وزارة التعليم العالي
والبحث العلمي
جامعة الانبار
كلية العلوم/ قسم الفيزياء

اسم المادة: الليزر/2

المستوى الدراسي: الدراسات الأولية

المرحلة: الثالثة

المحاضرة الحادية عشر:

عنوان المحاضرة: مقدمة عامة

مدرس المادة

أ.م. د جمال مال الله رزيج العبيدي

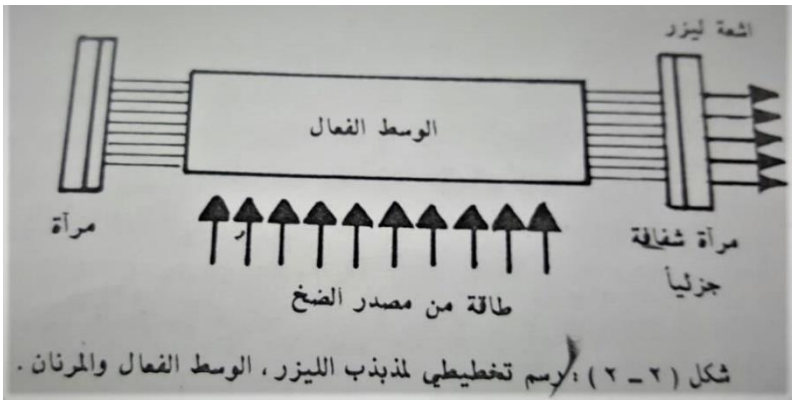
فكرة الليزر

لكي تعمل أجهزة الليزر يجب ان يتوفر لها ثلاث شروط أساسية:

أولا– الوسط الفعال: ويعتبر القاعدة الأساس لعمل الليزر وهو نظام ذو عدد كبير من الذرات او الجزيئات او الايونات التي تبعث طيفا يقع جزء منه في المدى المرئي من الاشعاع الكهرومغناطيسي وغالبا ما نتحدث عن الوسط الفعال وكأنه مجموعة من ذرات غاز الا ان ذرات او جزيئات او ايونات المادة بحالتها السائلة او الصلبة تشكل أيضا وسطا فعالا في أنواع مهمة من الليزر.

ثانيا– تحقيق التأهيل المعكوس: وهو شرط ضروري لجعل عملية الانبعاث المحفز نشطة وبما ان هذا الشرط لا يمكن ان يتحقق تحت ظروف اعتيادية لذا تستخدم طرق ضخ معينة تنفذ وفق مخططات خاصة تناسب مستويات الطاقة لذرات الوسط الفعال.

ثالثا– التغذية الاسترجاعية: وهو شرط ضروري لكي يأخذ الاشعاع المنبعث تذبذبه الصحيح ويودي بالتالي للحصول على حزمة من الاشعة ذات درجة عالية من صفة الاتجاهية وصفة التشاكه، وبدون هذا الشرط يعمل الليزر كمكبر فقط لحزمة ضوئية ضيقة ويفقده الميزات الانفة الذكر والتي جعلت منه مصدرا ضوئيا ذو منافع خاصة. يمكن تحقيق هذا الشرط باستخدام تجويف رنيني ذو تصميم مناسب يدعى بالمرنان. أول تصميم لمرنان ناجح استخدم لأشعة الانبعاث المحفز في المدى المرئي هو مقياس التداخل لفابري – بيرو ويتألف من مرآتين مستويتين متقابلتين بشكل متوازي توضع المادة الفعالة بينهما، كما موضح في الشكل (2–2)، فاذا جعلت احدى المرآتين شفافة جزئيا فان جزء نافعا من الاشعاع المحفز ذات الاتجاه الموحد والموازي لمحور المرآتين يمثل نتاج الليزر.



شكل (٢ ـ ٢) : رسم تخطيطي لمذبذب الليزر، الوسط الفعال والمرنان.

عند تحقيق الشروط الثلاثة أعلاه يبقى هناك شرطا يدور حول الموضوع ككل وهو مهم لعمل الليزر ويطلق عليه شرط العتبة ولابد من تحقيق متطلبات هذا الشرط لتبدأ عملية التكبير في الوسط الفعال ومن ثم عملية التذبذب في المرنان ويرجع سبب هذا الى كون أجهزة الليزر كأية أجهزة عملية غير مثالية تتضمن الكثير من مسببات الخسارة والتبدد وهي على العموم أجهزة ذات كفاءة واطئة إذا ما قورنت بالأجهزة العملية الأخرى، وللاطلاع على جوانب هذه المسببات والشرط الذي يستوجب تحقيقه لابد من الدخول في بعض الحسابات حول مقدار الربح في الوسط والخسارة المتضمنة في الوسط وفي تصميم المرنان.

التاهيل العكسي وشرط العتبة

تطرقنا في الفصول السابقة عن الربح ومعامل الكسب في عملية الانبعاث المحفز ولما كان مقدار هذا الربح صغيرا لذا بات من الضروري العمل على تقليص كافة مسببات الخسارة في جهاز الليزر. احدى هذه المسببات هي الامتصاص لمرايا المرنان ولتقليص مثل هذه الخسارة تستخدم عادة طلاءات عازلة ذات قدرة انعكاس عالية لإكساء المرايا بطبقات عديدة بدلا من الطلاء المعدني. ان هذه الطبقات تُرسب بالتعاقب على المادة الأساس الزجاجية وبسبب الاختلاف في الطور عند موضع تلامس أية طبقتين تكون جميع الاشعة المنعكسة بطور واحد وتتداخل بشكل بناء.

ترجع الخسارة الكلية في جهاز الليزر الى عوامل مختلفة وبالرغم من التباين في مقاديرها لاختلاف أنواع الليزر الا انا تبدو مشتركة في معظمها واهمها:

أ- النفوذ عند مرايا المرنان؛ ان النفوذ من أحدها يكون مفتعل ويمثل المسرب لنتاج الليزر. تصنع المرايا بشكل يحقق لها قدرة انعكاسية مثلى الا ان الخسارة في مثل هذه المرايا تتأتى أيضا عن الامتصاص إضافة لخسائر الحيود.

ب-الخسارة في الوسط الفعال لليزر بسبب حدوث انتقالات أخرى لا علاقة لها بانتقال الليزر وهو يحدث نتيجة امتصاص الوسط لنطاق عريض من طاقة الضخ.

معامل الكسب:

لتسهيل الحسابات دعنا ندمج جميع عوامل الخسارة عدا تلك المتسببة عن النفوذ في المرايا بمعامل خسارة واحد يكافئ المقدار (γ) والذي سيعمل على تقليص معامل الكسب (G) الى المقدار $(G-\gamma)$. ولحساب مقدار التغير في شدة الاشعاع نتيجة رحلة واحدة له داخل المرنان فلو فرضنا وسطا يملأ الفسحة ما بين المرآتين (M_1, M_2) واللتان لهما قدرة انعكاسية (R_1, R_2) على التوالي وانهما على مسافة (l) فيما بينهما فان :

$$I = I_\circ\, e^{-\alpha l} \qquad or \qquad I = I_\circ\, e^{(G-\gamma)l}$$

وان هذه الشدة بعد انعكاسها عن المراة (M_2) ستصبح:

$$I = R_2 I_\circ\, e^{(G-\gamma)l}$$

وبعد رحلة كاملة ستصبح الشدة بالشكل:

$$I = R_1 R_2 I_\circ\, e^{(G-\gamma)2l}$$

لذا فان مقدار الربح **<u>وبعد رحلة كاملة</u>** (Γ) يعبر عنه بالنسبة بين الشدة النهائية والشدة الابتدائية، أي ان:

$$\Gamma = \frac{I}{I_\circ} = R_1 R_2 e^{(G-\gamma)2l} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (1-2)$$

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

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

وتمثل G_{th} **<u>معامل كسب العتبة</u>** وهو يساوي: **<u>(H.W)</u>**

$$G_{th} = \gamma + \frac{1}{2l} \ln\left(\frac{1}{R_1 R_2}\right) \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (3-2)$$

يمثل الحد الأول من المعادلة $(2-3)$ 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.

بدلالة التأهيل العكسي الذي يمكن التعبير عنه بالمقدار (N) كما يلي:

$$N = \left(N_2 - N_1 \frac{g_2}{g_1}\right) = \frac{G}{\sigma} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (4-2)$$

وبالاستعانة بقيمة $\boldsymbol{\sigma}$ والتي تساوي:

$$\sigma = \frac{B\, n\, h\, \nu\, g(\nu)}{c}$$

يمكن التوصل الى الصيغة التالية:

$$\left(N_2 - N_1 \frac{g_2}{g_1}\right) = \frac{Gc}{B_{21}\, n\, h\, \nu\, g(\nu)} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (5-2)$$

وعند العتبة يكون للتأهيل العكسي قيمة حرجة مساوية الى :

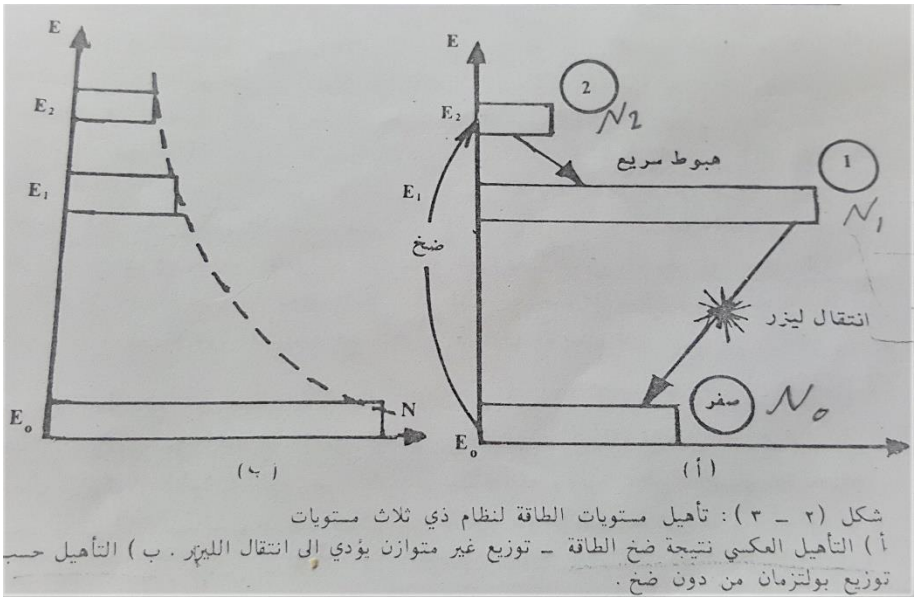
$$N_c = \left(N_2 - N_1 \frac{g_2}{g_1}\right)_c = \frac{G_{th} c}{B_{21}\, n\, h\, \nu\, g(\nu)} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (6-2)$$

H.W

احسب قيمة التأهيل العكسي اللازم للحصول على معامل كسب $(1\, m^{-1})$ لليزر Nd-YAG عندما يكون زمن عمر المستوي الأعلى $(\tau_2 = 230\, \mu S)$ وطول الموجة $(1.06\, \mu m)$ وان $(\Delta\nu = 3 \times 10^{13} Hz)$ ومعامل انكسار الوسط يساوي (1.83).

خطط الضخ:

يختص هذا الموضوع في دراسة تحقيق التأهيل العكسي لوسط الليزر، أي دراسة كيفية ضخ الوسط الفعال بطاقة من مصدر ما بحيث يتسبب عن هذه العملية خلق وضعية غير طبيعية لتأهيل مستويات الطاقة ذات العلاقة بانبعاث طيفي معين. ان تحقيق التأهيل العكسي بمقدار يتجاوز القيمة الحرجة لمستويين ضمن هذا المخطط يؤدي الى اشعاع يتضخم عن طريق الانبعاث المحفز. يتبين مما سبق بان هذا الهدف لا يمكن تحقيقه باستخدام نظام ذري ذو مستويين فقط للطاقة ((خطة ضخ ذي مستويين)) لأنه باستخدام اشعاعا كهرومغناطيسي شديد ذو تردد مناسب مثلا لعملية الضخ سرعان ما يولد حالة الاشباع، عندها يتساوى تأهيل المستويين ذات العلاقة ويصبح الوسط شفافا للإشعاع المستخدم.



شكل (٢ ـ ٣) : تأهيل مستويات الطاقة لنظام ذي ثلاث مستويات
أ) التأهيل العكسي نتيجة ضخ الطاقة ـ توزيع غير متوازن يؤدي إلى انتقال الليزر . ب) التأهيل حسب توزيع بولتزمان من دون ضخ .

سؤال: هل يمكن انتخاب أكثر من مستويين للطاقة وبشكل مناسب من المجموعة الهائلة العدد من مستويات الطاقة للنظام الذري للوسط الفعال؟

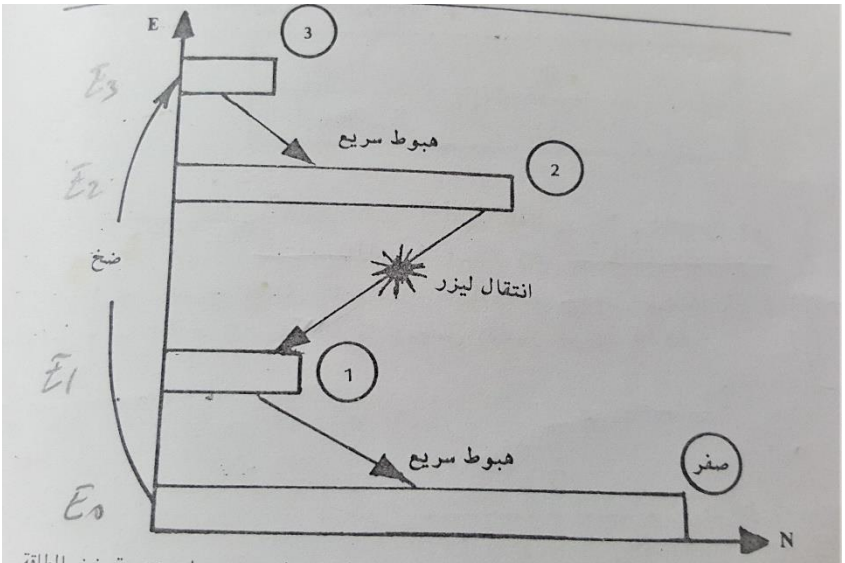
الجواب: نعم يمكن ذلك باختيار ثلاثة او أربعة مستويات للطاقة وبذلك نتكلم عن ليزر ذو الثلاثة مستويات او ليزر ذو الاربعة مستويات للطاقة معتمدين بذلك على عدد المستويات المستخدمة لتنفيذ عملية الضخ وتحقيق التأهيل العكسي لمستوي الطاقة ذات العلاقة بالانبعاث المحفز.

<u>خطة ضخ ذات المستويات الثلاثة</u>:

في خطة الضخ ذي الثلاثة مستويات، الشكل $(2-2)$، تُرفع الذرات بالضخ بطريقة ما من المستوي الأرضي $(E_\circ)$ الى المستوي (E_2). فاذا انتُخب الوسط بحيث عند وصول الذرات الى المستوي E_2 فإنها تهبط بسرعة الى المستوي (E_1)، أي يكون متوسط زمن عمر المستوي (E_2) قصير جدا في حين يكون متوسط زمن عمر المستوي (E_1) طويل جدا، عند تحقق هذين الشرطين يمكن تعبئة المستوي (E_1) بالضخ من المستوي الأرضي $(E_\circ)$ وعبر المستوي (E_2) فيولد عندئذ الانتقال من المستوي (E_1) الى المستوي الأرضي $(E_\circ)$ اشعاع الليزر المطلوب، مثال على هذا النوع من الليزرات التي تعمل بخطة ضخ ذي ثلاثة مستويات هو **ليزر الياقوت.**

خطة ضخ ذات المستويات الاربعة:

في هذا النوع من خطط الضخ تُرفع الذرات بالضخ بطريقة ما من المستوي الأرضي (E_0) الى المستوي (E_3) فاذا انتُخب الوسط بشكل يوفر هبوطا سريعا من المستوي (E_3) الى المستوي (E_2) وكذلك هبوطا سريعا من المستوي (E_1) الى المستوي (E_0) فان تأهيلا عكسيا سيتوفر بين المستوي (E_2) كمستوي اعلى والمستوي (E_1) كمستوي اوطأ حيث يولد الانتقال بينهما اشعاع الليزر المطلوب، مثال على هذا النوع من الليزرات التي تعمل بخطة ضخ ذي ثلاثة مستويات هو **ليزر النيديميوم.**



شكل (٢ ـ ٤) : التأهيل العكسي لمستويات الطاقة في نظام ذي اربع مستويات نتيجة ضخ الطاقة.

من الواضح بان اشتغال الليزر وفق خطة ضخ بثلاثة او أربعة مستويات او عدم اشتغاله مطلقا يعتمد أيضا على مدى تحقيق الشروط الأخرى آنفة الذكر.

سؤال: لماذا تستخدم خطة الأربعة مستويات مادامت لدينا خطة بثلاثة مستويات قادرة على تحقيق التأهيل المعكوس وناجحة في انبعاث الليزر؟

الجواب: ان التأهيل العكسي في خطة الضخ ذي الأربعة مستويات يُنفذ بسهولة أكثر من استخدام خطة الضخ ذي الثلاثة مستويات. اذ تكون قدرة الضخ اللازمة في الحالة الأولى اقل. فحسب توزيع بولتزمان تكون جميع الذرات تقريبا قبل الضخ في الحالة الارضية، فلو فرضنا بان (N_t)

هي الكثافة العددية للوسط فان هذا العدد سيكون في الحالة الأرضية. فعند استخدام خطة ضخ ذي ثلاثة مستويات نبدأ برفع الذرات من هذا المستوي (E_0) الى المستوي (E_2) بعدها تهبط هذه بسرعة الى المستوي (E_1)، لذا يبقى المستوي (E_2) فارغا تقريبا. في هذه الحالة يتحتم علينا رفع نصف العدد الكلي للذرات $\left(\frac{1}{2}N_t\right)$ الى المستوي (E_1) عبر المستوي (E_2) لكي نساوي أولا تأهيله مع المستوي الأرضي (E_0) بعد هذا يكون وصول اية ذرة إضافية الى المستوي (E_1) إشارة الى تحقيق التأهيل العكسي.

اما عند استخدام خطة ضخ ذي أربعة مستويات وما دام المستوي (E_1) فارغا في البداية فان اية ذرة تصعد الى المستوي (E_2) عن طريق المستوي (E_3) ستحقق تأهيلا عكسيا. لذلك فمن الأنسب اختيار الوسط الذي يعمل بمنظومة ضخ ذي أربعة مستويات على اختيار الوسط الذي يعمل بمنظومة ضخ ذي ثلاثة مستويات وبالطبع يكون استخدام خطط ضخ ذي مستويات اكثر من أربعة ممكنا أيضا.

المصادر:

1- فيزياء الليزر – سهام عفيف قندلا

2- Introduction to Laser Physics 1st Edition- K. Shimoda

3- Basics of Laser Physics: For Students of Science and Engineering. (Graduate Texts in Physics) 2nd Edition.