

Physics Academy

Al-Azhar University - Gaza

Laser Physics



Modifying the laser output

Lecture 15

Dr. Hazem Falah Sakeek

www.hazemsakeek.com
www.physicsacademy.org

Physics Academy

Modifying the laser output

درسنا في المحاضرات السابقة فكرة عمل الليزر والعوامل الأساسية التي بدونها لا يمكن الحصول على شعاع ليزر.

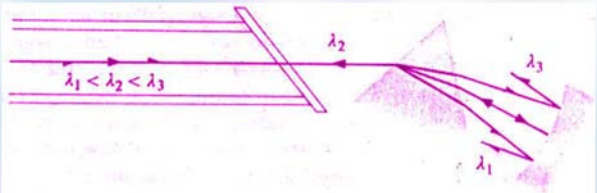
في هذه المحاضرة سنقوم بإلقاء الضوء على الطرق والأساليب المتبعة لتسخير شعاع الليزر للتطبيقات العملية. على سبيل المثال يستخدم الليزر لقطع المعادن واللحام وهذا يتطلب زيادة طاقة شعاع الليزر أو الحصول على شعاع ليزر يعمل بنمط محوري واحد لتطبيقات الدراسات الطيفية أو الاتصالات. وهذا سيكون موضع من خلال العناوين الأربعة التالية:

- Selection of the laser emission lines
- Single-mode operation
- Q-Switching
- Mode Locking

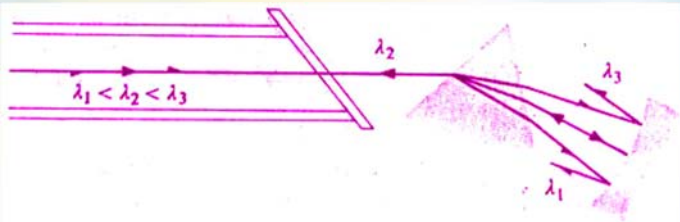
Selection of the laser emission lines

نعلم أن الليزر ينتج من انتقال الذرات المثارة من مستويات الطاقة الأعلى إلى مستويات الطاقة الأقل وذلك إذا تحققت الشروط المطلوبة لتكون الحصىلة اكبر من الخسارة. وهذا قد يتحقق في المادة المنتجة لليزر لأكثر من تردد كما سنرى في المحاضرة القادمة **He-Ne Laser**

هنا نحن لا نتحدث على الأنماط المحورية تحت منحنى الحصىلة ولكن المقصود هو خطي ليزر أو أكثر مختلفين ولكل منهما تردد خاص ومنحنى حصىلة. وكلا من هذه الترددات سوف تكبر وتنتج ليزر عند أكثر من تردد في نفس الوقت.



يوضح الشكل كيف يمكن تكبير الطول الموجي λ_2 فقط باستخدام المنشور



للتغلب على هذه الظاهرة يتم استخدام منشور Prism بين المادة المنتجة لليزر والمرآة حيث أن لكل تردد زاوية انكسار خاصة حسب Snell's Law ويضبط وضع المنشور بحيث يكون التردد المراد تكبيره للحصول على ليزر عنده يسقط بزاوية قائمة على المرآة وبالتالي ينعكس على نفسه ليعود إلى المادة ويكبر، بينما الترددات الأخرى تنعكس خارج المادة المكبرة ولا تنتج ليزر. كما يمكن استخدام Diffraction Grating أو Filters

Single-mode operation

يكون الضوء الناتج من ليزر يعمل عند نمط محوري أحادي اقرب ما يكون إلى المصدر الضوئي أحادي اللون. حيث أننا درسنا في المحاضرات الأولى موضوع اتساع الخط الطيفي نتيجة للعوامل متعددة وبهذا فإن الضوء أحادي اللون يكون له اتساع محدود، وهذا الاتساع يحدد مدى دقة مصطلح أحادي اللون **Monochromatic Light Source** وأقل اتساع يمكن الحصول عليه من ليزر يعمل بنمط محوري واحد **Single mode operation**.

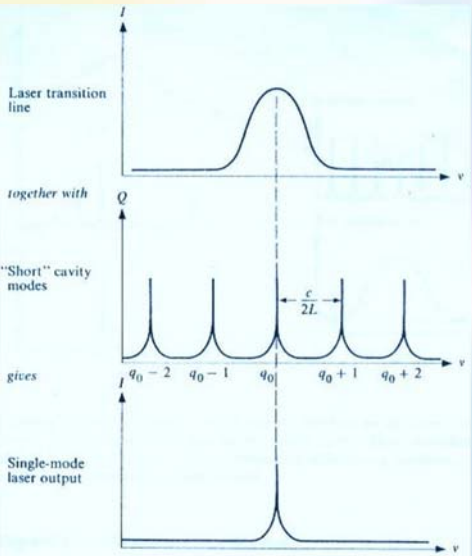
كيف يمكن الحصول على Single mode laser ؟

تعتمد فكرة الحصول على ليزر يعمل بنمط محوري وحيد على زيادة المسافة بين الأنماط المحورية المتجاورة إلى مسافة تصل على الأقل مساوية لاتساع منحنى الحصىلة. وبهذا يكون النمط المحوري q_0 هو النمط المتحقق عنده شرط الحصىلة أكبر من الخسارة بينما الأنماط الأخرى q_{0-1} أو q_{0+1} تقع خارج منحنى الحصىلة.

المسافة بين نمطين محوريين تعطى بالعلاقة $C/2L$ وبهذا يعني انه كلما قل L طول المكبر كلما زادت المسافة بين النمطين المحوريين. فإذا ما صمم المكبر بحيث يكون طوله يحقق الشرط

$$C/2L \geq \Delta\nu$$

لهذه الطريقة اثر على تقليل مادة المكبر وبالتالي طاقة الليزر ولكن تستخدم في تطبيقات تكون بحاجة إلى اقرب ما يكون للتردد أحادي اللون.



Q-Switching

تحتاج العديد من التطبيقات إلى طاقة عالية لليزر مثل التطبيقات الصناعية لليزر في اللحام والقطع ولزيادة طاقة الليزر نستخدم عدة طرق للحصول على **Q-Switching** حيث يتم التحكم في توقيت عملية الانبعاث الاستثنائي عن طريق التحكم في مستوى الخسارة . **كيف؟؟**

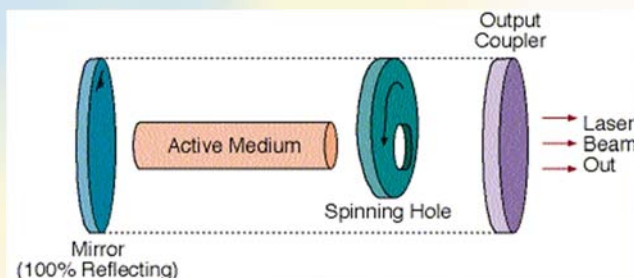
من المحاضرات السابقة لاحظنا أن نبضة الليزر المنبعثة من Ruby laser تحتوي على Spikes وهذا يعود إلى توالي حدوث الانبعاث الاستثنائي والضخ لقلب التعداد خلال عملية الإثارة بواسطة Flash lamp والتي تستمر لفترة زمنية تصل إلى microseconds فإذا ما تم إيقاف الانبعاث الاستثنائي خلال فترة الضخ الضوئي لزيادة الحصة يمكن الحصول على نبضة ليزر في فترة زمنية تصل إلى Nanoseconds.

فكرة عمل الـ Q-Switching

تعتمد فكرة الـ Q-Switching على إيقاف مؤقت لليزر من خلال التحكم في مستوى الخسارة خلال عملية الضخ حتى يتم زيادة تعداد مستوى الليزر إلى أكبر قيمة ممكنة وهذا يعني زيادة الحصة إلى قيمة أكبر بكثير من القيمة الحرجة . Threshold Gain. ثم نقوم بتقليل مستوى الخسارة إلى القيمة الأساسية وهذا سيؤدي إلى أن يكون الـ Gain أكبر بكثير من الـ Threshold فتحدث عملية الانبعاث الاستثنائي في فترة زمنية قصيرة تنتج عنه نبضة ليزر ذات طاقة عالية.

Dr. Hazem Falah Sakeek

7

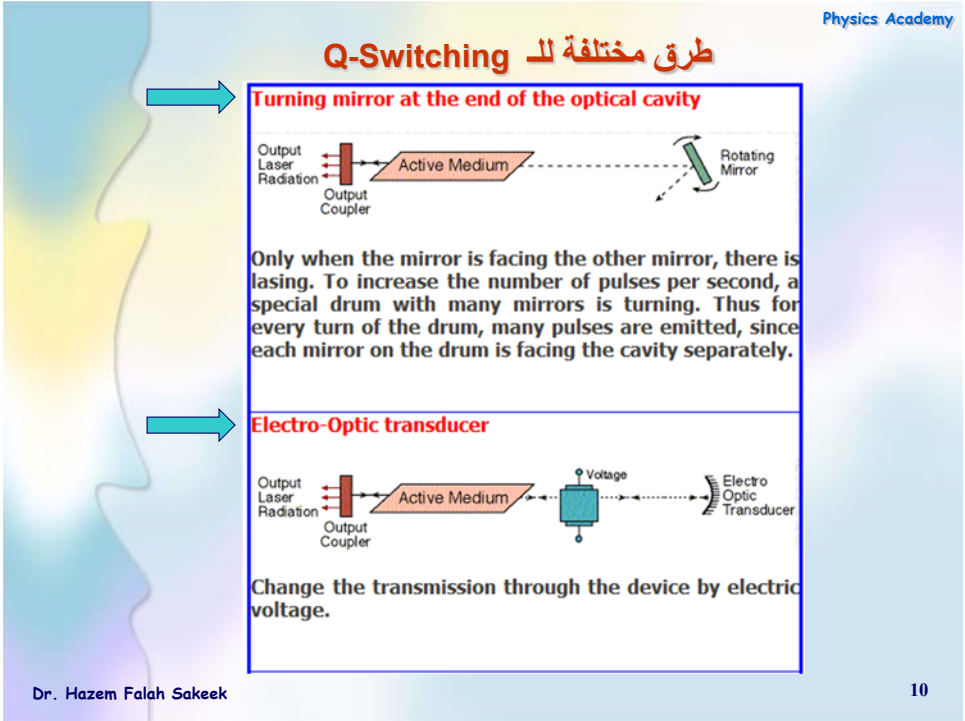
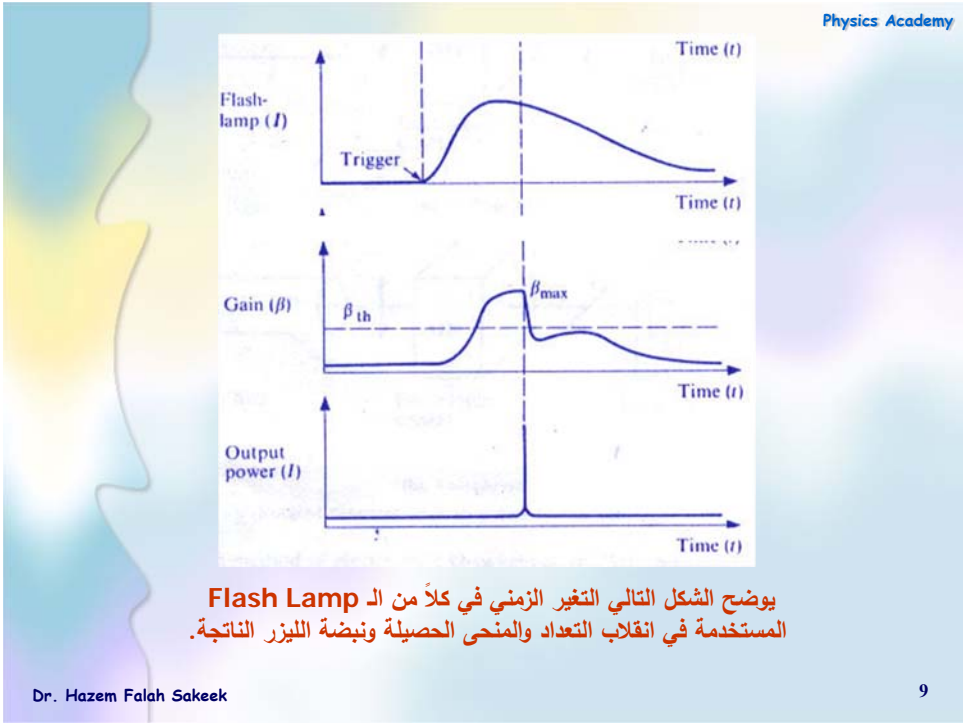


يوضح الشكل أعلاه فكرة التحكم بالخسارة حيث تم وضع قرص دائري به فتحة تدور بسرعة حول المحور الضوئي لليزر. فعندما تحجب الأشعة عن المرآة خلف القرص يتم زيادة التعداد وتكبير الحصة وذلك لأن مستوى الخسارة يعد كبير جداً وعند وصول الفتحة في القرص في مستوى المحور الضوئي تصبح الخسارة في أدنى مستوى لها بينما تزال الحصة في أعلى مستوى لها وهذا سيؤدي إلى انبعاث نبضة ليزر في فترة زمنية قصيرة مما يعني طاقة هائلة.

Q-switch acts as a shutter that can be open suddenly inside the laser cavity

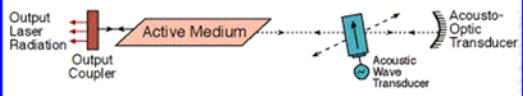
Dr. Hazem Falah Sakeek

8



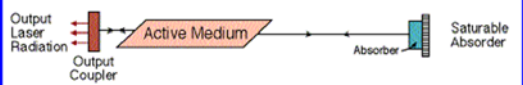
Physics Academy

Acousto-Optic transducer



Change the transmission through the device by acoustic signal

Saturable absorber



An absorber that becomes transparent when it reach saturation. It is usually a dye solution which prevents lasing by absorption. When the radiation arrives at a certain level, this absorber comes to saturation, and since it can no longer absorb radiation, it becomes transparent. At that moment lasing can occur, and all the stored energy inside the cavity is emitted as a single pulse.

Dr. Hazem Falah Sakeek

11

Physics Academy

Mode Locking

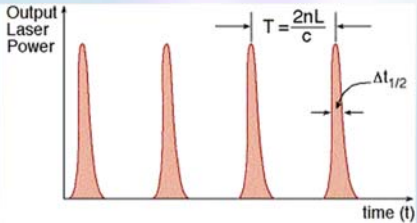
Locking the longitudinal optical modes inside the cavity is achieved by locking the relative phase of all the optical modes, such that at a certain point they all have the same phase.

At this point a constructive interference occur between all the laser modes, and the result is a single pulse, with very short width and very high peak power, which move between the mirrors of the cavity.

This moving pulse cause the laser output to be orderly chain of pulses.

The length of each pulse is from 1 psec (10^{-12} sec), up to 1 nsec (10^{-9} sec).

In figure the output laser radiation of a mode locked laser can be seen.



Output laser radiation of a mode locked laser.

Dr. Hazem Falah Sakeek

12

Mode Lock Optical Switch

The element locking the laser modes is an **optical switch** inside the cavity. This switch is opened for a very short time equal to the length of the pulse, and then close for a period of time equal to the time of round trip of the pulse inside the cavity.

The location of the switch is near one of the end mirrors.

The switch allows the pulse to pass to the mirror and back, and then close to disable other pulses from building up.

The switch opens again when this particular pulse arrive again from the other mirror.

This is a **synchronous switching** which accumulates all the energy in a single pulse moving back and forth between the cavity mirrors. Each time it reaches the output coupler, a single pulse is emitted.

The mode locking is done with an Acousto-optical modulator, and the frequency of its operation is determined by the travel time of the pulse between the mirrors.

Time Interval (T) between two Adjacent Pulses.

The time interval (T) between two adjacent pulses is the time of flight of the single pulse inside the cavity for a complete round trip:

$$T = 2L/C$$

L = Cavity length.

c = Velocity of light inside the active medium.

In a mode locked diode lasers, the pulse length can be a few picoseconds (10^{-12} [s]), with pulse rate of hundreds of Gigahertz (10^{11} [Hz]).