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

اسم المادة: الليزر/2

المستوى الدراسي: الدراسات الأولية

المرحلة: الثالثة

المحاضرة السابعة عشر

عنوان المحاضرة: صيغ تذبذب المرنان

مدرس المادة

أ.م. د جمال مال الله رزيج العبيدي

صيغ التذبذب للمرنان

التجويف الرنيني لانبعاث الليزر هو مرنان مفتوح يتألف من مرآتين وحسابات صيغ التذبذب لمثل هذا التجويف تتضمن خسارة الحيود عند هاتين المرأتين، كذلك يدخل شكل المرآتين وابعادهما بالإضافة الى المسافة بينهما في مثل هذه الحسابات.

لإلقاء الضوء على وصف صيغ التذبذب وكيفية توزيع شدة المجال عند المرآتين او في أي موضع بينهما وخارج المرنان أيضا نستعين بمثالين لمرنان الليزر هما: مرنان المرأتين المستويتين المتوازيتين ومرنان كروي متحد البؤرة وسنذكر بعض الحسابات والنتائج والاستنتاجات المعتمدة دون الدخول في التفاصيل النظرية.

أ) المرنان ذو المرآتين المستويتين–المتوازيتين

لنفرض ان مراتي المرنان مربعتي الشكل وان لكل منهما طول ضلع يساوي (2a) ولنفرض بانهما على مسافة L من بعضهما. فان ترددات الرنين لمثل هذا التجويف تعطى بالشكل الذي يناظر العلاقة (6–1) التي هي: $\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{c}{2a}\left(n_x^2 + n_y^2 + n_z^2\right)^{1/2}$ ،

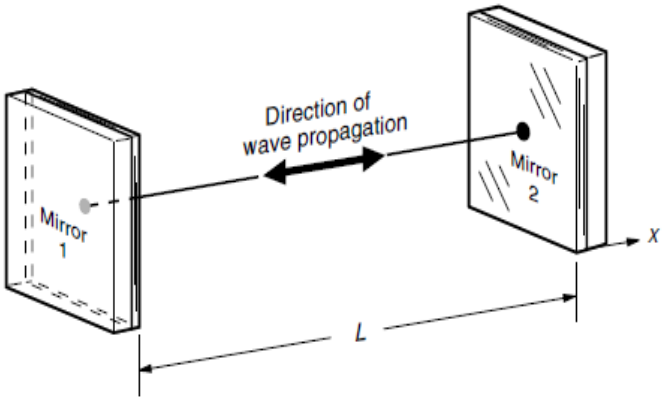
أي ان

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

$n, m \; and \; l$ هي اعداد صحيحة

اذا حذفت جوانب هذا التجويف، راجع الشكل ادناه، أي يصبح بالإمكان اهمال الاعداد $m\ and\ l$ مقارنة بالعدد n لذا يمكن كتابة العلاقة أعلاه بعد فتحها على شكل متسلسلة بطريقة فك ذي الحدين والاكتفاء بالحدين الأوليين على النحو التالي:

$$\nu = \frac{c}{2}\left(\frac{n}{L} + \frac{1}{2}\frac{(l^2+m^2)}{n}\frac{l}{4a^2}\right)$$



بهذا يكون لصيغة تذبذب محددة للتجويف المفتوح أعلاه تردد رنيني محدد يعطى بمجموعة من القيم تحددها الاعداد n, m, l.

كذلك نلاحظ من المعادلات السابقة بان فرق التردد بين صيغتين للتذبذب لهما نفس القيم للمقدارين l و m لكنهما يختلفان بمقدار واحد للعدد n يمكن التعبير عنه وفق العلاقة التالية:

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

ان صيغ التذبذب التي يكون لها نفس القيم للمقادير l و m وتختلف في المقدار n، تختلف فيما بينها فقط في كيفية توزيع المجال على امتداد محور المرنان Z (أي طوليا) وغالبا ما يطلق على مثل هذه الصيغ بالصيغ الطولية للتذبذب (او الصيغ المحورية) لذا تمثل الفاصلة الترددية $\Delta\nu_n$ فرق التردد بين أي صيغتين طوليتين متعاقبتين.

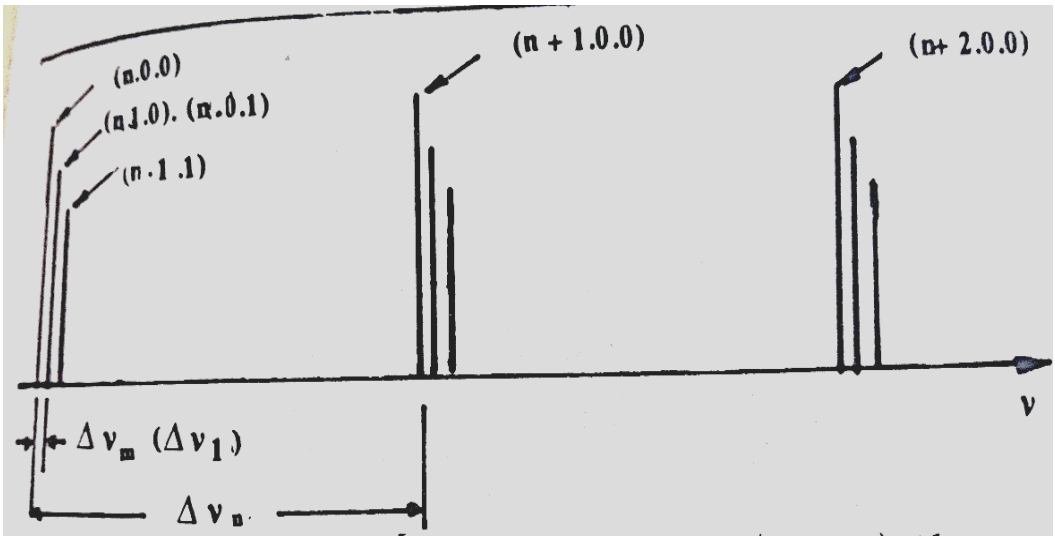
اذا اختلفت صيغ التذبذب بالمقدار m او بالمقدار l او بكليهما وكان لهما نفس القيم للمقدار n فتدعى مثل هذه الصيغ بالصيغ المستعرضة. فمثلا يكون فرق التردد بين صيغتين مستعرضتين متعاقبتين تختلفان بالمقدار m بمقدار واحد كالتالي:

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

ولمرنان ذو قيم عملية للمقدار L تكون $\Delta\nu_n$ في حدود بضع مئات ميكا هيرتز في حين تكون $\Delta\nu_m$ (او $\Delta\nu_l$) في حدود بضع ميكا هيرتز. نود ان نبين في هذا الباب بان استخدام مصطلح الصيغ الطولية والمستعرضة قد يكون مركبا وقد يوحي خطأ بوجود نوعين منفصلين من صيغ التذبذب منها طولية والأخرى مستعرضة، لكن الحقيقة وكما ذكرنا بان هناك ثلاث مقادير محددة لتعريف صيغة التذبذب وهي الاعداد n, m, l وكذلك يكون كل من المجال الكهربائي والمغناطيسي للاشعاع متذبذبا بشكل عمودي تقريبا على محور المرنان Z.

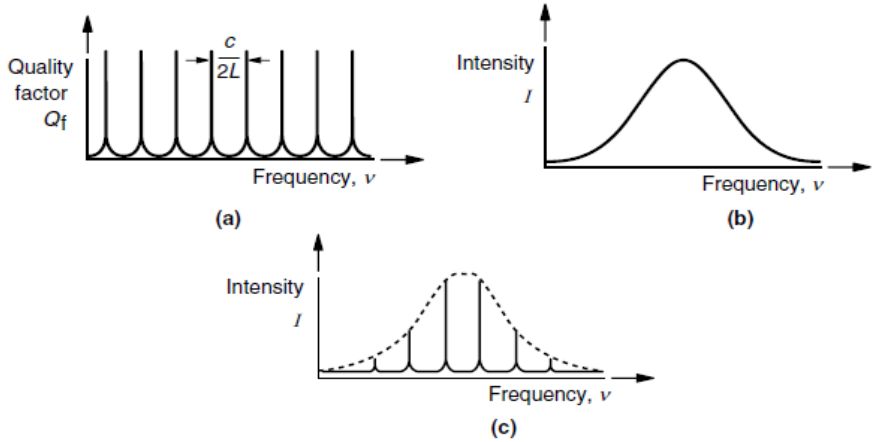
ان تغير هذين المجالين بالاتجاه المستعرض على محور المرنان يحدد بالمقدارين l وm بينما يعبر عن تغير المجال باتجاه المحور Z (أي طوليا وبامتداده) بالمقدار n. فعندما نتحدث عن صيغ تذبذب مستعرضة نعطي لها مقدارا محددا للعدد m وكذلك للعدد l فيما نترك العدد n ليأخذ أي قيمة. كذلك يتم تعريف الصيغة الطولية بمقدار معين للعدد n بينما نغض النظر عن قيمتي العددين m, l.

الشكل ادناه يوضح ترددات صيغ التذبذب لمرنان ذو مرآتين مستويتين متوازيتين.



الان يرد سؤال: كم صيغة تذبذب تقع ضمن خط انتقال الليزر؟

ان عدد صيغ التذبذب الطولية تعتمد على عرض الخط الطيفي وأيضا على طول مرنان الليزر. فكلما زاد طول المرنان كلما قلت الفاصلة الترددية بين أي صيغتين وهذا يؤدي الى تذبذب عدد اكبر من الصيغ ضمن خط انبعاث الليزر، وكما في الشكل ادناه.

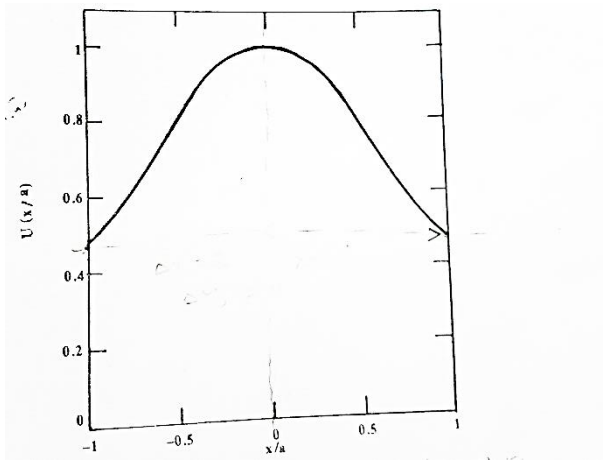


صيغ التذبذب الطولية في نتاج الليزر (c) تعريض الخط الطيفي (b) صيغ التذبذب للمرنان (a)

اما عدد صيغ التذبذب المستعرضة فتعتمد على شكل المرآة وحجمها. فعندما تتواجد عدد من صيغ التذبذب في نتاج الليزر يقال بان الليزر متعدد الصيغ.

يمكن عمليا الحصول على تذبذب صيغة مستعرضة واحدة بإدخال عوامل خسارة تعمل على اضمحلال الصيغ المستعرضة الأخرى واضطرار الليزر المتعدد الصيغ للعمل بصيغة مستعرضة معينة. في بعض أنواع الليزر يوضع حاجر ذو فتحة دائرية يمكن التحكم بمقدارها لتعمل على المحور البصري للمرنان الغاية منها حجب جميع صيغ التذبذب المستعرضة عدا الصيغة TEM_{00}. ويكون هذا ممكنا لان هذه الصيغ بطبيعتها لا تتطابق تماما مع محور المرنان لذا تعاني من الخسارة من قبل الحاجز فتضمحل قبل ان تأتي الخسارة على الصيغة TEM_{00} والمطابقة للمحور.

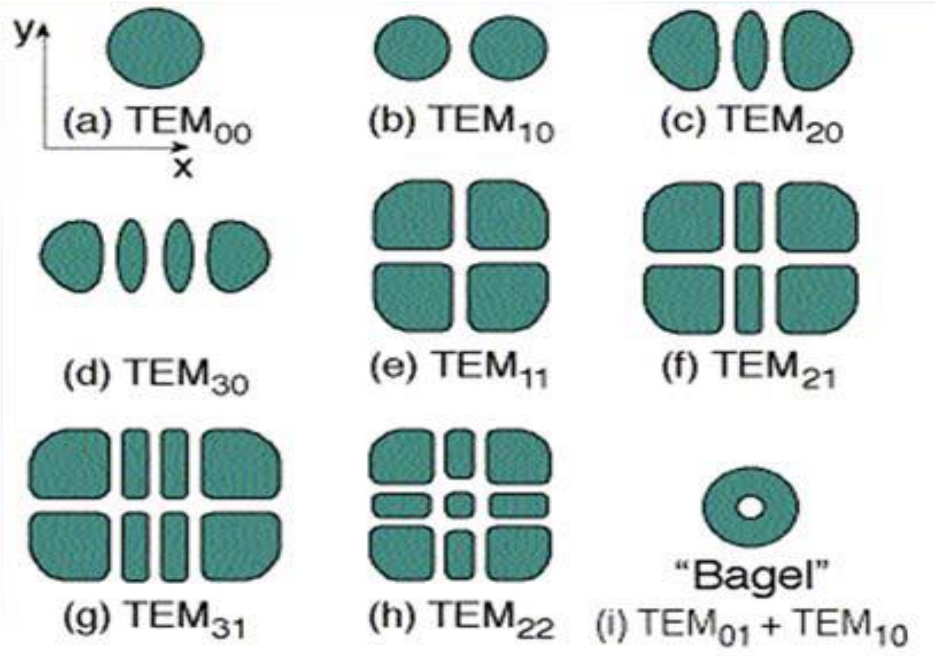
الشكل ادناه يوضح توزيع شدة المجال باتجاه عمودي على محور المرنان، محور x، ولصيغة تذبذب مستعرضة فيها كل من l وm يساوي صفر تدعى مثل هذه الصيغة للتذبذب والتي تتصف بالتماثل في توزيع الشدة بالصيغة TEM_{00}،ينطبق هذا التوزيع على كل من المجالين الكهربائي والمغناطيسي للموجة الكهرومغناطيسية المتذبذبة بشكل عمودي على محور المرنان Z.



ان صيغة التذبذب المستعرضة التي يكون فيها $l = 1$ and $m = 0$ او بالعكس، $(l = 0$ and $m = 1)$ ، هي صيغة تذبذب غير متماثلة وتعرف بالصيغة TEM_{01} (او الصيغة TEM_{10})، حيث يناظر التغير في اتجاه x المقدار $l = 1$ والتغير باتجاه y المقدار $m = 0$.

لمثل هذه الصيغ تكون خسارة الحيود الناتجة عن مراتي المرنان ولطول موجة معينة اكبر لصيغة تذبذب غير متماثلة (مثلا TEM_{10}) منها لصيغة تذبذب متماثلة (الصيغة TEM_{00}).

الشكل ادناه يوضح خصائص توزيع الشدة لصيغ تذبذب مستعرضة مختلفة والأرقام تشير الى قيم m, l.



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.