

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

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 / سم³) والطول الموجي (بالميكرومتر) لليزر المستخدم على النحو التالي:

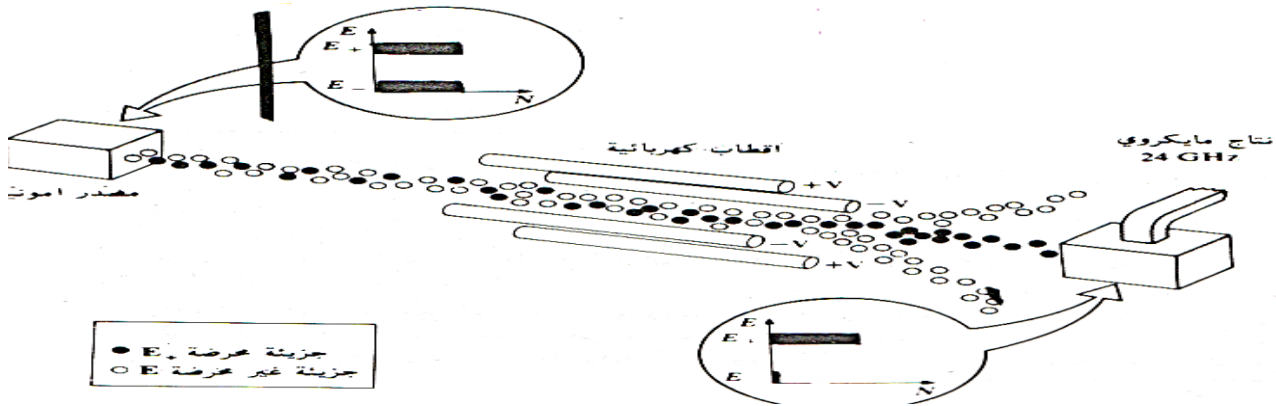
$$R = 100 - 3.65 \sqrt{\frac{\rho}{\lambda}}$$



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 الفيزيائي في بين حالي الجزيئة وبالتالي الاختلاف في استجابة جزيئات الامونيا ذات الطاقة العالية والمتواجدة في المستوى الاعلى بالحركة باتجاه معين عن تلك المتواجدة في المستوى الاوطأ 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 المحرزة 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

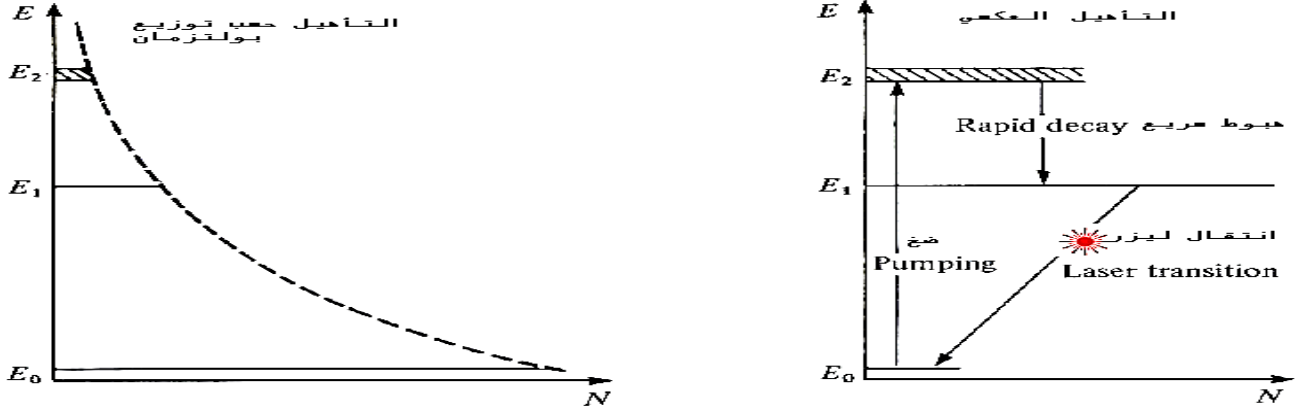
وبناء على ما تقدم لا يمكن انتاج ليزر الا باستخدام ثلاث اواربع مستويات للطاقة وعندها يسمى بليزر الثلاث مستويات او ليزر الاربع مستويات معتمدين بذلك على عدد المستويات لتنفيذ عملية الضخ وتحقيق التأهيل العكسي لمستويي الطاقة ذات العلاقة بالانبعاث المحفز.

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

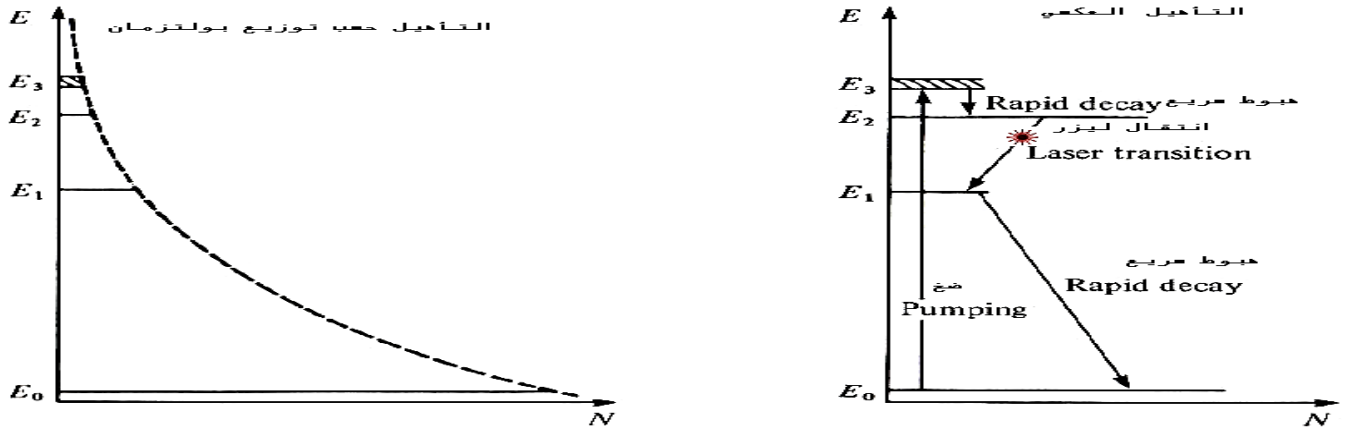


المستوى الأرضي E_0 وعبر المستوى E_2 (حدوث تأهيل عكسي) ويتولد اشعاع الليزر المطلوب عند الانتقال من المستوى E_1 إلى المستوى الأرضي E_0 كما في الشكل (3-2). ومن أمثلته ليزر الياقوت.



ثانيا - خطة ضخ ذو اربع مستويات

وفيها ترفع الذرات من المستوى الأرضي E_0 إلى المستوى E_3 والذي يجب ان يكون متوسط زمن عمره قصير جدا وبذلك سوف تهبط الذرات بسرعة إلى 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 إلى المستوى E_1 بعدها يحصل هبوط سريع من المستوى E_1 إلى المستوى الأرضي E_0 كما في الشكل (4-2). ومن أمثلته ليزر النديميوم - ياك.



س/ لماذا نستخدم خطة اربعة مستويات ما دامت لدينا خطة بثلاث مستويات قادرة على تحقيق التأهيل العكسي وانتاج الليزر؟
 ج/ ان التأهيل العكسي في خطة اربعة مستويات اسهل من خطة بثلاث مستويات اذ تكون قدرة الضخ في الاربعة 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 إلى المستوى E_2 بعدها تهبط بسرعة إلى المستوى E_1 لذا يبقى المستوى E_2 فارغ تقريبا وبالتالي يتحتم علينا رفع $\frac{1}{2} N_t$ إلى المستوى E_1 عبر المستوى E_2 لكي نساوي اولاً تأهيله مع المستوى الأرضي E_0 بعد هذا يكون وصول اي ذرة اضافية إلى المستوى E_2 إشارة إلى تحقيق التأهيل العكسي. بينما عند استخدام خطة ضخ ذي اربع مستويات وما



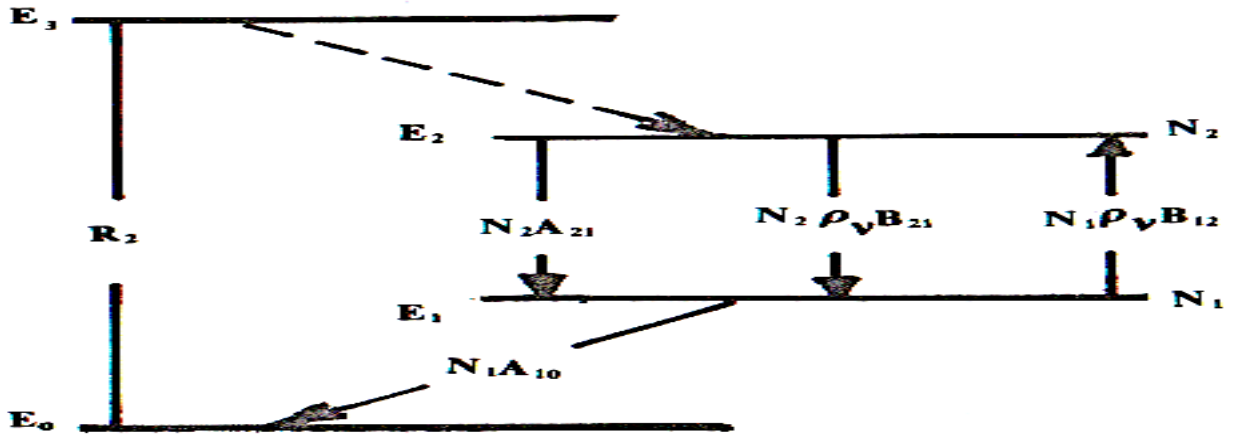
دام المستوى E_1 فارغا في البداية فان اي ذرة تصعد الى المستوى E_2 عن طريق المستوى E_3 ستحقق تأهيلا عكسيا . وبناء على ما تقدم فمن الانسب اختيار الوسط الذي يعمل بمنظومة ضخ ذي اربع مستويات وهذا هو سبب استخدامها بكثرة .

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 (5-2) مع فرض ان طاقة المستوى E_1 اصغر بكثير من kT لذا فان تأهيل المستوى نتيجة سخونة الوسط بدرجة حرارة T مهمل 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 (5-2): الانتقالات الواردة لنظام مكون من اربع مستويات

فإذا تم الضخ بمعدل ثابت فان معدلات التغير اعلاه تساوي صفراي 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

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

$$\begin{aligned} N_2 - N_1 &= \frac{R_2 (1 + \frac{\rho_v B_{12}}{A_{10}})}{(\rho_v B_{21} + A_{21})} - \frac{R_2}{A_{10}} \\ &= \frac{R_2 A_{10} (1 + \frac{\rho_v B_{12}}{A_{10}}) - R_2 (\rho_v B_{21} + A_{21})}{A_{10} (\rho_v B_{21} + A_{21})} \end{aligned}$$

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

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

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

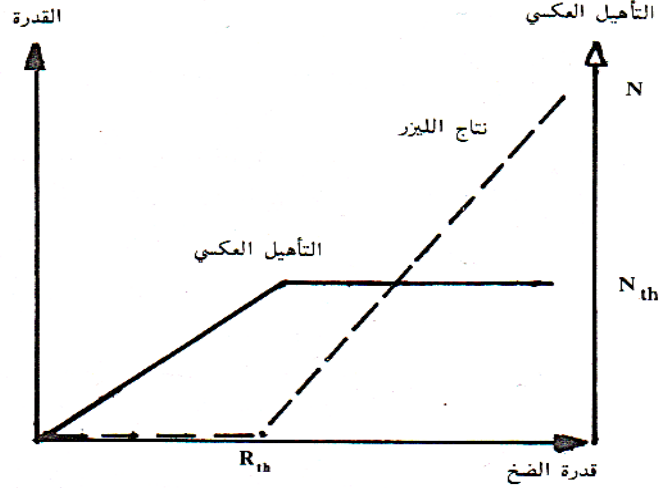
ولحدوث التآهيل العكسي يجب ان يكون A_{21} اصغر من A_{10} (كي لا تكون الاشارة سالبة بالبسط) وهذا الشرط يكافيء كون τ_2 اكبر من τ_1 اي ان المستوى الاعلى لانتقال الليزر يكون له متوسط زمن عمر اكبر من المستوى الأوطأ وفي معظم انواع الليزر يكون τ_2 اكبر من τ_1 اي ان المقدار $(1 - \frac{A_{21}}{A_{10}})$ يساوي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

$$\therefore N_2 - N_1 = \frac{R_2}{A_{21}} \quad \text{انبعاث ذاتي اي ان :}$$

$$N_{th} = N_2 - N_1 = \frac{R_{th}}{A_{21}} = R_{th} \tau_2 \quad \text{وعند العتبة تصبح}$$



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 (6-2) يوضح العلاقة بين هذه المقادير وعلاقتها ايضا بقدرة نتاج الليزر.



الشكل (6-2)

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 ارتفاع الذرات من المستوى الأرضي E_0 إلى المستوى E_2 في خطة ذي ثلاث مستويات أو إلى المستوى E_3 في خطة ذي أربعة مستويات- وتختلف ميكانيكية الضخ باختلاف طرقها وتعتمد على طبيعة المادة الفعالة. ومن أنواعها الضخ البصري والكهربائي والكيميائي.

أنواع طرق الضخ

أولاً - الضخ البصري

وفيه يتم استخدام مصدر ذو قدرة عالية لتحريض الوسط الفعال الذي تقوم ذراته أو أيوناته أو جزيئاته بامتصاص هذه الطاقة فتساعد على الانتقال إلى مستوى طاقة أعلى. وتستخدم هذه الطريقة في ليزر الحالة الصلبة (ليزر الياقوت أو النديميوم ياك) وأيضا في ليزر الحالة السائلة (ليزر الصبغة) والتي يكون فيها الانبعاث والامتصاص على شكل نطاق (تعريض) وليس خط.

وتستخدم لغرض الضخ بهذه الطريقة مصابيح خاصة للحصول مثلا على ليزر نبضي *pulsed laser* نستخدم مصابيح ومضية كمصباح زينون Xe أو كربتون Kr بضغط عالي يتراوح بين 450 و 1500 تور ($1 \text{ Tr} = 1 \text{ mm Hg} = 1/760 \text{ atm} = 133,3224 \text{ Pa}$) وللحصول على ليزر الموجة المستمرة نستخدم مصباح الكربتون بضغط عالي يتراوح بين 4000 و 8000 تور أو مصباح تنكستن -يود

وتعتمد كفاءة الضخ باستخدام مصباح ومضية على أربعة عوامل:

- 1- كفاءة النقل η_t : وتمثل نقل الطاقة من المصباح إلى المادة الفعالة وتعتمد على تصميم الجهاز البصري
 - 2- الكفاءة الإشعاعية η_r : وتمثل كفاءة تحويل الطاقة الكهربائية للمصباح إلى 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 الإشعاع وتعتمد على خواص الوسط
 - 4- الكفاءة الكمية η_q : حيث أن الذرات التي تصعد عن طريق الضخ لا تهبط جميعها إلى المستوى الأعلى لليزر والمطلوب تأهيله فبعض الذرات تهبط مباشرة إلى المستوى الأرضي أو تهبط إلى مستويات أخرى لا علاقة لها بالضخ. وتعتمد على خواص الوسط
- أن كفاءة الضخ η_p تمثل حاصل ضرب المقادير الأربعة أي أن:

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

أن تحسين كفاءة الضخ تتمثل في تحسين الكفاءة الإشعاعية للمصباح عن طريق تحسين تقنية تصنيع المصباح بحيث يكون له طيف انبعاث يوافق طيف الامتصاص للوسط الفعال. كذلك قد يتم الضخ البصري باستخدام أشعة الليزر ذاتها باختيار ليزر ذو طول موجي معين للحصول على ليزر بطول موجي يختلف عن الليزر المستخدم وبالتالي توسيع نطاق الأطوال 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 لحدوث 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 او جزيئات الغاز هو المصدر الرئيسي للأثارة داخل انبوب التفريغ . حيث تكون حركة الايونات اقل اهمية من حركة الالكترونات (بسبب الاختلاف الكبير في الكتلة) وبالتالي طاقة الالكترونات اكبر بكثير من تلك للايون .

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

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

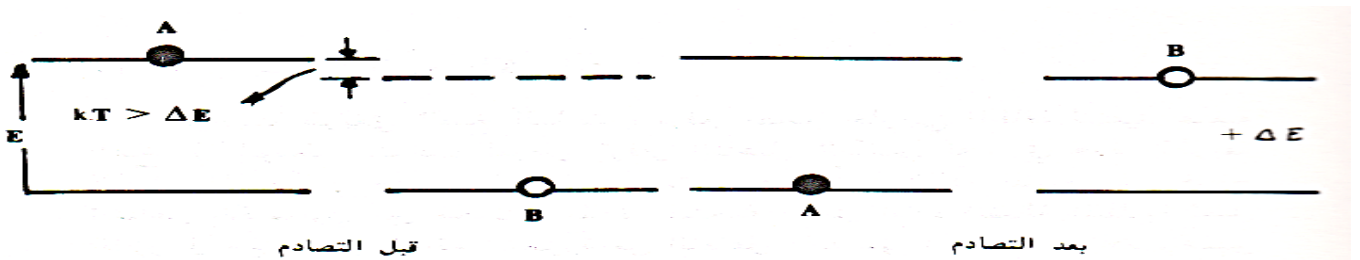
$$e + X = X^* + e$$

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

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



حيث يدل المقدار ΔE على الطاقة الممنوحة من قبل A وقد لا تساوي الطاقة الممتصة 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 – نئون .



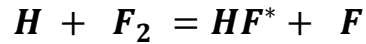
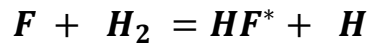
الشكل (7-2) تبادل الطاقة شبه الرنيني بين ذرتين بعملية تصادم

الأثارة في شبه الموصل

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

ثالثا - الضخ الكيميائي

في هذه الطريقة لا نحتاج الى مصدر خارجي للطاقة فهو يتوفر ضمنا في المادة المستخدمة ، حيث ان ناتج التفاعل الكيميائي 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



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



مسائل الفصل الثاني

س1/ احسب قدرة الانعكاسية لمراآي المرنان واللازمة لدعم تذبذب الليزر في مرنان طوله (0.098 m) وله معامل كسب صافي (1) m^{-1} بأفترض ان للمرآتين القدرة الانعكاسية ذاتها ؟

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

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

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

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

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 $(1 m^{-1})$ ؟

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

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

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

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

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

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)

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

س4/ احسب التأهيل العكسي الحرج لليزر نديميوم - ياك ؟ علما ان قدرة الضخ عند العتبة 1 ميكا ($watt/m^3$) وان متوسط زمن عمر الانبعاث التلقائي 100 (μsec) وان طاقة المستوى الأعلى لليزر هي 10 (eV) الجواب: 6.25×10^{19}

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