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

اسم المادة: الليزر/2

المستوى الدراسي: الدراسات الأولية

المرحلة: الثالثة

المحاضرة العشرون

عنوان المحاضرة: اقفال الصيغة، عامل النوعية، والتشغيل المفتاحي

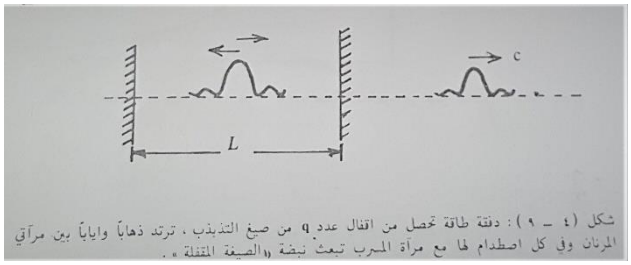
مدرس المادة

أ.م. د جمال مال الله رزيج العبيدي

طرق إقفال الصيغة

إقفال الصيغة الفعال:

يتم اقفال الصيغة في مرنان الليزر باضطرار صيغ التذبذب الطولية ان تتخذ من بعضها البعض طور نسبي ثابت مع الزمن. يمكن تحقيق هذا بتضمين الخسارة او الربح لمرنان الليزر بمقدار يساوي الفاصلة الترددية بين هذه الصيغ أي بالمقدار $\left(\frac{c}{2L}\right)$ ولتوضيح تأثير تضمين الخسارة للمقدار $\left(\frac{c}{2L}\right)$ نفترض بان الخسارة في مرنان الليزر تحدث عند تأثير وجود بوابة توضع بجوار احدى مرآتي المرنان. تفتح البوابة لمدة قصيرة من الزمن وبتعاقب زمني امده $\left(\frac{c}{2L}\right)$ ثانية وتبقى مسدودة لما تبقى من الوقت. ان الفترة الزمنية أعلاه ما هي الا الزمن الذي تستغرقه النبضة لرحلة كاملة داخل المرنان وهي تمثل أيضا مقلوب الفاصلة الترددية بين صيغ التذبذب الطوية. فاذا كانت هذه النبضة بعرض يعادل زمن فتح البوابة وتصل اليها تماما في الوقت الذي تفتح فيه فان النبضة سوف لن تتأثر بوجود البوابة. اما اذا وصلت مقدمة النبضة مثلا والبوابة مسدودة فإنها سوف تحذف وكنتيجة نهائية لهذا التضمين الدوري هو الحصول على نبضة مفردة تصطدم ذهابا وإيابا بمرآتي المرنان، وفي كل مرة تصطدم فيها النبضة بمرآة المسرب للمرنان يندفع دفقا من الاشعاع الى الخارج مشكلا بهذا سلسلة من النبضات المتعاقبة، الفاصلة الزمنية بينها تساوي $\left(\frac{c}{2L}\right)$ وعرض



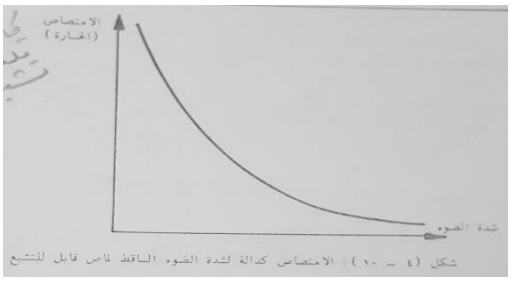
شكل (٤ ـ ٩): دفقة طاقة تحصل من اقفال عدد q من صيغ التذبذب، ترتد ذهاباً وايابا بين مرآتي المرنان وفي كل اصطدام لها مع مرآة المسرب تبعث نبضة «الصيغة المقفلة».

كل منها يساوي $\left(\frac{2L}{qc}\right)$ تقريبا

اقفال الصيغة المعترض (الامتصاص المشبع):

يمكن استخدام وسط ماص لإنجاز عملية اقفال صيغة التذبذب، مثلا استخدام صبغة معينة حيث يقل الامتصاص لمحلول الصبغة بزيادة شدة الضوء الساقط عليه، كما في الشكل. ان المواد التي تتبع هذا التصرف تدعى بالمواد الماصة القابلة للتشبع. يتم انتخاب الصبغة بحيث يقع تردد انبعاث الليزر قيد الدراسة ضمن نطاق امتصاصها. ففي بادئ الامر ولمستوي ضوء واطئ الشدة تعمل

الصبغة على امتصاص الضوء بحدة نظرا لكون عدد كبير من الجزيئات غير محرض ولكن كلما زادت شدة الضوء فان عددا أكثر فأكثر من مستويات الطاقة المحرضة سيتأهل الى ان تصبح جميعها مملوءة او مشبعة لذا فان محلول الصبغة سيصبح شفافا ويقال بان الصبغة قد قُصرت. اما كيفية نمو الصيغة المقفلة فيمكن تصوره كالاتي: في البداية ينبعث في وسط الليزر انبعاث ذاتي وهو الذي يشكل مصدر التقلبات العشوائية غير المشاكهة في الطاقة داخل المرنان، من هذه التقلبات تلك التي يكون امدها قصير فهي التي تتضخم داخل المرنان وتنمو في شدتها الى حد يمكن ان ينفذ الجزء الممثل لذروتها خلال الوسط الماص وبشيء من التوهين. اما جزء التقلبات ذو القدرة الواطئة فيعاني توهينا اقوى وبهذا يضمحل. لذا يمكن ان تنمو نبضة ذات قدرة عالية داخل المرنان وفي الوقت ذاته تستطيع الصبغة ان تستعيد نشاطها بوقت قصير بالمقارنة بأمد النبضة. ان هذا التصرف غير الخطي لامتصاص الصبغة يساند التقلبات الشديدة والقصيرة الأمد في النمو على حساب التقلبات الأضعف شدة والاطول امدا. وبضبط دقيق لتركيز الصبغة داخل المرنان يمكن الحصول على نبضة ترتد ذهابا وإيابا داخل المرنان مكونة سلسلة من نبضات الصيغة المغلقة على غرار ما



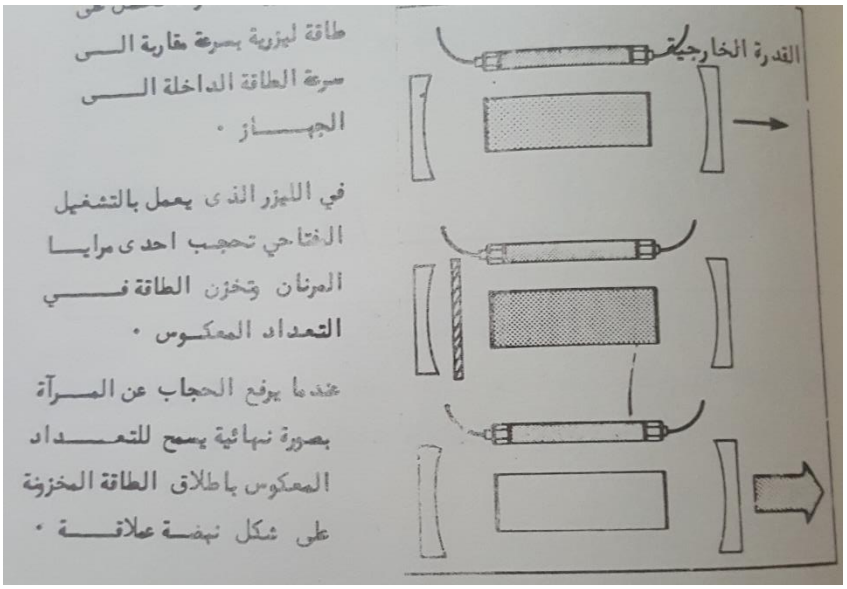
شكل (٤ ـ ١٠) : الامتصاص كدالة لشدة الضوء الساقط لماص قابل للتشبع

ذكر في الطريقة السابقة.

التشغيل المفتاحي او احكام عامل النوعية (Q-Switching)

ان المفتاح Q عبارة عن تقنية تستخدم للحصول على نبضات ليزرية قصيرة الأمد وذات قدرة (شدة) عالية وذلك بإدخال عوامل خسارة داخل المرنان تعتمد في عملها على الشدة او على الزمن. وللوصول الى تلك الحالة يجب ان نمنع الطاقة المخزونة في حالة التعداد المعكوس من ان تُستفذ في نفس الفترة النى تنبني بها هذه الحالة ويتم ذلك بمنع الفعل الليزري من خلال منع أحد المطلبين الرئيسين للفعل الليزري وهما التعداد المعكوس او التغذية الاسترجاعية (المعكوسة). وعلى اعتبار ان الحالة الأولى مرفوضة علميا لأنه بدون التأهيل المعكوس لا يمكن الحصول على طاقة لكننا نستطيع ان نلغي التغذية الخلفية وبالتالي نمنع الفعل الليزري لأنه في حالة وجود التغذية الخلفية تُستنفذ الطاقة الى الخارج بنفس السرعة التي تنبني بها عملية التعداد المعكوس. اما عند الغاء

التغذية الخلفية فان الطاقة ستنبني في التعداد المعكوس لغاية إعادة التغذية الخلفية وبالتالي تُستنفذ كل الطاقة بنبضة مفردة عملاقة. لقد جاءت تسمية مفتاح عامل النوعية Q-Switching وذلك لان Q تشير الى نوعية Quality المرنان. فالمرنان ذو القيمة العالية لـ Q يعتبر ذو نوعية جيدة او ذو خسارة واطئة. من الواضح اذن بان المرنان المحجوبة احدى مرآتيه ليس مرنانا ذو قيمة عالية لـ Q ولكن عندما يرفع الحجاب عن المرآة بصورة مفاجئة فان قيمة Q تتبدل من القيمة الواطئة الى القيمة العالية، كما موضح في الشكل ادناه، وهكذا فان الليزر ذو التشغيل المفتاحي Q-Switching Laser هو الليزر الذي يتبدل مرنانه من النوعية الواطئة الى النوعية العالية وبالعكس.



ليست جميع أنواع الليزر يمكن ان تعمل بالتشغيل المفتاحي. ان زمن عمر مستوي الليزر العلوي يجب ان يكون طويلا بما فيه الكفاية بحيث لا يمكن تسرب الطاقة عن طريق الانبعاث الذاتي قبل ان يفتح المفتاح Q بتحفيز النبضة. لا يمكن الحصول على هذه الحالة للعديد من أنواع الليزر بضمنها الليزرات الايونية وليزرات الصبغة بينما معظم ليزرات التشغيل المفتاحي هي ليزرات الحالة الصلبة اما الزجاج او الياك او الياقوت.

هناك شرطان يجب توفرهما للحصول على تشغيل مفتاحي بصورة فعالة، هما:

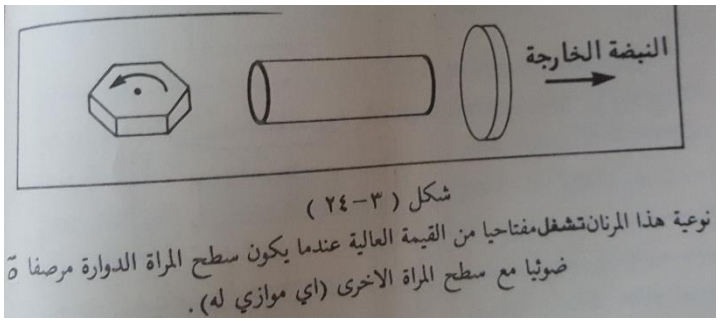
1- يجب ان تكون سرعة الضخ اعلى من الاضمحلال الذاتي لمستوي الليزر العلوي، وبخلاف ذلك يستنفذ مستوي الليزر العلوي بصورة أسرع من الامتلاء، عند ذلك لا يمكن ان يتحقق التعداد المعكوس بصورة كبيرة.

2- يجب ان يفتح التشغيل المفتاحي بصورة سريعة مقارنة مع نمو تذبذبات الليزر وبخلاف ذلك فان تذبذبات الليزر ستنبني تدريجيا لينتج عن ذلك نبضة طويلة فتقل عندئذ قدرة الذروة. ومن الناحية العملية يجب ان يعمل التشغيل المفتاحي Q بزمن اقل من نانوثانية.

أنواع التشغيل المفتاحي

1- التشغيل المفتاحي الميكانيكي:

في هذه الطريقة تدور المرآة ذات الجوانب الستة بسرعة لتوجه كل جانب مع محور الليزر لفترة زمنية قصيرة جدا ففي كل مرة يتراصف فيها أحد الجوانب الستة للمرآة تنتج نبضة الليزر من خلال المرأة الأخرى.



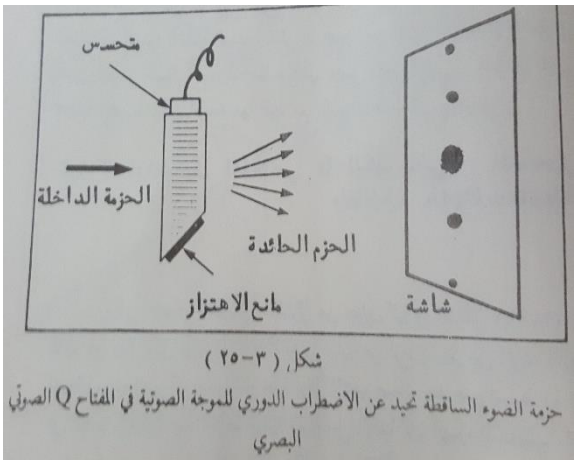
شكل (٣-٢٤)

نوعية هذا المرنان تشغل مفتاحيا من القيمة العالية عندما يكون سطح المراة الدوارة مرصفا ة ضوئيا مع سطح المراة الاخرى (اي موازي له).

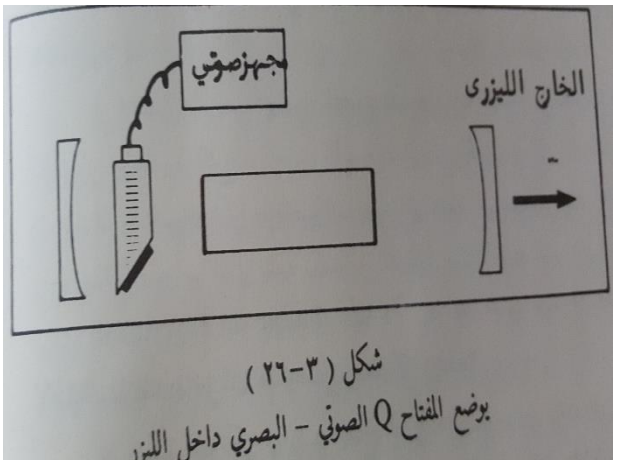
2- التشغيل المفتاحي الصوتي-البصري:

في هذه الطريقة يستخدم لوحا مصنوعا من مادة شفافة كالكوارتز يرتبط بهذا اللوح من احدى جانبيه مولد الموجات الصوتية في المادة الشفافة. ان هذه الموجة الصوتية عبارة عن اضطراب دوري للمادة وان أي ضوء يمر خلال المادة يواجه هذا الاضطراب الذي يشبه سلسلة من الشقوق. يوضع المفتاح الصوتي – البصري داخل مرنان الليزر بين الوسط الفعال والمرآة الخلفية ففي حالة عدم وجود إشارة صوتية فان المفتاح يمرر جميع الضوء بدون التأثير عليه وفي هذه الحالة سيمتلك المرنان قيمة عالية لعامل النوعية Q اذ تقل قيمة Q في حالة وجود الاشارة الصوتية بسبب انحراف

الضوء خارج مسار الحزمة الاصلية، ان سرعة المفتاح الصوتي-البصري تعتمد على سرعة الصوت داخل لوح المادة الشفافة وعلى قطر حزمة الليزر.



شكل (٣-٢٥)
حزمة الضوء الساقطة تحيد عن الاضطراب الدوري للموجة الصوتية في المفتاح Q الصوتي البصري



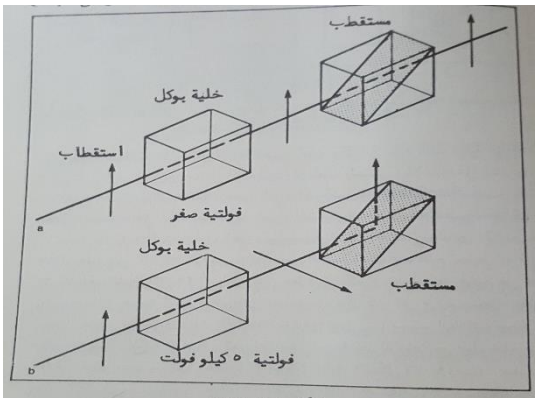
شكل (٣-٢٦)
بوضع المفتاح Q الصوتي - البصري داخل اللين

3- التشغيل المفتاحي الكهربائي-البصري:

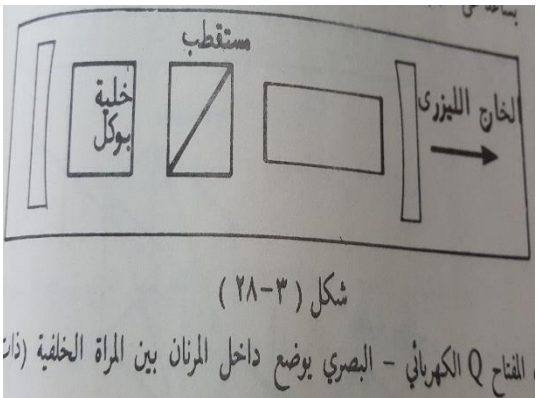
وهو أكثر الأنواع شيوعا ويتكون من جزئين هما:

أ- خلية بوكل: وهي عبارة عن لوح يسيطر على الموجة المارة فيه كهربائيا بمعنى ان الضوء المار في خلية بوكل لا تتغير صفاته عند عدم تسليط أي فولتية على الخلية لكن عند تسليط فولتية معينة على الخلية فان الضوء المستقطب المار بها يدور بزاوية 90 درجة.

ب- المستقطب: وظيفته تمرير الضوء المستقطب غير المدور وحجب الضوء المستقطب والمدور بزاوية 90 درجة.



شكل (٣-٢٧)
عند تسليط فولتية على خلية بوكل ، فان استقطاب الضوء المار بها يدور ويمكن ان ينحرف الضوء عن المحلل الطيفي اللاحق .



شكل (٣-٢٨)
المفتاح Q الكهربائي - البصري يوضع داخل المرنان بين المراة الخلفية (ذا
الانعكاسية العالية) ووسط الربح .

4- مفتاح سائل الصبغة:

في هذه الطريقة يستخدم سائل الصبغة الذي تعتمد نفوذيته للضوء على شدة الضوء الساقط فعندما تصبح شدة الضوء المنبعثة من الوسط الفعال عالية بما فيه الكفاية فان الصبغة تصبح بيضاء شفافة لتسمح بمرور الضوء خلالها بمقدار قليل من الخسارة.

<u>مفهوم مفتاح عامل النوعية</u>

يعتمد عمل المفتاح على تغير قيمة عامل النوعية Q بين قيمتين صغرى وعظمى وان معامل النوعية للمرنان يعطى بالصيغتين:

$$Q = \frac{\upsilon}{\Delta\nu} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (1)$$

$$Q = \frac{2\pi\upsilon\beta}{\alpha} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (2)$$

حيث ان β هي الطاقة المخزونة في المرنان ، α هي الطاقة المفقودة لكل ثانية من المرنان

υ تردد المرنان ، $\Delta\nu$ عرض خط الخارج الليزري. فاذا اعتبر المصدر الرئيسي للخسارة في المرنان هو الانعكاس (اهمال الامتصاص والحيود) فان على الفوتون ان يقوم بعملية عبور لطول المرنان عددها يساوي $\left(\frac{1}{1-R}\right)$ قبل ان يخرج من المرنان أي انه يقطع مسافة $\left(\frac{2L}{1-R}\right)$ وبسرعة الضوء بحيث يصبح الزمن الذي يبقى فيه الفوتون داخل المرنان مساويا الى المقدار :

$$t = \frac{2\mathrm{L}}{(1-R)c} \dots\dots\dots\dots\dots\dots (3)$$

بحيث ان R تمثل الانعكاسية عند المرآتين (R_1R_2) ، وهذا يؤدي الى ان المعدل الزمني لفقدان الطاقة (α) يعطى بالشكل :

$$\alpha = \frac{h\nu\ (1-R)c}{2L} \dots\dots\dots\dots\dots (4)$$

وهو يمثل مقدار الطاقة المفقودة من فوتون واحد.

اما الطاقة المخزونة ضمن هذا المرنان لفوتون واحد فهي تساوي $\beta = h\nu$

مثال:

احسب عامل النوعية لمنظومة ليزر الهيليوم - نيون (632.8 nm) الذي يحوي مرآة امامية ذات انعكاسية (95%) لمرنان طوله يساوي واحد متر. ثم احسب عرض خط الانبعاث لهذا الليزر.

الحل:

حيث ان انعكاسية المرآة الخلفية هي 100% لذلك فان:

$$Q = \frac{4\pi\, \nu\, L}{(1-R_1R_2)c} = \frac{4\pi\, \nu \times 1}{(1-1\times 0.95)c} = 3.97 \times 10^8$$

$$Q = \frac{\upsilon}{\Delta\nu} \Longrightarrow \Delta\nu = \frac{\upsilon}{Q} = \frac{\frac{c}{\lambda}}{Q} = 1.19 \times 10^6\ Hz = 1.19\ MHz$$

H.W

1- مرنان ليزري فيه ($R_1 = 99\%$) و ($R_2 = 99\%$) والمسافة بين المرآتين (0.5 m) احسب عرض خط الانبعاث لشعاع الليزر ثم احسب عدد الأنماط الطولية الناتجة.

2- احسب قيمة عامل النوعية لليزر النيديميوم-زجاج اذا كان خط الانبعاث يتسع لغاية ($3 \times 10^{12}\ Hz$) ثم احسب عدد الأنماط الطولية اذا علمت ان طول المرنان (0.5 m).

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.