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

اسم المادة: الليزر/2

المستوى الدراسي: الدراسات الأولية

المرحلة: الثالثة

المحاضرة السادسة عشر

عنوان المحاضرة: أنماط الليزر

مدرس المادة

أ.م. د جمال مال الله رزيج العبيدي

أنماط الليزر Mode

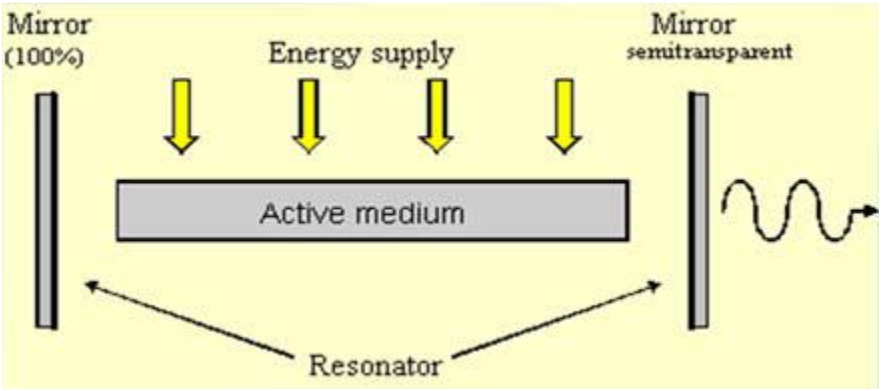
علمنا من المحاضرات السابقة انه للحصول على الليزر تستخدم التغذية العكسية بواسطة المرايا وذلك لتكبير الشعاع الضوئي خلال مروره بالوسط المشع لليزر، ولهذه المرايا دور كبير في التأثير على الاشعاع الكهرومغناطيسي داخل المكبر حيث ينتج نوعين من الأنماط وهي:

1- الأنماط الطولية (الأنماط المحورية) Longitudinal Modes (Axial Modes)

2- الأنماط المستعرضة (Transverse Modes)

Longitudinal modes only specific frequencies are possible inside the optical cavity of a laser, according to standing wave condition.

Transverse modes are created in cross section of the beam, perpendicular to the optical axis of the laser.



Longitudinal modes (Axial Modes)

Using Fabry-Perot interferometer one can observe that the output of the laser beam consists of a number of discrete frequency components. These modes are known as longitudinal modes or axial modes. These modes are created inside the optical resonator between the two mirrors.

ان السبب في تكون تلك الأنماط يعود الى تكون أمواج موقوفة (Standing eave) بين المرآتين.

وكما نعلم ان الأمواج الموقوفة تتكون نتيجة لتداخل موجتين لهما نفس التردد وتنتشران في اتجاهين

متعاكسين في المسافة بين المرأتين، مثال هذه الأمواج الموجات الطولية المتولدة في حبل مشدود كحبل الجيتار.

Standing waves in a laser

In a laser, an optical cavity is created by two mirrors at both ends of the laser.

These mirrors serve two goals:

1. They increase the length of the active medium, by making the beam pass through it many times.

2. They determine the boundary conditions for the electromagnetic fields inside the laser cavity.

The axis connecting the centers of these mirrors and perpendicular to them is called Optical Axis of the laser. The laser beam is ejected out of the laser in the direction of the

optical axis.

An electromagnetic wave which move inside the laser cavity from right to left, is reflected by the left mirror, and move to the right until it is reflected from the right mirror, and so on.

Conditions for Standing Waves

Two waves of the same frequency and amplitude are moving in opposite directions, which is the condition for creating a standing wave.

standing waves, must fulfill the condition:

$L = q \lambda_q/2$

L = Length of the optical cavity.

q = Number of the mode, which is equal to the number of half wavelengths inside the optical cavity.

The first mode contains half a wavelength, the second mode 2 halves (one) wavelength.

λ_q = Wavelength of mode m inside the laser cavity.

In fact the number of modes (q) in most laser is very large. For Example if the central wavelength is 500nm and the mirror separation is 25cm , q has a value of 1000000, since q can be any integer, there are many possible wavelengths within the laser transition shape.

Example:

The length of an optical cavity is 25 cm. Calculate the frequencies ν_q and wavelengths λ_q of the following modes:

1. q =1
2. q = 10
3. q = 100
4. q = 10^6

	$\lambda_q = \frac{2L}{q}$	$\nu_q = q\frac{C}{2L}$
1	$\lambda_1 = 2\cdot\frac{0.25}{1} = 0.5$	$\nu_1 = 6*10^8$ [Hz] Radio Wave
2	$\lambda_{10} = 2\cdot\frac{0.25}{10} = 0.05$	$\nu_2 = 6*10^9$ [Hz] Short Wave Communication
3	$\lambda_{100} = 2\cdot\frac{0.25}{100} = 5\cdot10^{-3}$	$\nu_3 = 6*10^{10}$ [Hz] Microwaves
4	$\lambda_{10^6} = 2\cdot\frac{0.25}{10^{-7}} = 0.5\cdot10^{-6}$	$\nu_4 = 6*10^{14}$ [Hz] Green Color

The separation between axial modes

If the First mode is q, then:

$$L = q\,\frac{\lambda_q}{2}$$

If the Second mode is q+1, then:

$$L = (q+1)\,\frac{\lambda_{q+1}}{2}$$

It is more convenient to refer to the axial modes by their frequency:

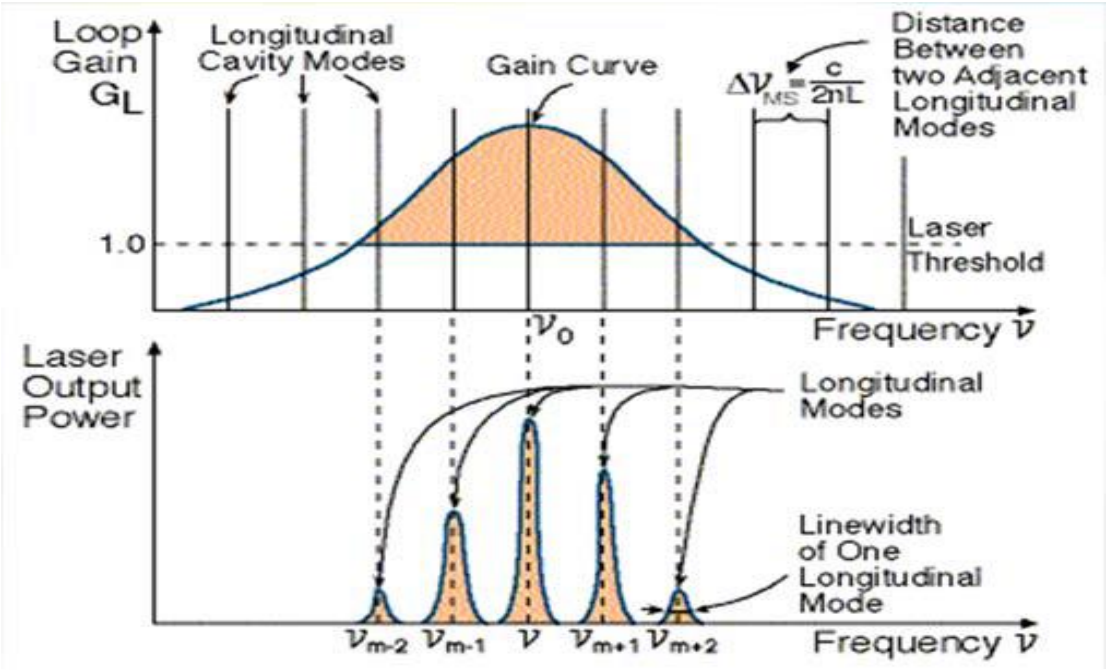
$$\nu_q = \frac{C}{\lambda_q} = q\,\frac{C}{2\,L}$$

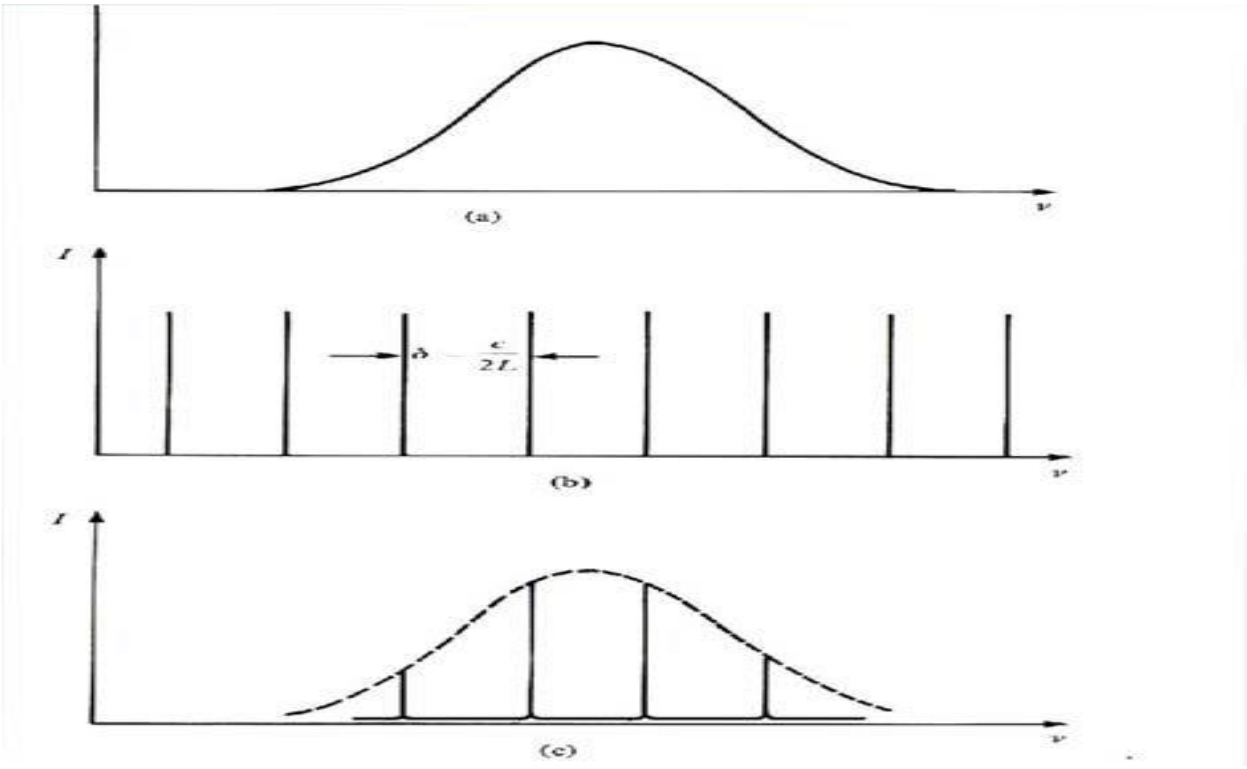
$$\nu_{q+1} = \frac{C}{\lambda_{q+1}} = (q+1)\,\frac{C}{2\,L}$$

$$\nu_{q+1} - \nu_q = \frac{C}{2\,L}(q+1-q) = \frac{C}{2\,L}$$

The separation between neighboring frequencies is equal to C/2L i.e. dependent only on the separation between mirrors and independent of q.

For L=25cm The separation between neighboring frequencies is $6\text{x}10^{8}$ sec^{-1}.





ملاحظات

1- الانماط هي توزيعات المجال الكهرومغناطيسي داخل المرنان فمنها ما يقع في مستوي عمودي على المحور البصري للمرنان وهي المستعرضة ومنها ما يقع على امتداده وهي الطولية أي يوجد نوعان من انماط المرنان:1 -الانماط المستعرضة 2-الانماط الطولية

2- ان عدد صيغ التذبذب الطولية تعتمد على عرض الخط الطيفي وايضا على طول المرنان فكلما زاد طول المرنان كلما قلت الفاصلة الترددية (فرق التردد بين أي صيغتين متعاقبتين مستعرضه او طولية) بين أي صيغتين وهذا يؤدي الى تذبذب عدد اكبر من الصيغ ضمن خط الانبعاث لليزر بينما يزداد عدد الأنماط تحت منحني التحصيل كلما ازداد طول المكبر الليزري (طول المرنان) وذلك لان الفاصلة الترددية بين الانماط تقل بزيادة طول المرنان.

It is clear that a single mode laser can be made by reducing the length of the cavity, such that only one longitudinal mode will remain under the fluorescence curve with $G_L>1$.

عدد الأنماط التي يمكن أن تنتج ليزر تلك التي يتحقق عندها شرط الحصيلة أكبر من أو يساوي الخسارة كما هو واضح في المنطقة الملونة في الشكل أعلاه. للحصول على عدد الأنماط التي يمكن أن تكبر تحت منحنى الحصيلة نقسم عرض الحزمة الليزرية Laser bandwidth على المسافة بين نمطين (C/2L).

The approximate number of possible laser modes is given by the width of the Laser bandwidth divided by the distance between adjacent modes.

Example

The length of the optical cavity in He-Ne laser is 30 cm. The emitted wavelength is 0.6328 μm. Calculate:

1. The difference in frequency between adjacent longitudinal modes.
2. The number of the emitted longitudinal mode at this wavelength.
3. The laser frequency.

Solution

1. The equation for difference in frequency is the same as for the basic mode:

$(\Delta\nu)=C/(2L)= 3*10^8$ m/s/(2*0.3 m)$=0.5*10^9$ Hz=0.5 GHz

2. From the equation for the wavelength of the q_{th} mode:

$\lambda_q = 2L/q$

$q = 2L/ \lambda_q = 2*0.3 /0.6328*10^{-6} = 0.948*10^6$

which means that the laser operate at a frequency which is almost a million times the basic frequency of the cavity.

3. The laser frequency can be calculated in two ways:

a) By multiplying the mode number from section 2 by the basic mode frequency:

$\nu = q\times(\Delta\nu) = (0.948*10^6)(0.5*10^9$ Hz$) = 4.74*10^{14}$ Hz

b) By direct calculation:

$\nu = c/\lambda = 3*10^8$ m/s$/0.6328\times10^{-6}$m $=4.74\times10^{14}$ Hz

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.