

Al-Azhar University - Gaza
Laser Physics
Optical Feedback

Lecture 9



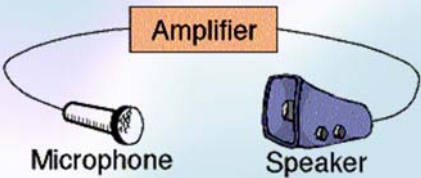
Dr. Hazem Falah Sakeek
www.hazemsakeek.com
www.physicsacademy.org

التغذية العكسية الضوئية **Optical Feedback**

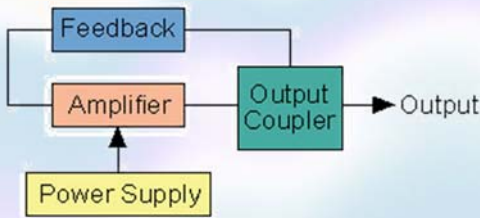
يعمل الليزر مثل أي مذبذب الكتروني، وفكرة المذبذب هو جهاز ينتج نبضات بدون وجود مؤثر خارجي، ولشرح ذلك نستخدم مثال جهاز مكبر الصوت والذي يتكون من ميكروفون **microphone** وسماعة **speaker** يوصل بينهما جهاز تكبير **amplifier** كما في الشكل التالي:



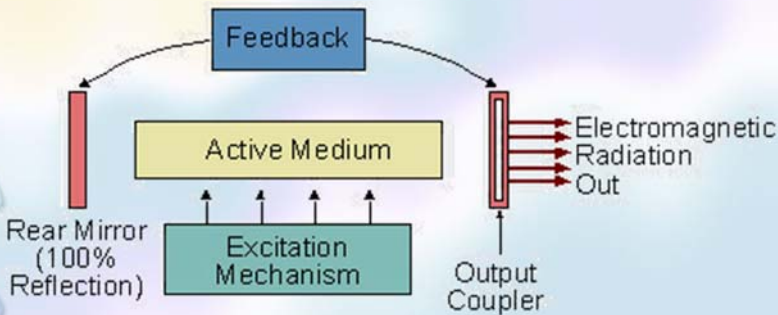
عندما يكون الميكروفون موضوعاً أمام السماعة كدائرة مغلقة فإننا نسمع صفير متصل من السماعة وذلك بدون الحاجة إلى مصدر صوت خارجي.



وهذه فكرة التغذية العكسية حيث أن الإشارة الصوتية الداخلية الصادرة من السماع (noise) يلتقط بواسطة الميكرفون ومن ثم يتم تكبيره بواسطة المكبر ويعاد بثه من خلال الميكرفون وتكرر العملية إلى أن يتم تكبير الصوت ويصدر على شكل صفير متصل.



وبنفس الفكرة يعمل **مذبذب الليزر** حيث يتم إعادة جزء من الفوتونات المكبرة بواسطة عملية الانبعاث الاستحثاثي باستخدام مرايا ليتم تكبيرها، والشكل التالي يوضح فكرة عمل مذبذب الليزر.



Physics Academy

عندما تسقط فوتونات ذات شدة I_0 خلال مادة مكبر الليزر **active medium** فإنها تتكبر بمقدار G وتصبح شدة الأشعة $I_0 G$ وباستخدام مرآة R_2 فإن جزء من الأشعة ينعكس بمقدار $R_2 I_0 G$ ، وتصبح شدة الأشعة $I_0 G R_2$ ، تعمل المرآة على إعادة الأشعة للمكبر مرة أخرى لتتكبر الأشعة بمقدار G مرة أخرى وتخرج $I_0 G R_2 G$ لتسقط على المرآة الأخرى R_1 وتكون شدة الأشعة عند انعكاسها $I_0 G R_2 G R_1$ وهذا ما يحدث للأشعة عند دخولها للمكبر خلال دورة تكبير واحدة ويكون التكبير المكتسب في المقدار GG والفقد في الأشعة يكون ناتج عن $R_1 R_2$.

والشرط الأساسي ليصبح المذبذب يعمل كمكبر للإشارة هو أن يكون الناتج النهائي بعد دورة واحدة أكبر من الإشارة الأصلية I_0 أي أن،

Dr. Hazem Falah Sakeek

5

Physics Academy

$I_0 G R_2 G R_1 \geq I_0$

$G R_2 G R_1 \geq 1$ **

This is the condition for the oscillator to become amplifier. i.e. the Gain for single round trip is ≥ 1

The gain is given by the function

$$G(\nu) = e^{\gamma_o(\nu)l}$$

Substitute for G in equation ** we get

$$R_1 R_2 e^{2\gamma_o(\nu)l} \geq 1$$
$$e^{2\gamma_o(\nu)l} \geq \frac{1}{R_1 R_2}$$

Dr. Hazem Falah Sakeek

6

This equation can be written as follow

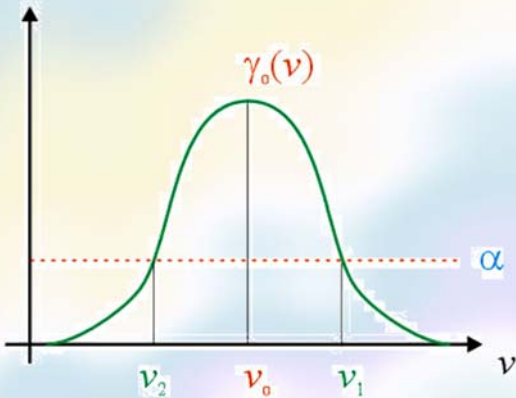
$$\gamma_o(v) \geq \frac{1}{2l} \ln \frac{1}{R_1 R_2}$$

الطرف الأيسر من العلاقة السابقة تمثل Gain per unit length والطرف الأيمن يمثل Losses per unit length

لنفرض أن الرمز α يعبر عن مقدار الفقد في الإشارة لذا فإن

$$\alpha = \frac{1}{2l} \ln \frac{1}{R_1 R_2}$$

نلاحظ أن الخسارة losses لا يعتمد على التردد وفي هذه الحالة يمكن تمثيل الخسارة على منحنى ال Gain كدالة في التردد بخط مستقيم كما في الشكل



لاحظ أنه ليس كل الترددات تحت منحنى Gain يمكن أن تنتج ليزر ولكن فقط تلك الترددات التي تحقق الشرط الذي ينص على أن الحاصيلة يجب أن تكون اكبر من أو يساوي الخسارة وهذا يتحقق في المدى الترددي $v_1 - v_2$ كما موضح في الشكل أعلاه

Physics Academy

من معلوماتنا السابقة عن دالة الـ **Gain** أنه يمكن التعبير عنها بثابت مضروباً في دالة **line shape function** كما يلي:

$$\gamma_o(\nu) = C g(\nu)$$

وحيث إن أكبر قيمة للـ **Gain** تكون عند التردد ν_o

$$\gamma_o(\nu_o) = C g(\nu_o)$$

Divide both equations we get

$$\gamma_o(\nu) = \gamma_o(\nu_o) \frac{g(\nu)}{g(\nu_o)}$$

Dr. Hazem Falah Sakeek

9

Physics Academy

For homogenous broadening $g(\nu)$ is given by

$$g(\nu) = \frac{\Delta \nu}{2\pi[(\nu - \nu_o)^2 + (\Delta \nu/2)^2]}$$
$$g(\nu_o) = \frac{2}{\pi \Delta \nu}$$

Substitute for $g(\nu)$ and $g(\nu_o)$ in equation *** we get

$$\gamma_o(\nu) = \gamma_o(\nu_o) \frac{g(\nu)}{g(\nu_o)}$$

$$\gamma_o(\nu) = \gamma_o(\nu_o) \frac{(\Delta \nu/2)^2}{(\nu - \nu_o)^2 + (\Delta \nu/2)^2}$$

Dr. Hazem Falah Sakeek

10

Physics Academy

$$\gamma_o(\nu) = \gamma_o(\nu_o) \frac{(\Delta \nu/2)^2}{(\nu - \nu_o)^2 + (\Delta \nu/2)^2}$$

وهذه المعادلة تعطي الـ **Gain** عند أي تردد بدلالة الـ **Gain** عند التردد ν_o .

For the laser action the gain at frequency ν_o should be grater than the losses α ,i.e.

سنقوم في الخطوات التالية بإيجاد المدى الترددي **Bandwidth for the laser** الذي يتحقق فيه شرط الحصول على الليزر وعلاقته باتساع منحنى الـ **Gain $\Delta \nu$**

$$\frac{\gamma_o(\nu_o)}{\alpha} > 1$$

$$\frac{\gamma_o(\nu_o)}{\alpha} = N \quad N > 1$$

Dr. Hazem Falah Sakeek

11

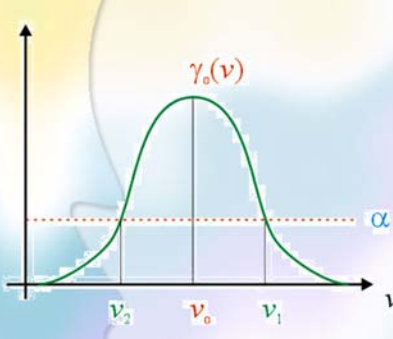
Physics Academy

حيث أن **N** عدد صحيح يعبر عن النسبة بين مقدار الحصلة إلى الخسارة، ويكون مقدار الخسارة **losses** هو

$$\alpha = \frac{\gamma_o(\nu_o)}{N}$$

From the figure $\alpha = \gamma_o(\nu_1)$

$$\gamma_o(\nu_1) = \gamma_o(\nu_o) \frac{(\Delta \nu/2)^2}{(\nu_1 - \nu_o)^2 + (\Delta \nu/2)^2}$$
$$\alpha = \gamma_o(\nu_1) = \frac{1}{N} \gamma_o(\nu_o)$$
$$\frac{1}{N} \cancel{\gamma_o(\nu_o)} = \cancel{\gamma_o(\nu_o)} \frac{(\Delta \nu/2)^2}{(\nu_1 - \nu_o)^2 + (\Delta \nu/2)^2}$$



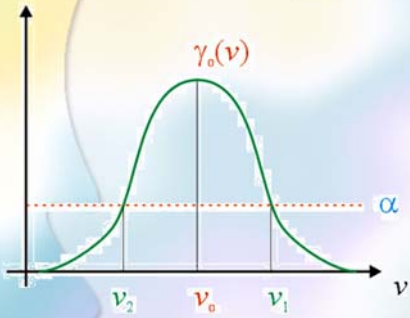
Dr. Hazem Falah Sakeek

12

6

Physics Academy

$$\nu_1 - \nu_o = \frac{\Delta \nu}{2} (N-1)^{1/2}$$
$$\nu_1 - \nu_2 = 2(\nu_1 - \nu_o) = \Delta \nu (N-1)^{1/2}$$



كما هو موضح في الشكل

$$\nu_1 - \nu_2 = \Delta \nu \sqrt{(N-1)}$$

المدى الترددي لمكبر الليزر Bandwidth for the laser action

Dr. Hazem Falah Sakeek

13

Physics Academy

المدى الترددي لمكبر الليزر Bandwidth for the laser action

المدى الترددي لمكبر الليزر Bandwidth for the laser action

$$\nu_1 - \nu_2 = \Delta \nu \sqrt{(N-1)}$$

كلما كبرت قيمة N كلما كانت الحصىلة أكبر من الخسارة وهذا أفضل لكفاءة الليزر وعندما تكون $N=2$ يكون المدى الترددي لليزر مساوياً لاتساع منحنى Dv Gain وعندها تكون الحصىلة ضعف قيمة الخسارة، وعندما تكون $N=1$ تكون الحصىلة تساوي الخسارة ويكون المدى الترددي في هذه الحالة مساوياً للصفر $\nu_2 - \nu_1 = 0$

عندما تكون N اقل من 1 فإن المقدار تحت الجذر يصبح سالباً وهذا ليس له معنى فيزيائي ولا يمكن على الإطلاق الحصول على ليزر في هذه الحالة حيث تصبح الخسارة أكبر من الحصىلة.

Dr. Hazem Falah Sakeek

14