LASER AND IT'S APPLICATIONS

مقرر الليزر

ا.م.د/ مسعود مصطفى

قائمة المراجع

تقنيات الليزر واستخداماته ، د. يوسف مولود حسن و صالح مصطفى التروشي ، دار دجلة ط1، 2007.

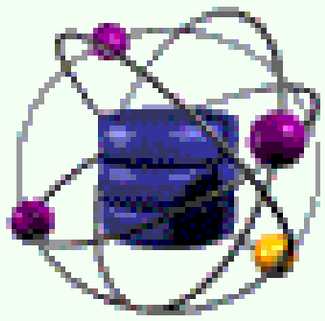
مفاهيم تكنولوجيا الليزر ، سي بي هتز ، ترجمة : د. صالح نوري صالح و هشام محمد الراوي ، الدار العربية بغداد 1989.

Principles of Lasers, Orazio. Svelto, Published 1998, Springer.

Laser Fundamentals, William Thomas Silfvast , Published 2004 Cambridge University Press

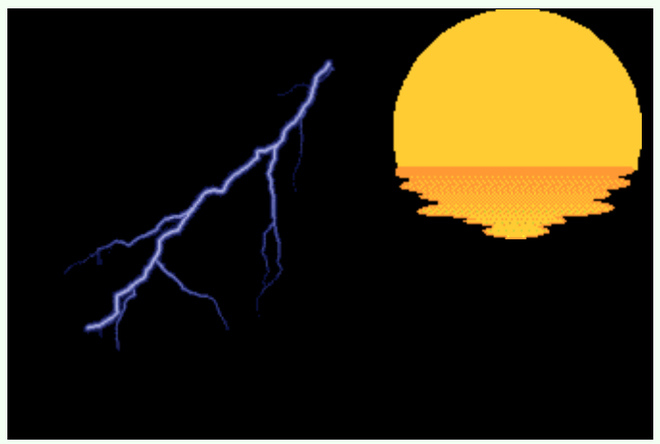
الفصل الأول

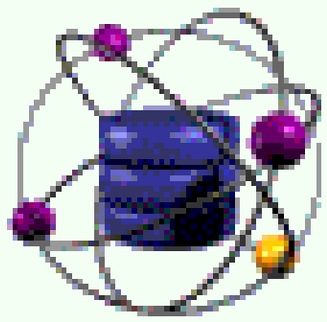
مقدمة وتمهيد



طبيعة الضوء

Nature of Light



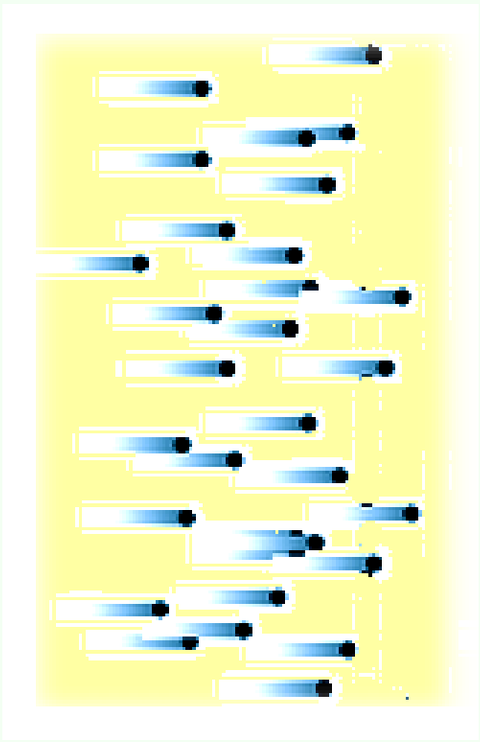


طبيعة الضوء

النظرية الجسيمية ـ نيوتن

Particle Theory

- وضع نيوتن سنة 1666م نظرية تقول إن الضوء يتألف من سيل من الجسيمات الصغيرة التي ينتجها المصدر الضوئي لتنتقل في خطوط مستقيمة خلال الفراغ وترتد من على الأجسام فتراها العين.
- **Light behaves as a small particles produced by the light source that travel in straight lines through a vacuum and bounce off objects so that the eye can see it.**



***The theory was called the particle theory. * This theory was able to explain the phenomena of reflection and refraction. * This theory failed to explain the phenomena of interference and diffraction**

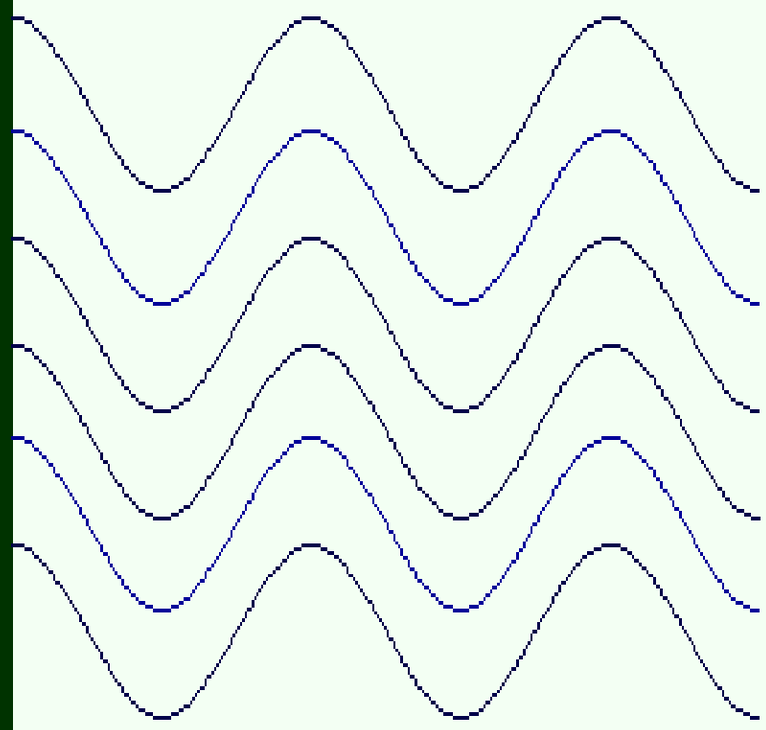
سميت النظرية بنظرية الجسيمات الضوئية.\

* استطاعت هذه النظرية تفسير ظاهرتي الانعكاس والانكسار.

* فشلت تلك النظرية في تفسير ظاهرتي التداخل والحيود .

النظرية الموجية ـ هيجنز

Wave Theory



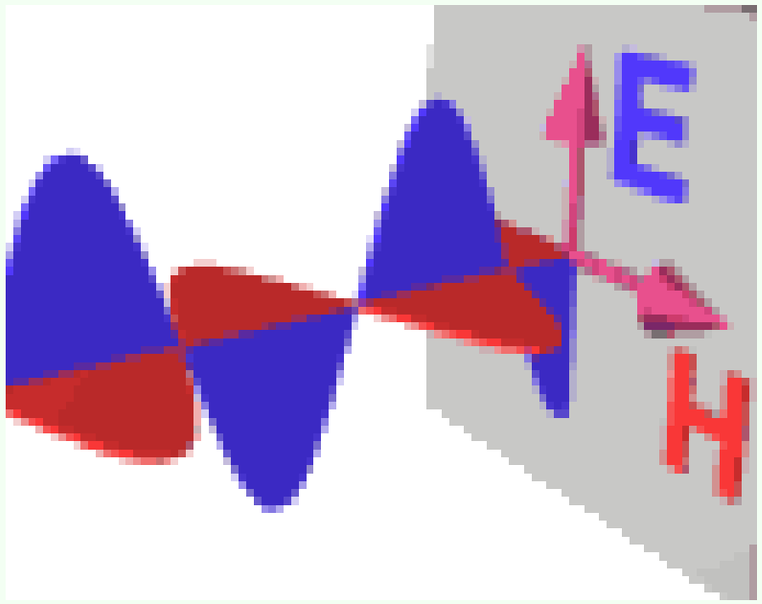
- **Light is waves that travel in a medium that he called the ether, and he was unable to explain what it is. * Newton's reputation had the greatest impact in not accepting the wave theory until Thomas Young came up with his famous double slit experiment, which favored the wave theory.**
*** The wave theory has successfully explained the phenomena of interference and diffraction**
- **افترض هيجنز ـ وهو أحد معاصري نيوتن ـ أن الضوء عبارة عن موجات تنتقل في وسط أسماه الأثير وعجز عن تفسير ماهيته.**

*** كان لسمعة نيوتن أعظم الأثر في عدم قبول النظرية الموجية حتى جاء توماس يونج بتجربته الشهيرة تجربة الشق المزدوج التي رجحت كفت النظرية الموجية.**

*** فسرت النظرية الموجية ظاهرتي التداخل والحيود بنجاح .**

النظرية الكهرومغناطيسية - ماكسويل

Electromagnetic Theory



- **This theory states that light is high-frequency electromagnetic waves in which the electric field vibrates perpendicular to the vibration of the magnetic field.** تنص
- هذه
- النظرية على أن الضوء عبارة عن موجات كهرومغناطيسية عالية التردد يهتز فيها المجال الكهربائي بشكل عمودي على اهتزاز المجال المغناطيسي .

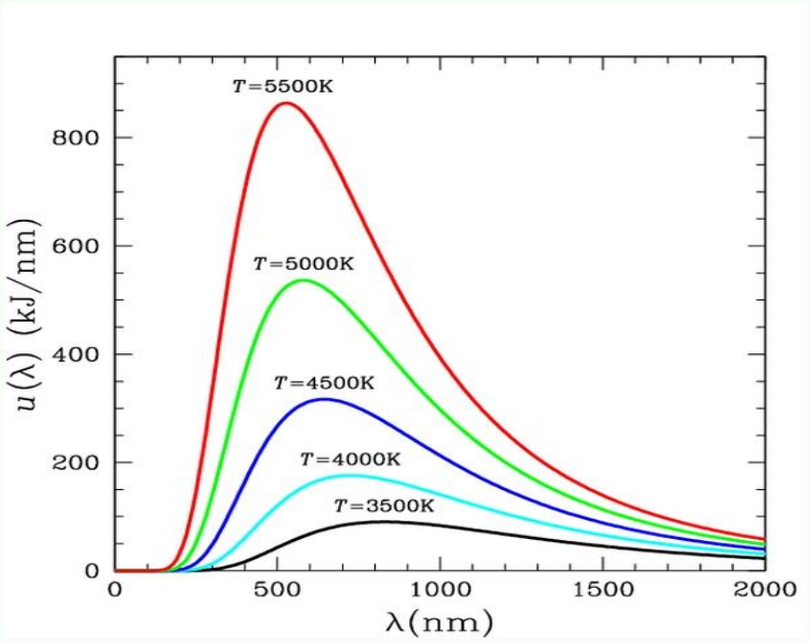
. *

إشعاع الجسم الأسود والتأثير الكهروضوئي - بلانك وآينشتاين

Blackbody Radiation and Photoelectric effect

* ومع بداية القرن العشرين ، عادت المعركة من جديد بين النظريتين الجسيمية والموجية حيث ظهرت ظواهر فيزيائية عجزت النظرية الموجية عن تفسيرها (كظاهرتي إشعاع الجسم الأسود والتأثير الكهروضوئي) (Black body radiation and the photoelectric effect)

.



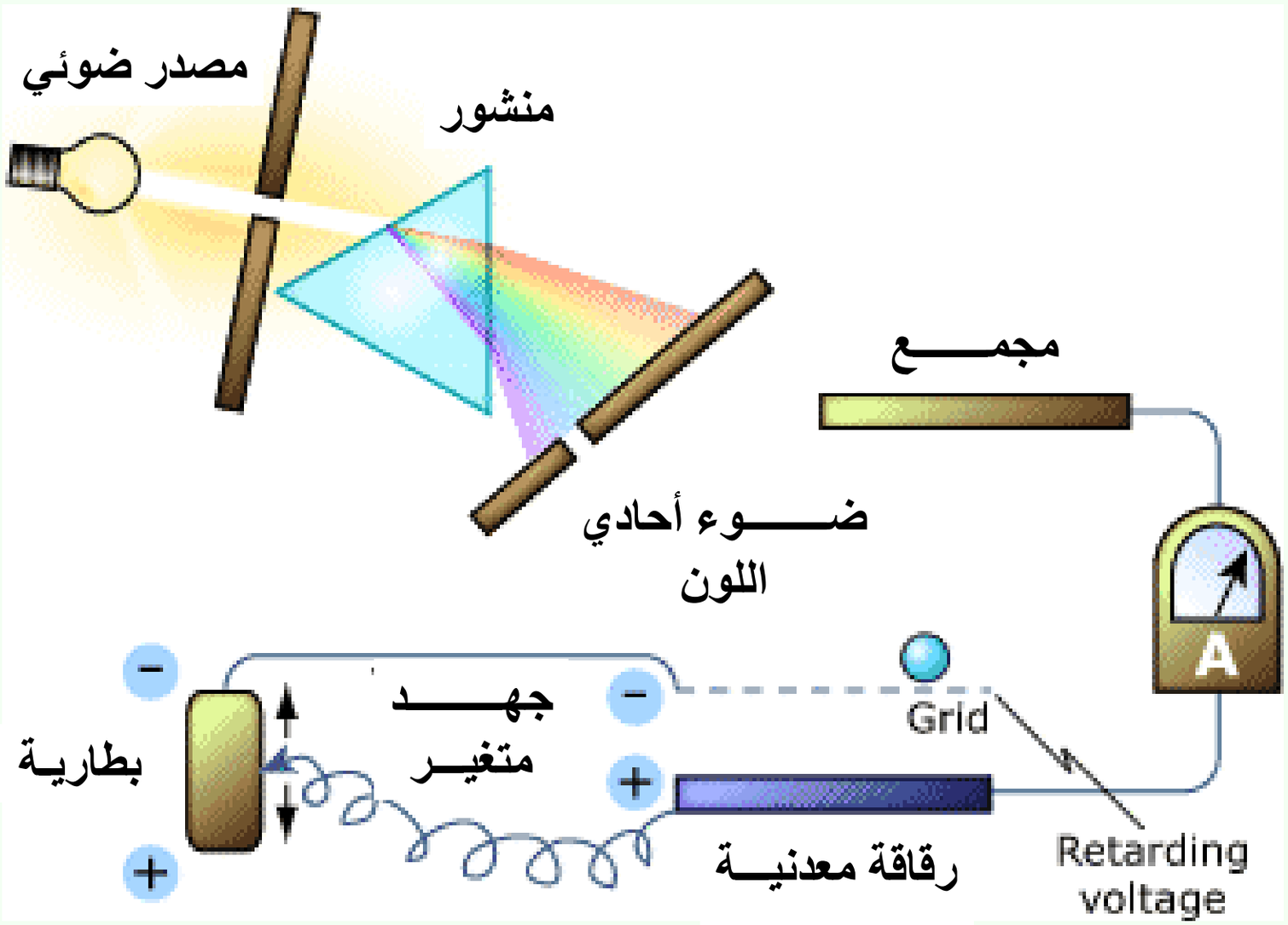
* وكانت المفاجأة أن هاتين الظاهرتين يمكن تفسيرهما بنجاح بافتراض الخاصية الجسيمية للضوء.

* افترض بلانك فكرة أن الطاقة الضوئية مكماة لتفسير ظاهرة إشعاع الجسم الأسود .

طبيعة الضوء

التأثير الكهروضوئي - هيرتز

Photoelectric effect



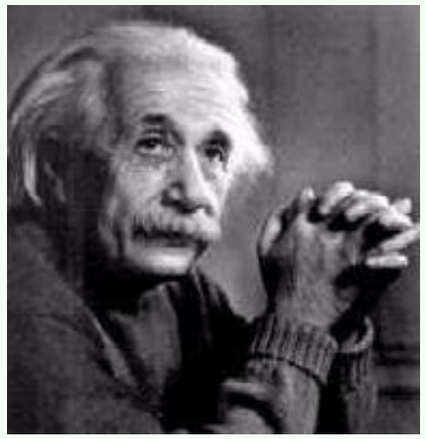
- **Hertz found that shining a beam of light on the surface of a metal causes a number of electrons to be released, called photoelectrons.**
- وجد هيرتز أن تسليط حزمة من الضوء على سطح معدن تتسبب في تحرر عدد من الإلكترونات سميت بالإلكترونات الضوئية.

***The number of liberated electrons increases with the intensity of the shining light, while all these electrons have the same amount of energy, which does not depend on the intensity of the light but on its frequency.**

عدد الإلكترونات المتحررة يزداد بازدياد شدة الضوء المسلط في حين تمتلك جميع هذه الإلكترونات نفس كمية الطاقة والتي لاتعتمد على شدة الضوء بل على ترده.

الكمات الضوئية (الفوتونات) - آينشتاين

Photons



* مستفيداً من فرضية تكميم الطاقة التي افترضها بلانك ولتفسير الظاهرة الكهروضوئية اقترح آينشتين أن الضوء عبارة عن سيل من جسيمات أو كمات ضوئية متناهية الصغر أسماها فوتونات.

* يرتبط تردد الفوتونات (f) بطولها الموجي (λ) بالعلاقة :

$$c = f\,\lambda \qquad (1)$$

* يحمل كل فوتون من هذه الفوتونات طاقة مقدارها :

$$E = h\,f \qquad (2)$$

h ثابت بلانك $= 6.6262 \times 10^{-34}$ J.s

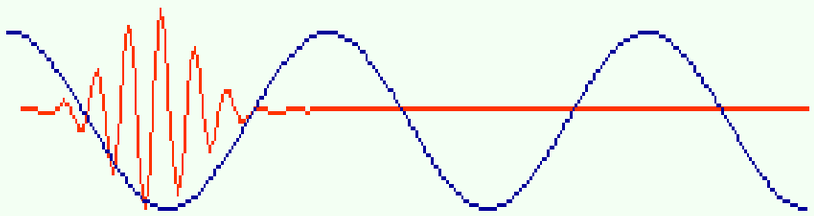
وبما أن (3) $E = m\,c^2$ m الكتلة

فإن زخم الفوتون يعطى بـ:

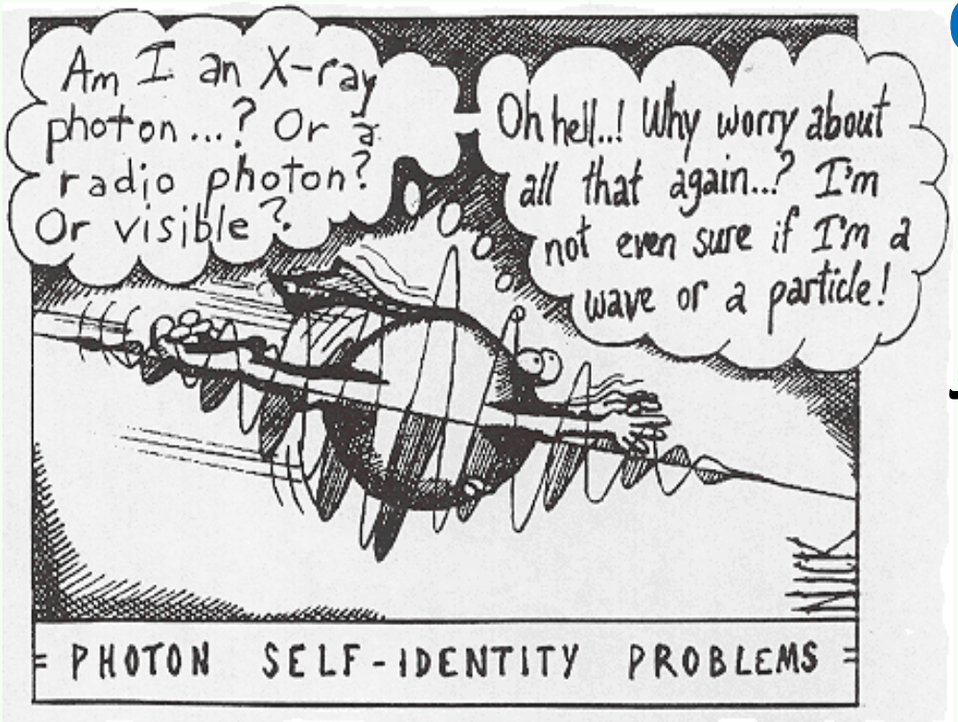
$$p = m\,c = E/c = h\,f/c = h/\lambda \qquad (4)$$

الخاصية المزدوجة للضوء

Dual Nature of Light



* لقد كان السجال القوي بين النظريتين الجسيمية والموجية قاد العلماء إلى نتيجة حتمية وهي أن الضوء لا يمكن أن يوصف بحال من الأحوال بدلالة إحدى الصورتين التقليديتين منفردة عن الأخرى ، فما الحل إذن ؟.



***The solution is to admit that light has a dual property (wave-particle) so that they complement each other when trying to explain all the properties of light**

الحل أن نسلم بأن للضوء خاصية مزدوجة (موجية – جسيمية) بحيث يكمل بعضهما البعض عند محاولة تفسير جميع خواص الضوء.

*** هذا التفسير باختيار أحد النموذجين يعتمد كلياً على طبيعة التجربة التي يراد فيها ملاحظة أو تفسير إحدى الخواص الضوئية محل الدراسة. وذاك جوهر المفهوم الفلسفي لميكانيكا الكم .**

طبيعة الضوء

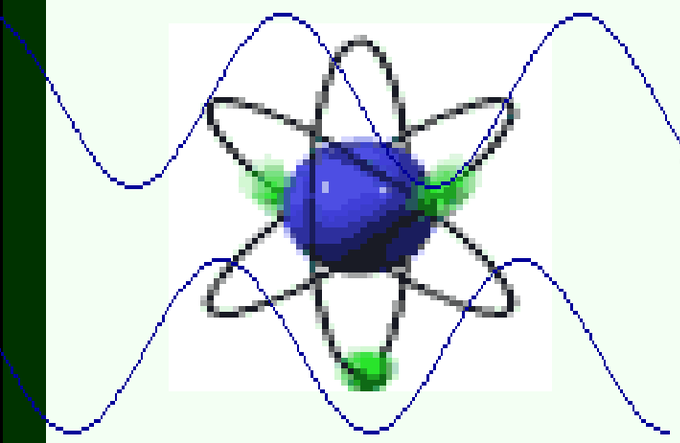
الجسيم الكمي وموجة ديبرولي

Quantum Particle and de Broglie Wave

* أفرزت الخاصية المزدوجة للفوتونات نموذج الجسيم الكمي وفيه تمتلك الكيانات الخصائص الموجية والجسيمية في آن واحد ، وعلينا اختيار أحد النموذجين لتفسير ظاهرة معين .

* اقترح ديبرولي عام 1923 م فكرة ثورية تعمم النموذج الكمي ليشمل كافة أشكال المادة ، بمعنى أن الإلكترونات (كجسيمات) مثلاً ينبغي أن يكون لها كلا الطبيعتين الجسيمية والموجية أو مايعبر عنه أحياناً بالموجة المصاحبة أو موجة ديبرولي .

The electrons (as particles), for example, should have both particle and wave natures, or what is sometimes expressed as an accompanying wave or a Deproli wave.



* وبالرغم من عدم امتلاك ديبرولي لأي مؤشر أو دليل عملي عند صياغته لتلك الفكرة إلا أن النتائج المعملية اللاحقة جاءت جميعها لتؤكد صحة هذا المفهوم حتى على المستوى الماكروسكوبي الذي تسود فيه الميكانيكا التقليدية.

* يعطى طول موجة ديبرولي من العلاقة :

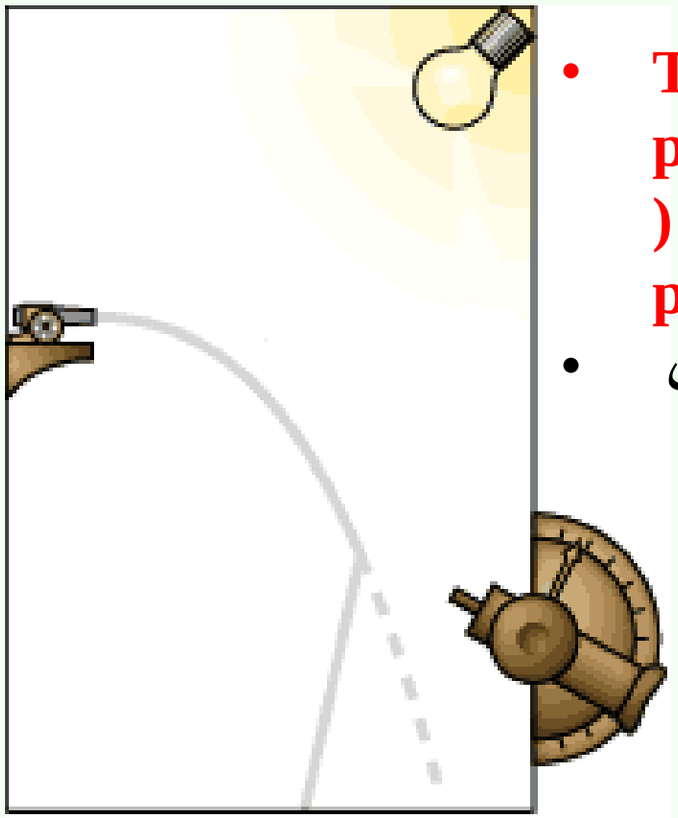
$$\lambda = h / p = h / m\, v \qquad (5)$$

مبدأ اللايقينية (عدم التحديد) - هيزنبيرغ

Uncertainty Principle

*** لقد حدت الخاصية المزدوجة من كمية المعلومات التي يمكن الحصول عليها من أي نظام كمي عند لحظة معينة ، فإذا كان الفوتون يمتلك الخاصية الجسيمية فهل يمكن قياس موضعه وزخمه في آن واحد ؟**

- **لقد أجاب العالم ويرنر هايزنبرغ على هذا التساؤل بمبدأه الشهير**



- **The Uncertainty Principle, which states that it is not possible in principle to determine both the position (x) and the momentum (P) of an atomic particle simultaneously with extreme accuracy. This principle is mathematical**
- **مبدأ اللايقينية أو عدم التحديد ، الذي ينص على أنه من غير الممكن من حيث المبدأ تعيين كل من موضع ( ) وزخم ( ) جسيم ذري آنياً بدقة متناهية ، فإذا صممت تجربة لقياس إحدى هاتين الكميتين بدقة عالية فإن الأخرى ستكون غير محددة تماماً والعكس صحيح ، ويصاغ هذا المبدأ رياضياً**
- **كالتالي :**

$$\Delta x \ . \ \Delta p \geq \frac{h}{2\pi} \qquad (6)$$

حيث Δx و Δp هما اللايقينية في تعيين موقع وزخم الجسيم على التوالي .

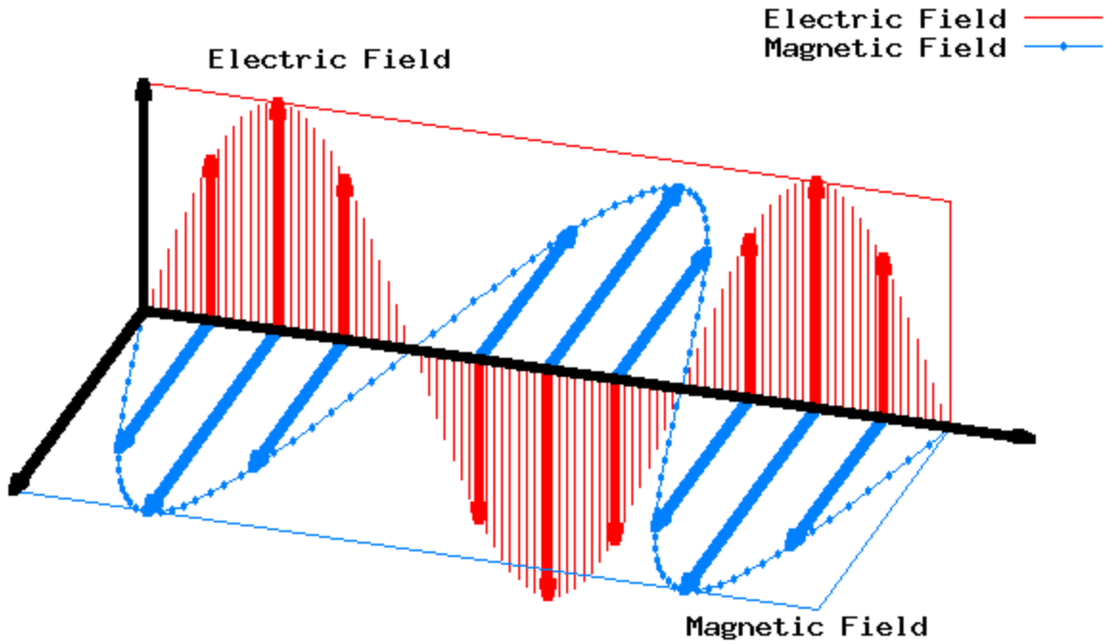
الموجات الكهرومغناطيسية

$$\nabla \cdot E = \rho \quad (1.3a)$$

$$\nabla \cdot B = 0 \quad (1.3b)$$

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t} \quad (1.3c)$$

$$\nabla \times B = J + \frac{\partial E}{\partial t}$$

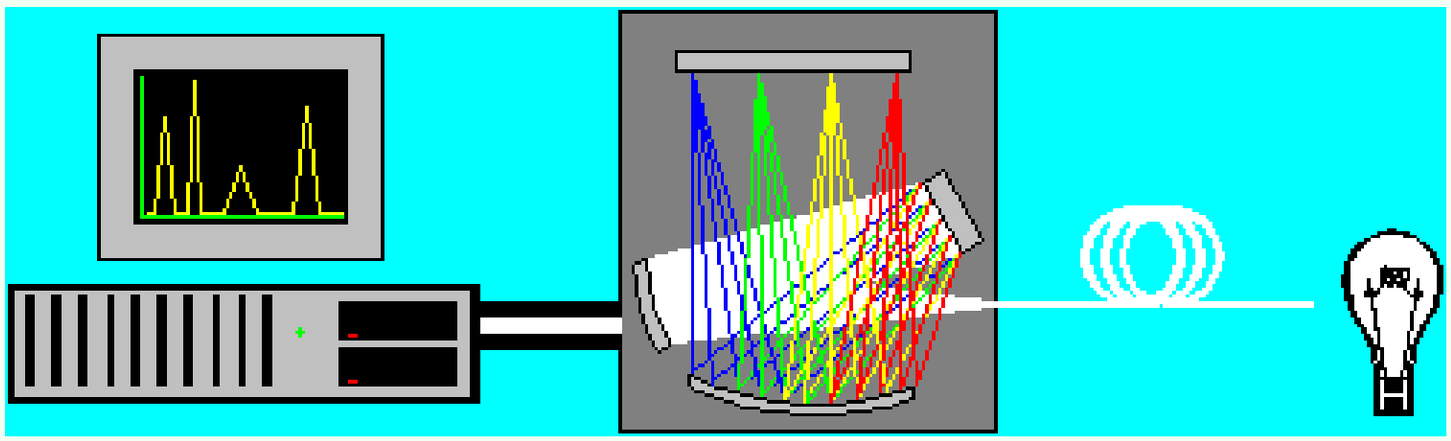


حيث **E** و **B** هما المجالان الكهربائي والمغناطيسي على التوالي .

J هي كثافة الشحنة الكهربائية ، ρ . كثافة التيار الكهربائي

الطيف الكهرومغناطيسي

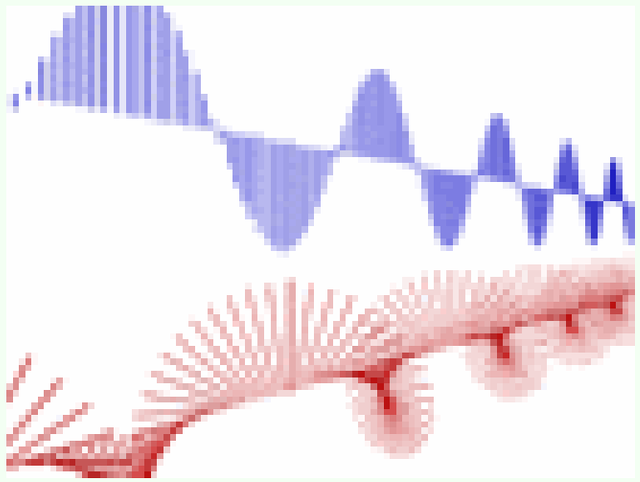
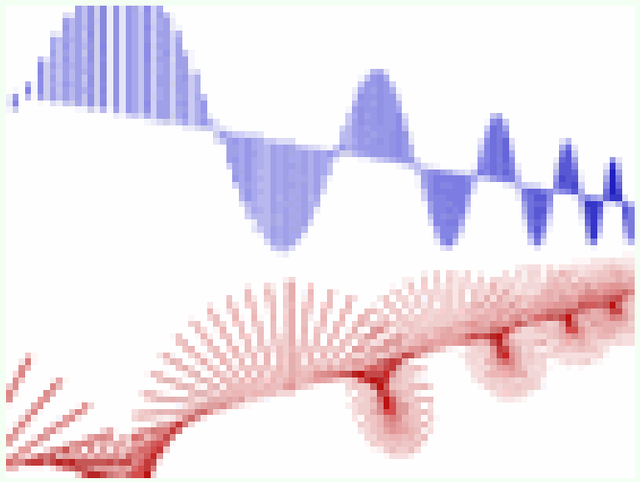
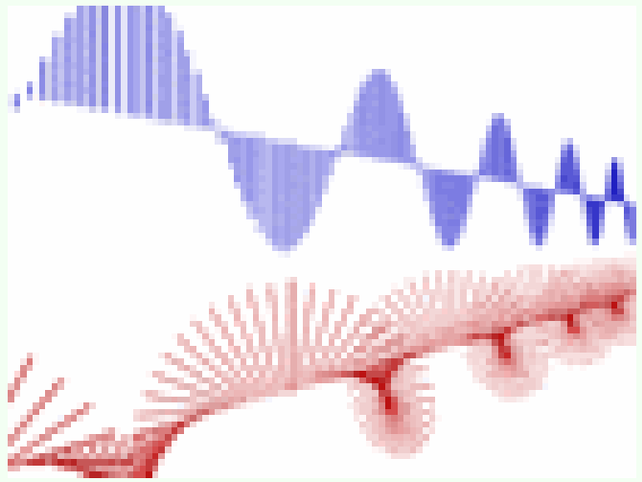
Electromagnetic Spectrum



الإسم الشائع	موجات الراديو		الموجات الدقيقة		الموجات تحت الحمراء		الأشعة فوق البنفسجية		الأشعة السينية		أشعة جاما	
	Radio waves		Microwaves		Infrared		Ultraviole		X-rays		γ-rays	
التردد (Hz) ν	1 kHz	1 MHz	1 GHz	1 THz	الضوء المرئي							
	10^{3}	10^{6}	10^{9}	10^{12}	10^{15}				10^{18}		10^{21}	
الطول الموجي (m) λ	1 km		1 m		1 mm		1 μm		1 nm			
	10^{6}	10^{3}	10^{0}	10^{-3}	10^{-6}				10^{-9}		10^{-12}	
المقاس التقريبي للطول الموجي	الجبال	البنايات	البشر	كرة البيسبول	النحل	النمل	رأس الدبوس	حبات الغبار	الفيروسات البكتيريا	الجزيئات البروتين	الذرات	الأنوية
طاقة الفوتون (J) $h\nu$	10^{-31}	10^{-28}	10^{-25}	10^{-22}	10^{-19}				10^{-16}		10^{-13}	
					1 eV				1 keV		1 MeV	
(eV) $h\nu$	10^{-12}	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	10^{0}				10^{3}		10^{6}	
المصدر	ذبذبة الشحنات		لف الإلكترونات والأنوية		دوران واهتزاز الجزيئات		إلكترونات المدارات الداخلية والخارجية		إلكترونات المدارات الداخلية		أنوية الذرات	
التوليد الصناعي	الدوائر الإلكترونية		كليسترون		الأجسام الحارة		سينكـــروترون + الليـــــزرات		أنابيب الأشعة السينية		المسرعات	

بعض الخواص الضوئية

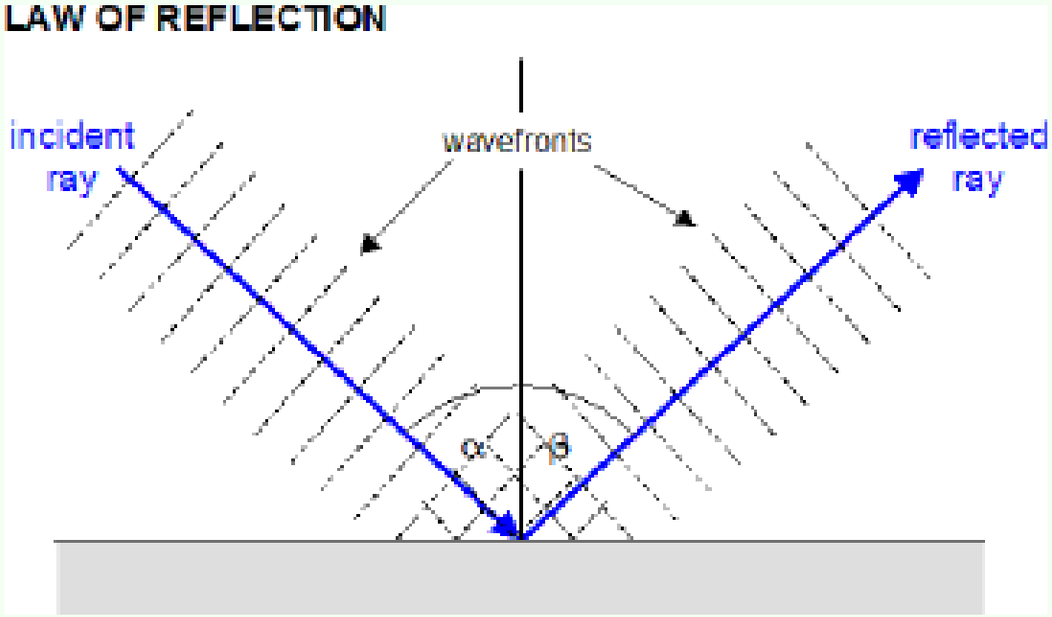
Light Properties

بعض الخواص الضوئية

الانعكاس

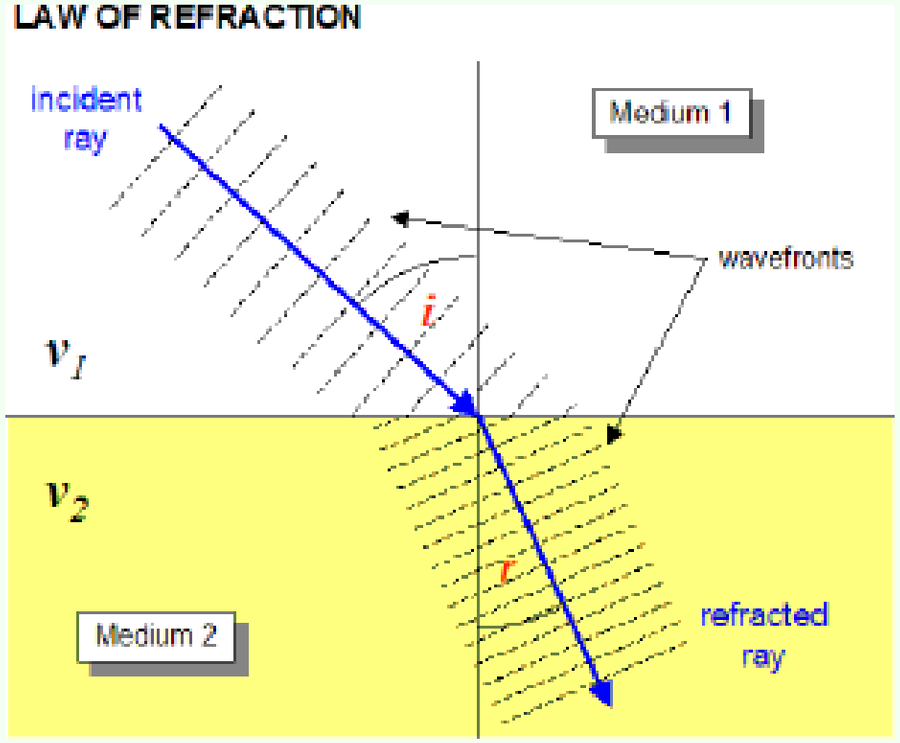
Reflection



زاوية السقوط = زاوية الانعكاس

الانكسار

Refraction

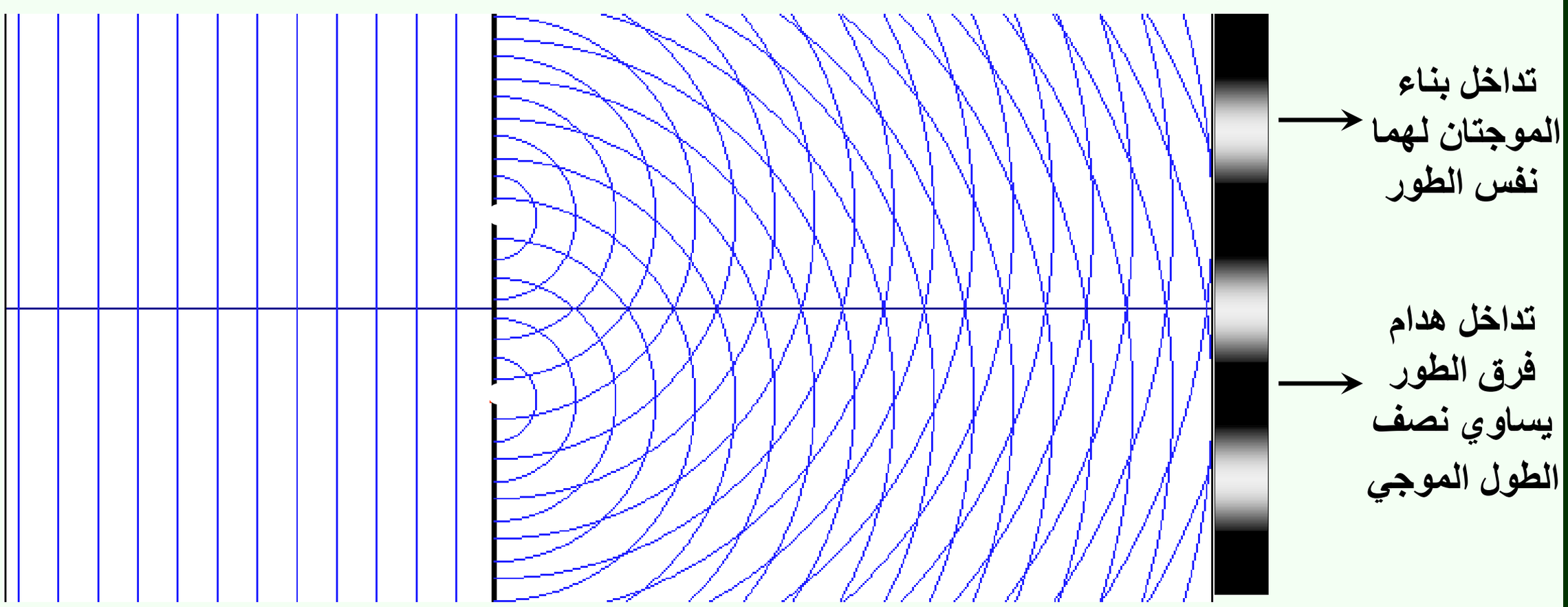


قانون سنل

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \qquad (7)$$

بعض الخواص الضوئية

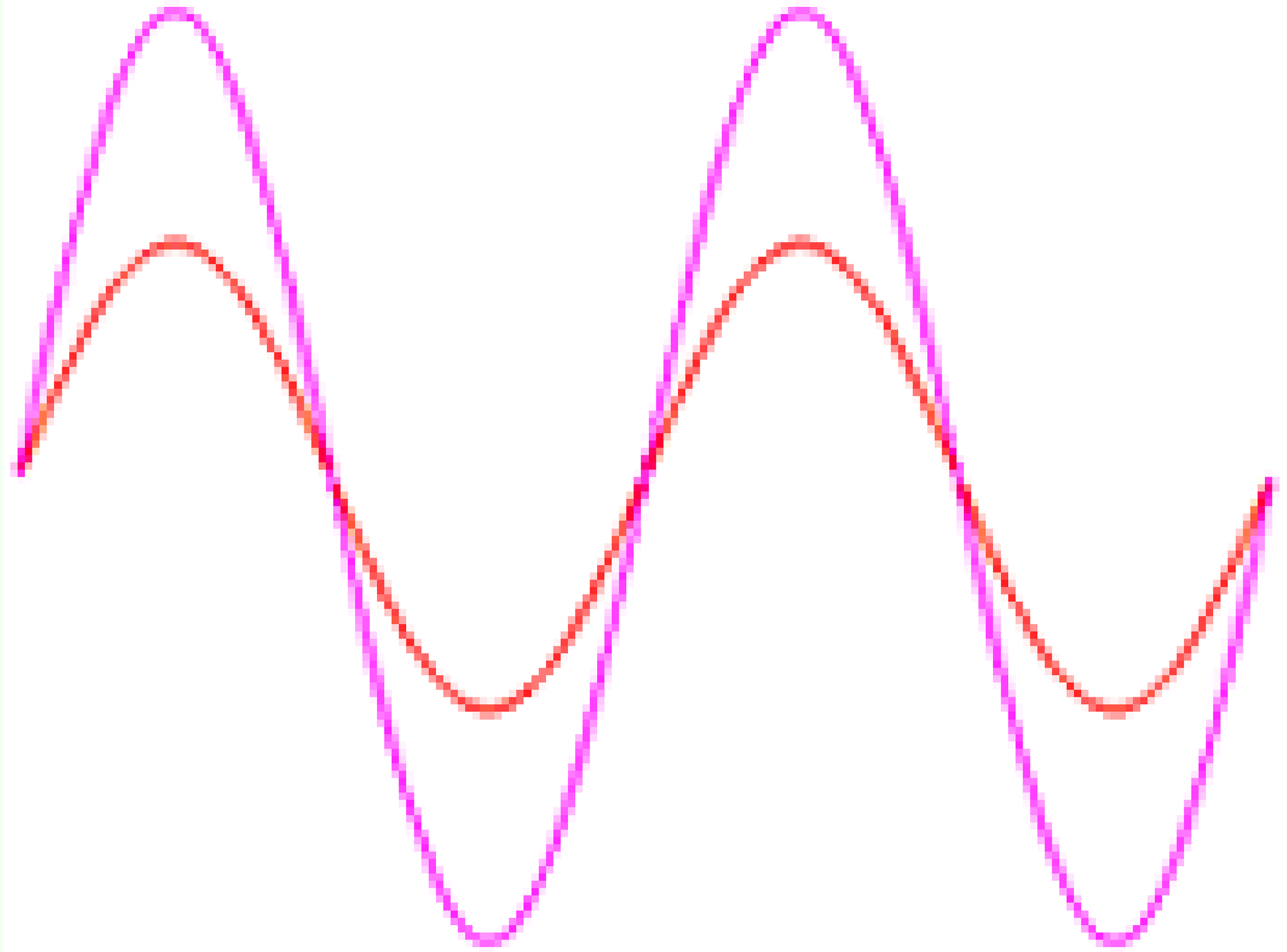
التداخل *Interference*



تجربة الشق المزدوج لتوماس يونج

بعض الخواص الضوئية

التمثيل البياني للتداخل البناء والهدام



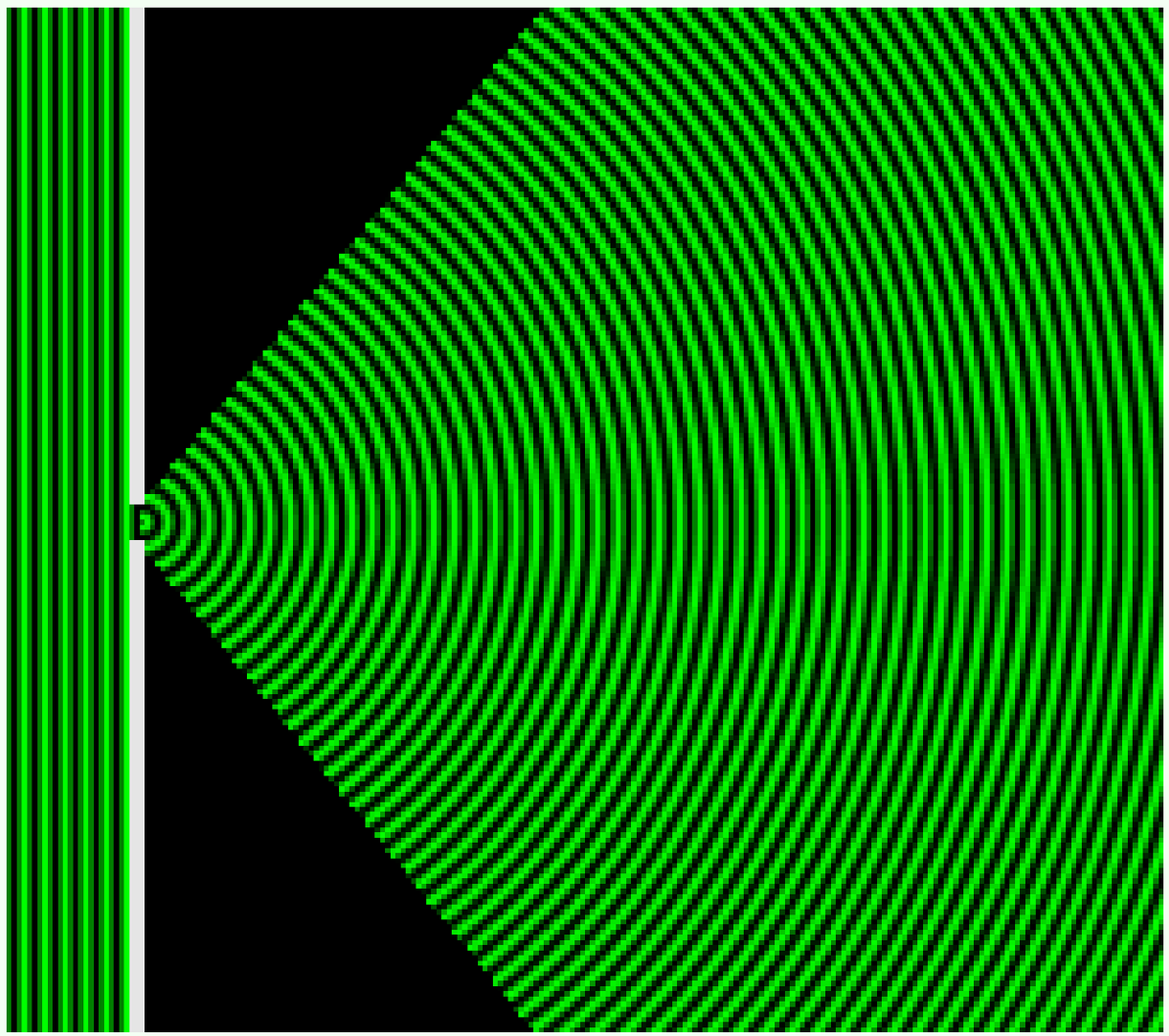
الموجة 1

الموجة 2

المحصلة

بعض الخواص الضوئية

الحيود *Diffraction*



- **Diffraction of light is the deflection of its waves when they pass through a hole so that the hole appears to be an independent light source.**
- **حيود الضوء هو انحراف موجاته عندما تصطدم بعقبة أو تنفذ من ثقب بحيث يبدو الثقب وكأنه مصدر ضوئي مستقل**

***مبدأ هيجنز :**
كل نقطة في جبهة الموجة تعمل تماماً كمصدر لمويجات صغيرة تنتشر في جميع الاتجاهات

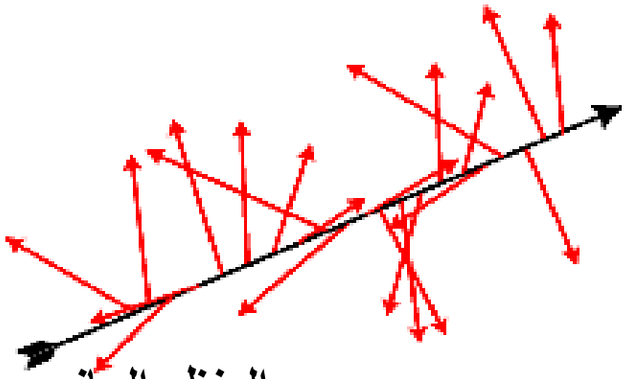
Each point on the wave front acts exactly as a source of small waves propagating in all directions

بعض الخواص الضوئية

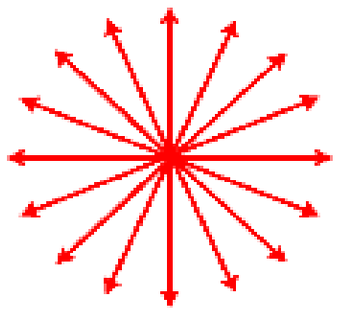
الاستقطاب Polarization

- الاستقطاب يعبر عن حالة اهتزاز المجال الكهربائي في موجات الضوء الكهرومغناطيسية .
- **Polarization expresses the state of vibration of the electric field in electromagnetic light waves.**

ضوء غير مستقطب

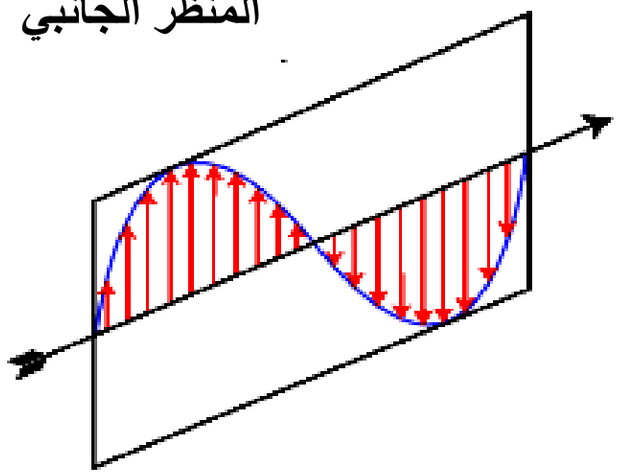


المنظر الجانبي



المنظر عند صدر الموجة

ضوء مستقطب خطياً

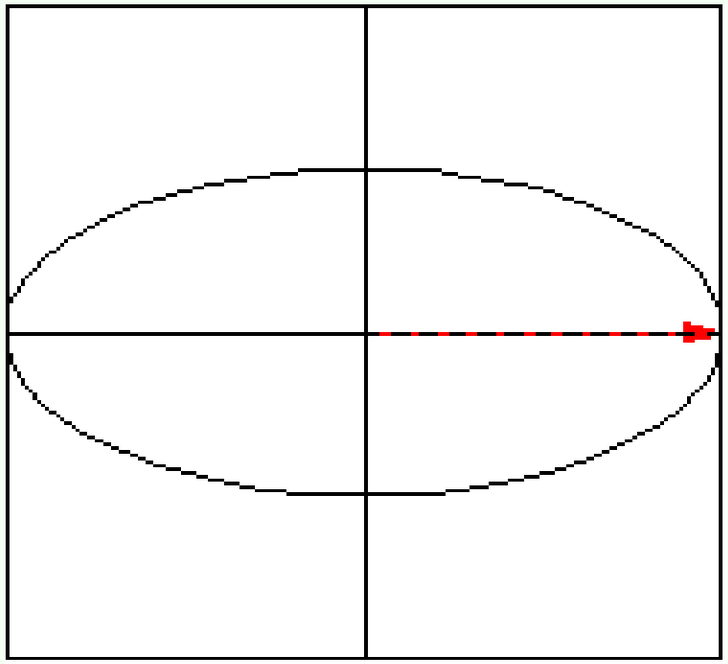


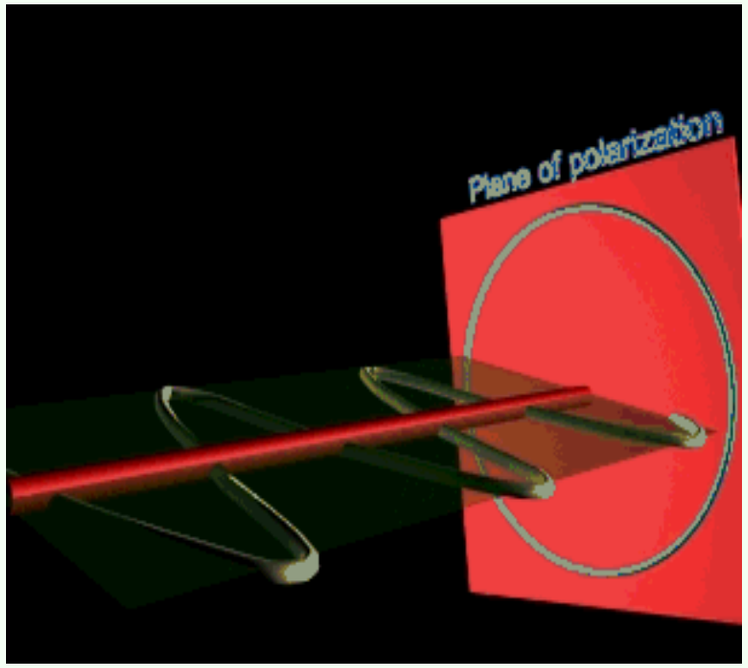
أنواع الاستقطاب

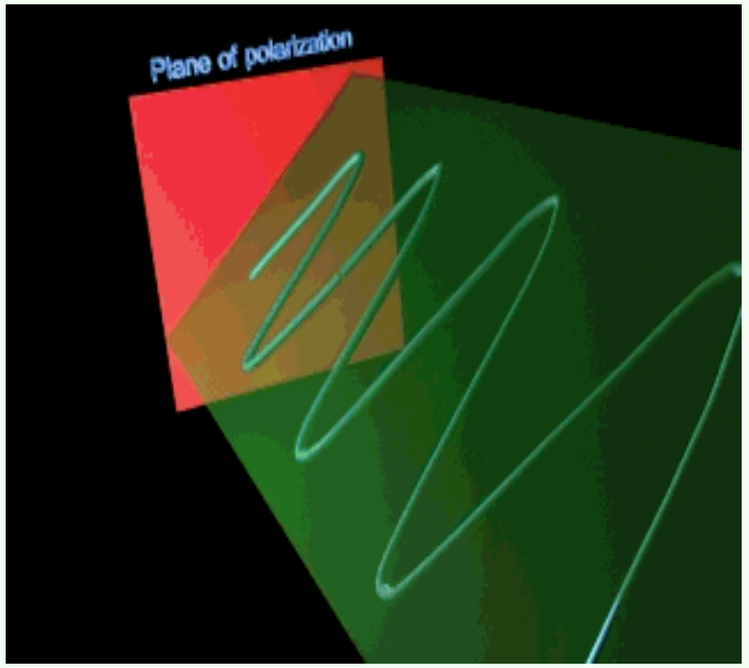
الاستقطاب الخطي
linear polarization

الاستقطاب الدائري
circular polarization

الاستقطاب البيضوي

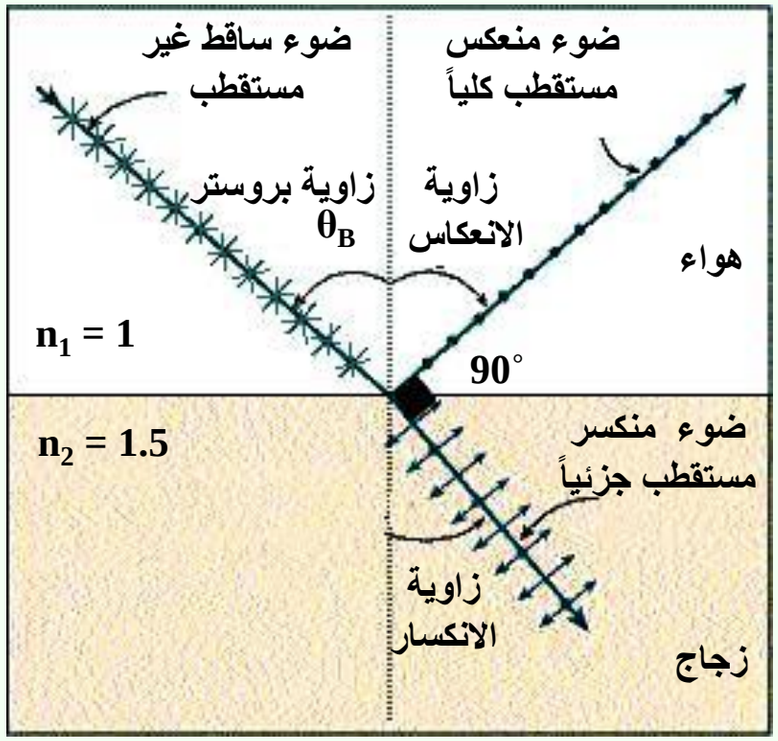






طرق انتاج الضوء المستقطب

الاستقطاب بالانعكاس
Polarization by reflection

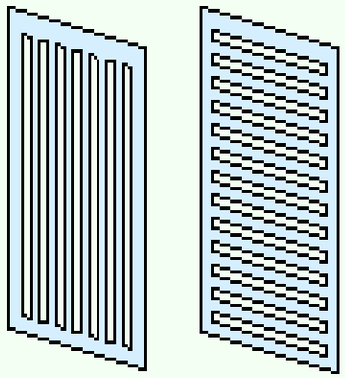


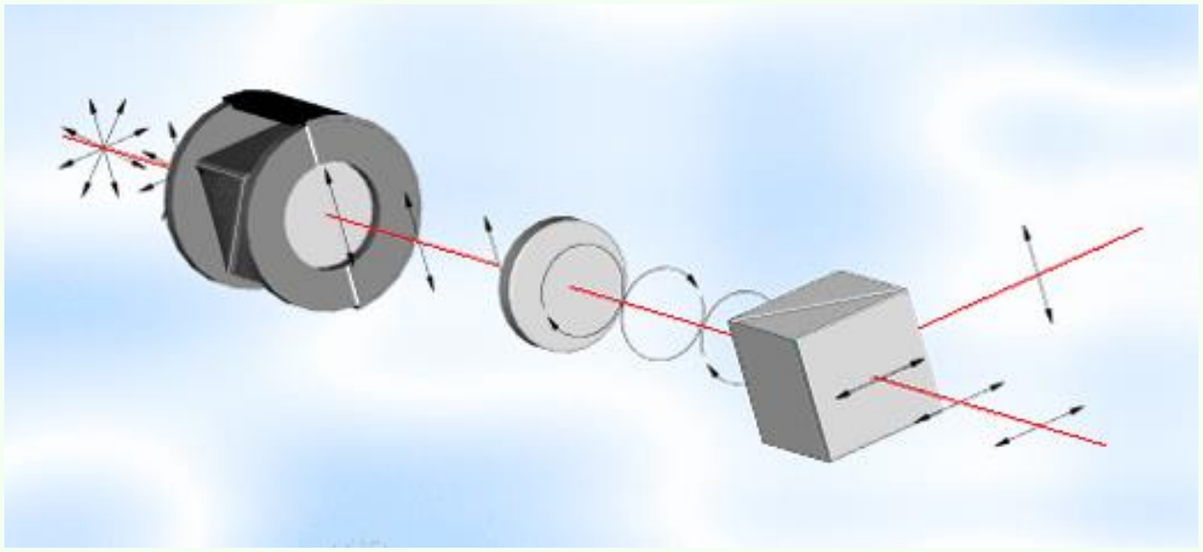
زاوية بروستر

$$\tan \theta_B = n_2/n_1 \qquad (8)$$

المواد المستقطبة
polarized materials

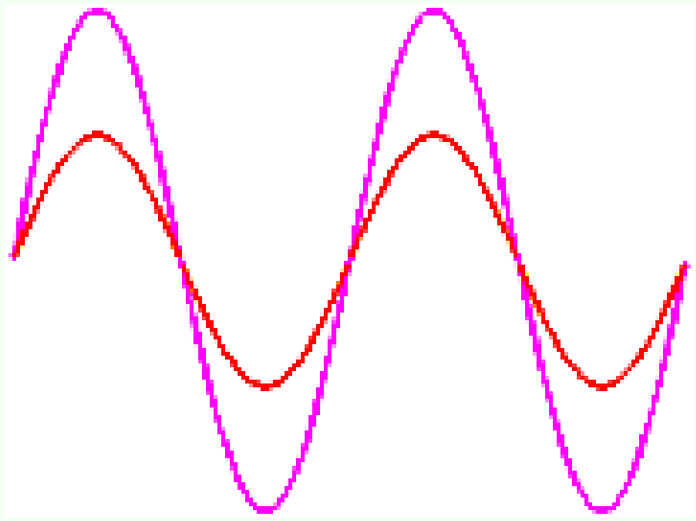
* البلورات ثنائية اللون ذات الامتصاص الانتقائي
* بلورات الانكسار المزدوج

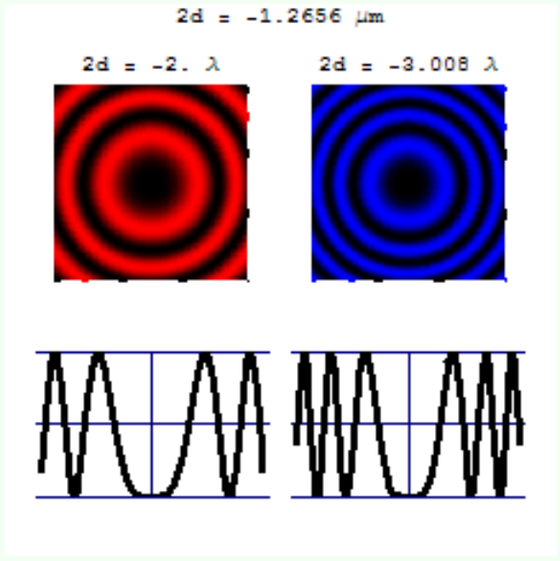


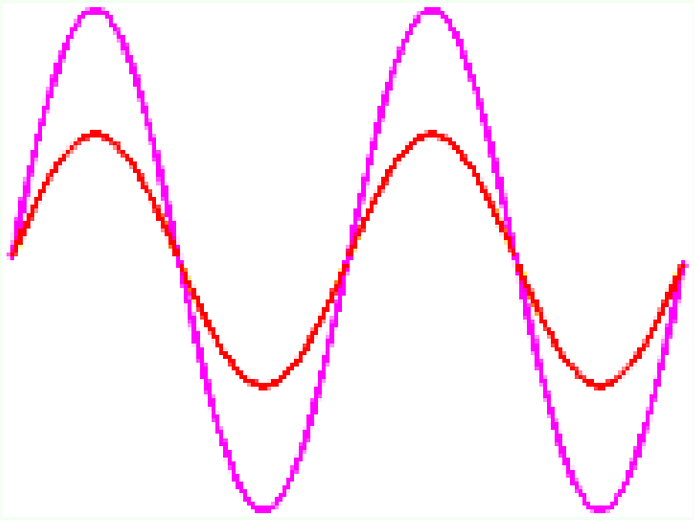


مقاييس التداخل

Interferometers







مقياس ميكلسون *Michelson Interferometer*

* يتم إنتاج هدب التداخل عن طريق تجزئة الحزمة الضوئية (أحادية اللون) إلى جزئين يرتد كل منهما من على مرآة عاكسة .

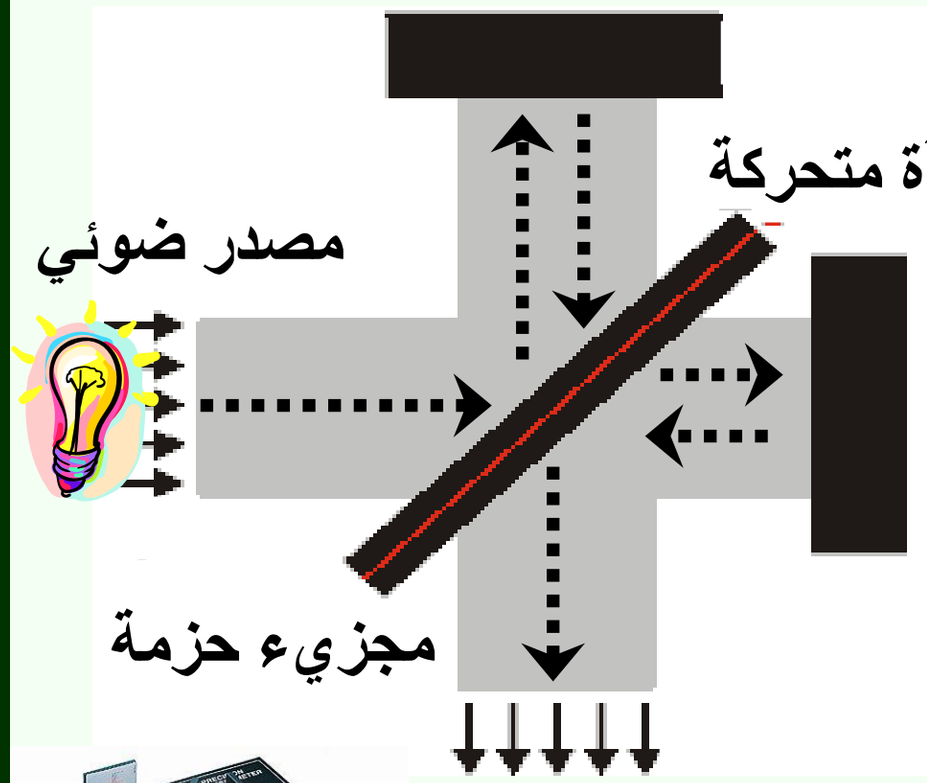
* يتم التحكم في هدب التداخل عن طريق تغيير طول المسار الذي تسلكه إحدى الموجتان بواسطة المرآة المتحركة .

* يكون التداخل بناءً إذا كان الفرق بين المسارين مساوياً للطول الموجي وهداماً إذا كان الفرق مساوياً لنصف الطول الموجي .

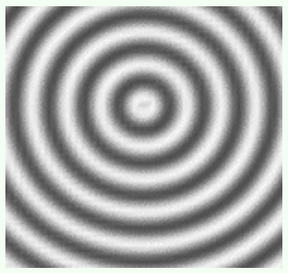
$$d = m \lambda / 2 \qquad (9)$$

حيث d المسافة التي تقطعها المرآة و m عدد هدب التداخل

* من تطبيقات هذا المقياس تجربة ميكلسون ومورلي لنفي فكرة الأثير ، واستخدامه في حساب طول وزمن الترابط في الحزم الضوئية كما سيرد لاحقاً .



صورة حقيقية لمقياس ميكلسون



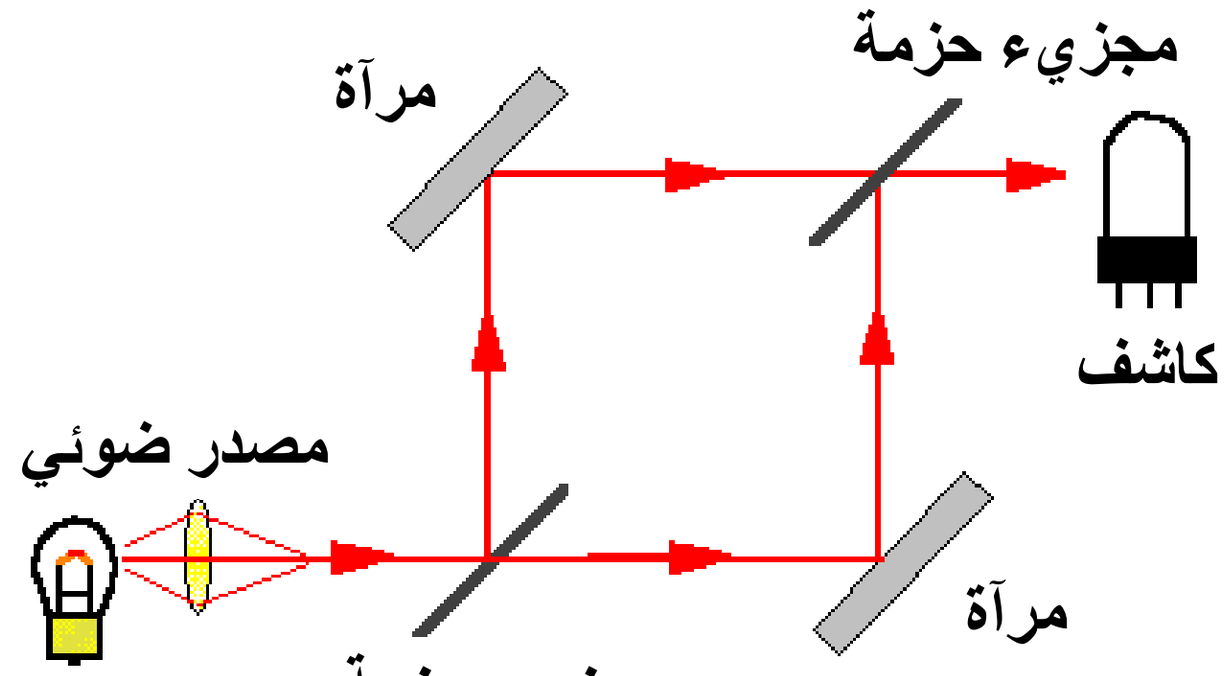
هدب التداخل

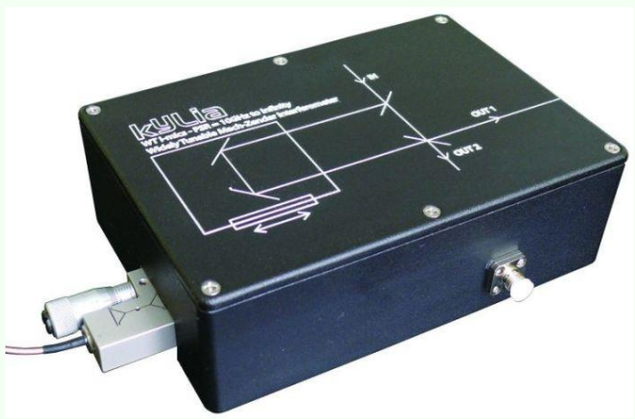
مقياس ماك ـ زندر Mach-Zender Interferometer

* يستخدم مقياس ماك – زندر في العديد من القياسات البصرية والتي من أهمها تحديد الإزاحة الطورية التي تنشأ عن مرور الحزمة الضوئية بوسط ما .

* يقوم المجزيء القريب من المصدر الضوئي بتجزئة الحزمة الضوئية إلى حزمتين تسلك كل منهما مساراً مختلفاً لترتد من على المرآة قبل أن تصل إلى الكاشف .

* توضع عينة في طريق إحدى الحزمتين بحيث يتم تغيير طول المسار البصري لأحد المسارين ومن ثم التحكم في هدب التداخل ، وبمعرفة كمية الضوء في كلا الكاشفين يمكن حساب الإزاحة الطورية للعينة محل البحث .



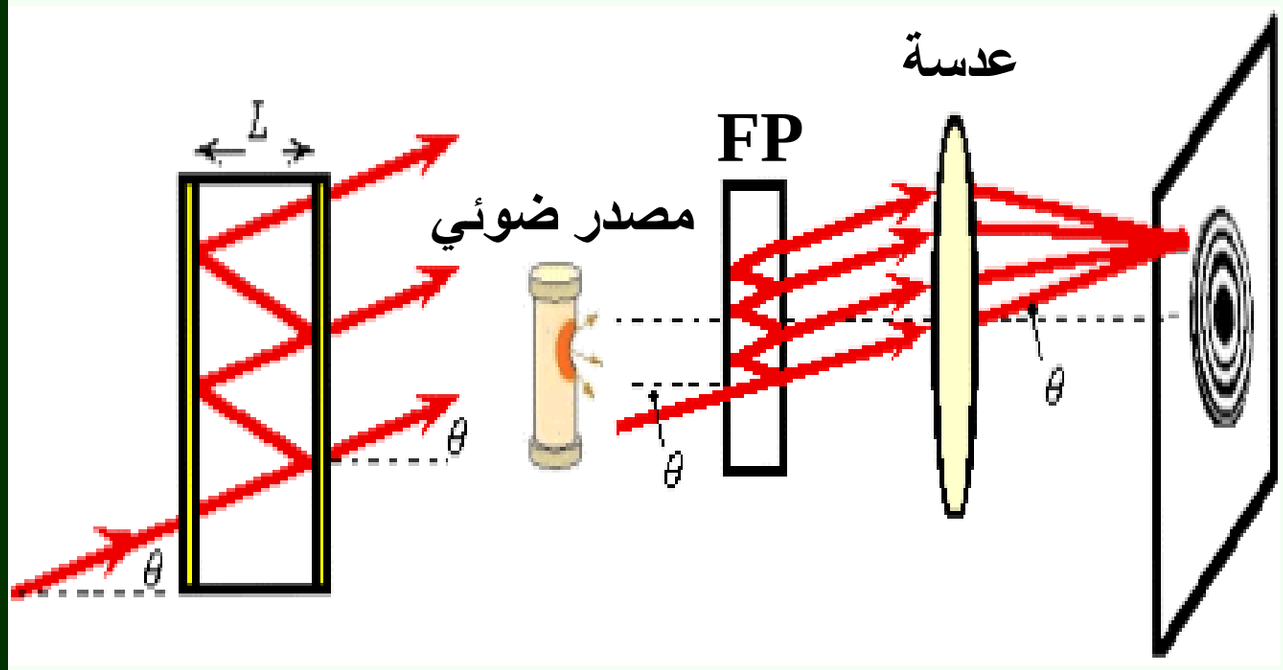


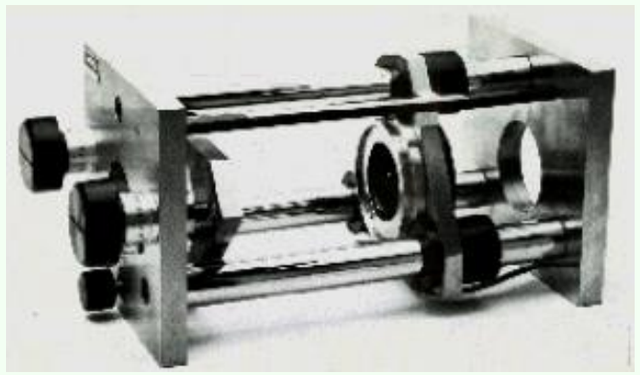
صورة حقيقية
لمقياس ماك ـ زندر

مقاييس التداخل

مقياس فابري - بيرو *Fabry-Perot Interferometer*

* شكل هذا المقياس الأساس الفيزيائي لفكرة عمل المرنان الليزري ، واستخدم كعنصر لانتقاء الترددات في فجوات الليزر ، إضافة إلى عمله المهم كمقياس دقيق لطيف الليزر .
* ، يتركب المقياس من مرآتين متوازيتين ولهما انعكاسية عالية (~95%) والمسافة التي تفصل بينهما عادة ماتكون ضئيلة ويمكن التحكم فيها .
* تسقط الأشعة على المرآتين من مصدر ضوء أحادي الطول الموجي لتتردد بين المرآتين وفي كل مرة ينفذ جزء بسيط من الضوء وينعكس الباقي مما يتسبب في عدد من الأشعة التي تتداخل بدورها مكونة هدباً يمكن ملاحظتها على الشاشة بعد تجميع خرج المقياس عن طريق عدسة لامة .





صورة حقيقية
لمقياس فابري - بيرو

مقاييس التداخل

* لايسمح مقياس فابري ـ بيرو بالنفاذ الكلي للضوء إلا عندما يكون في حالة الرنين (جميع الموجات المترددة موجات واقفة) ، يمكن تحقيق ذلك بتغيير المسافة بين المرآتين L بحيث تساوي أحد مضاعفات نصف الطول الموجي :

$$L = n \lambda / 2 \qquad (10)$$

ومنه يمكن صياغة الطول الموجي المقابل للقيمة العظمى لخرج المقياس كالتالي :

$$\lambda_{max} = 2 L / n \qquad (11)$$

وفي حالة الضوء ذو الأطوال الموجية المختلفة فإن الترددات المسموح بها لقيم الخرج العظمى :

$$f_{max} = n c / 2 L \qquad (12)$$

أما الفرق الترددي بين قيمتين متتاليتين من قيم التردد فيعطى بالعلاقة :

$$\Delta f = f_{n+1} - f_n = c / 2 L \qquad (13)$$

يطلق على هذا الفرق الترددي أحياناً بـ Δf_{FSR} وهي اختصار للعبارة **Free Spectral Range** وتعني النطاق الطيفي الحر ، وهي المنطقة الفاصلة بين ترددات فابري – بيرو ، ويمكن التعبير عنها بدلالة الطول الموجي كالتالي :

$$\Delta \lambda = \lambda^2 / 2 L \qquad (14)$$

كما يمكن التعبير عن دقة المقياس (الحد الأدنى للفصل بين الخطوط الطيفية) كالتالي :

$$\Delta \lambda = \lambda (1- r) / n \pi r^{1/2} \qquad (15)$$

حيث r هي انعكاسية سطحي المقياس .

أسئلة ومسائل

1. أوجد طاقة (بالجول والإلكترون فولت) وتردد وزخم فوتون طوله الموجي = 1.5 µm، ثم بين لأي حزم الطيف الكهرومغناطيسي ينتمي هذا الفوتون .
2. Find the energy (in joules and electron volts) and the frequency and momentum of a photon of wavelength = 1.5 µm, then indicate which band of the electromagnetic spectrum this photon belongs to

1. أوجد طول موجة ديبرولي المصاحبة لرصاصة معدنية كتلتها 5 gm، وتسير بسرعة 500 m/s ، ثم وضح لماذا لا يمكن ملاحظة الطبيعة الموجية لهذه الكتلة ؟

Find the Dibroli wavelength associated with a metal bullet of mass 5 gm, traveling at 500 m/s, then explain why the wave nature of this mass cannot be observed?

* إلكترون يتحرك بسرعة تعادل عشر سرعة الضوء ، أوجد طول موجته المادية المصاحبة ؟

*** An electron is moving at a speed equal to one tenth of the speed of light, find its accompanying physical wavelength?**

** إذا كانت الدقة في كمية حركة جسيم تساوي 0.001 ، عين اللايقينية في موضعه إذا كان :

أ - الجسيم كتلته 0.5 gm وسرعته 200 m/s .

ب- الجسيم عبارة عن إلكترون سرعته 2×10^8 m/s . ماذا تلاحظ من النتيجتين ؟

If the precision of the momentum of a particle is 0.001, determine the uncertainty in its position if:
The particle has a mass of 0.5 gm and a velocity of 200 m/s. (a)
b- A particle is an electron with a speed of 2 x 108 m/s. What do you notice from the two results? (b)

باستخدام قانون سنل حاول استنتاج قانون بروستر .

اذكر بعض التطبيقات العملية للاستقطاب .

مبتدءاً بعرض النطاق الطيفي الحر لمقياس فابري - بيرو ، استنتج العلاقة بين طول الترابط والمسافة الفاصلة بين المرآتين في هذا المقياس .

الفصل الثاني : المدخل إلى الليزر

الفصل الثاني

المدخل إلى الليزر

Introduction of laser

لمحة تاريخية

لمحة تاريخية Brief History

* لقد كان آينشتاين هو الأب الروحي لتقنية الليزر حين تنبأ بإمكانية حث الذرات غير المستقرة لتبعث تحت ظروف معينة كمات ضوئية لها نفس خصائص الكمات المستحثة .

* وبعد أربعة عقود من هذا التنبؤ، وفي عام 1958م نشرت مجموعتا عمل إمكانية تحقيق هذه الفكرة عملياً، كانت الأولى سوفيتية تضم كلاً من N. asov و A. Prokhory والثانية أميركية شملت A. Schadlow و C. Townes

* كانت هذه الأخيرة أكثر شهرة حيث استخدمت غاز الأمونيا للحصول على أول شعاع مكبر في منطقة الأمواج الدقيقة والذي نالت عليه المجموعة جائزة نوبل للفيزياء عام 1964م وقد سمي هذا الشعاع بالميزر.

* تم انتاج أول ليزر مرئي عام 1960م بواسطة العالم T. Maiman .

لمحة تاريخية

* وقد استخدم هذا الجهاز مادة الياقوت ذات الحالة الصلبة كوسط للتكبير يتم ضخه ضوئياً عن طريق مصباح وميضي لينتج ضوءاً أحمراً يبلغ طوله الموجي حوالي 694 nm

* وفي ذات العام تمكن الفيزيائي الإيراني علي جافان مع كل من W. Bennet و D. Herriot من انتاج أول ليزر غازي مستخدمين مادتي الهيليوم والنيون .

* أما ليزرات أشباه الموصلات فقد تم انتاجها عام 1962م لتشع ضوءاً في المنطقة القريبة من الأشعة تحت الحمراء .

لمحة تاريخية

الإنجاز	العالم	العام
الانبعاث المستحث	Albert Einstein	1917
وضع الأساس للميزر	Townes *et al*, Basov *et al*	1952
إثبات الميزر	Townes *et al*	1954
وضع الأساس لليزر	Townes *et al*	1958
ليزر الياقوت	Theodor Miaman	1960
ليزر الهيليوم نيون	Javan *et al*	1961
ليزر النوديميوم	Johnson *et al*	1961
ليزر أشباه الموصلات	Hall	1962
ليزر ثاني أكسيد الكربون	Patel	1963

لمحة تاريخية

1966	Silvast *et al*	ليزر الهيليوم كاديميوم
1966	Sorokin *et al*	ليزر الصبغة القابل للتغيير
1975	Ewing *et al*	ليزر الإكسيمر
1976	Madey *et al*	ليزر الإلكترونات الحرة
1979	Walling *et al*	ليزر الألكساندريت
1985	Mathews *et al*	ليزر الأشعة السينية
1987	David Payne	ليزر ألياف الإيربيوم
1994	Jerome **et al**	ليزر الكاسكيد الكمي
1994	Nikolai	ليزر النقاط الكمية
1996	Wolfgang	الليزر النبضي
2004	Ozdal Boyraz	ليزر سيليكون رامان
2006	John Bowers	ليزر السيليكون

ماهو الليزر

ماهو الليزر

LASER

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

تكبير الضوء بواسطة الانبعاث المستحث للإشعاع

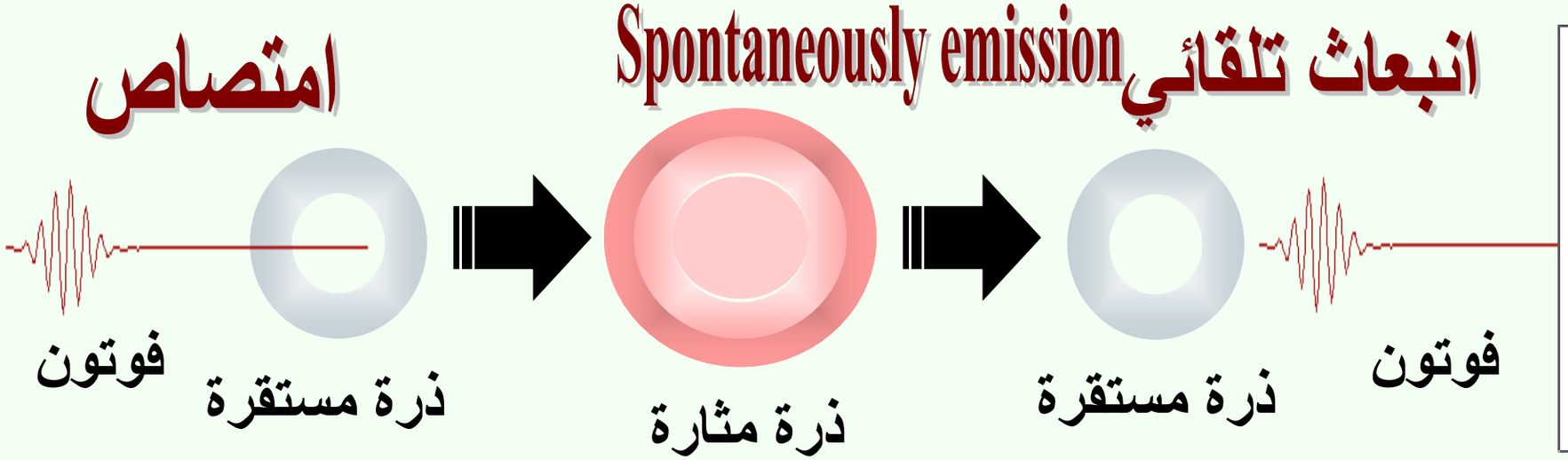
يطلق الليزر عادة على مايلي

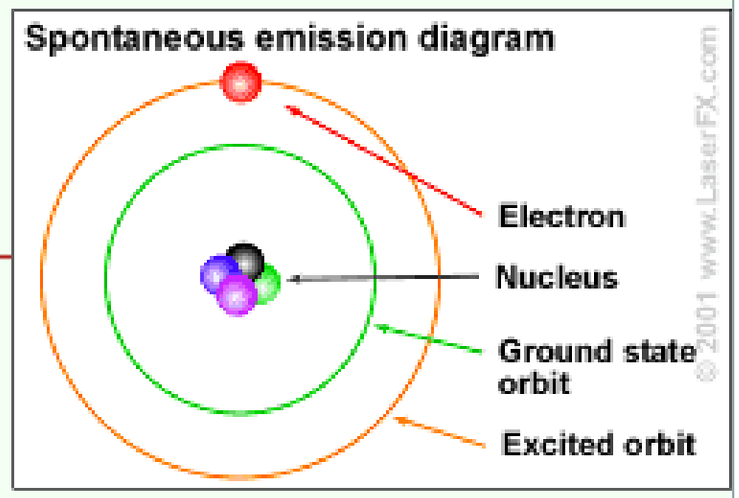
- حزم الضوء المركزة ذات الطاقة العالية . High-energy focused beams of light.

- الجهاز المصدر لهذه الحزم او الأشعة . The source of these beams or rays

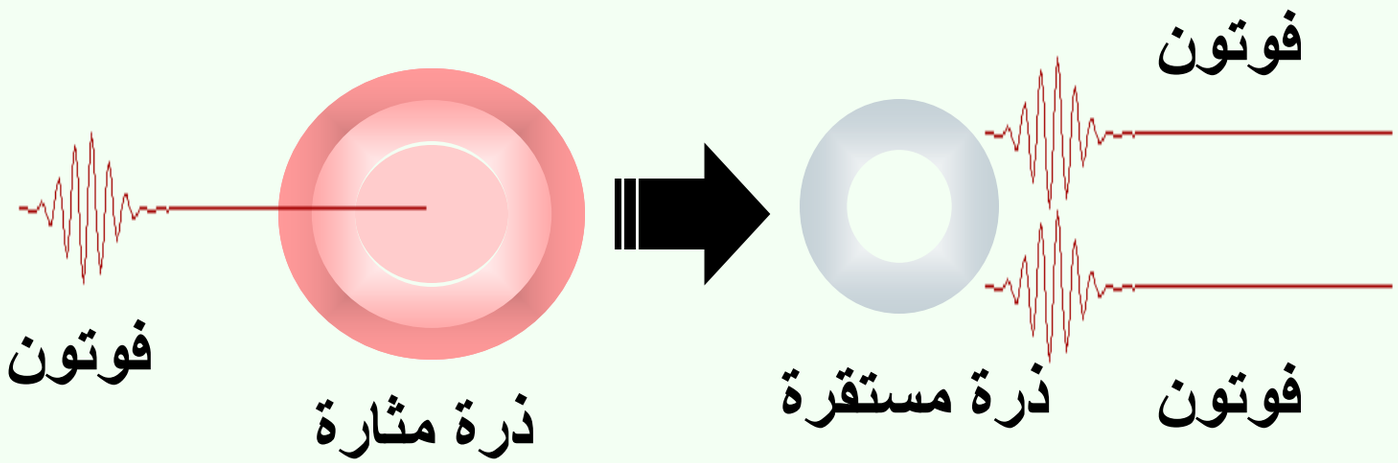
ماهو الليزر

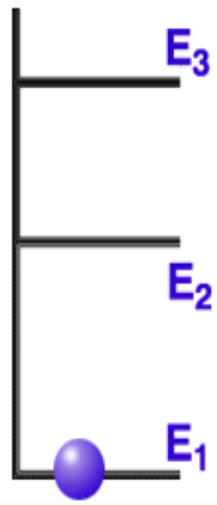
انبعاث تلقائي Spontaneously emission





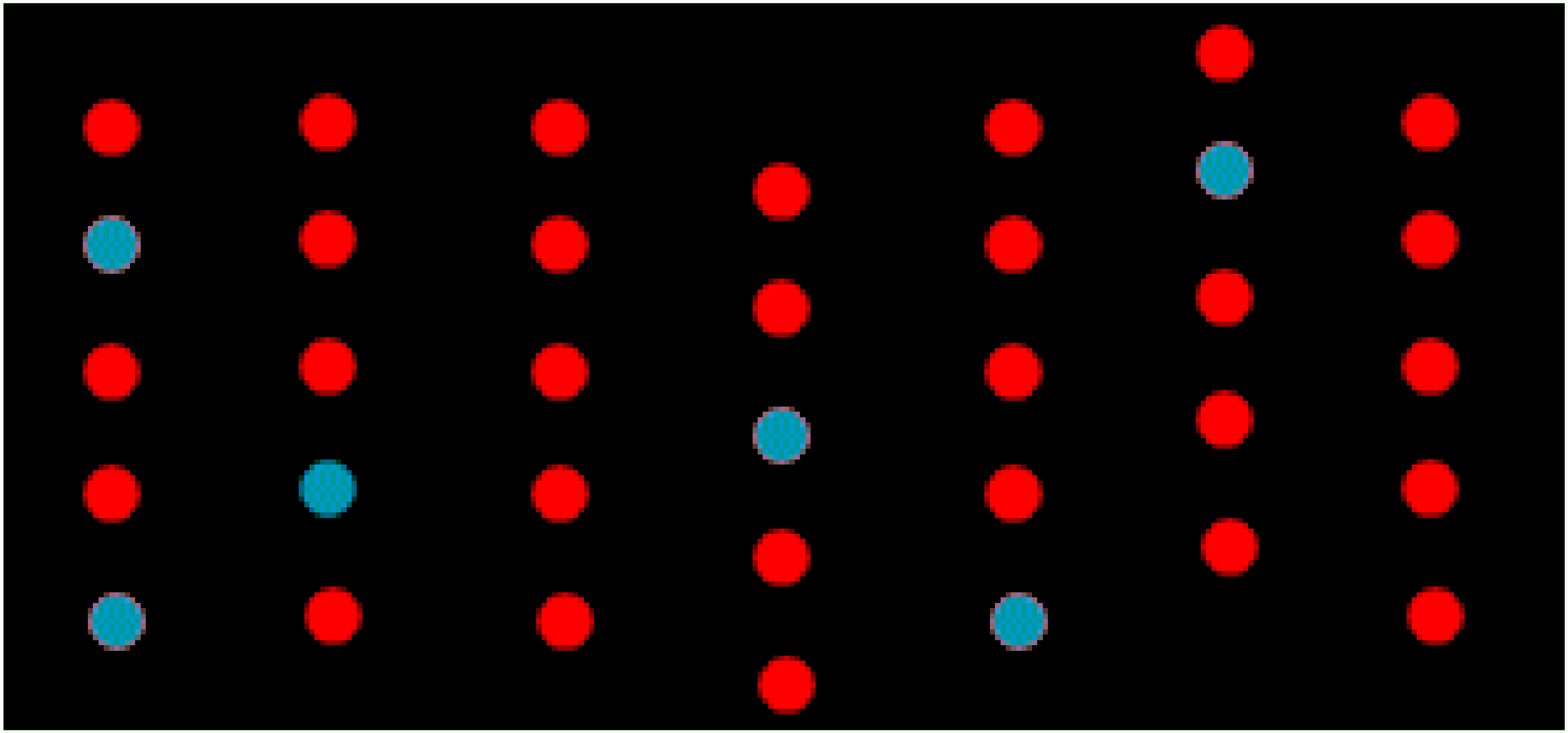
الانبعاث المستحث Stimulated emission





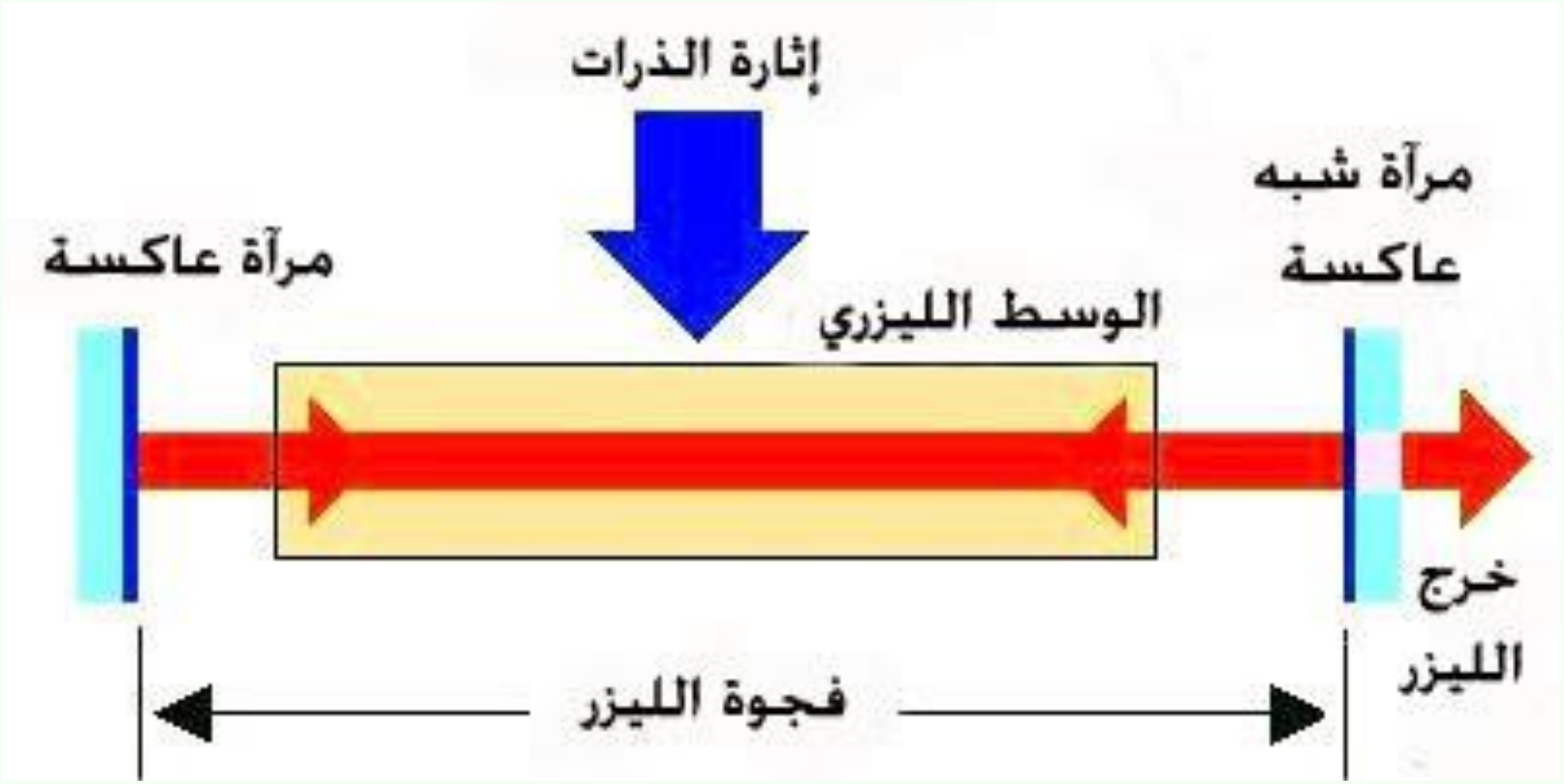
ماهو الليزر

عملية التكبير بالإنبعاث المستحث



ذرة مثارة ذرة مستقرة

فكرة الليزر


إثارة الذرات
مرآة شبه عاكسة
مرآة عاكسة
الوسط الليزري
خرج الليزر
فجوة الليزر

خواص شعاع الليزر

خواص شعاع الليزر Laser Properties

1 أحادية الطول الموجي Monocheomaticity

تكون حزمة الليزر أحادية الطول الموجي لسببين رئيسيين :

1- الفوتونات المستحَثة لها نفس خصائص الفوتونات المستحِثة . 1The stimulated photons have the same properties as the stimulator photons.

2- المرنان الليزري (فابري-بيرو مثلاً) يسمح فقط لتردد وحيد بالذبذبة ومن ثم التكبير والنفاذ إلى خارج المرنان طبقاً للمعادلة (11) الواردة في الفصل السابق . 2The laser resonator (for example, Fabry-Perot) allows only one frequency of the oscillation and then amplification and penetration out of the resonator according to equation (11) mentioned in the previous chapter.

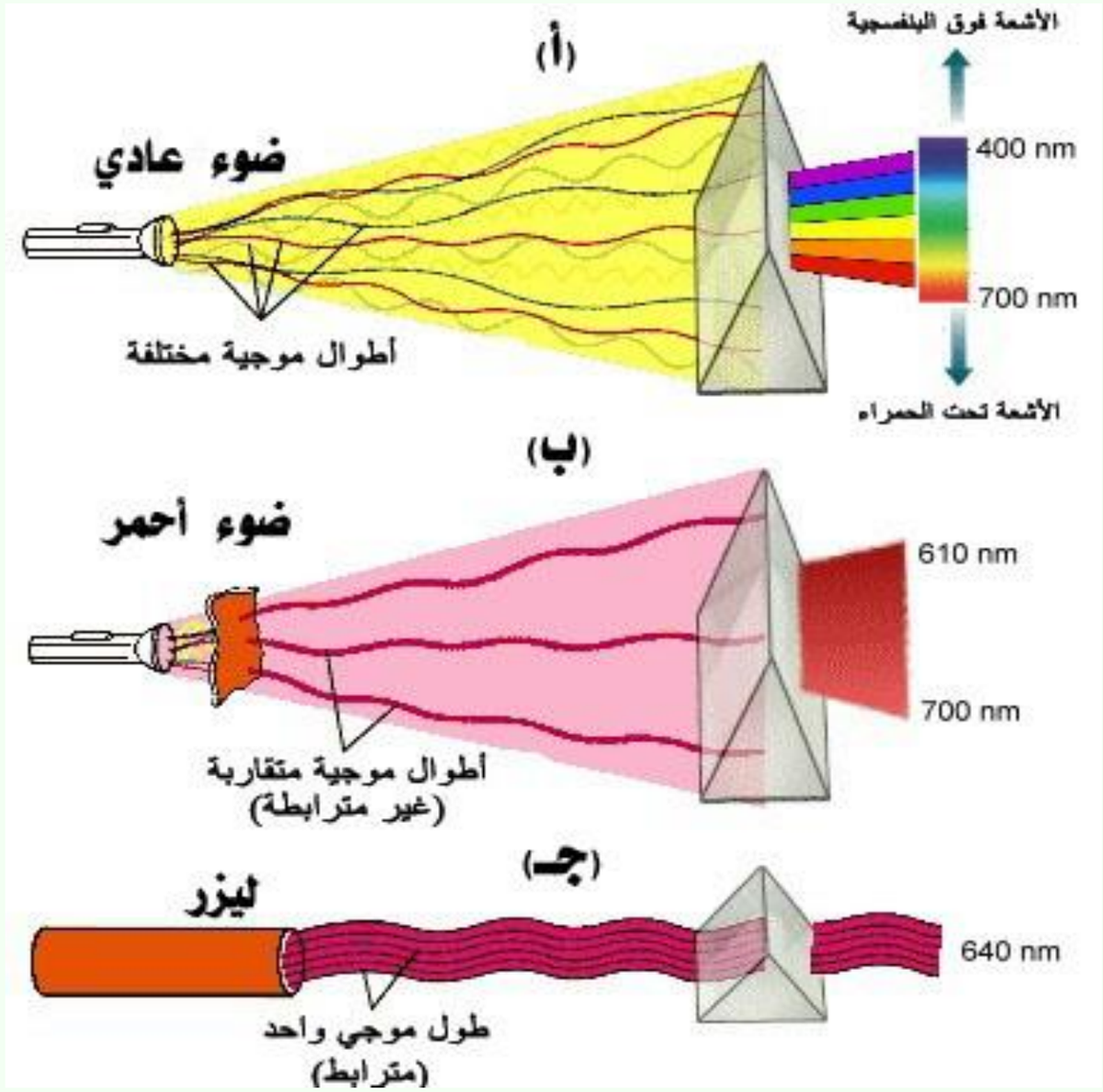
ومع هذا فحزم الليزر ليست دائماً أحادية الطول الموجي تماماً بل لها خطوط طيفية ضيقة جداً يمكن معها اعتبار خاصية أحادية الطول الموجي .

خواص شعاع الليزر

ويقاس مستوى الأحادية لشعاع الليزر
laser beam monochromatic level
(M) بالعلاقة التالية :

$$M = \Delta f / f_o$$

حيث f_o تمثل التردد المركزي للشعاع و
Δf هي عرض النطاق الطيفي **(Spectral bandwidth)**

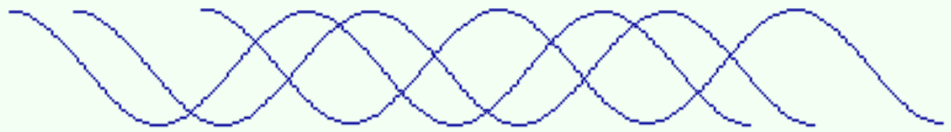


2 الترابط Coherence

الترابط الزماني

The optical beam has a uniform frequency (periodic time) (single wavelength

للحزمة الضوئية تردد (زمن دوري) موحد (أحادية الطول الموجي) .



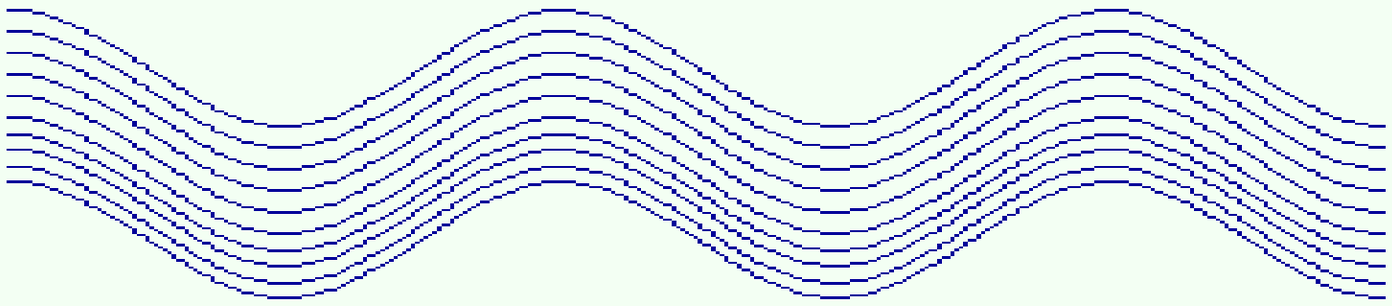
الترابط المكاني

The phase difference between any two points on a wave front remains constant with time.

فرق الطور بين أي نقطتين في جبهة الموجة يظل ثابتاً مع الزمن .

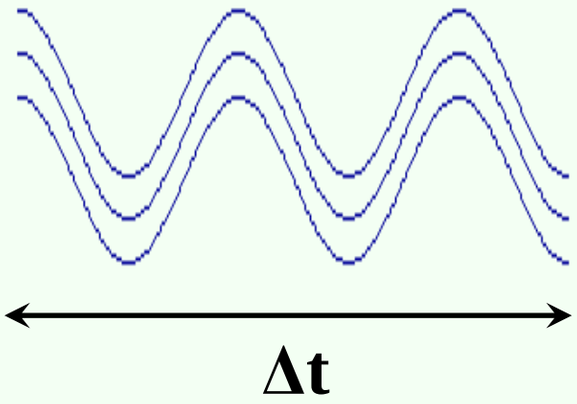
***كلا الترابطين قد يكون تاماً وقد يكون جزئياً (لفترة زمنية محدودة) .**

***لاترابط بين الترابطين ، فقد توجد حزمة مترابطة مكانيا وغير مترابطة زمانياً والعكس صحيح**



حزمة الليزر مترابطة ترابطاً زمانياً ومكانياً تاماً

حساب طول وزمن الترابط



Calculation of coherence time and length

باستخدام سرعة الضوء يمكن إيجاد العلاقة بين زمن الترابط وطوله coherence time and coherence length كالتالى

$$L_c = c\,\Delta t \qquad (16)$$

Spectral bandwidth عرض النطاق الطيفي

يساوي مقلوب زمن الترابط ، أي :

$$\Delta t = 1/\Delta f \qquad (17)$$

وعليه فإن :

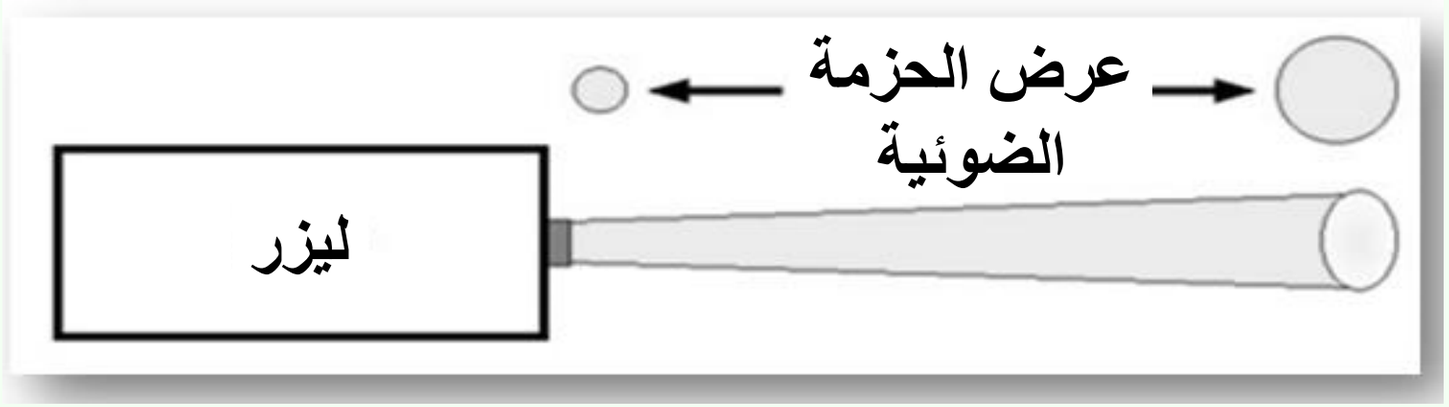
$$L_c = c\,/\Delta f \qquad (18)$$

يمكن حساب طول الترابط عملياً باستخدام مقياس التداخل لميكلسون ، حيث ترتبط المسافة التي تقطعها المرآة ( ) ـ للحصول على هدب التداخل ـ بطول الترابط كالتالي :

$$L_c = 2\,d \qquad (19)$$

خواص شعاع الليزر

3 الاتجاهية Directionality



- يقصد باتجاهية شعاع الليزر ثبات عرض الحزمة الضوئية نسبياً بحيث يكون انفراجها بسيطاً مقارنة بالمسافة التي تقطعها
- **What is the directionality of the laser beam: Relative stability of the width of the optical beam so that Its angular deflection is small compared to the distance it travels.**

*** هذه الخاصية هي**
نتيجة مباشرة لسببين : أولهما هو ترابط الحزمة الضوئية ، وثانيهما هو المرنان الليزري الذي لا يسمح بالنفاذ سوى للأشعة العمودية على مراياه العاكسة .

*** ومع هذا فالشعاع الليزري يعاني من الانفراج (Divergence) البسيط الناشيء عن ظاهرة الحيود ، حيث يمكن حساب زاوية الانفراج θ_d من نظرية الحيود كالتالي :**

$$\theta_d = \beta \lambda / D \qquad (20)$$

حيث λ و D الطول الموجي وقطر الحزمة الضوئية ، β معامل عددي يعتمد على شكل وتوزيع سعة الموجة .

خواص شعاع الليزر

4 السطوع Brightness

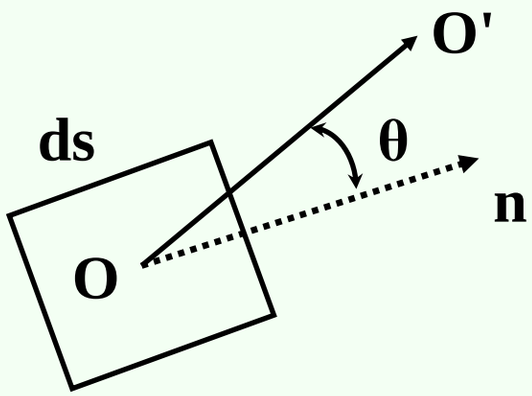
- يعرف سطوع المصدر الضوئي بأنه معدل انبعاث الطاقة لكل وحدة مساحة لكل زاوية مجسمة

(The rate of energy emission per unit area).

* هذه الخاصية هي نتيجة مباشرة للاتجاهية العالية لحزمة الليزر .

* تعتبر خاصية السطوع أهم خواص الليزر وأكثرها جاذبية لتطبيقات الليزر المختلفة.

* يمكن حساب سطوع حزمة الليزر كالتالي :



- تكون القدرة المنبعثة dP بواسطة مساحة السطح ds نحو الزاوية المجسمة dΩ وحول المتجه OO' كالتالي :

$$dP = B \cos\theta \; dS \, d\Omega \qquad (21)$$

حيث θ هي الزاوية بين OO' والعمود على السطح ds و B هو السطوع لدى النقطة O

خواص شعاع الليزر

- بالنسبة لحزمة من الليزر لها قدرة P ومقطع عرضي قطره D يمكن كتابة مايلي :

$$\because \theta \cong 0 \Rightarrow \cos\theta = 1$$

مساحة مقطع الحزمة $dS = \pi\ D^2 / 4$

الزاوية المجسمة $d\Omega = \pi\ \theta^2$

باستخدام النتائج السابقة وبالتعويض في المعادلة (21) نستطيع إيجاد علاقة للسطوع كالتالي

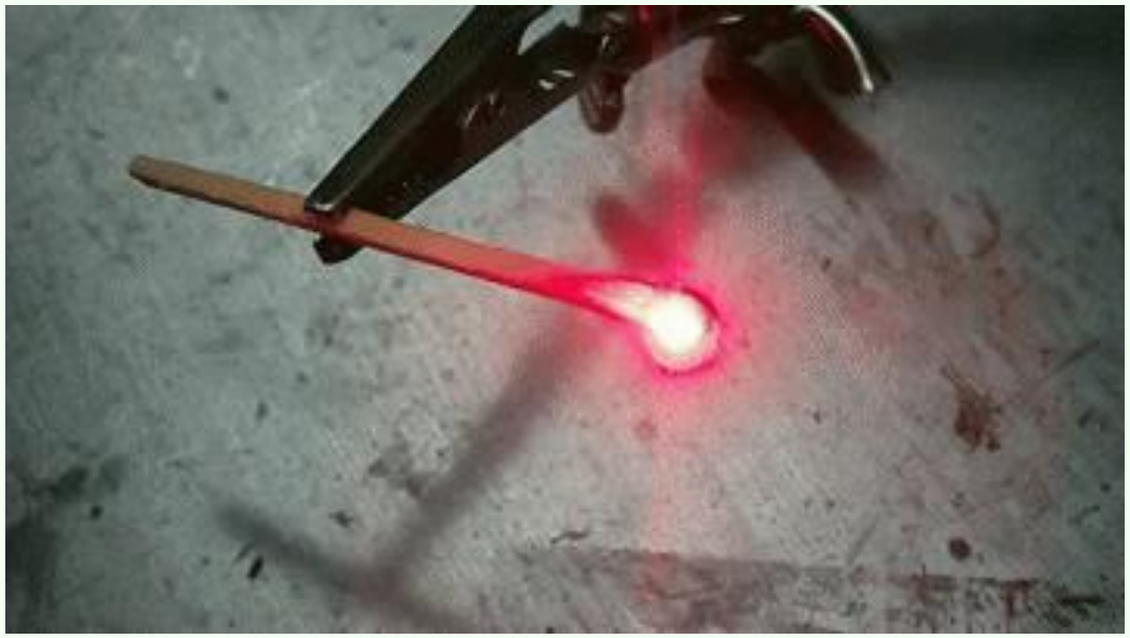
$$B = 4\ P / (\pi\ D\ \theta)^2 \qquad (22)$$

وبما أن الزاوية θ هي نفسها زاوية الانفراج المعطاه بالمعادلة (20) بالنسبة لليزر فإن المعادلة السابقة تصبح :

$$B = (2/ \beta\ \lambda\ \pi)^2 .\ P \qquad (23)$$

خواص شعاع الليزر

5 القابلية للتجميع Focusibility

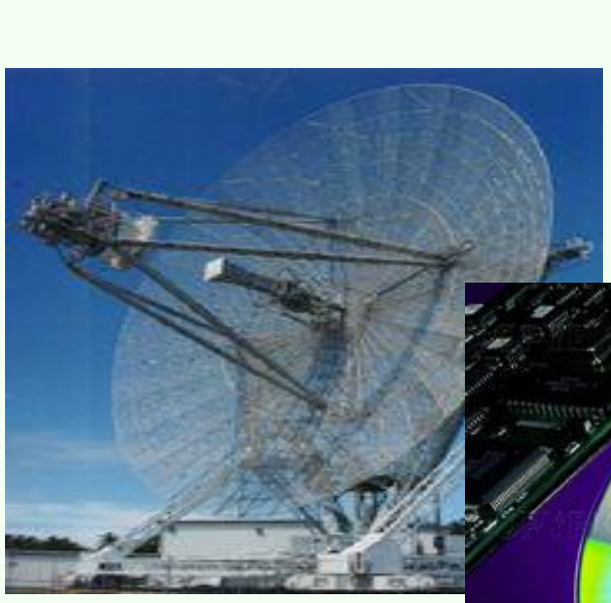
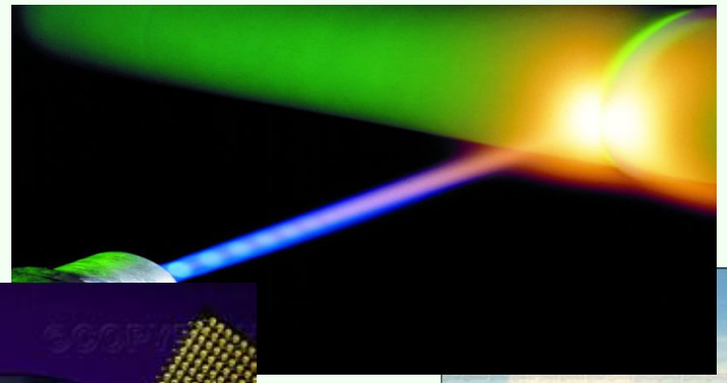


قطر البقعة المركزة (d) يعتمد بشكل رئيسي على البعد البؤري (F) وقطر (D) العدسة المستخدمة ، طبقاً للعلاقة :

$$d = (F/D).\ \lambda$$

خواص شعاع الليزر

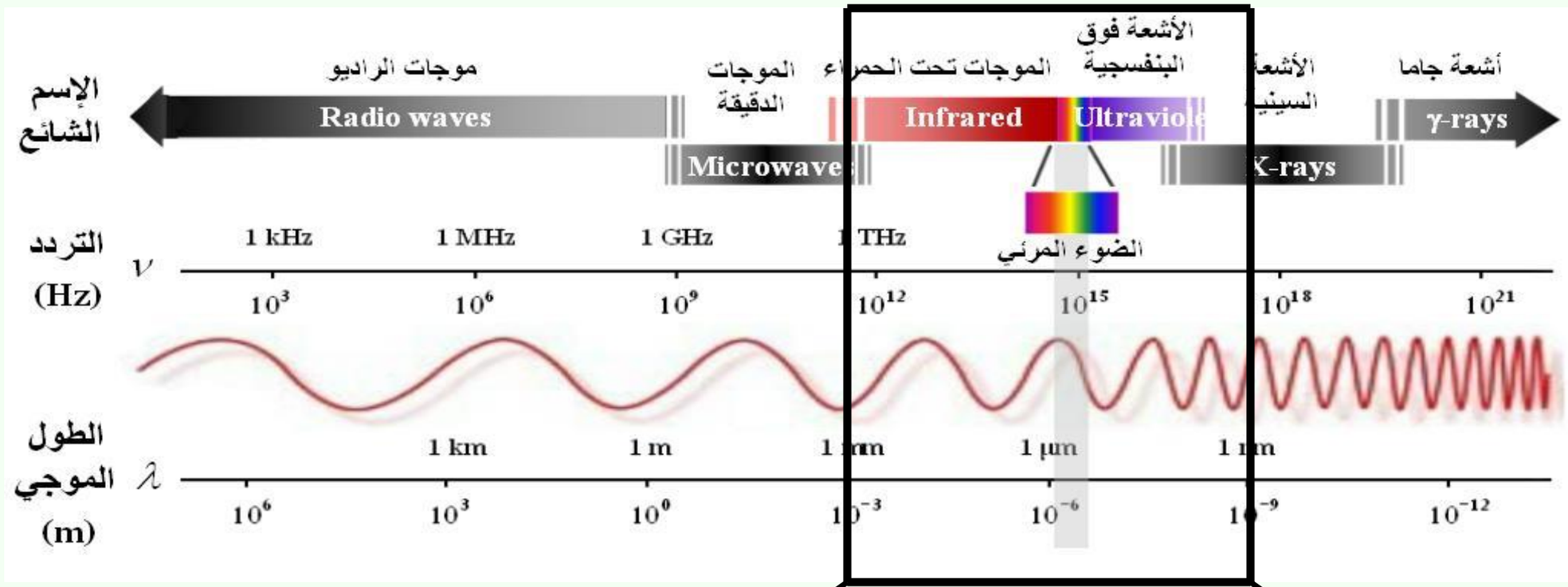
بسبب هذه الخواص السحرية أصبح الليزر حل يبحث عن المشاكل واستخدم في عدد لانهائي من التطبيقات وقد يصبح يوماً ما أداة العصر

طيف الليزر وأطواله الموجية

طيف الليزر وأطواله الموجية

Laser Spectrum and Wavelengths



1 µm = 10^{-6} m
1 nm = 10^{-9} m
1 Å = 10^{-10} m

1 mm
Far Infrared (FIR)

1 nm
Soft X-ray

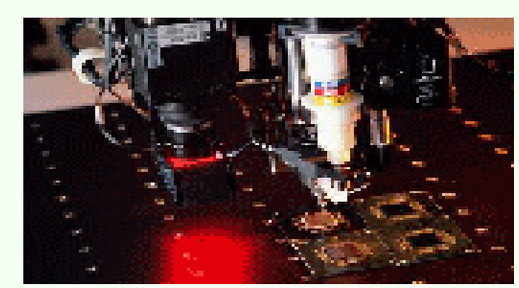
طيف الليزر وأطواله الموجية

مسمى الأشعة		الحزمة المكافئة
Far infrared	⇒	10 µm – 1 mm
Middle infrared	⇒	1 µm – 10 µ m
Near infrared	⇒	0.7 µm – 1 µ m
Visible	⇒	400 nm – 700 nm
Ultraviolet	⇒	200 nm – 400 nm
Vacuum ultraviolet	⇒	100 nm – 200 nm
Extreme ultraviolet	⇒	10 nm – 100 nm
Soft X-ray	⇒	1 nm – 20 nm

تصنيفات الليزر Laser Categorization

مادة الوسط الفعال

- الغازية
- السائلة
- الحالة الجامدة
- أشباه الموصلات

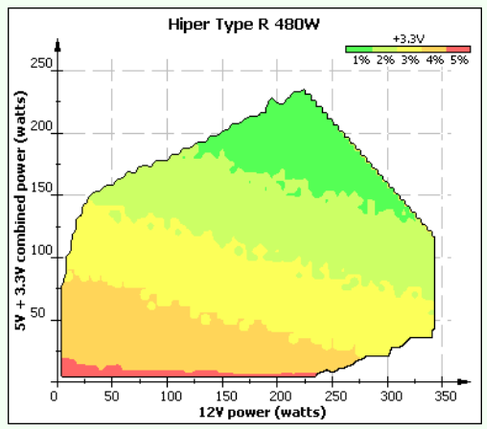


الضخ

- الضخ الكهربي
- الضخ الضوئي
- الضخ الكيميائي

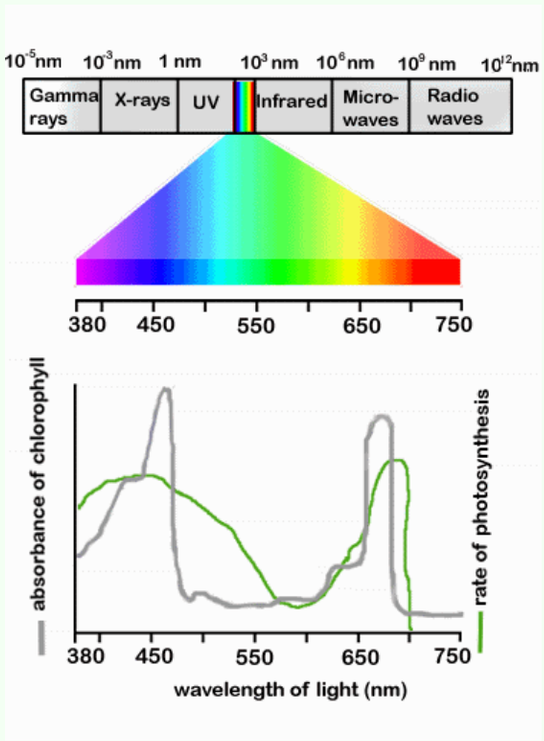
خرج الليزر

- قوية
- متوسطة
- ضعيفة



الطول الموجي

- حزم الطيف



أسئلة ومسائل

1- ما الفرق بين السطوع (brightness) والإضاءة (illumination) على سطح معين.
2- ماهي العلاقة بين أحادية الطول الموجي لليزر وترابطه ؟
3- علل (فيزيائياً ورياضياً) لماذا يكون النظر مباشرة إلى أشعة الليزر خطراً جداً.
4- أوجد طول الترابط للضوء المرئي وزمنه.
5- هل تتوقع أن يكون زمن الترابط للضوء الحراري أكبر من الليزر ؟ لماذا ؟ أثبت ذلك حسابياً

- 1- What is the difference between brightness (brightness) and illumination (illumination) on a particular surface ?
- 2 -What is the relationship between the monochromaticity of the laser wavelength and its coherence ?
- 3- Reasons (physical and mathematical) why looking directly at laser beams is so dangerous .
- 4 -Find the coherencelength and time of visible light .
- 5 -Do you expect the coherence time of thermal light to be greater than that of laser? Why ? Prove it mathematically.

Questions

6- ليزر أحمر يصدر نبضات طولها الموجي 700 nm تقريباً ، قطر الحزمة الضوئية 1 cm ، إذا وجهت هذه الحزمة الضوئية إلى القمر (المسافة بين الأرض والقمر هي 38.4×10^9 m) ، كم سيكون قطر الحزمة على سطح القمر ؟

6- A red laser emits pulses with a wavelength of about 700 nm, the diameter of the light beam is 1 cm. If this light beam is directed to the moon (the distance between the Earth and the moon is 38.4 x 109 m), what will be the diameter of the beam on the surface of the moon?

7- مصباح صوديوم قدرته 80 watts ، ومساحة سطحه الأسطواني $700\ cm^2$ ، يشع ضوءاً أصفر اللون بين الطولين الموجيين 589 – 589.6 nm في جميع الاتجاهات، إذا كانت القدرة المكتنزة في الـ 589 nm حوالي 40 watts وعرض النطاق الطيفي له 0.1 nm ، احسب سطوع المصباح، والسطوع الطيفي؟

7- An 80-watt sodium lamp, with a cylindrical surface area of 700 cm2, emits yellow light between wavelengths 589 - 589.6 nm in all directions, if the 589 nm compact power is about 40 watts and the spectral bandwidth is 0.1 nm, calculate the brightness of the lamp , and spectral brightness?

8- هل يمكن أن تفكر في تصنيف آخر لليزرات غير التصنيفات المذكورة في هذا الفصل ؟

8- Can you think of another classification of lasers other than the ones mentioned in this chapter?

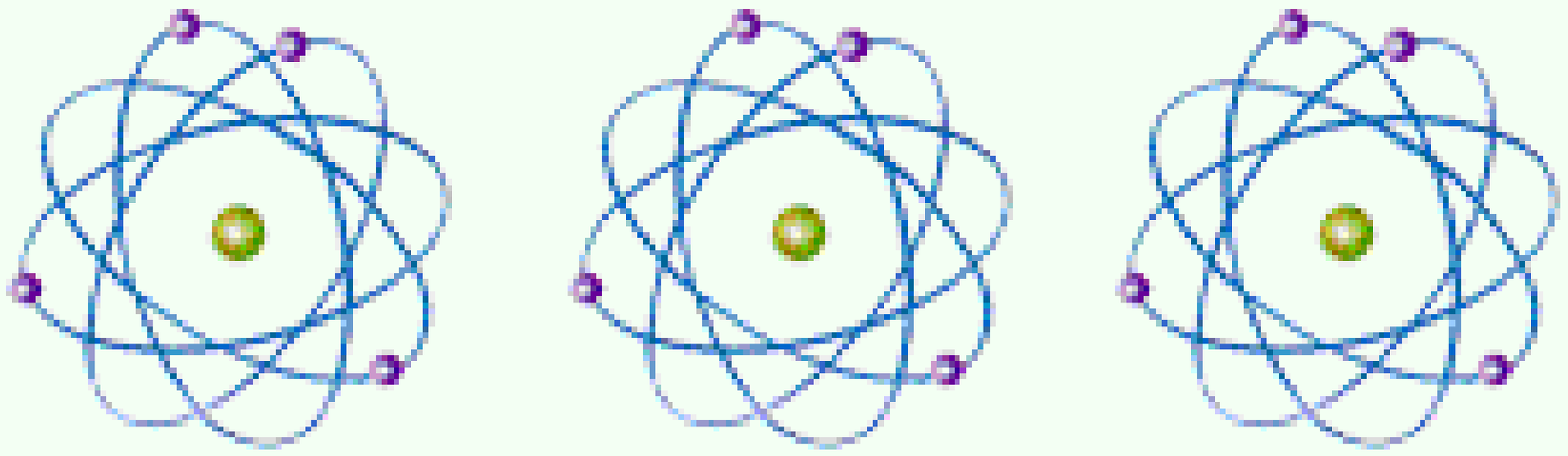
الفصل الثالث

مستويات الطاقة والانتقالات المشعة

Energy levels and radiative transitions

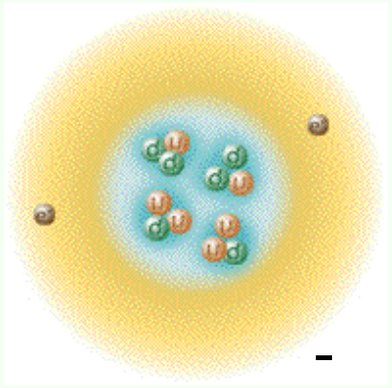
النموذج الذري الحديث

Modern Atomic Model



النموذج الذري الحديث

نموذج رذرفورد Rutherford Model

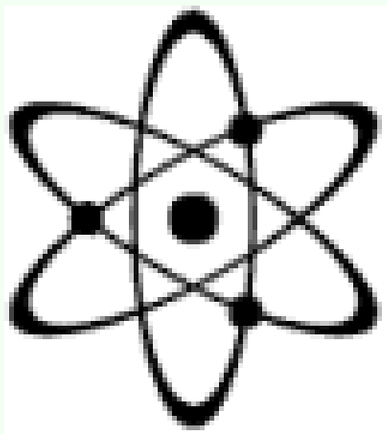


- نواة موجبة الشحنة تتوزع حولها سحابة من الإلكترونات سالبة الشحنة .
- اصطدم هذا النموذج بقوانين الفيزياء الكلاسيكية .

- **A positively charged nucleus is surrounded by a cloud of negatively charged electrons. This model not agreed with the laws of classical physics.**

نموذج بور Bohr Model

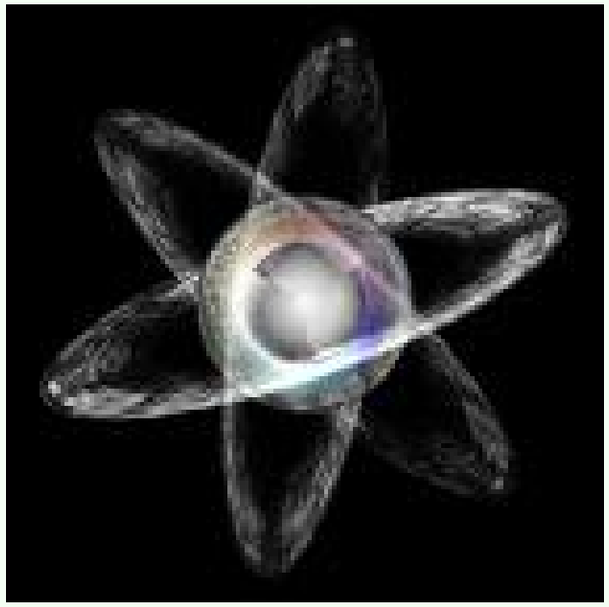
- نواة موجبة الشحنة وحولها إلكترونات سالبة الشحنة تسلك مدارات معينة ذات مستويات متفاوته في الطاقة وهذه الإلكترونات تستطيع الانتقال من مستوى إلى آخر.
- فسر هذا النموذج سلوك ذرة الهيدروجين بنجاح . لكنه عجز عن التفسير الكامل لسلوك الذرات التي تمتلك أكثر من إلكترون حيث لم يأخذ هذا النموذج في الحسبان تفاعل الإلكترونات مع بعضها البعض .
- ساهم هذا النموذج بفعالية في التمهيد لنشوء المفهوم الذري الحديث.



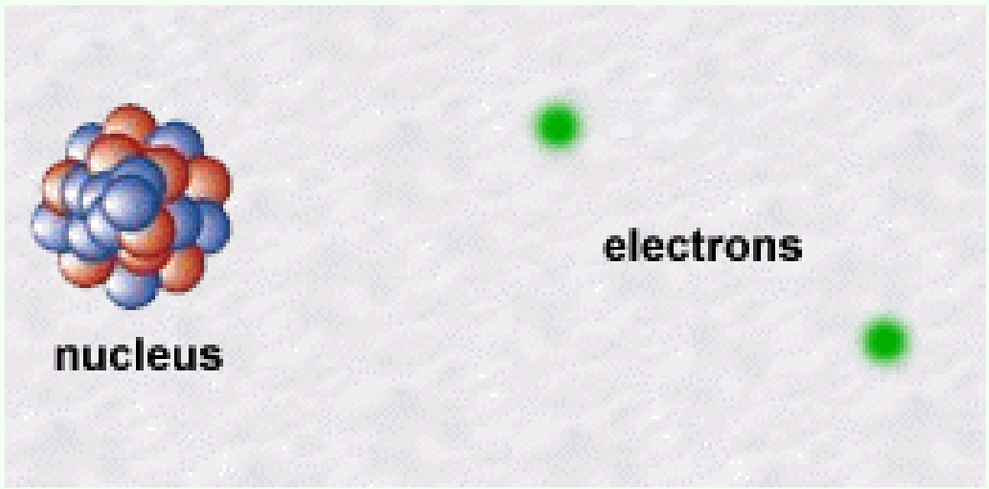
- **A positively charged nucleus and around it are negatively charged electrons that travel in certain orbits with different levels of energy, and these electrons can move from one level to another.**
- **This model successfully explained the behavior of the hydrogen atom. But he failed to fully explain the behavior of atoms that have more than one electron, as this model did not consider the interaction of electrons with each other.**
- **This model effectively contributed to the modern atomic concept.**

النموذج الذري الحديث

التصور الحديث للذرة Modern Atomic Concept

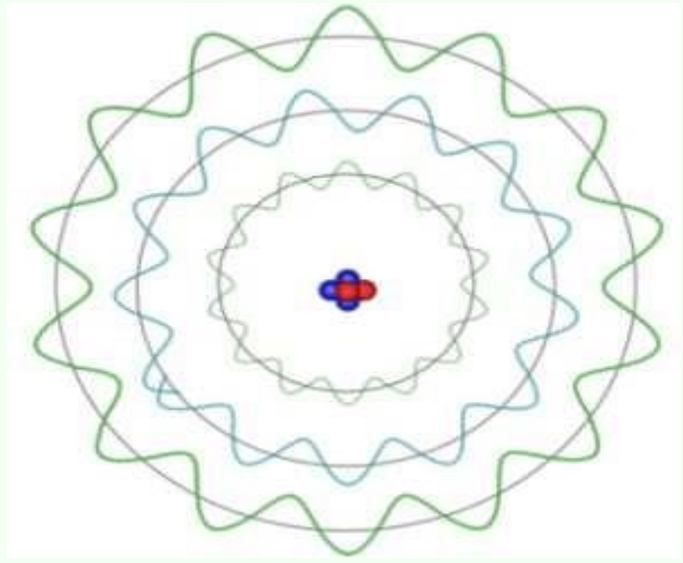


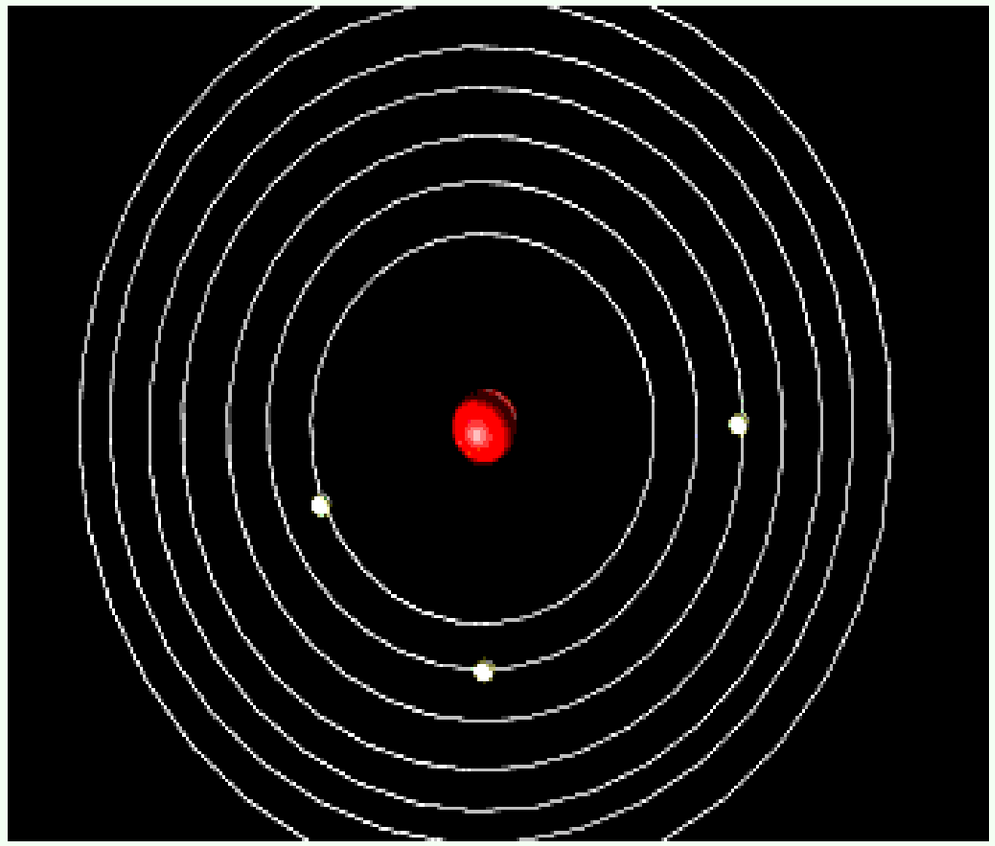
- المدارات الإلكترونية ذات مستويات طاقة منفصلة كلياً عن بعضها البعض (مكممة) .
- يقصد بالمدار الإلكتروني ذلك الحيز الذي يملك كثافة إحتمالية عليا لوجود الإلكترون .
- هناك فقط عدد محدود من هذه المدارات التي يمكن أن تشغلها الإلكترونات .
- وعليه فقيم الطاقة التي يمكن أن تملكها الإلكترونات يستحيل أن تكون كمية متصلة .
- تزداد طاقة الإلكترون كلما بعد عن النواة والعكس صحيح .



Electron orbitals with energy levels that are completely separate from each other (quantized).
The electron orbit means the space that has a high probability density for the existence of the electron.
There are only a limited number of these orbitals that electrons can occupy.
Therefore, the values of energy that electrons can possess cannot be a continuous quantity.
The energy of an electron increases with its distance from the nucleus and vice versa.

النموذج الذري الحديث





- لايطلق الإلكترون أي نوع من أنواع الطاقة حال بقائه في مداره ، ذلك أن الإلكترون لا يتحرك فعلياً بشكل دائري ، وإنما موجة ديبرولي المصاحبة هي التي تتوائم مع حيز المدار .

- إذا امتص الإلكترون فوتوناً فإنه ينتقل لمستوى طاقة أعلى E_2 أما إذا أطلق فوتوناً فإنه ينتقل لمستوى طاقة أقل E_1 .

- يمكن حساب تردد الفوتون الممتص أو المنبعث من المعادلة التالية :

$$f\,h = E_2 - E_1 \qquad (24)$$

- القواعد السابقة هي السبب في نشوء أطياف ذرية فذة لكل عنصر على حدة .

النموذج الذري الحديث

توزيع بولتزمان Boltzman 's Distribution

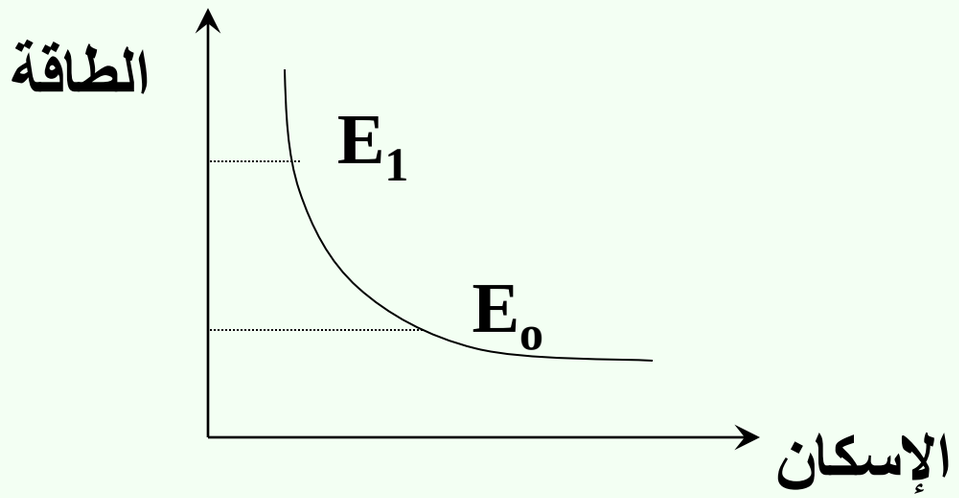
تتهيج ذرات أي عنصر وتنتقل إلى مستويات طاقة عليا عند حصولها على الطاقة (الحرارية مثلاً) ، فكيف يتم توزيع هذه الذرات على مستويات الطاقة ؟

لقد أوجد العالم بولتزمان معادلته الرياضية التي ارتبطت باسمه وعالجت كلياً عملية توزيع الذرات على مستويات الطاقة المختلفة وتنص هذه المعادلة على مايلي :

The atoms of any element get irritated and move to higher energy levels when they obtain energy (thermal, for example), so how are these atoms distributed over energy levels?

The scientist Boltzmann created his mathematical equation that was associated with his name and dealt completely with the process of distributing atoms at different energy levels. This equation states the following:

$$N_i = N_o \, exp\,(-\Delta E / KT) \qquad (25)$$

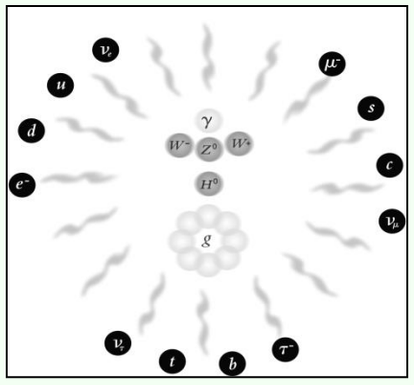


N_o	تعداد الذرات في المستوى الأرضي
N_i	تعداد الذرات في المستوى ... i = 1,2,3
ΔE	طاقة المستوى ($E_i - E_o$)
K	ثابت بولتزمان
T	درجة الحرارة المطلقة

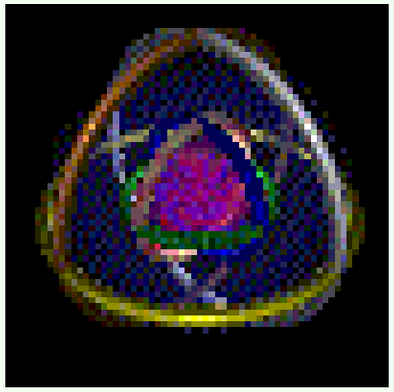
إحصاء الجسيمات الكمية

Quantum Particles Statistics

إحصاء الجسيمات الكمية



الجسيمات الكمية



فيرميونات Fermions

الإلكترونات ، البروتونات ، النيوترونات
تتبع توزيع فيرمي – ديراك :

$$f(E) = \frac{1}{\exp\left(\frac{E - E_f}{KT}\right) + 1}$$

E_f مستوى طاقة فيرمي

بوزونات Bosons

الفوتونات ، الفونونات
تتبع توزيع بوز - آينشتاين :

$$F(E) = \frac{1}{\exp\left(\frac{E - \mu}{KT}\right) - 1}$$

μ Chemical potential

K ثابت بولتزمان
1.38×10^{-23} J/K =
T درجة الحرارة المطلقة

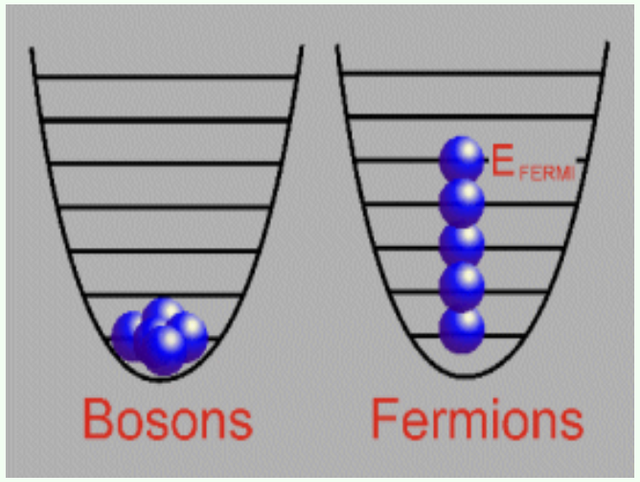
إحصاء الجسيمات الكمية

كلا التوزيعان يقتربان من توزيع ماكسويل – بولتزمان (للجسيمات التقليدية) لدى درجات الحرارة العالية أو الكثافة المنخفضة

Both distributions approximate the Maxwell–Boltzmann distribution (for conventional particles) at high temperature or low density

الفيرميونات تخضع لمبدأ باولى للإستبعاد

Fermions are subject to the Pauli exclusion principle



البوزونات لا تخضع لمبدأ باولى للإستبعاد

Bosons are not subject to the Pauli exclusion principle

مبدأ باولي للاستبعاد *Pauli's Exclusion Principle*

لايمكن لإلكترونين أن تكون لهما تماماً نفس الحالة الكمومية ، أي لايمكن أن تتساوى جميع الأعداد الكمية لأي إلكترونين في نفس الذرة .

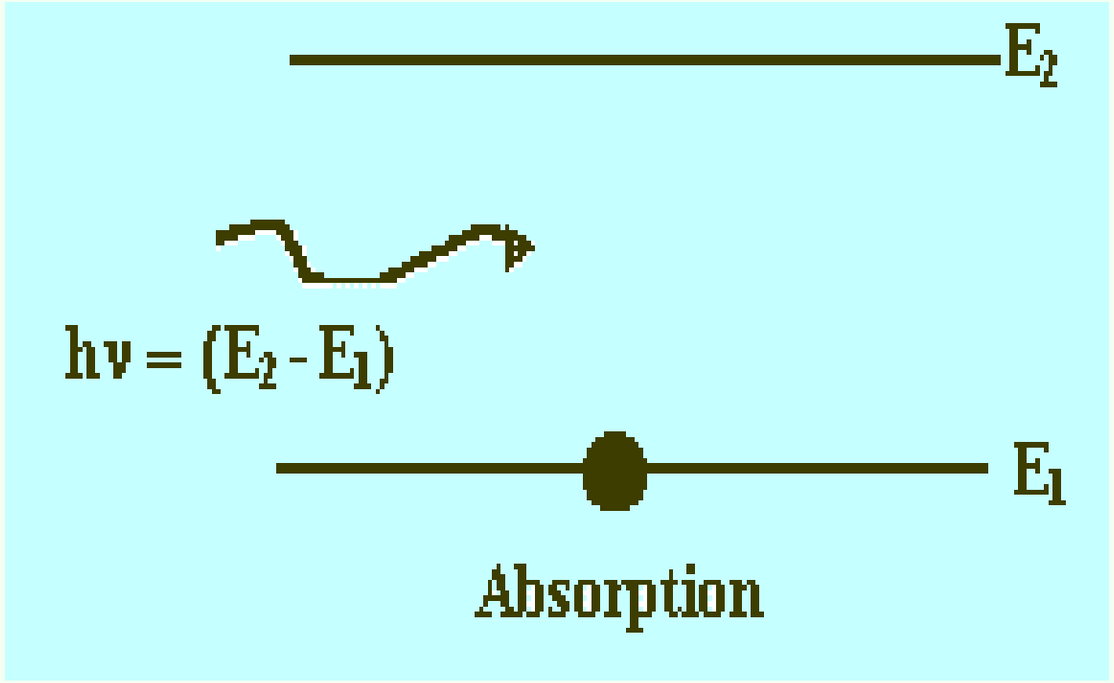
No two electrons can have the same quantum state, i.e. Not all quantum numbers can be equal for any two electrons in the same atom

الجدول الدوري

الانتقالات المشعة ومعاملات آينشتين

Radiative Transitions and Einstine 's Coefficients

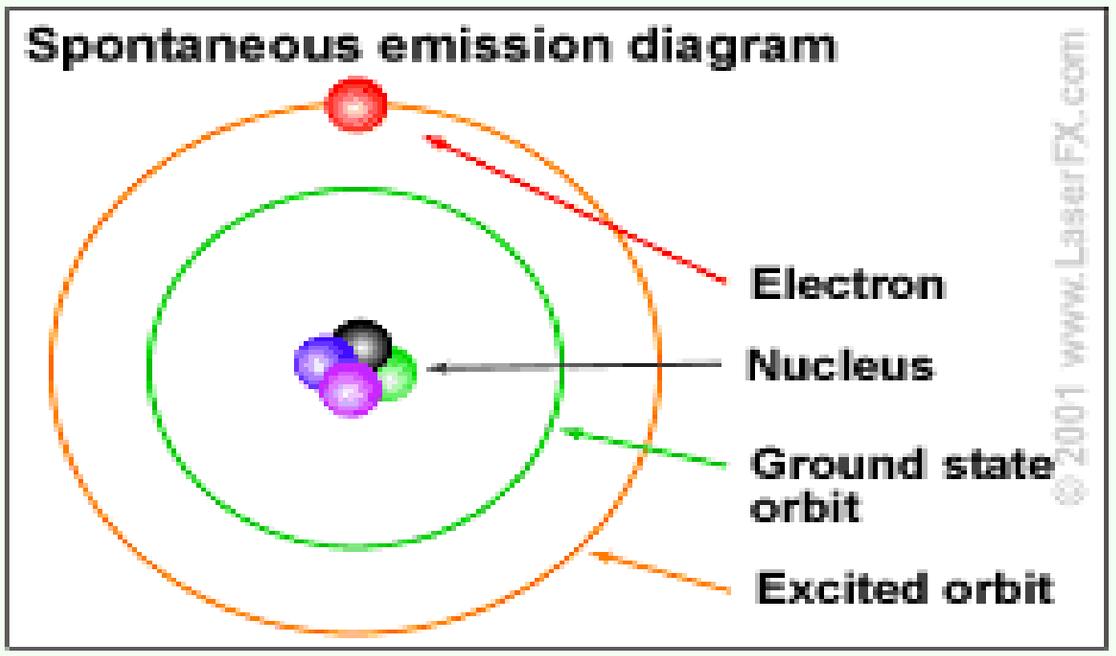
الانتقالات المشعة ومعاملات آينشتين



الامتصاص
Absorption

امتصاص الذرة أو الإلكترون لطاقة الفوتون الساقط بحيث ينتقل إلى مستوى طاقة أعلى

An atom or an electron absorbs the energy of an incident photon so that it moves to a higher energy level



الانبعاث التلقائي
Spontaneous Emission

رجوع الذرة أو الإلكترون من حالة الإثارة إلى المستوى الأرضي بحيث يبعث فرق الطاقة على شكل فوتون دون أي تأثيرات خارجية

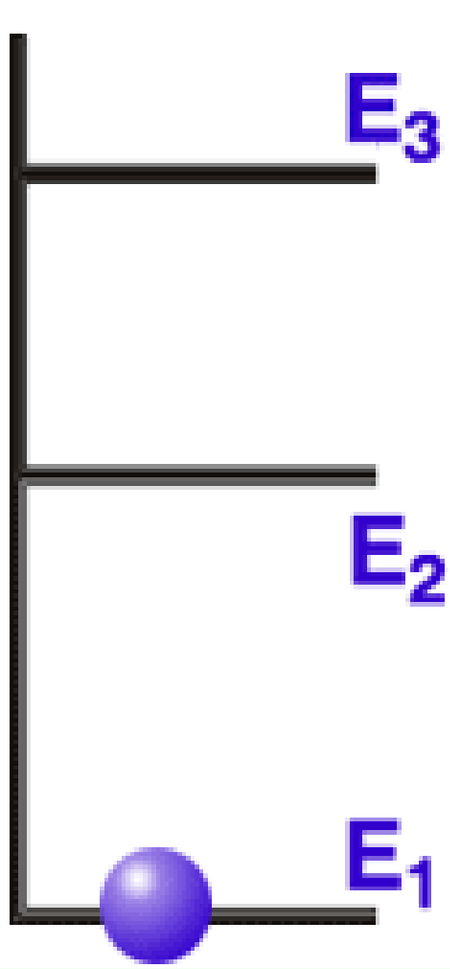
The return of the atom or electron from the excited state to the ground level so that it emits an energy difference in the form of a photon without any external effects

الانتقالات المشعة ومعاملات آينشتين

الانبعاث المستحث
Stimulated Emission

رجوع الذرة أو الإلكترون من حالة الإثارة إلى المستوى الأرضي بحيث ينبعث فرق الطاقة على شكل فوتون تحت تحفيز فوتون آخر

The return of the atom or electron from the excited state to the ground level so that the energy difference is emitted in the form of a photon under the stimulation of another photon



معاملات آينشتين

لنفترض عدد N من الذرات المتجانسة داخل فجوة الليزر ، وبكل ذرة مستويين من الطاقة بحيث يكون :

$$h f = E_2 - E_1 \qquad (26)$$

ولنفترض أن كثافة الذرات الموجودة في المستوى E_1 و E_2 يعطى بالأعداد السكانية N_1 و N_2 على التوالي والتي بدورها تتأثربالانتقالات المشعة طبقاً لمعادلات آينشتاين التالية :

* ينحل الإسكان العلوي N_2 بسبب الانبعاث التلقائي وفقاً للمعدل التالي :

$$\left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{spon} = -A_{21}\ N_2 \qquad (27)$$

حيث A_{21} هو احتمالية حدوث الانبعاث التلقائي لكل وحدة زمن . (لماذا الاشارة السالبة ؟)

* يزداد الإسكان العلوي N_2 بسبب الامتصاص وفقاً للمعدل التالي :

$$\left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{abs} = +B_{12}\ N_1\ \rho(f) \qquad (27)$$

حيث B_{12} هو احتمالية حدوث الامتصاص لكل وحدة زمن و $\rho(f)$ هي كثافة طاقة الاشعاع .

* ينحل الإسكان العلوي N_2 بسبب الانبعاث المستحث وفقاً للمعدل التالي :

$$\left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{stim} = -B_{21}\ N_2\ \rho(f) \qquad (28)$$

حيث B_{21} هو احتمالية حدوث الانبعاث المستحث لكل وحدة زمن .

تسمى المعاملات A و B بمعاملات آينشتين .

الانتقالات المشعة ومعاملات آينشتين

وعليه يكون المعدل الكلي للتغير في الاسكان الذري على النحو التالي :

Therefore, the total rate of change in the atomic population is as follows

$$\frac{dN_2}{dt} = -\frac{dN_1}{dt} = +B_{12}\ N_1\ \rho(f) - B_{21}\ N_2\ \rho(f) - A_{21}\ N_2 \qquad (29)$$

حالة الاتزان الحراري

في حالة الاتزان الحراري يكون معدل انتقال الذرات إلى المستوى العلوي (الامتصاص) مساوياً لمعدل اتحلالها (بالانبعاث التلقائي أو المستحث) أي أن :

In the case of thermal equilibrium, the rate of transfer of the atoms to the upper level (absorption) is equal to the rate of their dissolution (by spontaneous or stimulated emission), meaning that:

$$B_{12}\ N_1\ \rho(f) = B_{21}\ N_2\ \rho(f) + A_{21}\ N_2 \qquad (30)$$

$$\Rightarrow \quad \rho(f) = \frac{A_{21}}{\frac{N_1}{N_2} B_{12} - B_{21}} \qquad (31)$$

الانتقالات المشعة ومعاملات آينشتين

وحيث المنظومة الذرية المتزنة حرارياً تتبع توزيع بولتزمان وباستخدام المعادلة (25) يمكننا كتابة الانعكاس السكاني كالتالي :

And since the thermally balanced atomic system follows the Boltzmann distribution, and using equation (25), we can write the population inversion as follows:

$$\frac{N_2}{N_1} = \exp\left(-\frac{hf}{KT}\right) \qquad \textbf{(32)}$$

الاشارة السالبة في الدالة الأسية تدل على أن الانعكاس السكاني في انحلال وتوهين والمنظومة الليزرية بحاجة إلى عملية ضخ كما سنرى في الفصل القادم . وبتعويض المعادلة (32) في (31) وافتراض أن مستويات الطاقة غير منحلة نحصل على :

The negative sign in the exponential function indicates that the population reflection in decay and attenuation and the laser system needs a pumping process as we will see in the next chapter. Substituting equation (32) into (31) and assuming that the energy levels are non-dissolved, we get:

$$\rho(f) = \frac{A_{21}}{\exp\left(\frac{hf}{KT}\right)B_{12} - B_{21}} \qquad \textbf{(33)}$$

الانتقالات المشعة ومعاملات آينشتين

ينص قانون بلانك لإشعاع الجسم الأسود على أن كثافة الإشعاع تعطى بالصيغة الرياضية التالية

Planck's law for black body radiation states that the radiation intensity is given by the following mathematical formula

$$\rho(f)=\frac{8\pi h f^{3}}{c^{3}}\left(\frac{1}{\left[\exp\left(\frac{hf}{KT}\right)\right]-1}\right) \qquad (34)$$

وبمقارنة المعادلتين الأخيرتين نجد أن :

$$B_{21}=B_{12}=B \qquad (35)$$

$$\frac{A_{21}}{B}=\frac{8\pi h f^{3}}{c^{3}} \qquad (36)$$

الانتقالات المشعة ومعاملات آينشتين

لقد وجد آينشتاين أن النسبة بين معدل الانبعاث التلقائي والانبعاث المحفز في حالة الاتزان الحراري تعطى بالعلاقة :

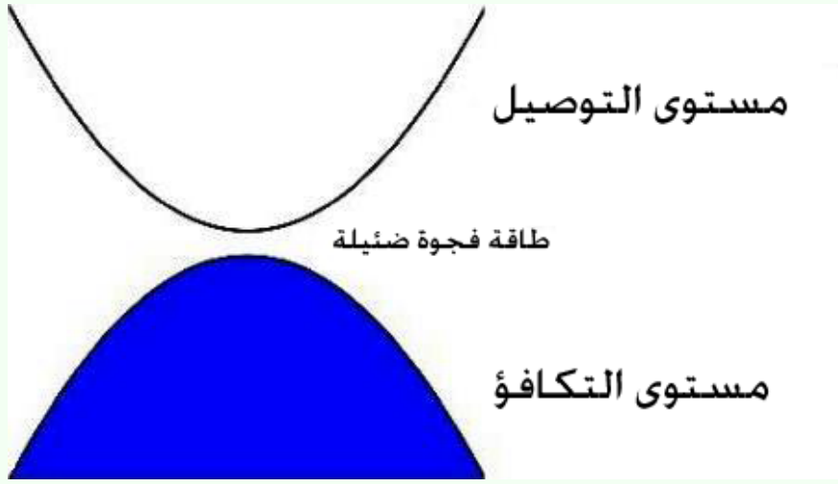
Einstein found that the ratio between the rate of spontaneous emission and stimulated emission in the case of thermal equilibrium is given by:

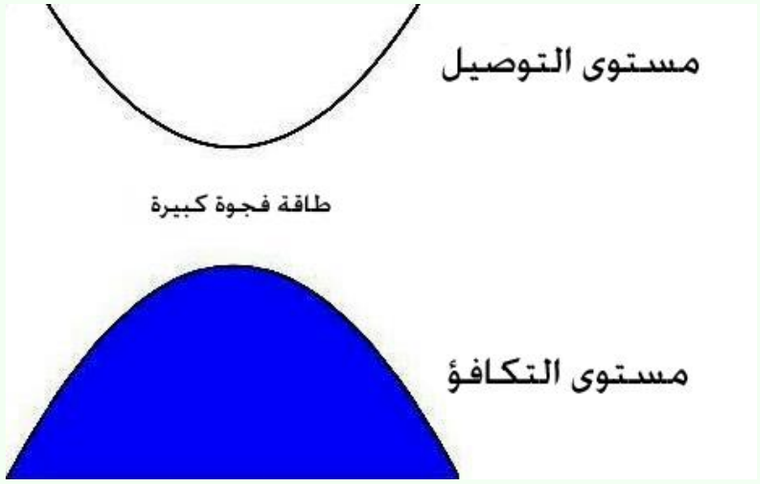
$$R = \frac{A_{21}}{B\ \rho(f)} \qquad \textbf{(37)}$$

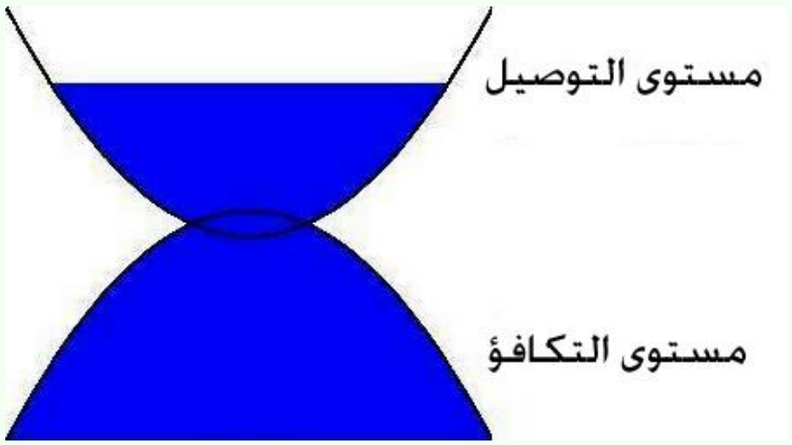
وباستخدام العلاقة (34) نحصل على علاقة للمعدل كدالة في درجة الحرارة وتردد الإشعاع :

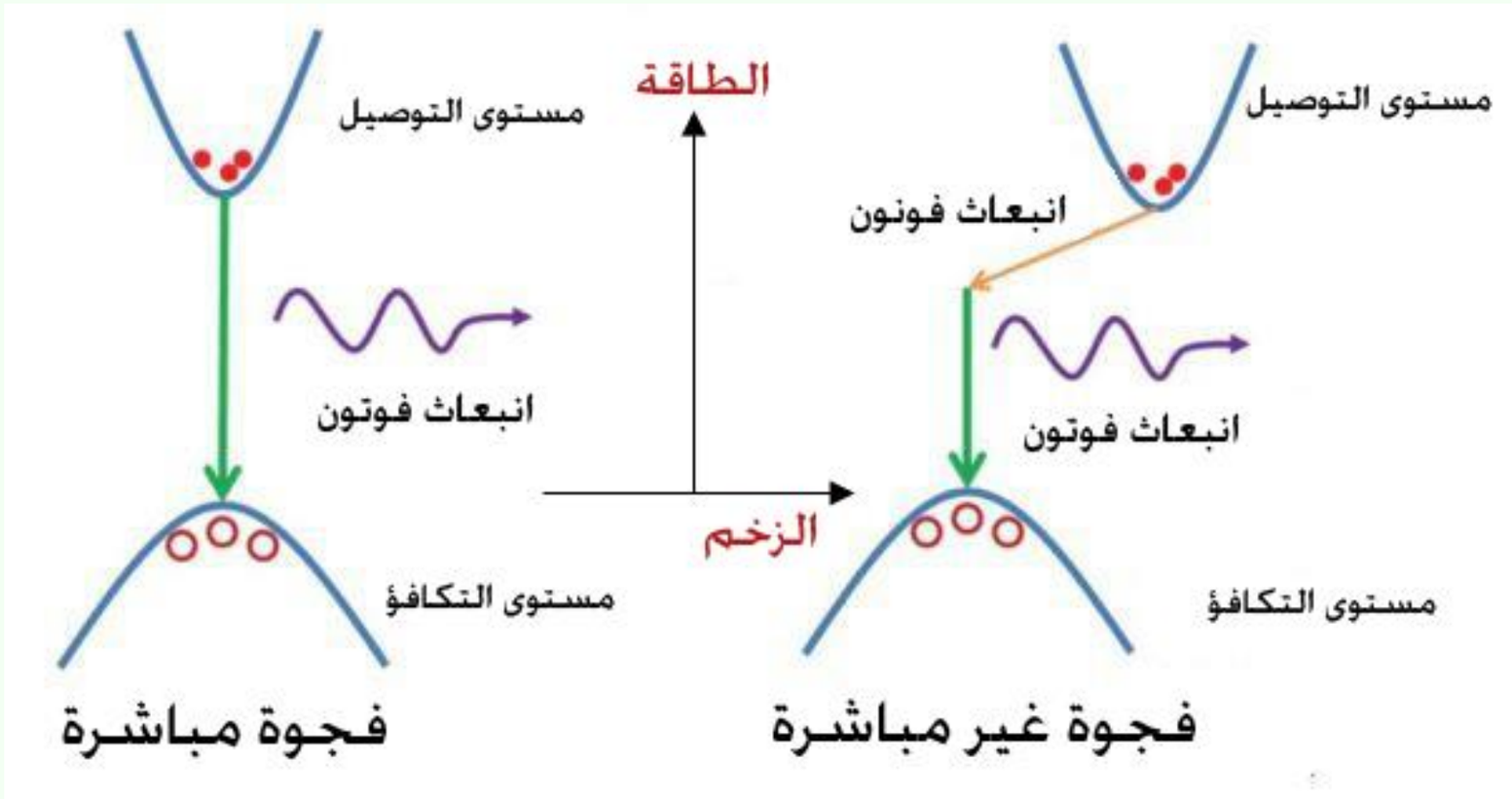
$$R = \exp\left(\frac{hf}{KT}\right) - 1 \qquad \textbf{(38)}$$

مستويات الطاقة في المواد الصلبة





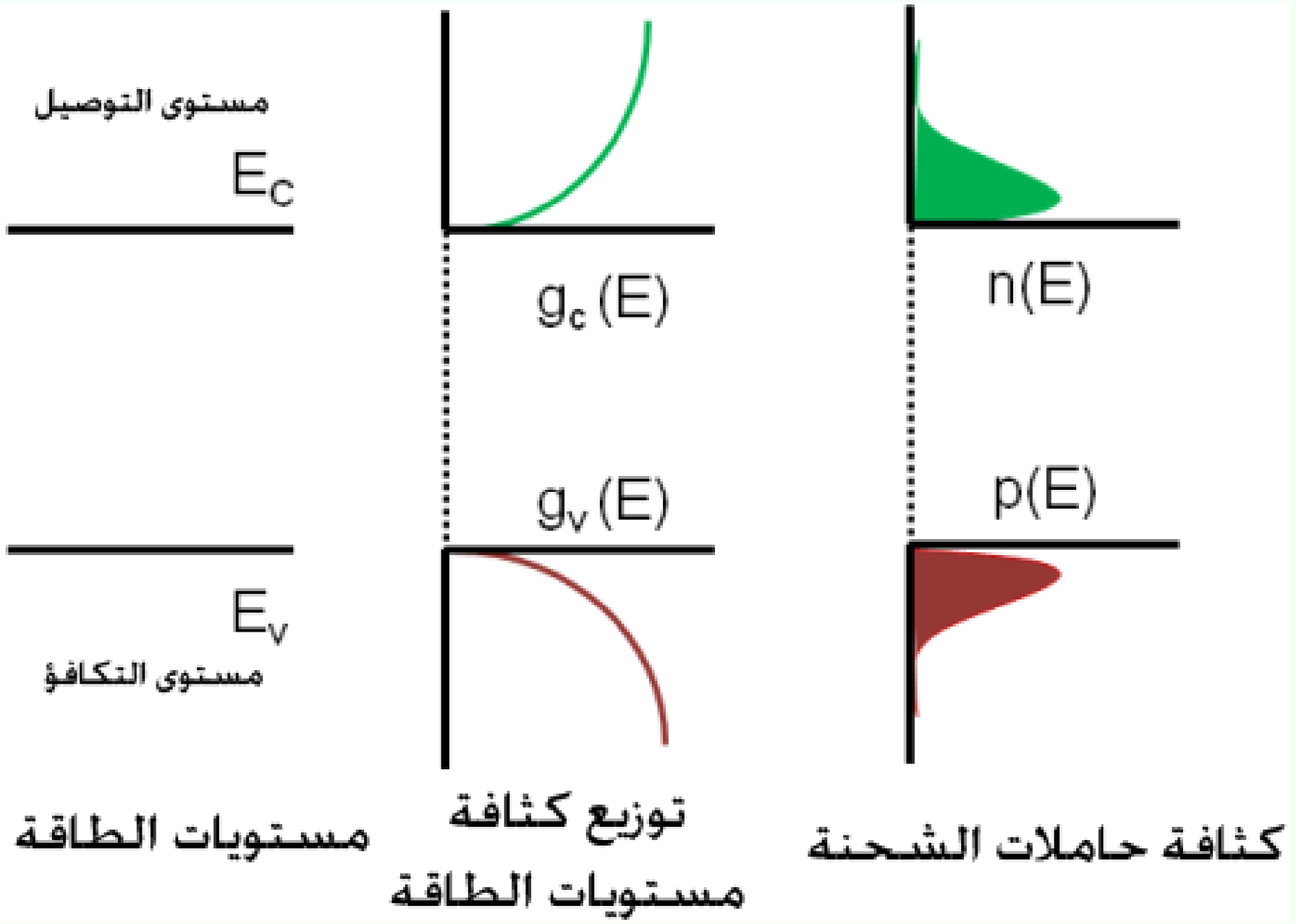




كثافة مستويات الطاقة

$$g_c(E) \propto \sqrt{E - E_c}$$

$$g_v(E) \propto \sqrt{E_v - E}$$



أسئلة ومسائل

1- في حالة الاتزان الحراري ($T = 300° K$) ، تكون نسبة الانعكاس السكاني بين مستويين = $1/e$ ، أوجد تردد الفوتون المناظر للانتقال بين هذين المستويين ؟ وفي أي حزم الطيف يقع ؟

2- أوجد النسبة بين معدل الانبعاث التلقائي والانبعاث المحفز في فتيلة التنجستين عند درجة حرارة $2000° K$ ، إذا كان تردد الضوء المنبعث يبلغ $6 \times 10^{14} Hz$ ؟

3- ليزر هيليوم – نيون له طول موجي حوالي $630 nm$ أوجد النسبة بين معاملي آينشتين ؟

4- حاول رسم العلاقة بين مستويات الطاقة والانعكاس السكاني في حالة الاتزان الحراري.

5- اشرح فيزيائياً ورياضياً ماهية العلاقة بين معادلة بولتزمان والانعكاس السكاني.

6- ما المقصود بغاز فيرمي ومستوى طاقة فيرمي ؟

7- أوجد مستويات الطاقة الإلكترونية في جزيئة الأكسجين.

8- يستخدم محلول الكريبتوسيانين في تثبيت عامل النوعية في ليزر الياقوت ، إذا كان المقطع العرضي لامتصاص هذا المحلول عند إشعاع ليزر الياقوت ($694 nm$) يساوي $8.1 \times 10^{-16} cm^2$ ، وعمر الانحلال للمستوى العلوي $22 \times 10^{-12} s$ ، احسب شدة الإشعاع عند هذا الطول الموجي.

1- In the case of thermal equilibrium (T = 300° K), the population ratio between two levels = 1/e, find the photon frequency corresponding to the transition between these two levels? In which bands of the spectrum is it located?

2- Find the ratio between the rate of spontaneous emission and stimulated emission in a tungsten filament at a temperature of 2000° K, if the frequency of the emitted light is 6 x 1014 Hz?

3- A helium-neon laser has a wavelength of about 630 nm What is the ratio between the Einstein coefficients?

4- Try to draw the relationship between energy levels and population reflection in the case of thermal equilibrium.

5- Explain, physically and mathematically, the relationship between the Boltzmann equation and the population reflection.

Chapter 4

Laser Components

مكونات الليزر

الفصل الرابع : مكونات الليزر

Laser Components

مكونات جهاز الليزر

Active Medium

الوسط الفعال

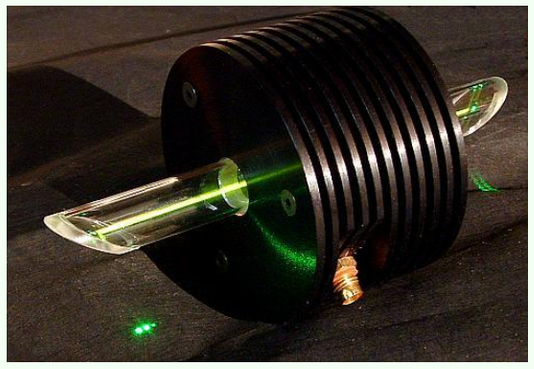
Pumping

الضخ

Resonator

Optical Feedback

التغذية الراجعة



The active medium

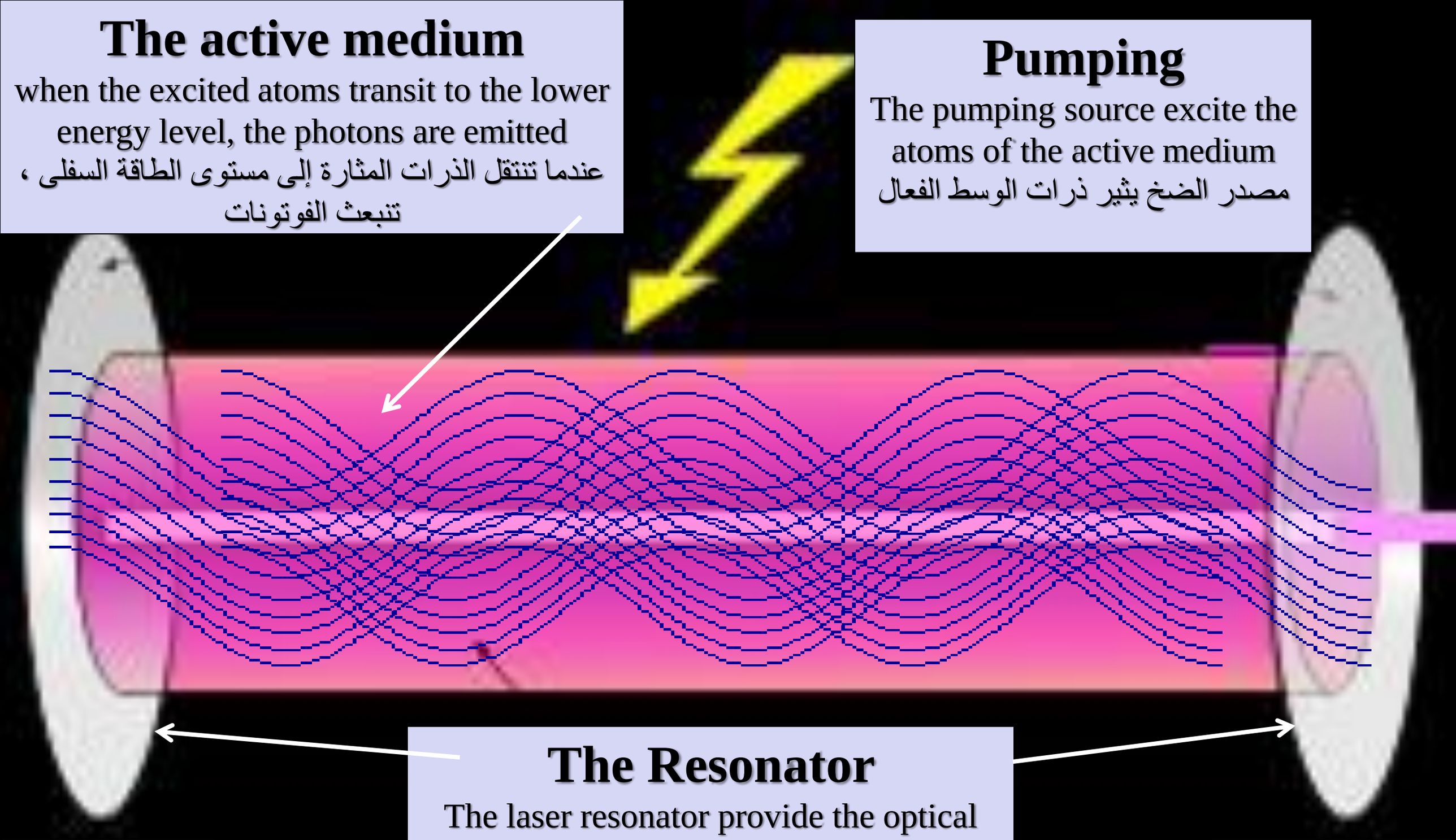
when the excited atoms transit to the lower energy level, the photons are emitted

عندما تنتقل الذرات المثارة إلى مستوى الطاقة السفلى ، تنبعث الفوتونات

Pumping

The pumping source excite the atoms of the active medium

مصدر الضخ يثير ذرات الوسط الفعال



The Resonator

The laser resonator provide the optical feedback which amplify the number of emitted photons

مرنان الليزر يسبب التغذية الراجعة البصرية التي تضخم عدد الفوتونات المنبعثة

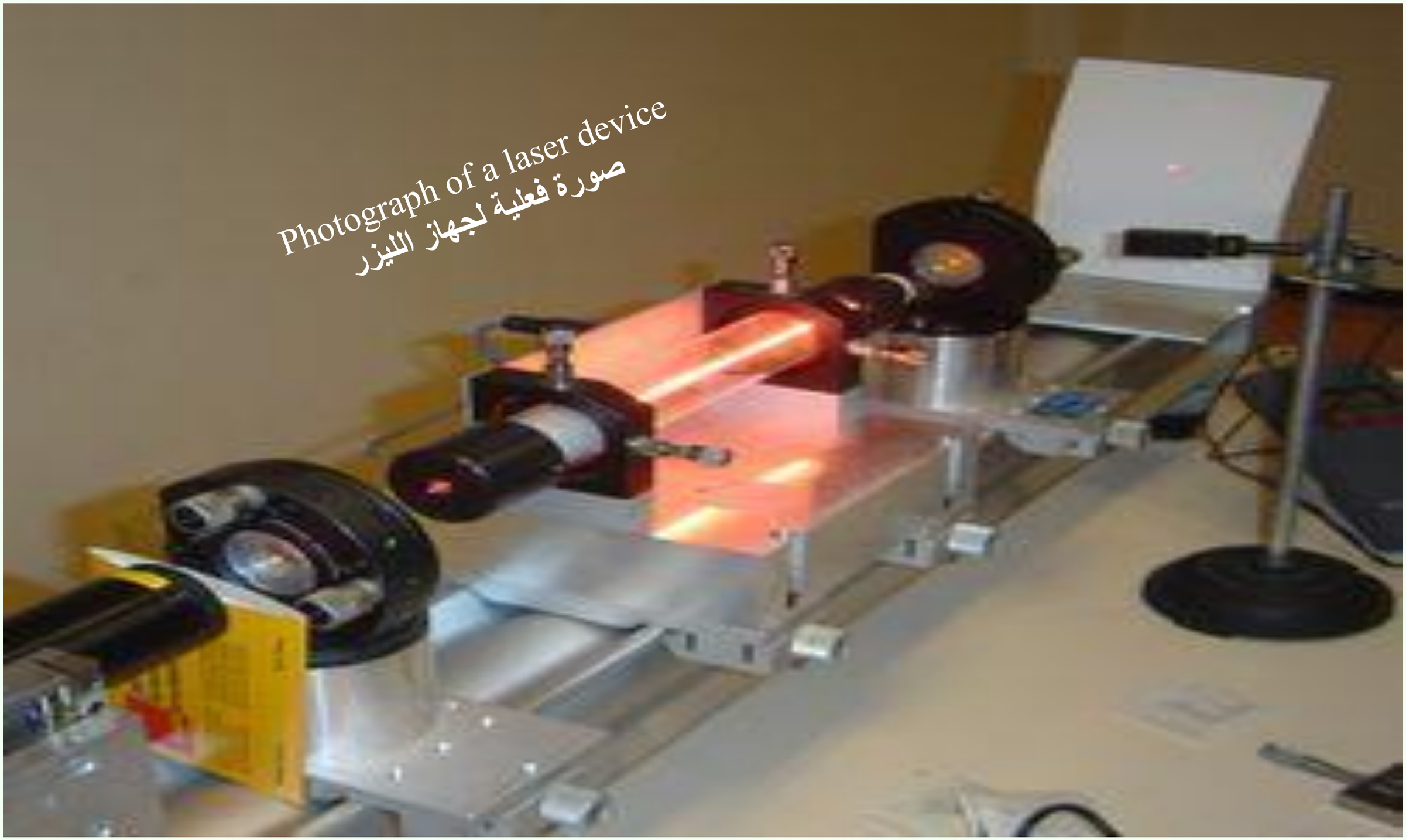
100% Reflective Mirror

مرأة عاكسة كليا

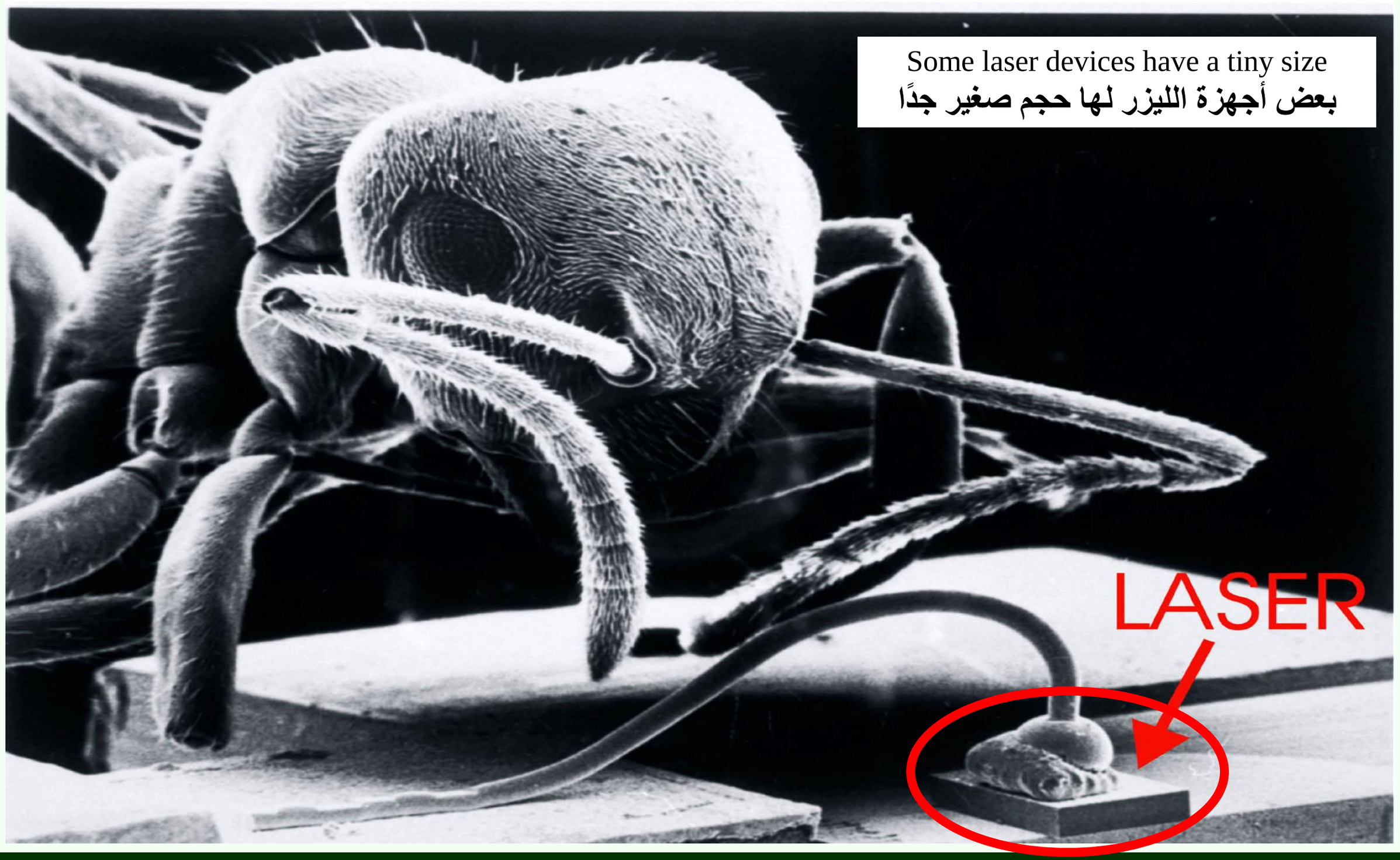
Partially Reflective Mirror

مرآة عاكسة جزئيًا

الفصل الرابع : مكونات الليزر



الفصل الرابع : مكونات الليزر

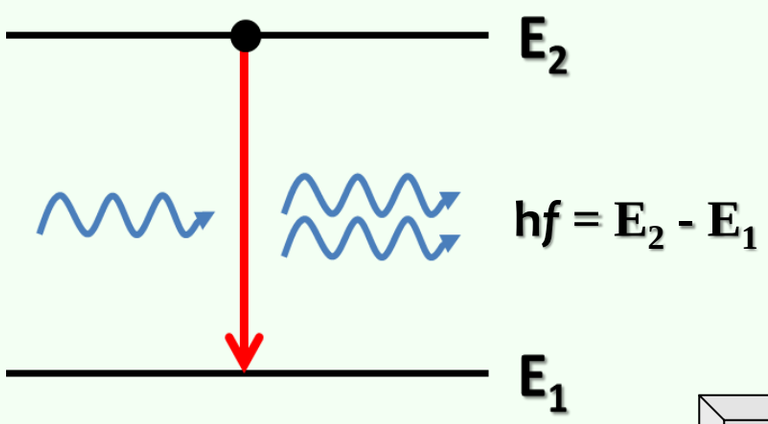


الوسط الفعال *Active Medium*

- The active medium can be in the solid, liquid, or gaseous state, also it can be a semiconductor.
- The active medium is selected according to the desired wavelength.

* يمكن أن يكون الوسط الفعال صلباً أو سائلاً أو غازياً أو شبه موصل .

* يتم اختيار الوسط الفعال طبقاً للطول الموجي المراد الحصول عليه :



$$h f = E_2 - E_1$$

مستويات الطاقة

ذرات الوسط

Pumping

Pumping
الضخ

Population Inversion
التوزيع المعكوس للاستيطان

Stimulated Emission
الانبعاث المستحث

Pumping

The pumping source provide the energy required to excite the active medium atoms and transit them to higher energy levels (excited states).

يوفر مصدر الضخ الطاقة اللازمة لإثارة ذرات الوسط النشطة ونقلها إلى مستويات طاقة أعلى (المستويات المثارة).

Population Inversion

If the pumping energy is enough to excite most of the atoms to the excited levels, the population inversion is established.

إذا كانت طاقة الضخ كافية لإثارة معظم الذرات إلى المستويات المثارة ، يتم حدوث التوزيع المعكوس للاستيطان.

Stimulated Emission

When the population inversion is established, if a photon of resonant energy passes near an excited atom, the stimulated emission of photon can occur.

فى وجود التوزيع المعكوس للاستيطان، إذا مر فوتون من طاقة الرنين بالقرب من ذرة مثارة ، يمكن أن يحدث الانبعاث المستحث للفوتون.

الضخ

أنواع الضخ *Types of Pumping*

Optical Pumping

الضخ الضوئي

Electrical Pumping

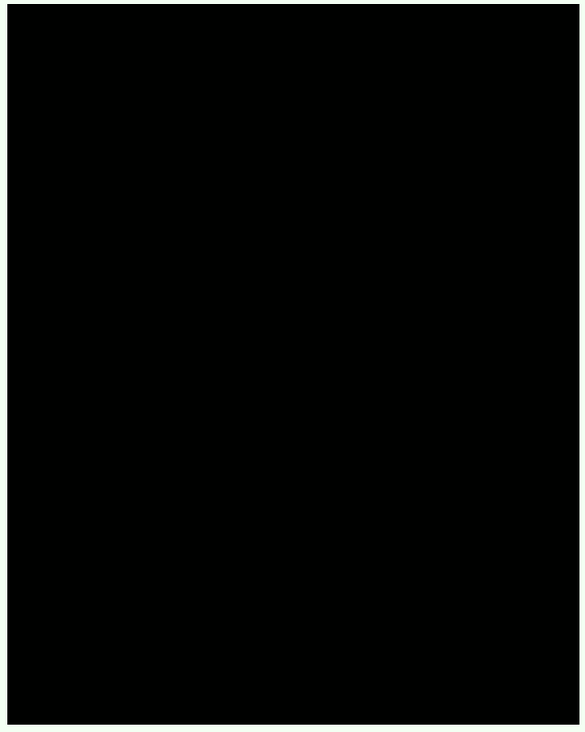
الضخ الكهربائي

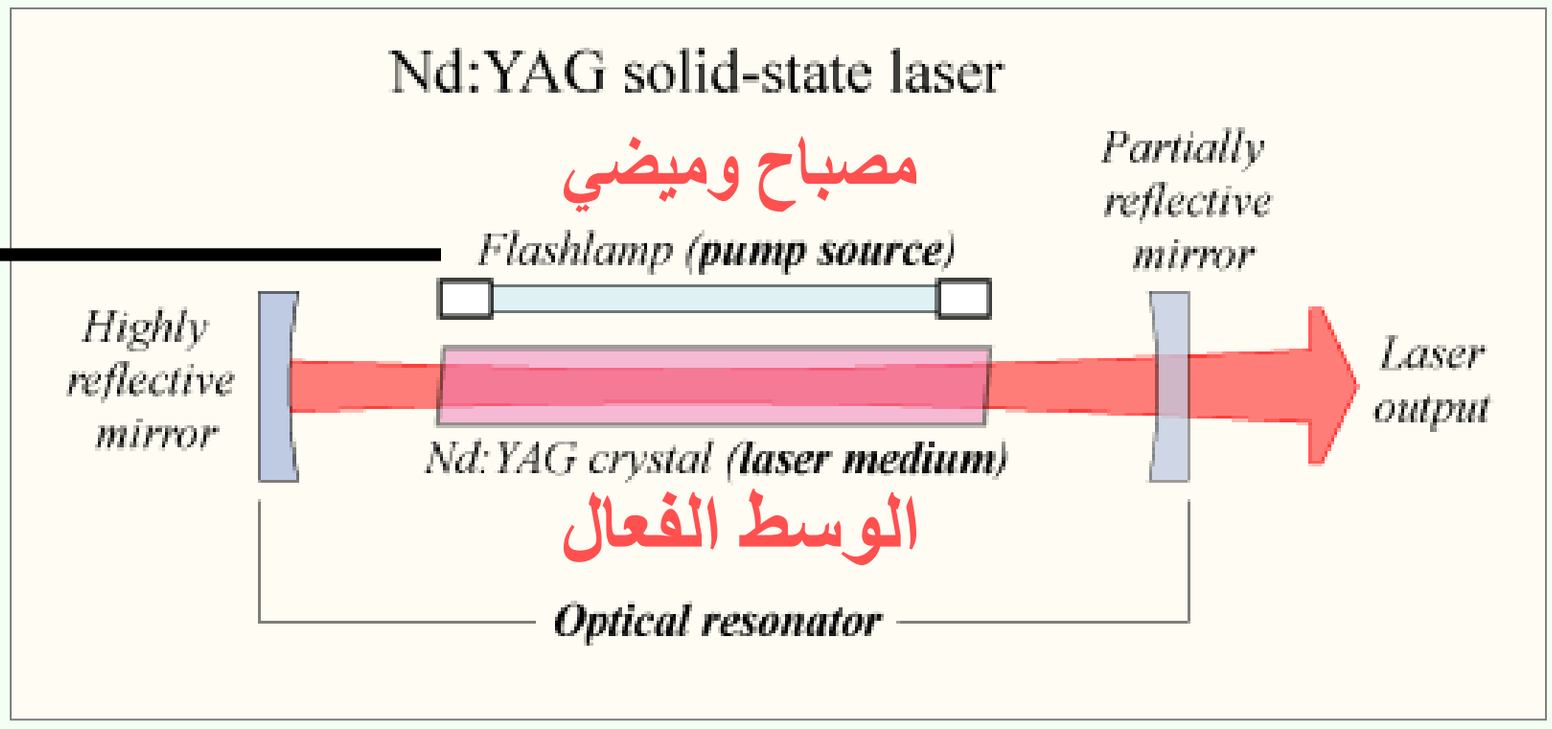
Chemical Pumping

الضخ الكيميائي

الضخ

الضخ الضوئي





الضخ

Optical Pumping الضخ الضوئي

The flash lamp is consists of a transparent quartz tube filled with a specific gas such as xenon or neon, and is connected to a cathode and an anode at the tube internal ends. The tube is wrapped around the active medium.

When an electric discharge occurs in the lamp, the gases are ionized and releasing a great number of light pulses containing photons energies equal to the difference between the energy levels in the active medium

* يتكون المصباح الوميضى من أنبوب كوارتز شفاف مملوء بغاز معين مثل الزينون أو النيون ، ومتصل بمهبط وأنود عند نهايات الأنبوب الداخلية. يتم لف الأنبوب حول الوسط النشط .وعند حدوث التفريغ الكهربائي في هذه المصابيح تتأين الغازات مطلقة كم هائل من النبضات الضوئية المحتوية على فوتونات لها طاقة مساوية للفرق بين مستويات الطاقة في الوسط الفعال .

Optical pumping is commonly used in solid-state lasers (such as sapphire laser) that produce laser beam with wavelength within the visible and infrared bands.

- يستخدم الضخ الضوئي عادة في ليزرات الحالة الصلبة (مثل ليزر الياقوت) التي تنتج ضوءاً ضمن حزمة الطيف المرئي والحزمة تحت الحمراء.

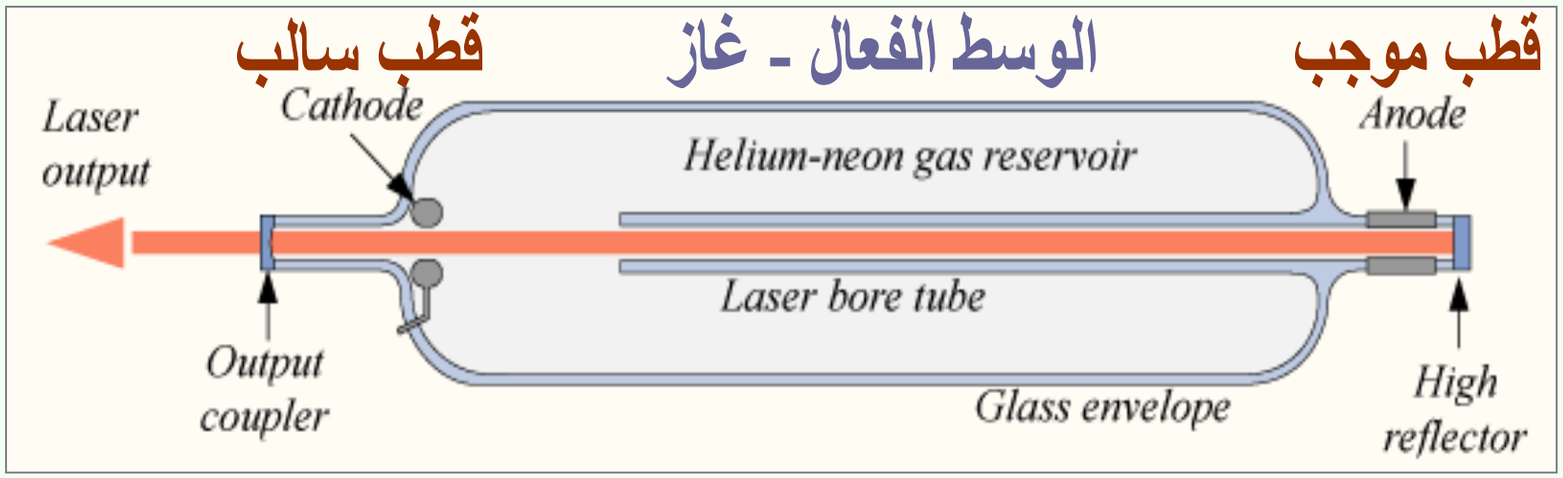
In some optical pumping techniques, a laser beam can be used to pump the active medium of another laser.

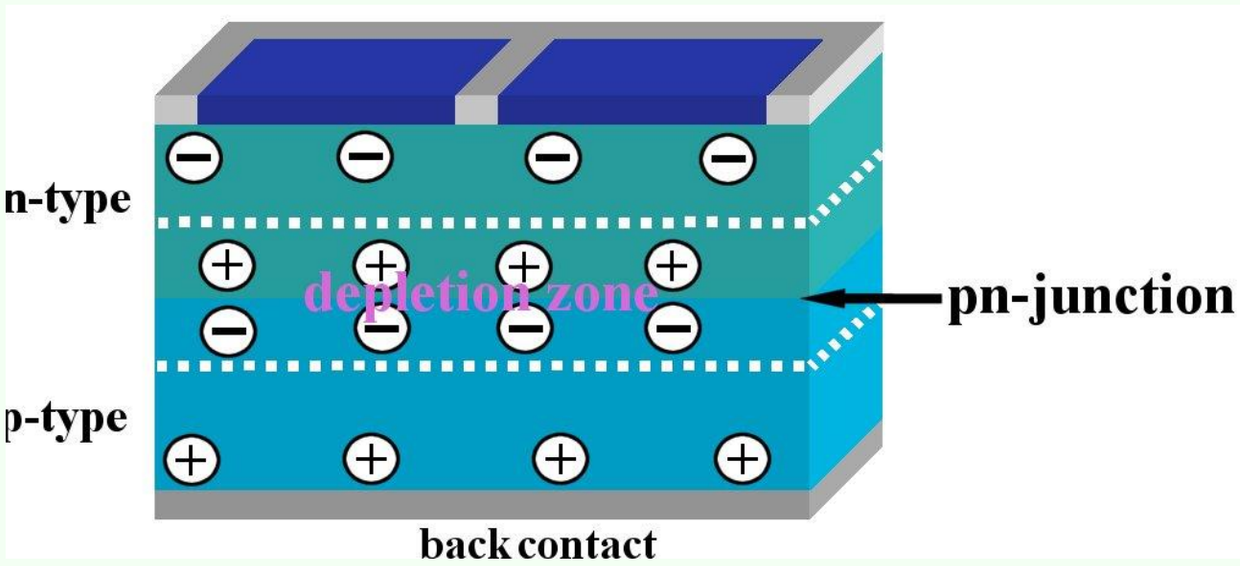
* يمكن في بعض تقنيات الضخ الضوئي أن يستخدم شعاع ليزر لضخ مادة الوسط الفعال لليزر آخر.

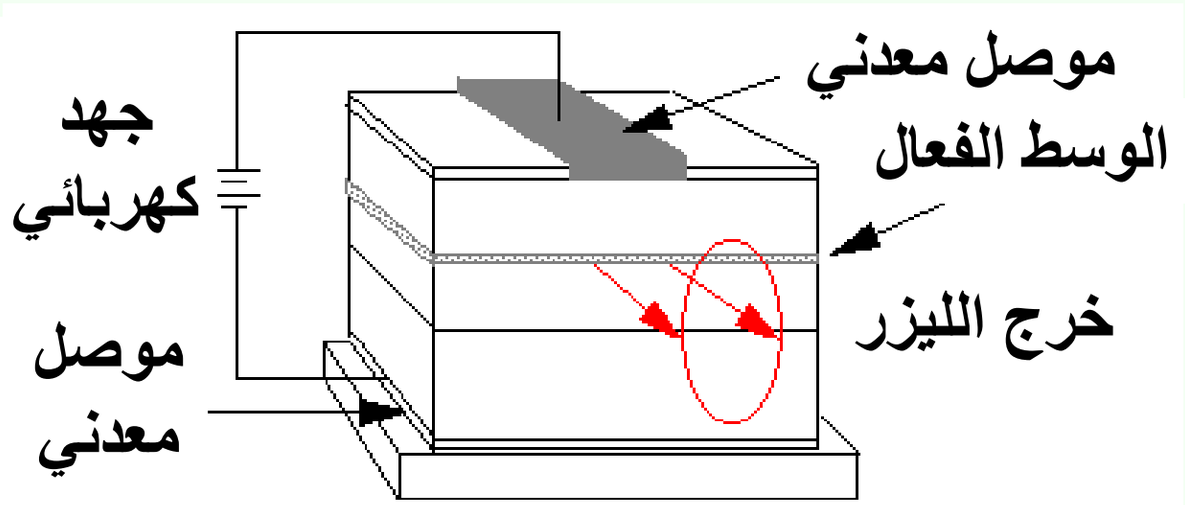
الضخ

Electrical Pumping

الضخ الكهربائي







ليزر شبه موصل

Electrical Pumping الضخ الكهربائي

- Electrical Pumping is used to pump the gas lasers and also it can be used to pump the semiconductor lasers.
  - تستخدم هذه التقنية لضخ الليزرات الغازية وليزرات أشباه الموصلات .

- In gas lasers, electrons (in the form of a current) flow through the gas between the anode and cathode and excite the gas molecules when they hit them, creating the necessary population inversion.
  - في الليزرات الغازية تسري الإلكترونات (في صورة تيار) خلال الغاز بين المصعد والمهبط وتقوم باستثارة جزيئات الغاز عند اصطدامها بها خالقة بذلك التوزيع العكسي اللازم.

- Electric pumping (which is the most common) can be a flash lamp-like discharge, exciting the atoms and molecules of the active medium (gaseous helium-neon laser).
  - ويمكن أن يكون الضخ الكهربائي (وهو الأكثر شيوعاً) تفريغاً شبيهاً بتفريغ المصابيح الوميضية مستثيرة بذلك ذرات وجزيئات الوسط الفعال (ليزر الهيليوم نيون الغازي).

Electrical Pumping الضخ الكهربائي

- In semiconductor lasers, voltages (forward bias) are dropped through the double junction, causing electrons to flow to the positive side and holes to the negative side. These electrons and holes are recombined in the depletion region to release laser photons.

- **في ليزرات أشباه الموصلات تسلط الفولتية (انحياز أمامي) خلال الوصلة الثنائية (p-n) مما ينشأ عنه سريان تيار إلكترونات باتجاه الجانب الموجب وتيار فجوات باتجاه الجانب السالب ، هذه الإلكترونات والفجوات يتم إعادة اتحادها في منطقة الاستنزاف مطلقة فوتونات الليزر.**

الضخ

Other Pumping Techniques
تقنيات أخرى للضخ

Chemical Pumping
الضخ الكيميائي

- A chemical reaction between two substances results in a third substance whose atoms are excited due to the energy released from the chemical reaction.
- تفاعل كيميائي بين مادتين ينتج عنه مادة ثالثة ذراتها مستثارة بسبب الطاقة المتحررة من التفاعل الكيميائي.

pumping by nuclear particles
الضخ بجسيمات نووية

- Pumping lasers with nuclear particles resulting from nuclear reactions.
- ضخ الليزرات بجسيمات نووية ناشئة عن التفاعلات النووية.

Pumping by free electrons
الضخ بواسطة الإلكترونات الحرة

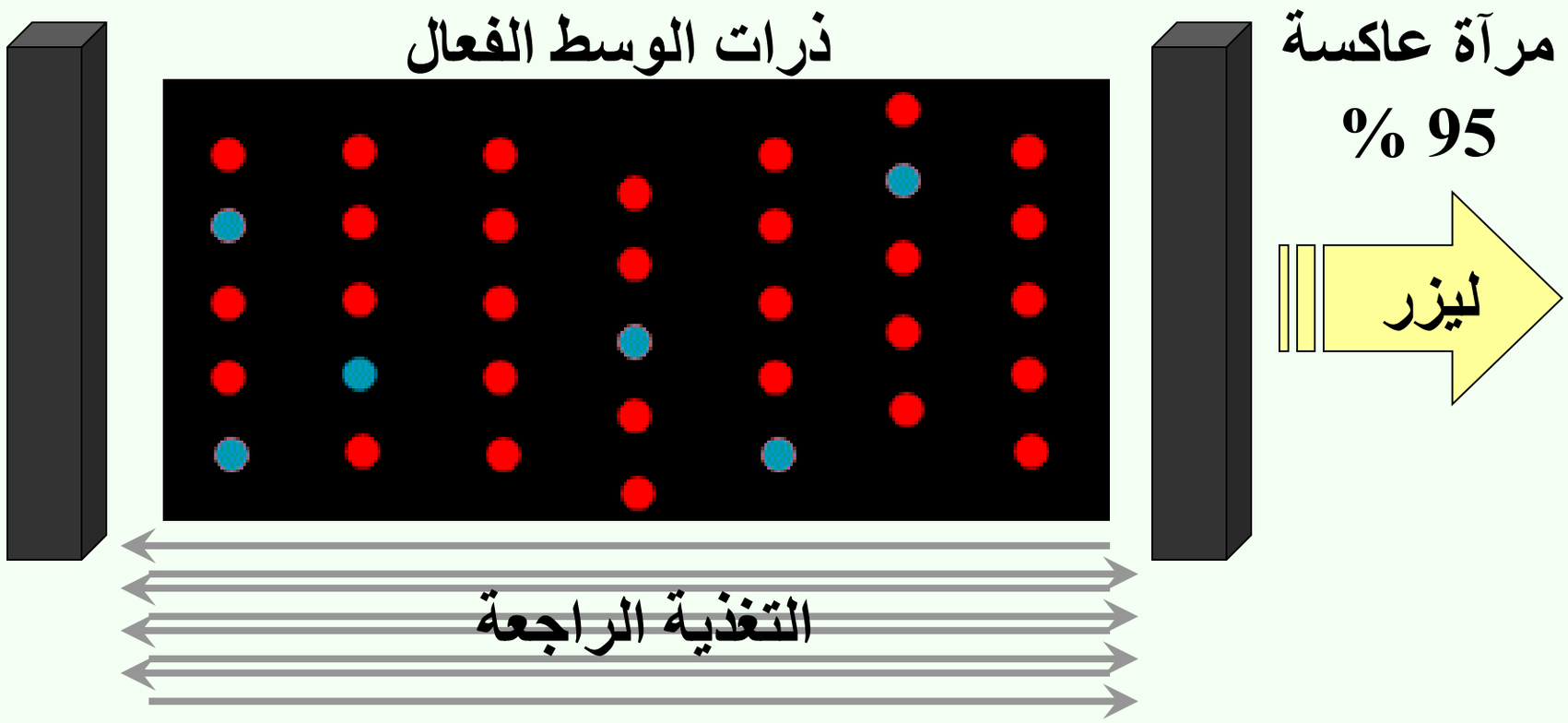
- Pumping lasers with high-energy free electrons.
- ضخ الليزرات بإلكترونات حرة ذات طاقة عالية.

التغذية الراجعة والمرنان

التغذية الراجعة Feedback

Feedback means the way in which the pumping process can be activated so that the amplification process takes place within The active medium. In order to make the induced photons pass through the active medium thousands of times, stimulating its atoms, the active medium is placed inside the Fabry-Perot cavity, forming what we call the "**laser resonator**".

يقصد بالتغذية الراجعة الطريقة التي يمكن بها تفعيل عملية الضخ بحيث تتم عملية التكبير داخل الوسط الفعال ، ولكي نجعل الفوتونات المستحثة تمر في الوسط الفعال آلاف المرات مستحثة ذراته فإن الوسط الفعال يوضع داخل فجوة فابري – بيرو مكوناً مانسميه المرنان الليزري .



Resonator Equations معادلات المرنان

The most common and important resonator is the Fabry-Perot resonator , and apply to it the same scale equations applied to the Fabri-Pero interferometer (mentioned in the first chapter) and we repeat it here with the same equation number:

أكثر المرنانات شيوعاً وأهمها هو مرنان فابري – بيرو ، وتنطبق عليه معادلات مقياس فابري – بيرو المذكورة في الفصل الأول ، ونعيدها هنا بنفس الرقم التسلسلي للمعادلات:

Resonator equations معادلات المرنان

*The wavelength corresponding to the maximum value of the output of the resonator:

* الطول الموجي المقابل للقيمة العظمى لخرج المرنان :

$$\lambda_{max} = 2\,L / n \qquad (11)$$

*In case of light of different wavelengths, the permissible frequencies for the maximum output values are:

* في حالة الضوء ذو الأطوال الموجية المختلفة فإن الترددات المسموح بها لقيم الخرج العظمى :

$$f_{max} = n\,c / 2\,L \qquad (12)$$

The frequency difference between two successive frequency values (free spectral range) is given by:

* أما الفرق الترددي بين قيمتين متتاليتين من قيم التردد فيعطى بالعلاقة :

$$\Delta f = f_{n+1} - f_n = c / 2\,L \qquad (13)$$

And it can be expressed in terms of wavelength as follows:

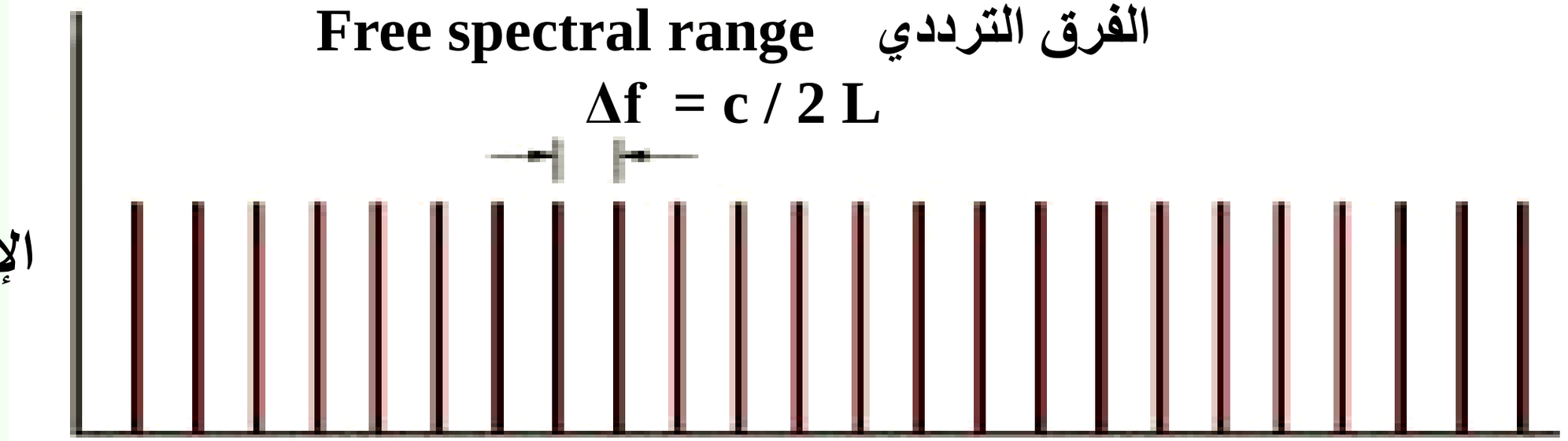
* ويمكن التعبير عنها بدلالة الطول الموجي كالتالي :

$$\Delta\lambda = \lambda^2 / 2\,L \qquad (14)$$

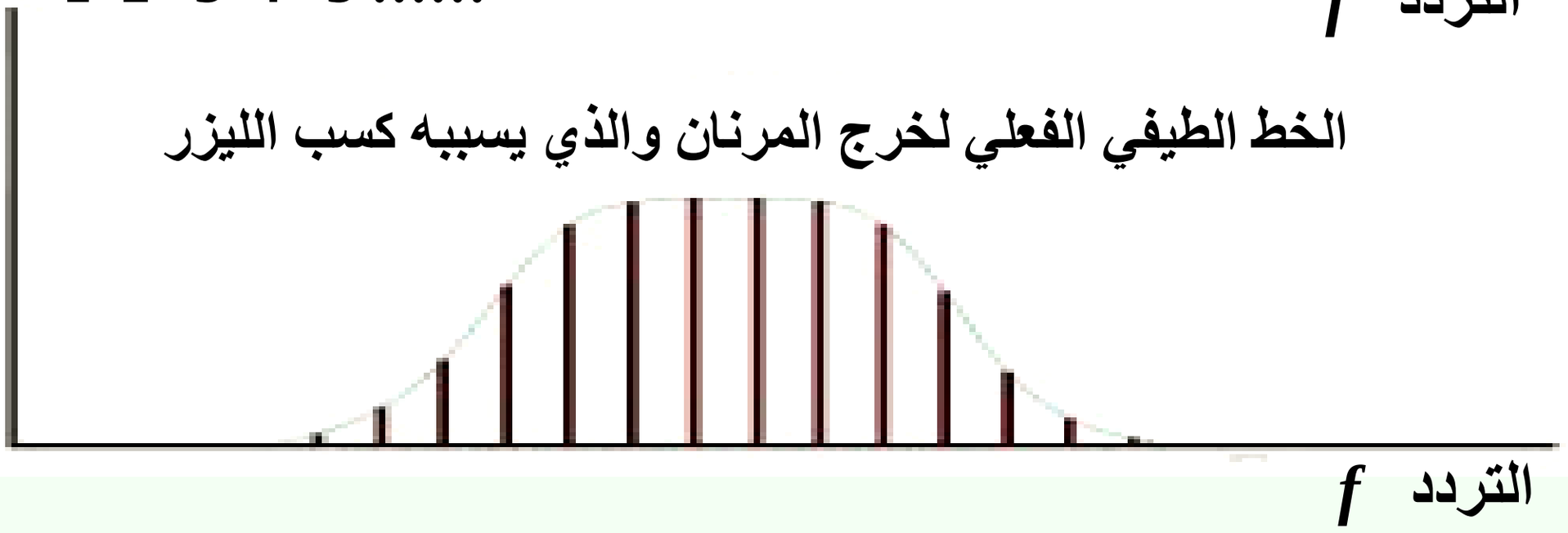
الترددات المسموح بها لقيم خرج المرنان الليزري

الفرق الترددي Free spectral range

$$\Delta f = c / 2L$$



الخط الطيفي الفعلي لخرج المرنان والذي يسببه كسب الليزر



التغذية الراجعة والمرنان

شرط العتبة في المرنان Threshold condition in the resonator

Although the resonator provides feedback, there is some loss in the laser beam that occurs inside the resonator and the sources of this loss are as follows:

على الرغم من توفير المرنان للتغذية الراجعة إلا أن هناك بعض الخسارة (الفقد) في شعاع الليزر تحدث داخل المرنان ومصادر هذه الخسارة كالتالي :

1. Loss at optical surfaces because they are not fully reflective.

1- الخسارة عند الأسطح البصرية لأنها غير تامة الانعكاسية .

2. Dispersion in the active medium due to the inhomogeneity of the refractive index.

2- التشتت في الوسط الفعال بسبب عدم تجانس معامل الانكسار .

3. Diffraction due to the limited aperture of the laser beam inside the resonator.

3- الحيود بسبب الفتحة المحدودة لحزمة الليزر داخل المرنان .

Thus, the threshold condition for generating the laser inside the resonator is:

وعليه فإن شرط العتبة لتوليد الليزر داخل المرنان هو :

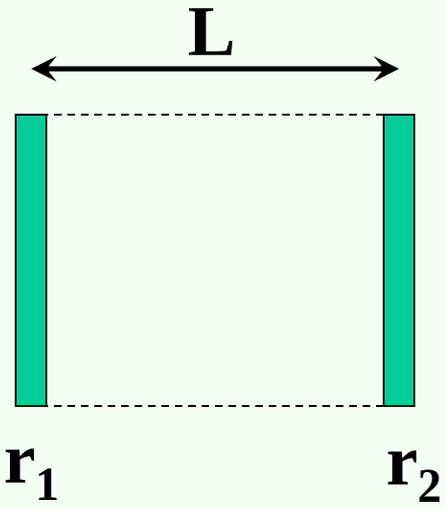
Total gain = Total loss

مجموع الخسارة = مجموع الكسب

سنتعرف على كسب الليزر في الفصل القادم

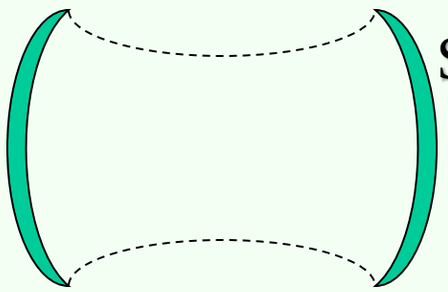
Some common designs of resonator mirrors
بعض التصاميم الشائعة لمرايا المرنان

Plane-mirror resonator
المرنان ذو المرايا المستوية



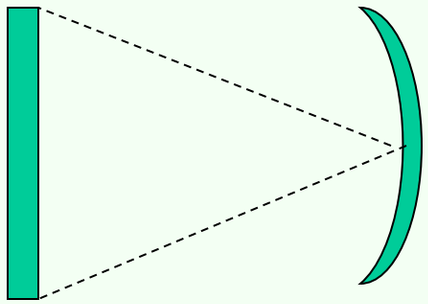
- Exploits the largest possible size of the active laser medium.
- يستغل أكبر حجم ممكن من وسط الليزر الفعال .
- Very accurate and difficult to adjust.
- دقيق جداً وصعب الضبط .

Spherical-mirror resonator
المرنان ذو المرايا الكروية



- Rays interact with a volume less than the active medium.
- الأشعة تتفاعل مع حجم أقل من الوسط الفعال .
- Relatively easy to adjust.
- سهل الضبط نسبياً .

Semi-plane resonator
المرنان الشبه مستوى



- A compromise between the two previous designs.
- تسوية بين التصميمين السابقين .

استقرارية المرنان الليزري Stability of Laser Resonator

- Laser resonators can be classified into stable and unstable resonators. The stability of the resonator can be estimated by measuring the stability coefficients, which are given as follows:

تصنف مرنانات الليزر من حيث الاستقرارية إلى مرنانات مستقرة وأخرى غير مستقرة ويمكن معرفة استقرارية المرنان بقياس معاملات الاستقرارية والتي تعطى كالتالي :

$$s_1 = 1 - \frac{L}{R_1} \qquad \& \qquad s_2 = 1 - \frac{L}{R_2}$$

- Where L represents the distance between the two mirrors and R is the radius of curvature of the resonator mirrors (R is positive for concave mirrors and negative for convex mirrors).
- The condition for the stability of the resonator is as follows:

حيث تمثل L المسافة بين المرآتين و R هو نصف قطر تكور مرايا المرنان ويكون موجباً للمرايا المقعرة وسالباً للمرايا المحدبة . ويكون شرط استقرارية المرنان كالتالي :

$$-1 \leqslant s_1 \cdot s_2 \leqslant 1$$

Stability of Laser Resonator استقرارية المرنان الليزري

Example: A laser resonator consists of two mirrors, one convex **(R_1= 400 cm)** and the other concave **(R_2= 200 cm)**, and the distance between them **L = 50 cm,** Is the resonator stable?

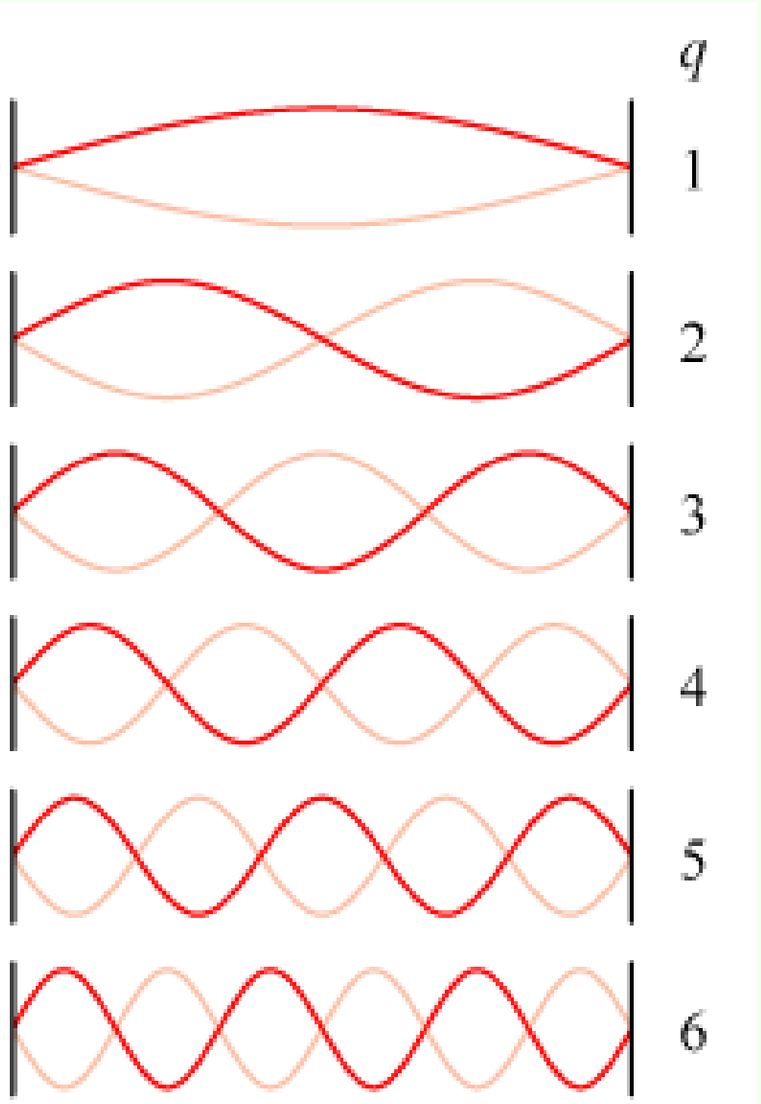
<u>مثال</u> / مرنان ليزري مكون من مرآتين إحداهما محدبة R_1= 400 cm والأخرى مقعرة R_2= 200 cm والمسافة بينهما L = 50 cm ، هل المرنان مستقر ؟

Solution

$$s_1 = 1 - \frac{L}{R_1} = 1 - \frac{50}{-400} = 1.125 \qquad s_2 = 1 - \frac{L}{R_2} = 1 - \frac{50}{200} = 0.75$$

$$s_1 . s_2 = 0.84 \quad \Rightarrow \quad \textbf{-1} \leqslant s_1 . s_2 \leqslant \textbf{1} \quad \Rightarrow \quad \text{المرنان مستقر}$$

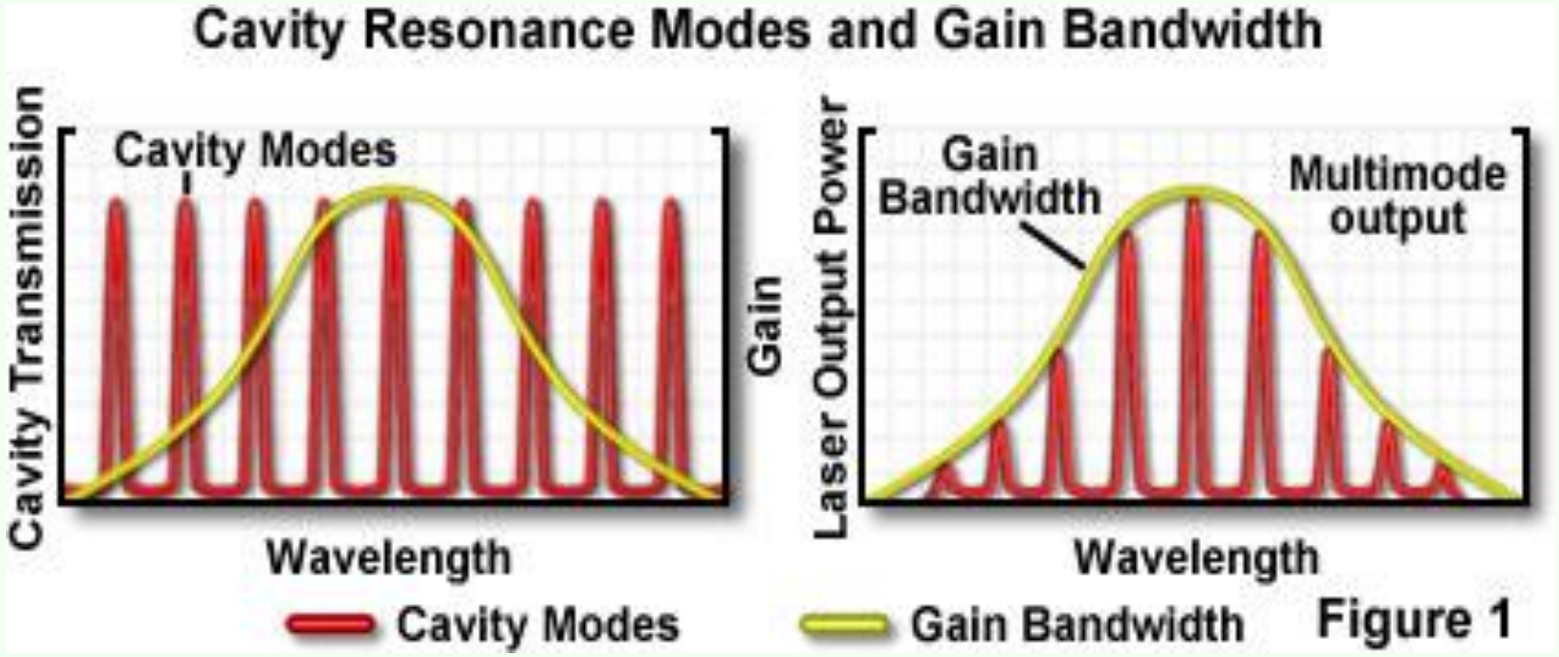
Laser Resonator Modes أنماط خرج المرنان



1. Longitudinal Modes الأنماط الطولية

Longitudinal Modes are the standing waves that originate along the axis of the resonator, the number of these modes can be found using equation (11)

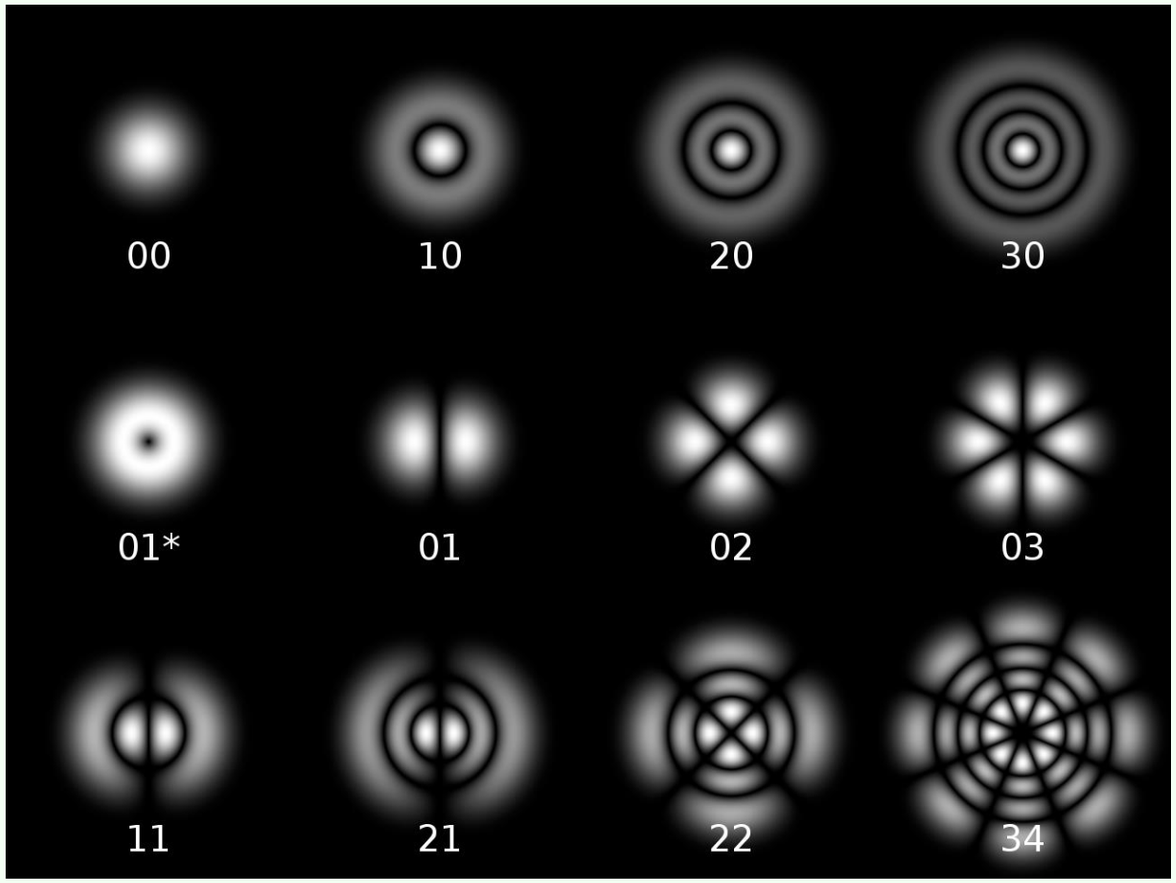
هي عبارة عن الموجات الواقفة التي تنشأ على طول محور المرنان ، يمكن إيجاد عدد هذه الأنماط باستخدام المعادلة (11)

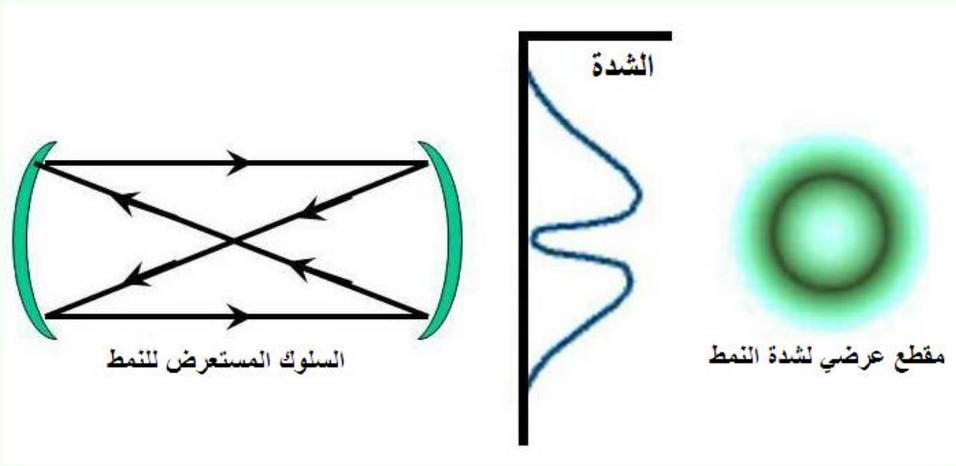


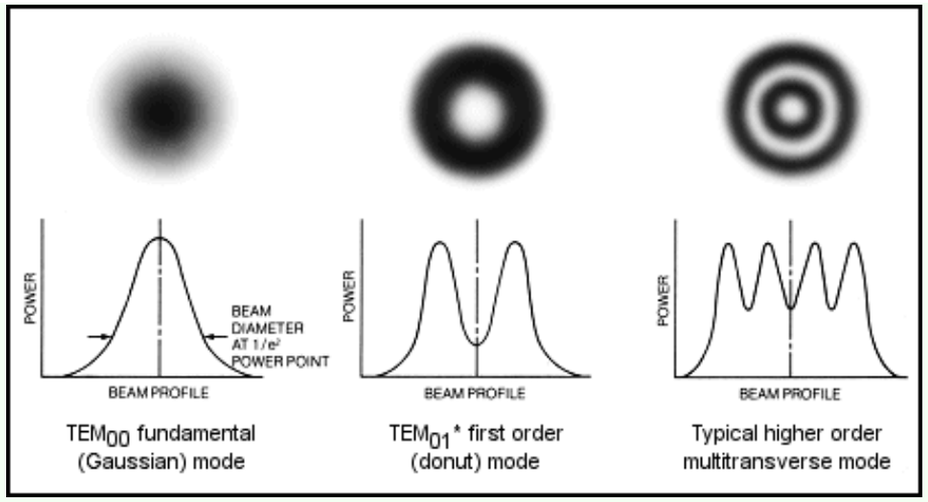
2. Transverse Modes الأنماط المستعرضة

Transverse Modes are waves that travel diagonally from the resonator axis and can repeat themselves after cutting a closed path of many complexity, and are symbolized by the symbol TEM

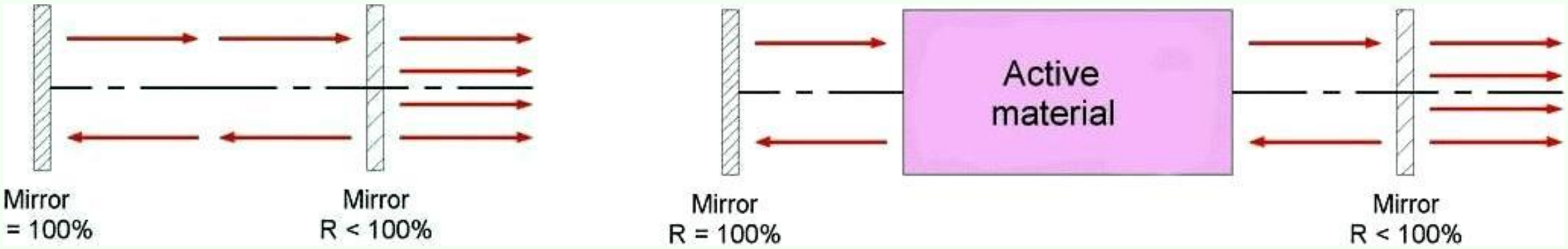
هي عبارة عن موجات تنتقل بشكل مائل عن محور المرنان وتستطيع إعادة نفسها بعد قطع مسار مغلق كثير التعقيد ويرمز لها بالرمز TEM







المتذبذب والمكبر



The quality factor in the resonator cavity
عامل النوعية في فجوة المرنان

the frequency of laser mode
تردد نمط الليزر

Energy stored in the mode
الطاقة المخزنة في هذا النمط

$$Q = \frac{f_o \times E_s}{E_d}$$

E_d Energy absorbed per second in this mode
الطاقة الممتصة في الثانية عند هذا النمط

$$Q = 2\pi \ f \ t_c$$

t_c Decay time
زمن الانحلال

$$Q = f_o / \Delta f_o$$

Δf_o Spectral bandwidth
عرض النطاق الطيفي

أسئلة ومسائل

1- An active medium is selected to produce a laser with a wavelength of 1550 nm. What is the necessary difference between the energy levels of this medium?

1- يُراد اختيار وسط فعال لينتج ليزراً طوله الموجي يعادل 1550 nm ، ما هو الفرق اللازم بين مستويات الطاقة لهذا الوسط ؟

2- How many frequencies are allowed (longitudinal modes) in the laser, the distance between the mirrors of the resonator is 2 mm and its frequency = 1.5×10^{14} Hz .

2- كم عدد الترددات المسموح به (الأنماط الطولية) في ليزر المسافة بين مرايا المرنان فيه تعادل 2mm وتردده = 1.5×10^{14} Hz .

3- Prove that the Fabry-Perot plane-mirror scale is a stable resonator.

3- أثبت أن مقياس فابري – بيرو ذي المرايا المستوية يعتبر مرناناً مستقراً.

أسئلة ومسائل

4- A resonator with two mirrors, the first is concave (R=1.5 m) and the other is convex (R=-1m). Calculate the largest distance between the two mirrors with which the stability of the resonator is maintained.

4- مرنان له مرآتان الأولى مقعرة (R=1.5 m) والأخرى محدبة (R=-1m) ، احسب أكبر مسافة بين المرآتين يمكن معها المحافظة على استقرارية المرنان.

5- Explain how the pumping method is chosen based on the nature of the active medium in a laser.

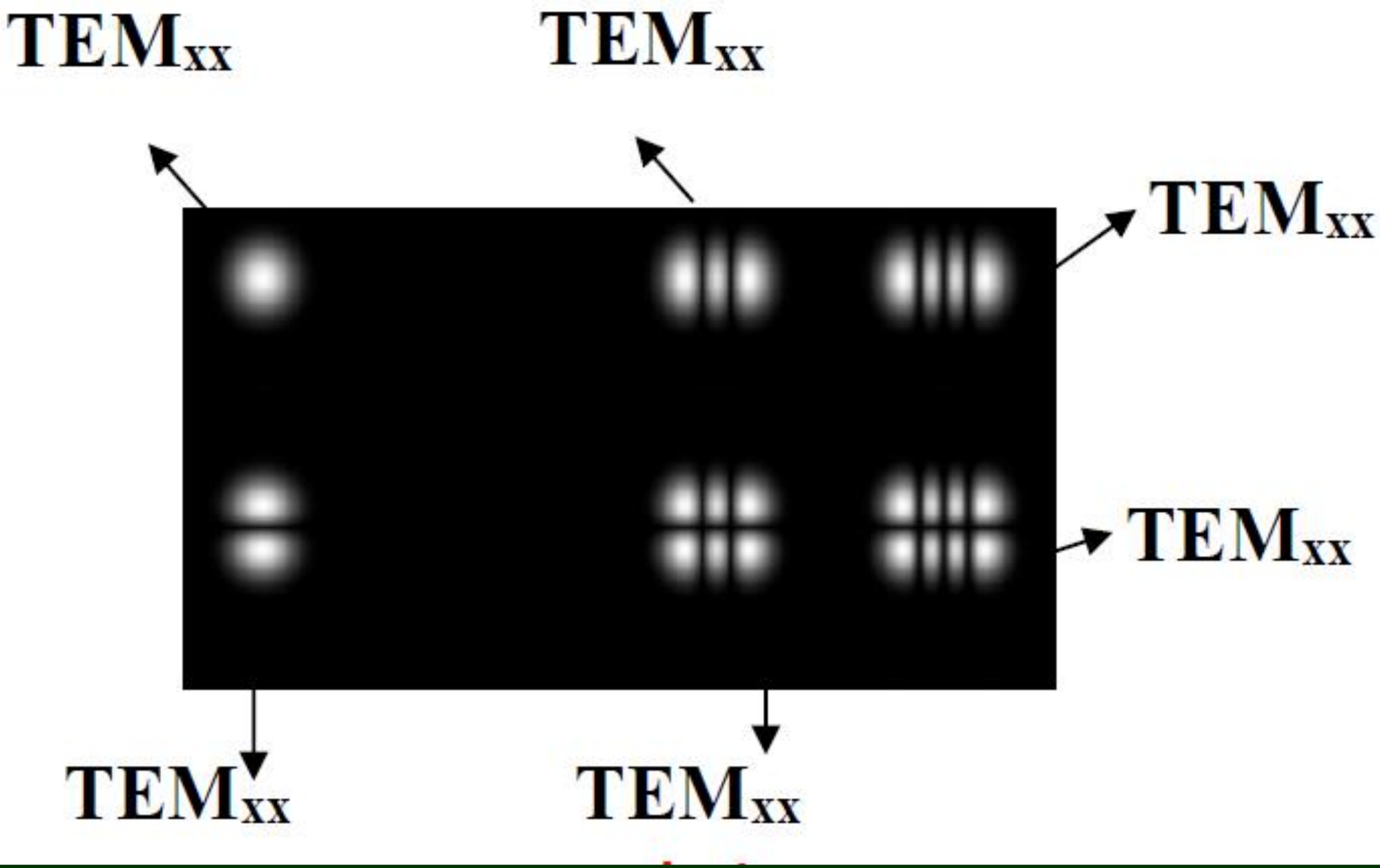
5- وضح كيف يمكن اختيار طريقة الضخ بناء على طبيعة الوسط الفعال في ليزر ما .

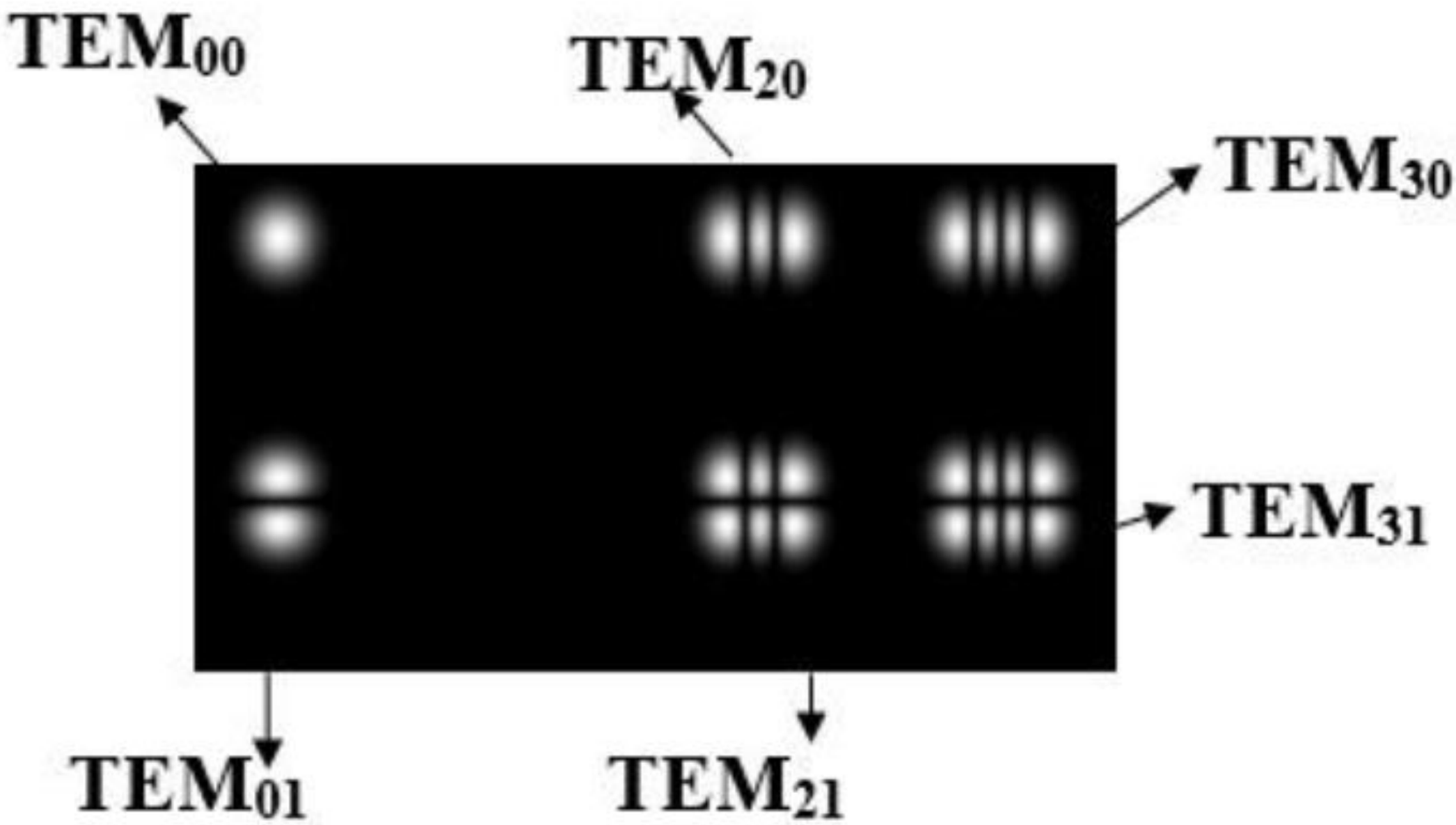
6- Calculate the quality factor inside the laser resonator mentioned in question (6) of chapter 1.

6- احسب عامل النوعية داخل فجوة الليزر المذكور في السؤال (6) من الفصل الأول .

7- Explain how the quality factor is related to the coherence time.

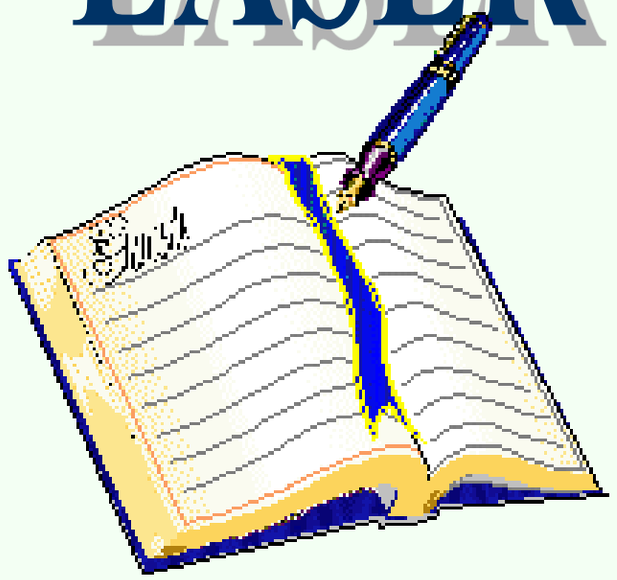
7- وضح كيف يرتبط عامل النوعية بزمن الترابط .


TEMxx
TEMxx
TEMxx
TEMxx
TEMxx
TEMxx


TEM00
TEM20
TEM30
TEM31
TEM01
TEM21

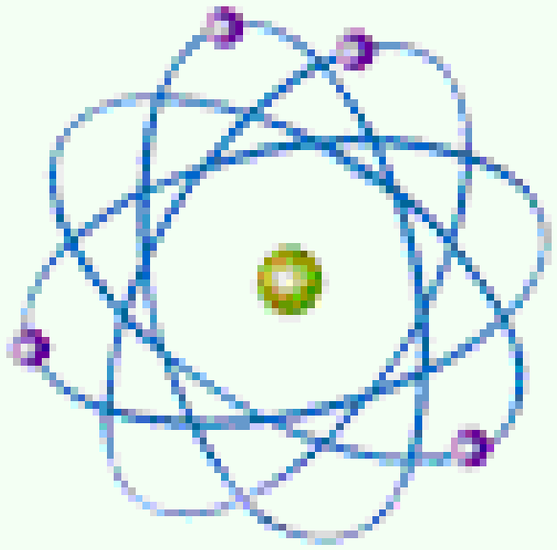
الفصل الخامس
توليد أشعة الليزر

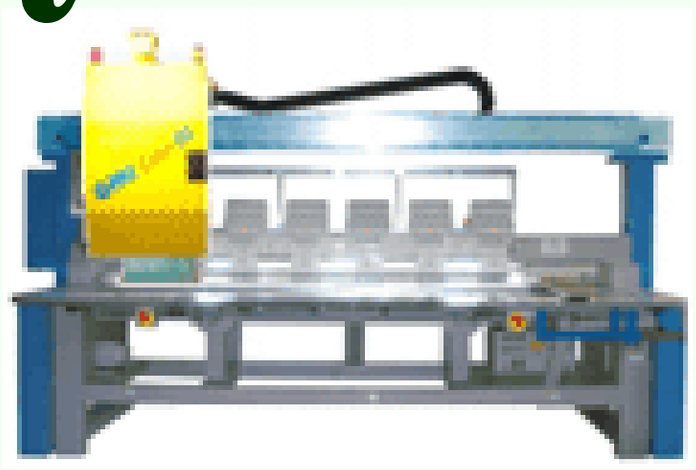
LASER BEAMS GENERATION



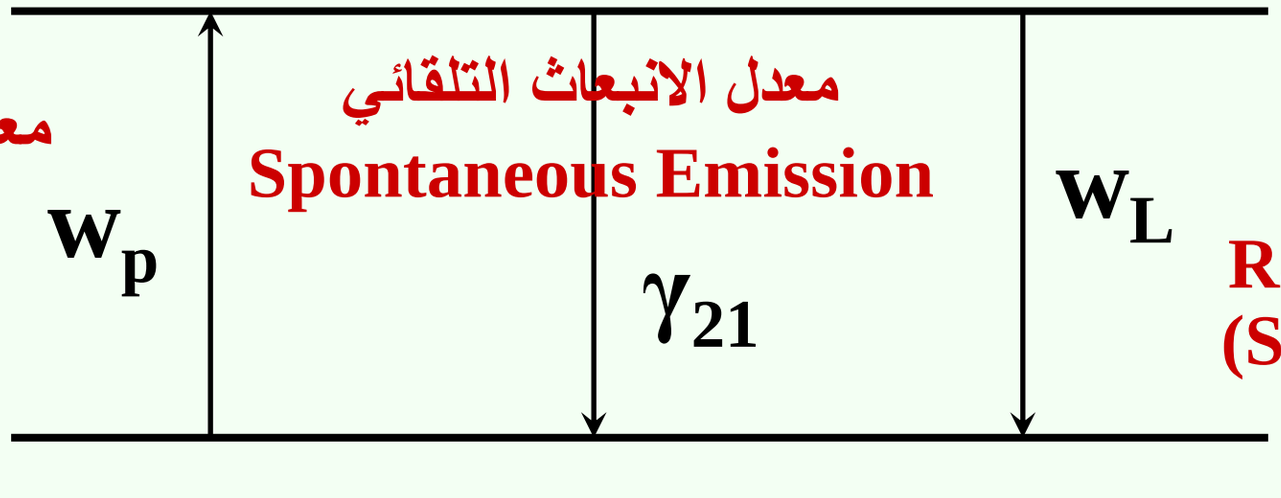
المنظومات الليزرية

Laser systems





2-Level System نظام المستويين



في أي لحظة زمنية ، يكون معدل تغير الإسكان الذري لمستويات الطاقة كالتالي :

At any time: Rate of change of population of energy levels

Pump Spontaneous Emission Stimulated emission

$$\frac{dN_1}{dt} = -w_p(N_1 - N_2) + \gamma_{21}N_2 + w_L(N_2 - N_1) \qquad (39)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = -\frac{dN_1}{dt} = w_p(N_1 - N_2) - \gamma_{21}N_2 - w_L(N_2 - N_1) \qquad (40)$$

حيث $N_1 + N_2$ يساوي العدد الكلي لذرات النظام ، وفي حالة ثبات النظام فإن :

Where, N_1+N_2 equal the total number of atoms, at steady state:-

$$\frac{dN_1}{dt} = \frac{dN_2}{dt} = 0$$

Substitute in eq. (40) ومنها نجد أن المعادلة **(40)** تؤول إلى :

$$w_p(N_1 - N_2) - \gamma_{21}N_2 - w_L(N_2 - N_1) = 0$$

$$\Rightarrow \quad (w_p + w_L)N_1 - (\gamma_{21} + w_p + w_L)N_2 = 0$$

فإذا كان معدل الانبعاث التلقائي ضئيل جداً$(\gamma_{21} \to 0)$ فإن المعادلة الأخيرة سوف تؤدي إلى :

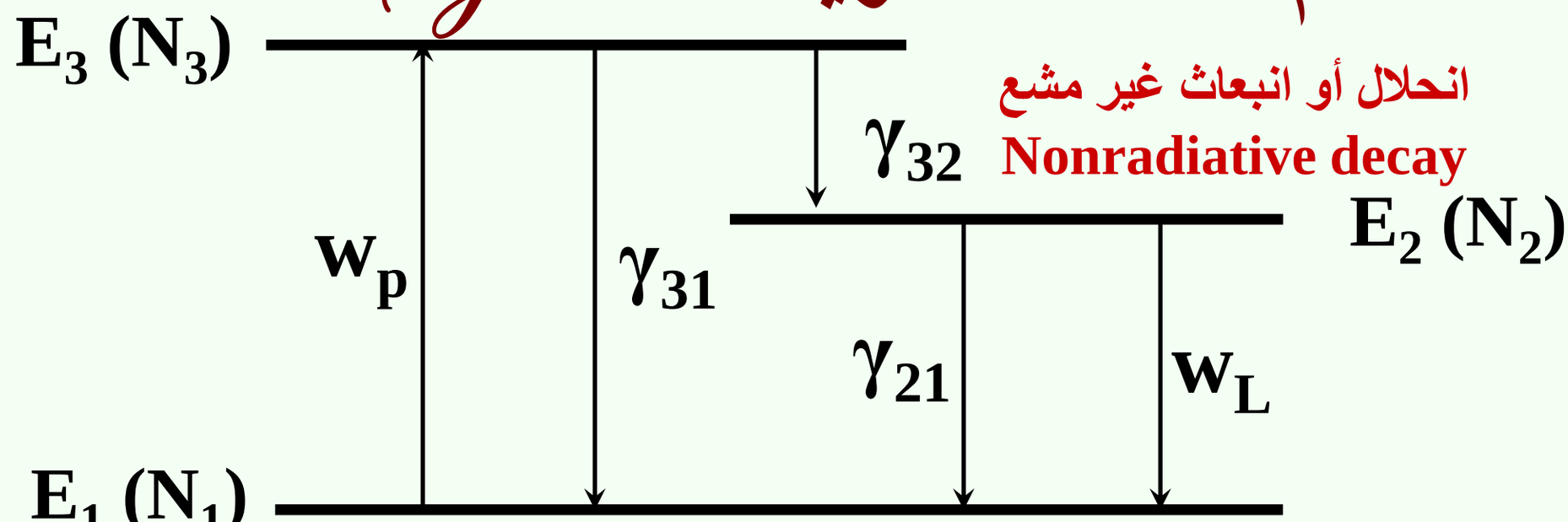
If the rate of spontaneous emission very small, then

$$N_{2\ \max} = N_1$$

i.e. in two-level system, it is not possible to obtain a population inversion with direct pumping

أي أنه من المستحيل تحقيق الانعكاس السكاني بواسطة الضخ المباشر في النظام ثنائي المستوى ولابد من استخدام نظام ذري ذي ثلاث مستويات أو أكثر

3-Level System نظام الثلاث مستويات



w_p معدل الضخ أو الامتصاص **Pump rate**

w_L معدل الاشعاع الليزري أو الانبعاث المستحث **Stimulated emission rate**

γ_{31} معدل الانبعاث التلقائي من المستوى الثالث إلى المستوى الأول
Spontaneous emission rate from level 3 to level 1

γ_{32} معدل الانبعاث التلقائي من المستوى الثالث إلى المستوى الثاني
Spontaneous emission rate from level 3 to level 2

γ_{21} معدل الانبعاث التلقائي من المستوى الثاني إلى المستوى الأول
Spontaneous emission rate from level 2 to level 1

ويكون معدل تغير الإسكان في المستويات الثلاثة كالتالي :

Rate of change in population for three levels

$$\frac{dN_1}{dt} = -w_p(N_1 - N_3) + \gamma_{21}N_2 + \gamma_{31}N_3 + w_L(N_2 - N_1) \quad \textbf{(41)}$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \gamma_{32}N_3 - \gamma_{21}N_2 - w_L(N_2 - N_1) \quad \textbf{(42)}$$

$$\frac{dN_3}{dt} = w_p(N_1 - N_3) - \gamma_{32}N_3 - \gamma_{31}N_3 \quad \textbf{(43)}$$

وفي حالة ثبات النظام فإن المعادلات السابقة تؤول إلى الصفر (المشتقة بالنسبة للزمن = صفر)

At steady state; $dN_1/dt = dN_2/dt = dN_3/dt = 0$

$$-w_p(N_1 - N_3) + \gamma_{21}N_2 + \gamma_{31}N_3 + w_L(N_2 - N_1) = 0 \quad \textbf{(44)}$$

$$\gamma_{32}N_3 - \gamma_{21}N_2 - w_L(N_2 - N_1) = 0 \quad \textbf{(45)}$$

$$w_p(N_1 - N_3) - \gamma_{32}N_3 - \gamma_{31}N_3 = 0 \quad \textbf{(46)}$$

Assume $N = N_1 + N_2 + N_3$ **: then**

$$N_3 = N - (N_1 + N_2) \qquad \textbf{(47)}$$

Substitute the value of N_3 in eq. 47 into eq. 46:

$$N_1(2w_p + \gamma_{31} + \gamma_{32}) + N_2(w_p + \gamma_{31} + \gamma_{32}) - N(w_p + \gamma_{31} + \gamma_{32}) = 0 \qquad \textbf{(48)}$$

Substitute the value of N_3 in eq. 47 into eq. 45:

$$N_1(w_L + \gamma_{32}) + N_2(w_L + \gamma_{21} + \gamma_{32}) + N\gamma_{32} = 0 \qquad \textbf{(49)}$$

Substitute eq. 48 into eq. 49:

$$N_2 - N_1 = N\left[\frac{(\gamma_{32} - \gamma_{21})w_p - \gamma_{21}(\gamma_{31} + \gamma_{32})}{(w_p + \gamma_{31} + \gamma_{32})(2w_L + \gamma_{21}) + w_p(\gamma_{21} + w_L + \gamma_{32})}\right] \qquad \textbf{(50)}$$

يتضح من المعادلة الأخيرة أن الطرف الأيمن ينبغي أن يكون موجباً لنحصل على الإنعكاس السكاني وبالتالي يمكن الحصول على الليزر ، وهذا لايتحقق إلا إذا كان :

N_2-N_1 > 0 is necessary to get the population inversion for Laser, this can be achieved if:

$$\gamma_{32} >> w_L \quad \text{و} \quad \gamma_{32} >> w_p \quad \text{و} \quad \gamma_{32} >> \gamma_{21}$$

أي أن معدل الانبعاث التلقائي من المستوى 3 إلى المستوى 2 ينبغي أن يكون أكثر بكثير من معدل الانبعاث التلقائي بين 2 و1 ومن معدل الضخ والانبعاث المستحث

i.e. rate of spontaneous emission from level 3 to level 2 should be greater than spontaneous emission from level 2 to level 1 and from pump rate and stimulated emission rate

يمكننا تعريف الكفاءة الكمية Quantum Efficiency بأنها المعدل النسبي للانتقال بين المستوى الثالث والمستوى الثاني أي :

The ratio between the relative transition between level 3 and level 2 known as Quantum efficiency

$$\eta = \frac{\gamma_{32}}{\gamma_{32} + \gamma_{31}} \qquad \textbf{(51)}$$

In last equation, Substitute γ_{32} with $\eta(\gamma_{32}+\gamma_{31})$ in eq. 50

$$N_2 - N_1 = N\left[\frac{(\eta(\gamma_{32}+\gamma_{31})-\gamma_{21})w_p - \gamma_{21}(\gamma_{31}+\gamma_{32})}{(w_p+\gamma_{31}+\gamma_{32})(2w_L+\gamma_{21}) + w_p(\gamma_{21}+w_L+\eta(\gamma_{32}+\gamma_{31}))}\right]$$

وبسبب الشرط السابق اللازم للحصول على الانعكاس السكاني يمكن إهمال الحدود التالية :

From pervious conditions to get population inversion, we can neglect the following limits

$$N_2 - N_1 = N\left[\frac{(\eta(\gamma_{32}+\gamma_{31})-\gamma_{21})w_p - \gamma_{21}(\gamma_{31}+\gamma_{32})}{(w_p+\gamma_{31}+\gamma_{32})(2w_L+\gamma_{21}) + w_p(\gamma_{21}+w_L+\eta(\gamma_{32}+\gamma_{31}))}\right]$$

لنحصل على :

i.e.

$$N_2 - N_1 = N\left[\frac{\eta\ w_p(\gamma_{32}+\gamma_{31}) - \gamma_{21}(\gamma_{31}+\gamma_{32})}{(\gamma_{31}+\gamma_{32})(2w_L+\gamma_{21}) + w_p\eta(\gamma_{32}+\gamma_{31}))}\right]$$

$$\Rightarrow N_2 - N_1 = N\left[\frac{\eta\, w_p - \gamma_{21}}{2w_L + \gamma_{21} + w_p\eta}\right] \qquad (52)$$

يتضح من هذه المعادلة أن شرط الانعكاس السكاني في ليزرات المستويات الثلاث هو :

i.e. the condition for population inversion in three level laser system is:

$$w_p\eta > \gamma_{21} \qquad (53)$$

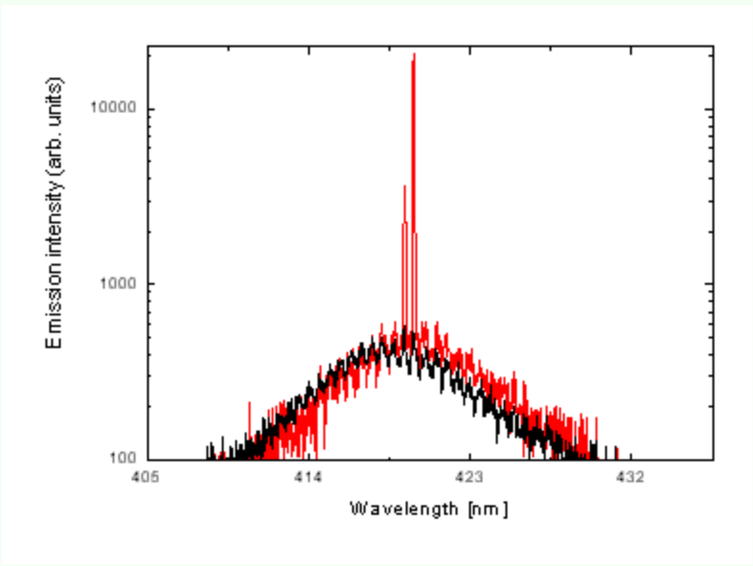
أي أن معدل الضخ الفعال $w_p\eta$ من المستوى 1 إلى المستوى 2 مروراً بالمستوى 3 يجب أن يكون أكبر من الانبعاث التلقائي من المستوى 2.

i.e. the rate of effective pump $w_p\eta$ from level 1 to level 2 through level 3 should be greater than spontaneous emission from level 2

****

شرط العتبة

Threshold Condition



شرط العتبة Threshold Condition

الانعكاس السكاني **Population inversion** $\Delta N = N_2 - N_1 \Rightarrow N_1 = N_2 - \Delta N$

وحيث الاسكان الكلي يساوي مجموع الذرات في كل مستوى فإن:-

The total Population in all levels $N = N_1 + N_2 + N_3$

وفي ليزر المستويات الثلاث وبسبب الانبعاث غير المشع عالي المعدل فإن إسكان المستوى 3 يؤول إلى الصفر وتصبح المعادلة الأخيرة كالتالي :

IN 3-level laser systems, level 3 population tend to zero due to the high rate of nonradiative transition, then $N = N_1 + N_2$

وبالتعويض عن قيمة N_1 نحصل على :

$$N_2 = \frac{N}{2} + \frac{\Delta N}{2} \qquad (54)$$

أي أن أكثر من نصف ذرات الوسط الفعال يجب أن تكون في حالة إثارة أي في المستوى2

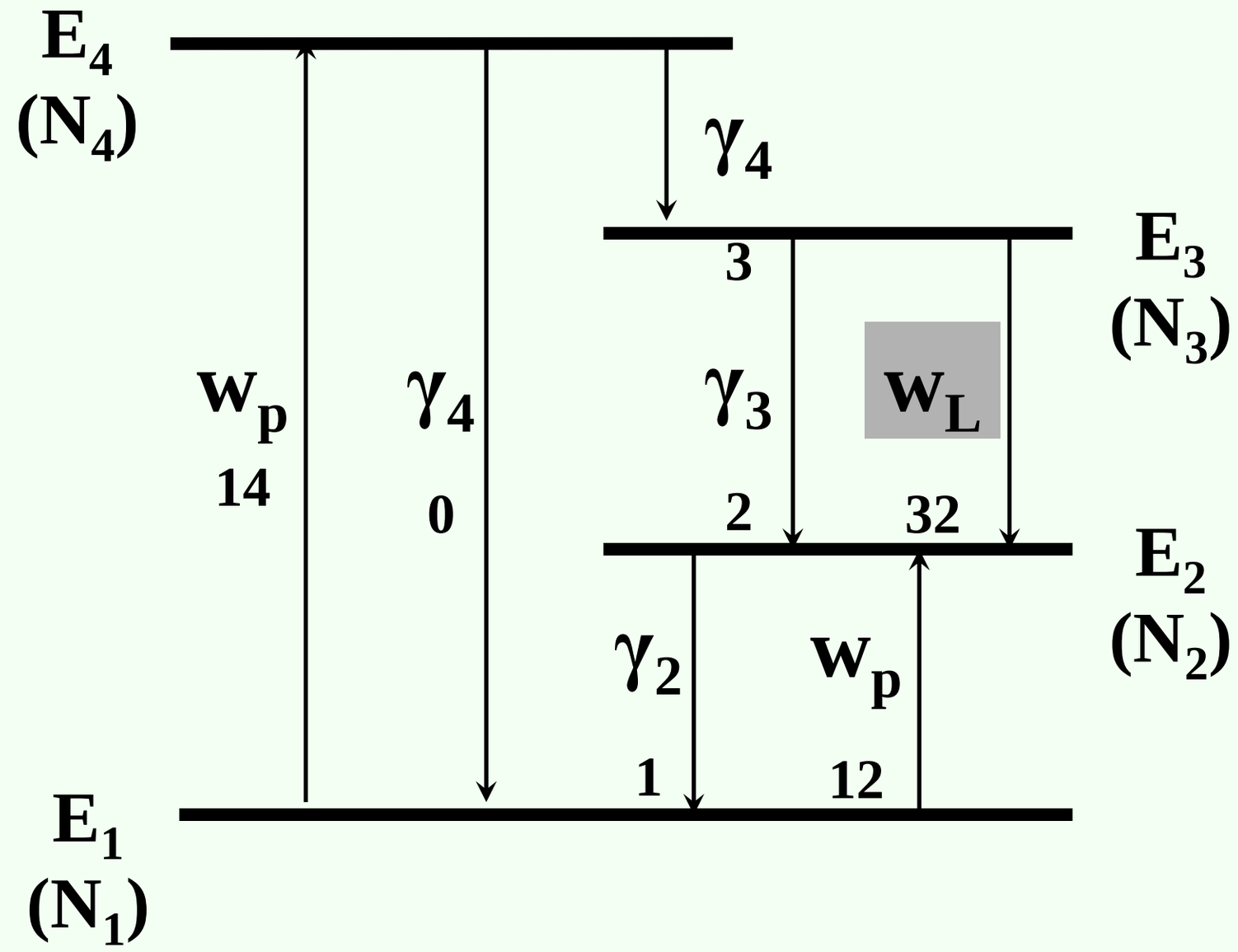
At least half the population of atoms must be excited to the higher energy state to achieve population inversion.

4-Level System نظام الأربع مستويات

- **Inversion can be attained in general**

1- Population of upper level

2- depopulation of lower level



Laser Gain

كسب الليزر

Laser Gain

Laser Gain

Assume that I the radiation intensity from of a slice of the laser active medium of the thickness Δz, then The increase in radiation intensity ΔI is given by

$$\frac{\Delta I}{\Delta z} = g(f)\ I \qquad (55)$$

حيث g هو معامل الكسب ، ولشريحة متناهية الصغر ، يمكن كتابة المعادلة الأخيرة على الشكل:

Where (g) is gain coefficient. For very small slice of the laser active medium,

$$\frac{dI}{dz} = g(f)\ I \qquad (56)$$

Then gain coefficient

ومنها يمكن تعريف معامل الكسب كما يلي:

$$g(f) = \frac{1}{I}\frac{dI}{dz} \qquad (57)$$

معامل الكسب = صافي القدرة المنبعثة لكل وحدة حجم / القدرة لكل وحدة مساحة والتي تقطع ذلك الحجم

Gain coefficient = Intensity emerged per unit volume / Intensity per unit area crossing this volume

حاول استنتاج وحدة معامل الكسب ؟!

Laser Gain

إذا كان معامل الكسب ثابت خلال طول الوسط الفعال L فيمكن إجراء التكامل للمعادلة (56)

If gain coefficient is constant across the length of active medium, then

$$\int_{I_o}^{I} \frac{dI}{I} = \int_{0}^{L} g(f)\ dz \quad \Longrightarrow \quad \ln\left(\frac{I}{I_o}\right) = g(f)\ L$$

$$I = I_o\ e^{gL} \qquad (58)$$

من المعادلة: شدة الإشعاع النهائية أكبر من الشدة الابتدائية وتتناسب مع الكسب وطول الوسط الفعال

- **From equation, the final beam intensity is larger than incident beam intensity and direct proportional to gain and active medium length**

أما إذا كان معامل الكسب بالسالب فإنه يسمى حينئذ معامل الامتصاص وتكون الشدة النهائية أصغر من الشدة الابتدائية .

- **If gain coefficient is negative It is then called absorption coefficient, here the final intensity is smaller than Initial intensity.**

Laser Gain

يمكن كتابة معامل الكسب بدلالة معدل الانبعاث المستحث كما يلي :

Gain factor can be written in terms of the stimulated emission rate as follows

$$g(f) = \frac{hf}{I}\left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{st} \qquad (59)$$

أو بدلالة المقطع العرضي للانبعاث المستحث $\sigma(f)$:

or in terms of stimulate emission cross-section

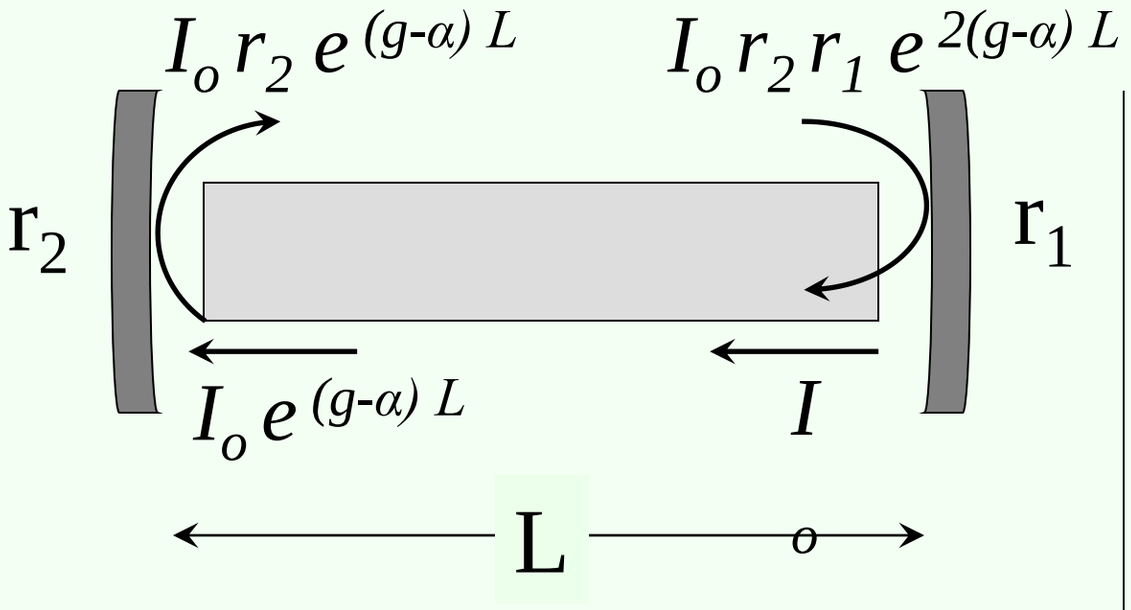
$$g(f) = \sigma(f)\left[N_2 - N_1\right] \qquad (60)$$

$$g(f) = A_{21}\frac{\lambda^2}{4}F(f)\left[N_2 - N_1\right] \qquad (61)$$

حيث $F(f)$ هي دالة الخط الطيفي وتصف احتمالية استحثاث فوتون خلال مدى ترددي معين .

$F(f)$ **spectral line function which describe the probability of stimulating a over a given frequency range.**

Laser Gain



Laser active medium length	L
Resonators reflectivity	r
Gain Coefficient	g
Loss inside cavity	α
Initial intensity	I_o

The total gain in the laser system during a full cycle

$$G = \frac{\text{Final intensity during a full cycle}}{\text{Initial intensity}}$$

$$G = \frac{I_o r_2 r_1 e^{2(g-\alpha) L}}{I_o}$$

$$G = r_2 r_1 e^{2(g-\alpha) L} \qquad (62)$$

The threshold condition to get laser

G = 1

$$g(f) = \frac{1}{2L} \ln\left(\frac{1}{r_1 r_2}\right) + \alpha \qquad (63)$$

Maximum laser power

Resonator transmission

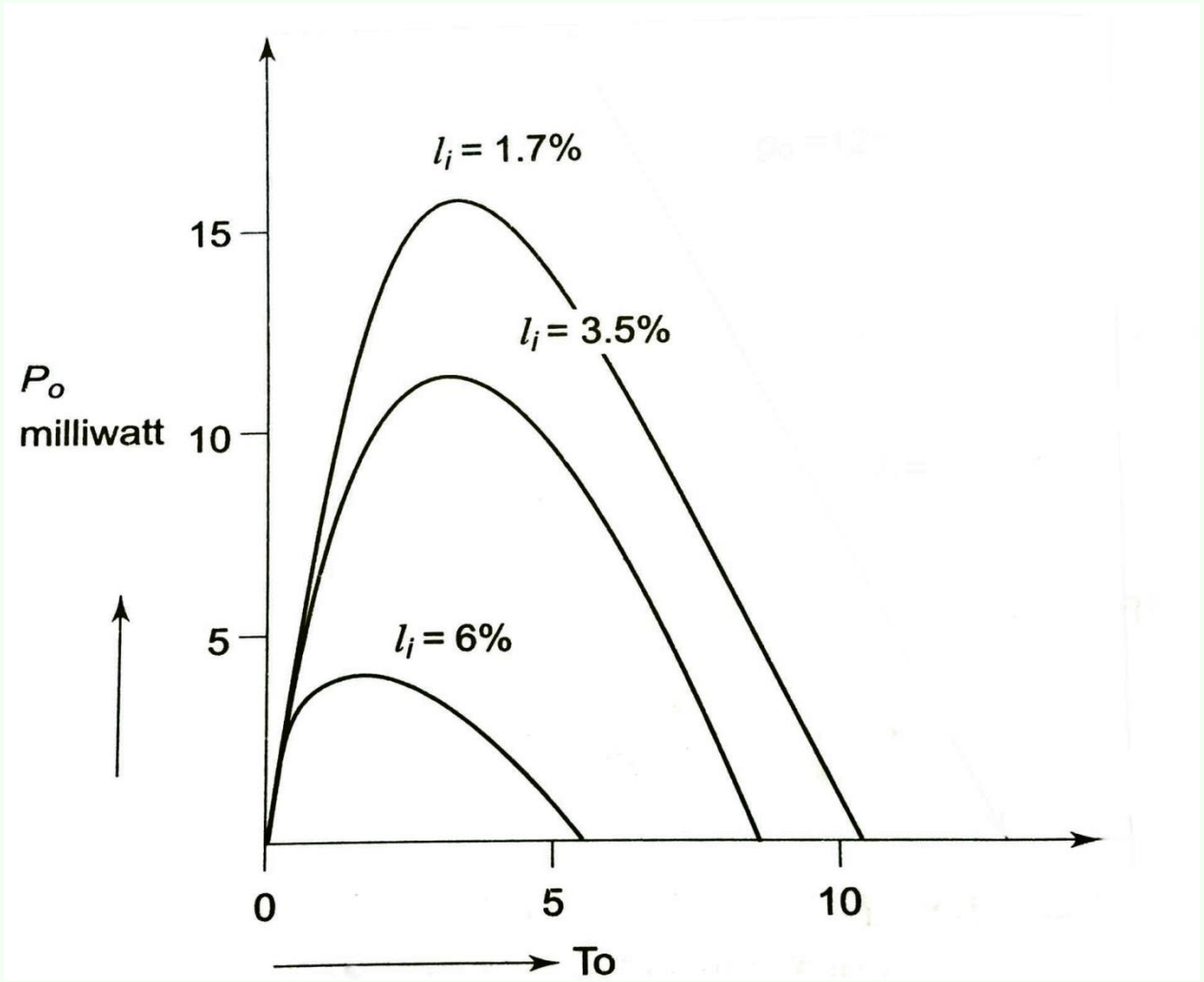
Gain coefficient Cavity length

$$P_o = P_{em} \cdot \frac{T_o}{T_o + l_i} \quad \Rightarrow \quad P_o = F_c \cdot \frac{T_o}{T_o + l_i}\left(\frac{2gL}{T_o + l_i} - 1\right)$$

Emitted power

Losses inside resonator

Critical fluorescence



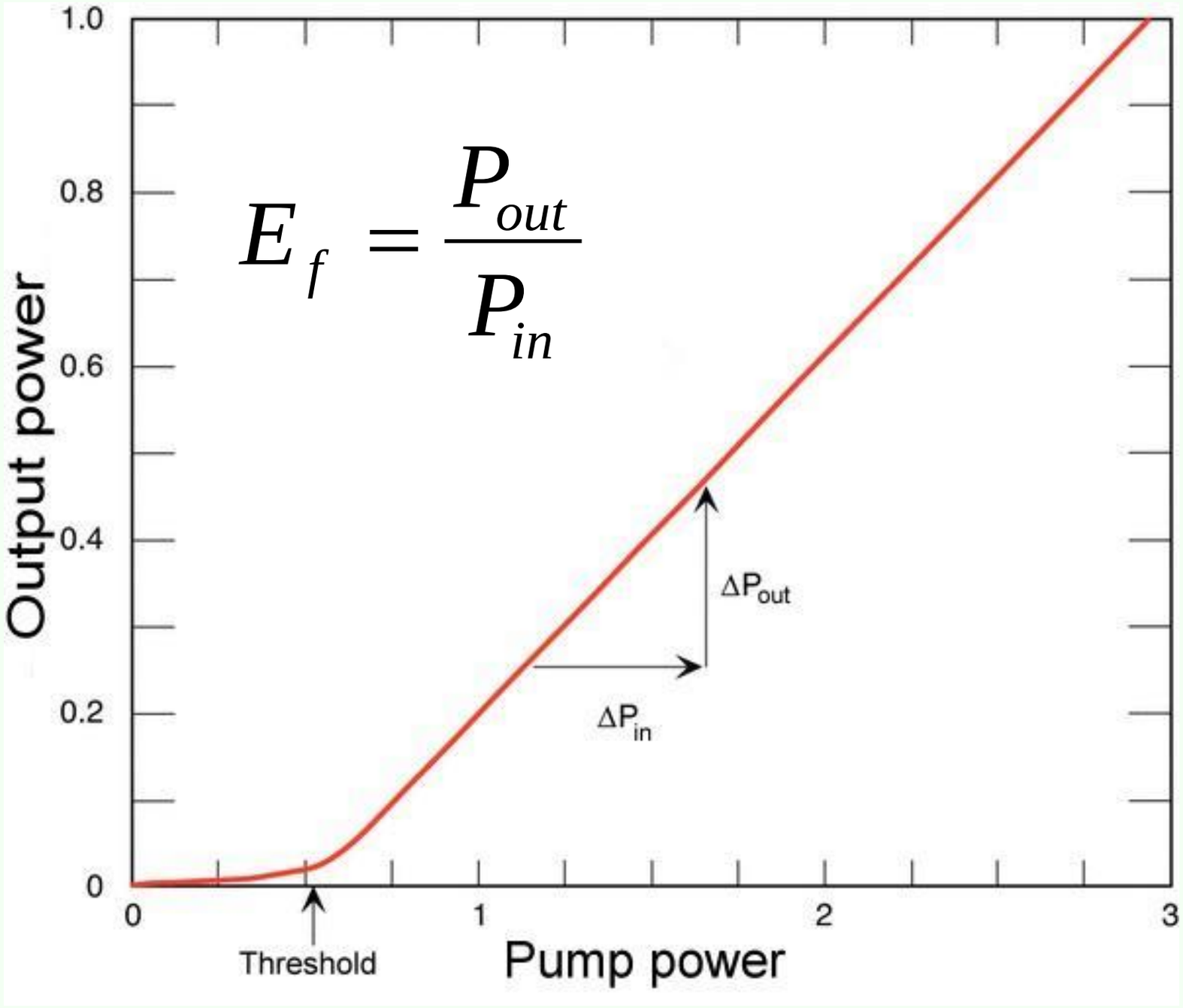
$$\frac{\partial P_o}{\partial T_o} = 0$$

$$T_{opt} = F_c + \sqrt{2gL}$$

$$P_{opt} = F_c(\sqrt{2gL} - \sqrt{l_i})^2$$

Laser Efficiency

$$E_f = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$



أسئلة ومسائل

1- ليزر أشباه موصلات معامل الكسب له $70\ cm^{-1}$ ، مهملاً الفقد داخل فجوة الليزر ، احسب طول الفجوة إذا كانت انعكاسية سطحيها = 0.97

2- في المنظومة الليزرية السابقة ، احسب الكسب الكلي خلال دورة كاملة ثم بين ما إذا كانت المنظومة الليزرية في حالة إشعاع (ليزر) أو اضمحلال (امتصاص) ؟

3- احسب الانعكاس السكاني لنفس المنظومة إذا علمت أن المقطع العرضي للانبعاث المستحث = $1.6 \times 10^{-16}\ cm^{-2}$.

4- احسب الشدة النهائية خلال دورة كاملة إذا كانت الشدة الابتدائية = $3\ mW/cm^2$.

5- علل لماذا معظم الليزرات المستخدمة هي ليزرات رباعية المستوى ؟

6- ليزر طول فجوته 1.5 m ، ومعامل كسب الوسط الفعال فيه يعادل $0.0005\ cm^{-1}$ ، أوجد انعكاسية إحدى مرآتيه إذا كانت انعكاسية الأخرى تعادل 100%.

7- احسب الكسب الكلي لليزر المذكور في السؤال السابق خلال 3 دورات (يمكنك إهمال الفقد داخل فجوة الليزر)

4. **A semiconductor laser has a gain coefficient of 70 cm^{-1}, ignoring the loss inside the laser cavity:**

I. **Calculate the length of the gap if its surface reflectivity = 0.97.**

II. **Calculate the total gain over a complete cycle and then indicate whether the laser system is in a state of radiation (laser) or decay (absorption)?**

III. **Calculate the final intensity over a full cycle if the initial intensity = 3 mW/cm2.**

Solution

$$g = \frac{1}{2L}\ln\frac{1}{r_1 r_2} + \alpha$$

$$g \cdot 2L = \ln\frac{1}{r^2} \Rightarrow L = \frac{1}{2g}\ln\frac{1}{r^2}$$

$$L = \frac{1}{2\times 70}\ln\frac{1}{(0.97)^2} = 4.4 * 10^{-4}\,cm$$

$$= 4.4\,\mu m$$

$$G = r_1 r_2\, e^{2(g-\gamma)\cdot L}$$

$$= (0.97)^2 e^{2(70) * 4.4 * 10^{-4}}$$

$$G = 1.0007 > 1$$

لذا يوجد ليزر

$$I = I_0\, G$$

$$I = 3 * 1.0007$$

$$I = 3.0018\ mW/cm^2$$

5. **If a laser's cavity length is 0.5 mm and the original intensity (I_0) is 200 times magnified, calculate the gain coefficient (g) in the laser.**

Solution

$$I = I_0 e^{gl} \Rightarrow 200 I_0 = I_0 e^{0.5g}$$

$$200 = e^{0.5g} \Rightarrow 5.3 = 0.5g$$

$$g = 10.6$$

أنواع الليزر
Laser Types

ليزر الحالة الصلبة يتكون من:

Laser Types

Solid-state laser

- **In a solid-state laser, the active medium consists of a solid material that is a crystal (or glass) doped with active ions.** For example, in an Nd-YAG laser, the active medium is a YAG crystal doped with Nd ions.

- فى ليزر الحالة الصلبة يتكون الوسط الفعال من مادة صلبة عبارة عن بلورة (أو زجاج) مطعمة بأيونات فعالة. كمثال فى ليزر النيديميوم-ياج الوسط الفعال عبارة عن بلورة الياج المطعمة بأيونات النيديميوم.

- **Active ions are responsible for the stimulated emission of photons and the generation of the laser beam. Thus, the type of active ions determines the wavelength of the laser beam.**

- الأيونات الفعالة هى المسؤلة عن انبعاث المستحث للفوتونات و توليد شعاع الليزر. و بالتالى فإن نوع الأيونات الفعالة المطعمة فى البلورة يحدد الطول الموجى لشعاع الليزر.

- **The pumping source in a solid state laser is a flash lamp or a laser beam from another laser device.**

- مصدر الضخ فى ليزر الحالة الصلبة هو المصباح الوميضى أو شعاع ليزر من جهاز ليزر أخر.

Ruby Laser ليزر الياقوت

Sapphire crystal (Al2O5) doped with chromium ions (Cr3+) with 5% doping precentage. بلورة الياقوت (أكسيد الألومونيومAl_2O_5) المطعم بأيونات الكروم (Cr3+) بنسبة تطعيم 5%	**The active medium** **الوسط الفعال**
Flash lamp المصباح الوميضى	**Pumping source** **مصدر الضخ**
Three-level laser system نظام المستويات الثلاثية	**Level laser system** **نظام المستويات لليزر**
pulsed نبضى	**operation mode نمط التشغيل**
694.3 nm (in the visible spectral range spectrum فى منطقة الأشعة المرئية)	**The wavelength of laser beam** **الطول الموجى لشعاع الليزر**

https://en.wikipedia.org/wiki/Ruby_laser

ليزر النيدميوم-ياج	
YAG crystal ($Y_3Al_5O_{12}$) doped with neodymium ions (Nd^{3+}) with doping percentage of 1.5 % The YAG crystal has high wear resistance, shatter hardness and high optical efficiency. بلورة الياج ($Y_3Al_5O_{12}$) المطعم بأيونات النيدميوم (Nd^{3+}) بنسبة تطعيم 1.5% تمتاز بلورة الياج بمقاومة عالية ضد التلف و صلادة ضد الكسر و كفاءة بصرية عالية.	**The active medium** **الوسط الفعال**
a flash lamp or a laser beam from another laser device. المصباح الوميضى أو باستخدام شعاع ليزر أشباه الموصلات (بكفاءة ضخ عالية)	**Pumping source** **مصدر الضخ**
Four-level laser system نظام المستويات الرباعية	**Level laser system** **نظام المستويات لليزر**
نبضى و مستمر Pulsed and Continuous	**نمط التشغيل operation mode**
1.064 µm (فى منطقة الأشعة تحت الحمراء (in the infrared spectral range	**The wavelength of laser beam** **الطول الموجى لشعاع الليزر**

https://ekspla.com/product/nl310-series-high-pulse-energy-lasers/

Solid-state laser

ليزر الحالة الصلبة يتكون من:

Laser Types

Gas-state laser ليزر الحالة الغازية

- In a gas-state laser, the active medium is a gas or mixture of gases filled in a glass tube

الوسط الفعال فى ليزر الحالة الغازية عبارة عن أنبوب زجاجى يحتوى على غاز أو خليط من الغازات

- In a gas state laser, the pumping source is the electrical discharge of the gas inside the tube when the electrodes (anode and cathode) are connected to a high voltage through the power supply.

مصدر الضخ: فى ليزر الحالة الغازية يحدث الضخ عند حدوث التفريغ الكهربى للغاز داخل الانبوبة عندما يتم توصيل الأقطاب الكهربية (الأنود و الكاثود) بجهد كهربى عالى من خلال مجهز القدرة.

The gas-state laser cannot be pumped using a flash lamp because the spectral bandwidth of the gas absorption line is very narrow.

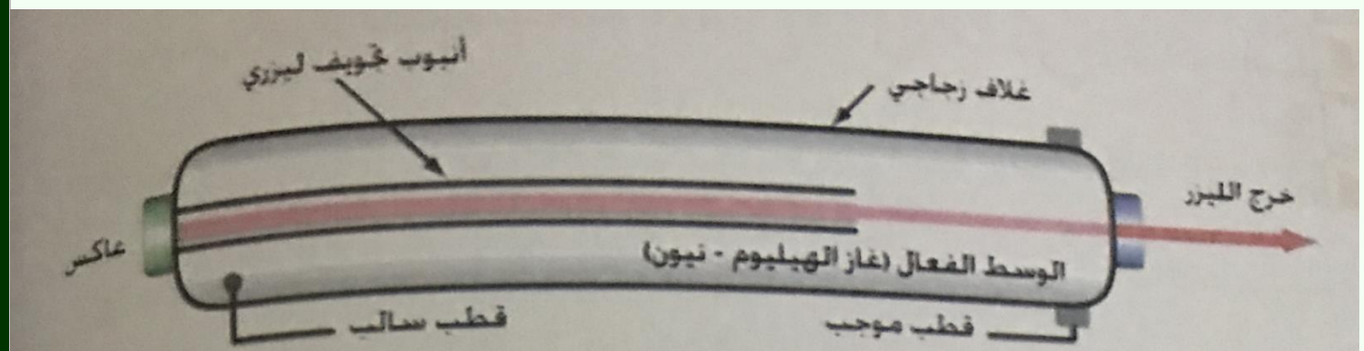
Laser Types

•Electrical discharge tube When connected to a high voltage, in some lasers , needs cooling through the cooling system (in which water or cold air passes around the tube).

•أنبوب التفريغ الكهربى عند توصيله بجهد كهربى عالى , فى بعض أجهزة الليزر يحتاج الى التبريد من خلال منظومة التبريد (التى فيها يمر الماء أو الهواء البارد حول الأنبوب).

•In the gas state state, the mirrors of the resonator are glued to both ends of the electrical discharge tube, and can also be separated from it and placed at a specific distance from it.

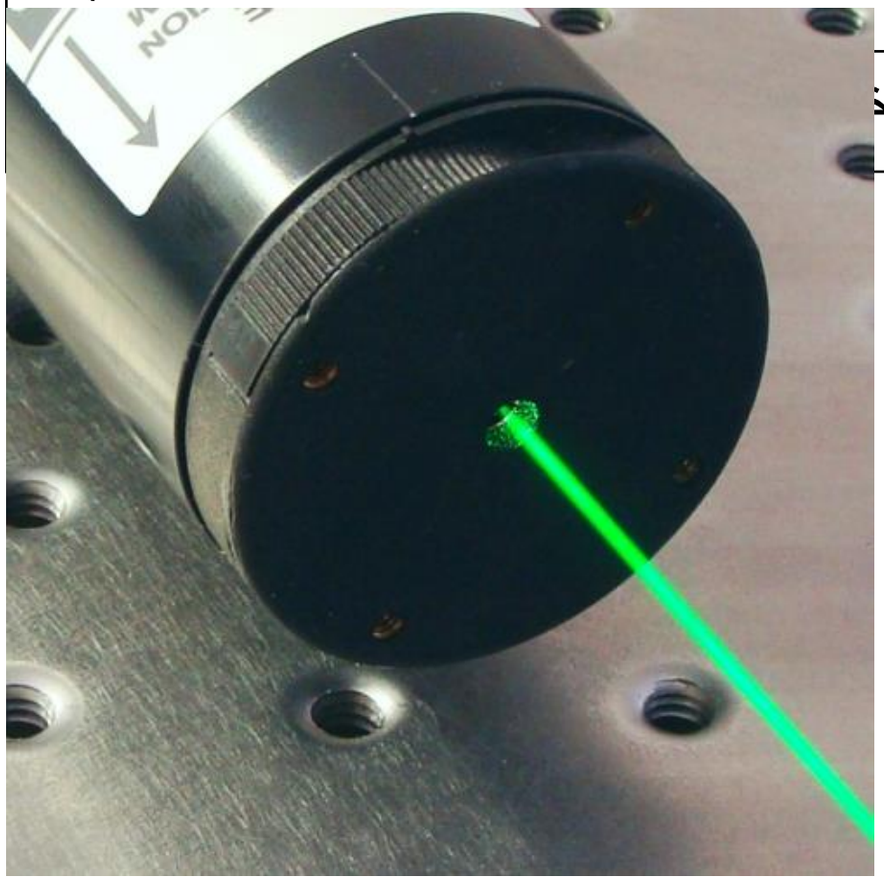
•فى الليزر الحالة الغازية تكون مرايا المرنان ملصوقة على طرفى أنبوب التفريغ الكهربى , و أيضا يمكن فصلها عنه و وضعها على مسافة محددة منه.

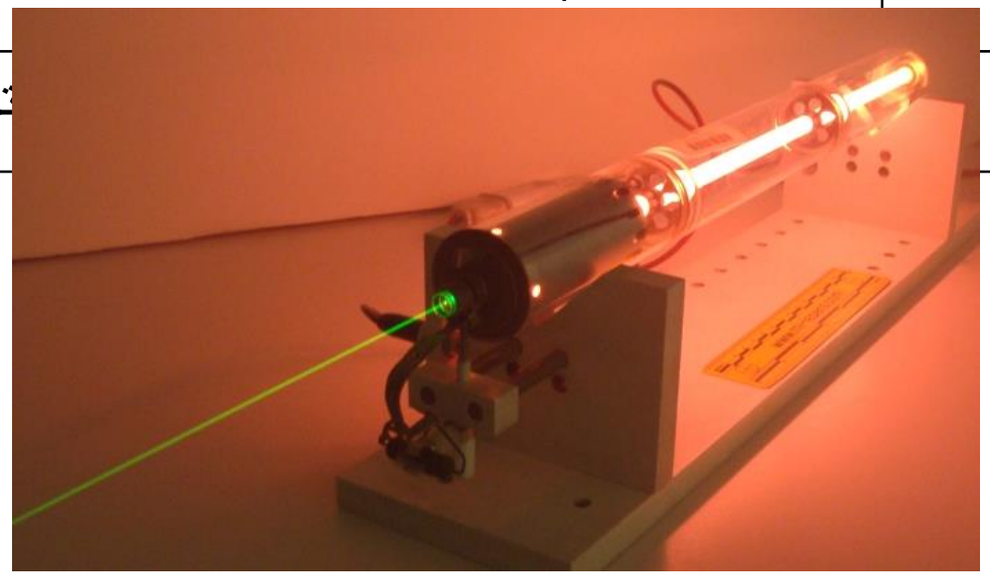


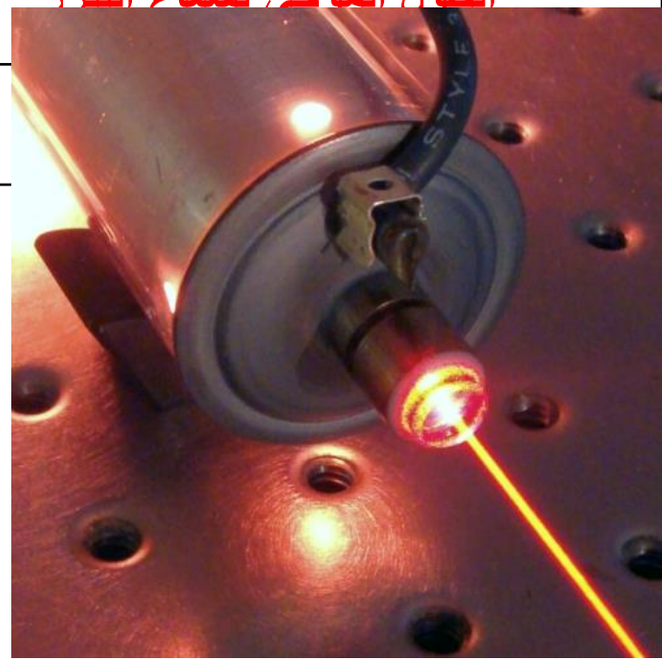
شكل (٧,١): رسم تمثيلي لجهاز ليزر الهيليوم – نيون (المرجع ٤٣ بتصرف).

ليزر الهليوم- نيون (He-Ne)

The active medium **الوسط الفعال**	A mixture of helium (He) and neon (Ne) gases are filled in a glass tube. خليط من غازى الهليوم (He) و النيون (Ne)مملوئين فى أنبوبة زجاجية.
Pumping source **مصدر الضخ**	The electrical discharge of the gas inside the tube. التفريغ الكهربى للغاز داخل الأنبوبة.
Level laser system **نظام المستويات لليزر**	Four-level laser system نظام المستويات الرباعية
نمط التشغيل operation mode	مستمر Continuous
The wavelength of laser beam **الطول الموجى لشعاع الليزر**	632.8 nm 543 nm (in the visible spectral range spectrum فى منطقة الأشعة المرئية)

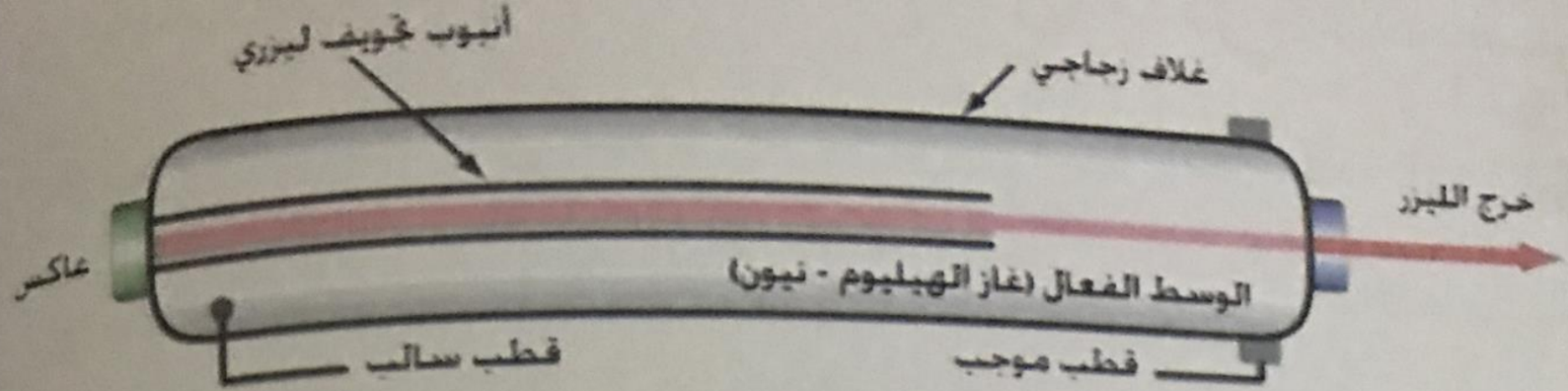




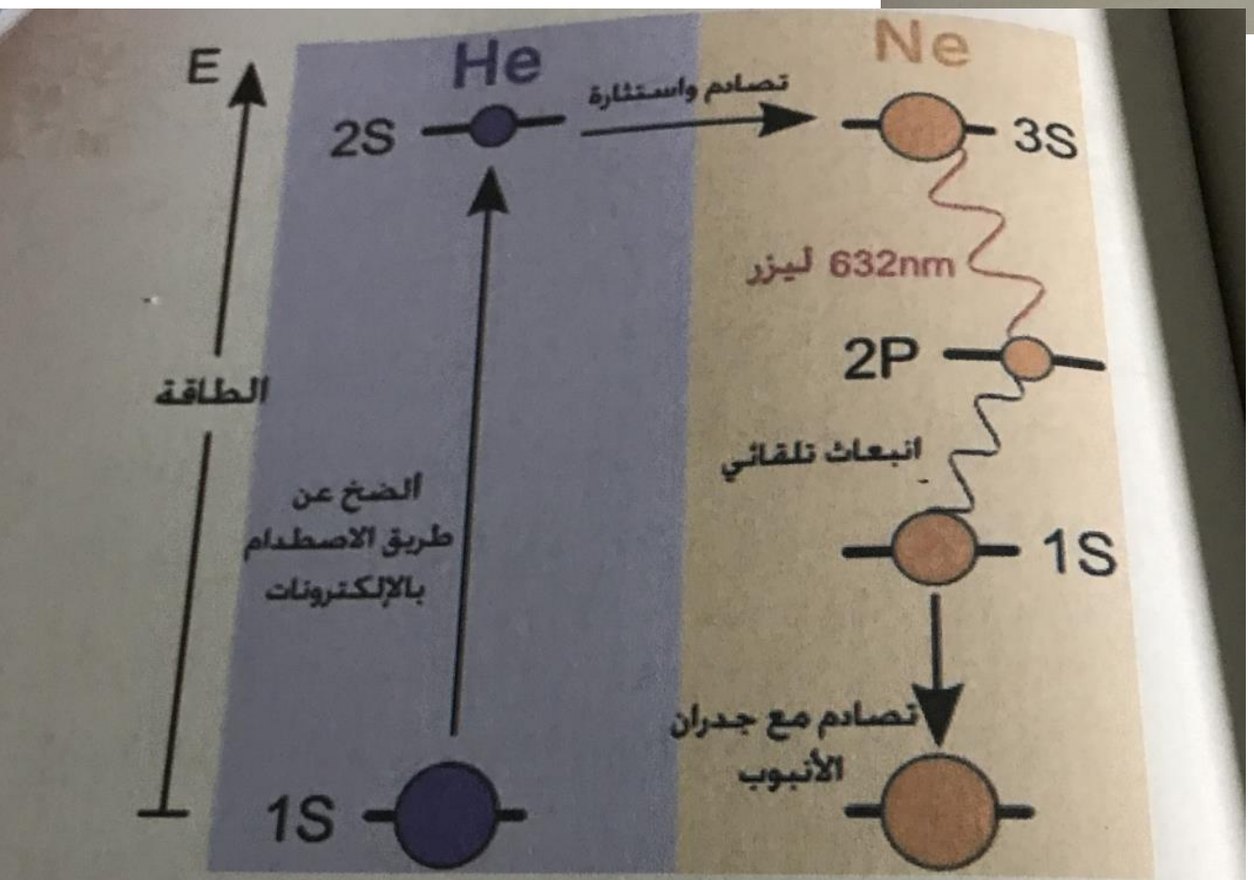


https://www.mi-lasers.com/product/2mw-543nm-green-hene-laser-tube-2/

https://www.mi-lasers.com/product/2mw-543nm-green-hene-laser-system-2/



شكل (٧,١): رسم تمثيلي لجهاز ليزر الهيليوم – نيون (المرجع ٤٣ بتصرف).



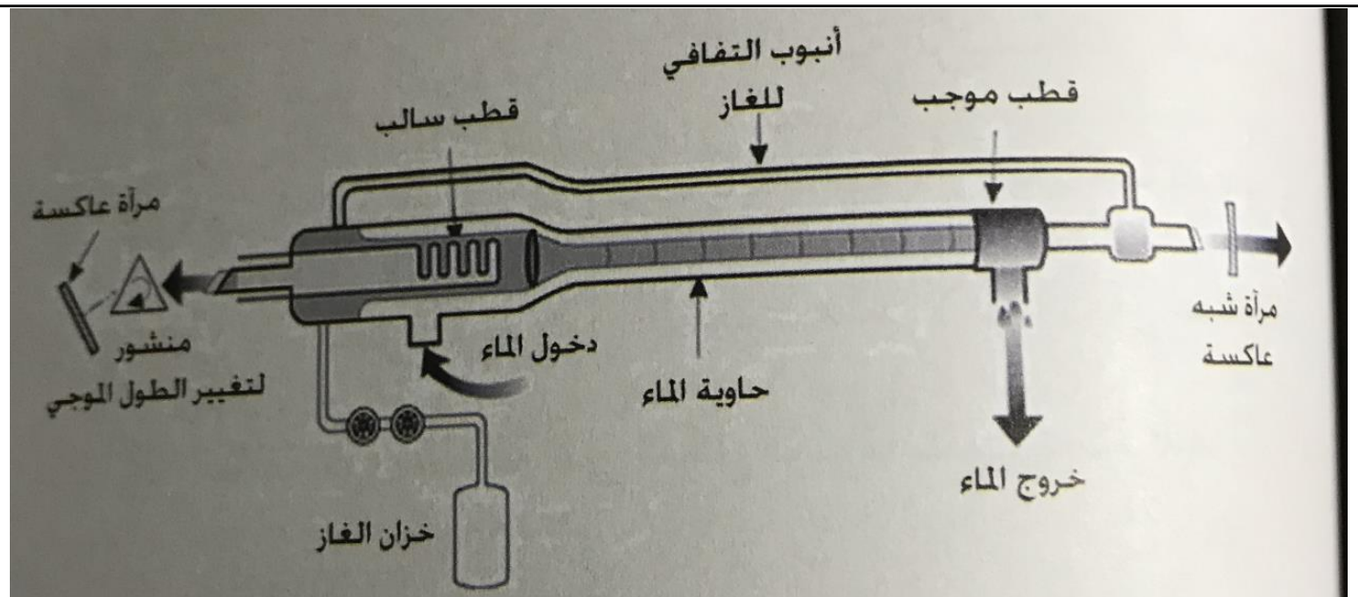
شكل (٧,٢): الانتقالات الذرية بين مستويات الطاقة في ليزر الهيليوم – نيون (المرجع ٤٤ بتصرف).

ليزر أيون الأرجون (Ar^+)

The active medium **الوسط الفعال**	Ionized argon (Ar+) gas is filled in a glass electrode tube. غاز الأرجون المتأين (Ar^+) مملوء فى أنبوبة التفريغ الكهربى الزجاجية.
Pumping source **مصدر الضخ**	The electrical discharge of the gas inside the tube. التفريغ الكهربى للغاز داخل الأنبوبة.
Level laser system **نظام المستويات لليزر**	Four-level laser system نظام المستويات الرباعية
نمط التشغيل operation mode	مستمر Continuous
The wavelength of laser beam **الطول الموجى لشعاع الليزر**	488 nm 514 nm (فى منطقة الأشعة المرئية in the visible spectral range spectrum)

ملحق به منظومة تبريد لتبريد الأنبوب.

يستخدم فى تطبيقات متعددة مثل التطبيقات الطبية كجراحة العيون



شكل (٧,٣): رسم تخطيطي لمكونات ليزر أيون الآرجون (المرجع ٤٥ بتصرف).

Laser Types

Semiconductor lasers ليزر أشباه الموصلات

•In semiconductor lasers, the active medium is a semiconductor material in the form of a pn-junction diode between the n-type and the p-type. Such as the GaAs (Gallium-Arsenic) laser made of GaAs semiconductor material.

•الوسط الفعال عبارة عن مادة صلبة شبه موصلة على شكل دايود الوصلة الثنائية (pn- junctionبين النوع -nو النوع. -p مثل ليزر) GaAsزرنيخ-الجاليوم) المصنوع من مادة GaAsالشبه موصلة.

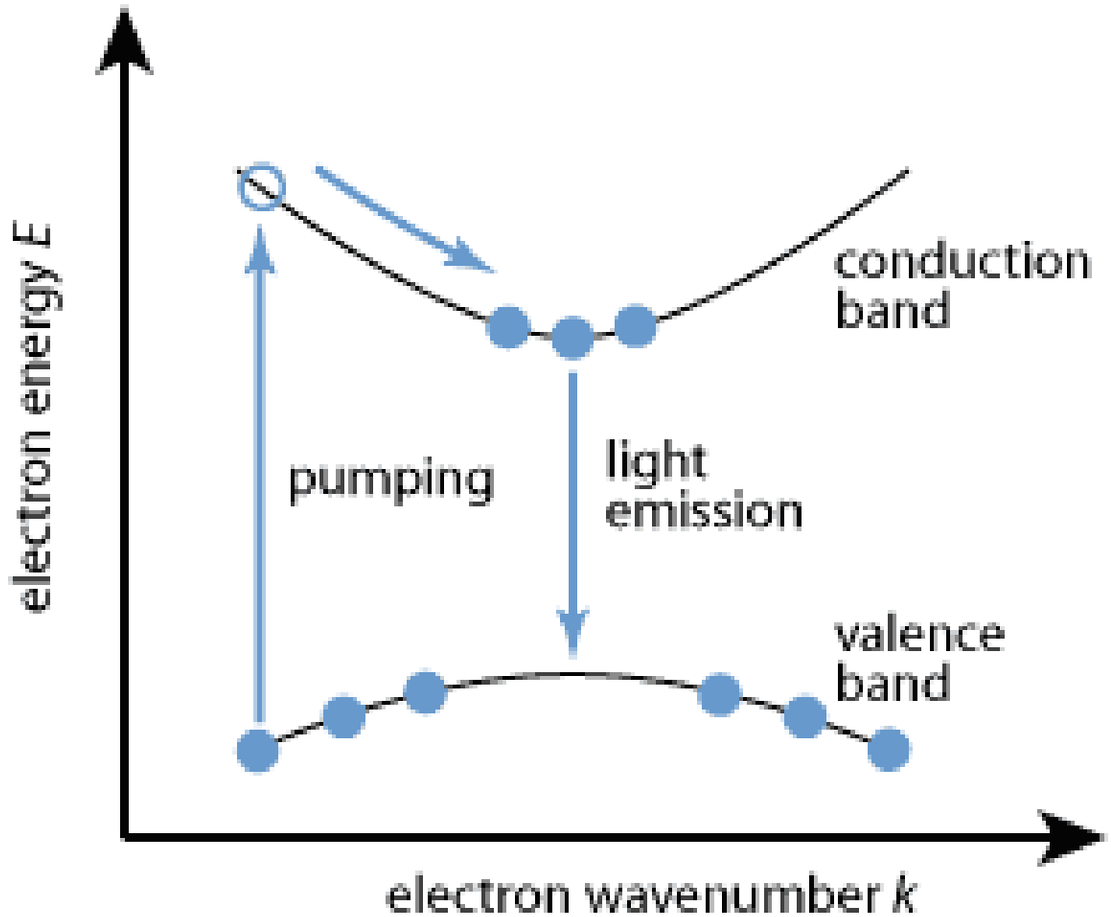
•pumping source: A semiconductor laser is pumped by passing an electric current in the diode with a forward bias. Sometimes a semiconductor laser can be pumped with another laser beam.

يتم ضخ ليزر أشباه الموصلات عن طريق تمرير تيار كهربى فى الوصلة الثنائية بانحياز أمامى. فى بعض الأحيان يمكن ضخ ليزر أشباه الموصلات بشعاع ليزر أخر.

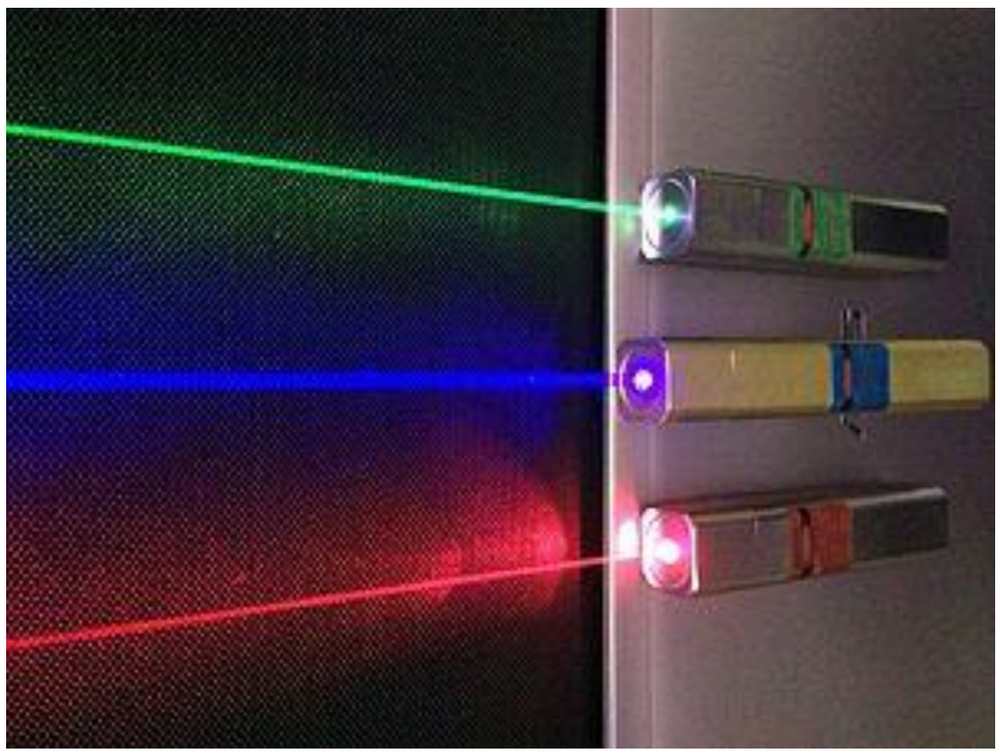
Laser Types

Semiconductor lasers ليزر أشباه الموصلات

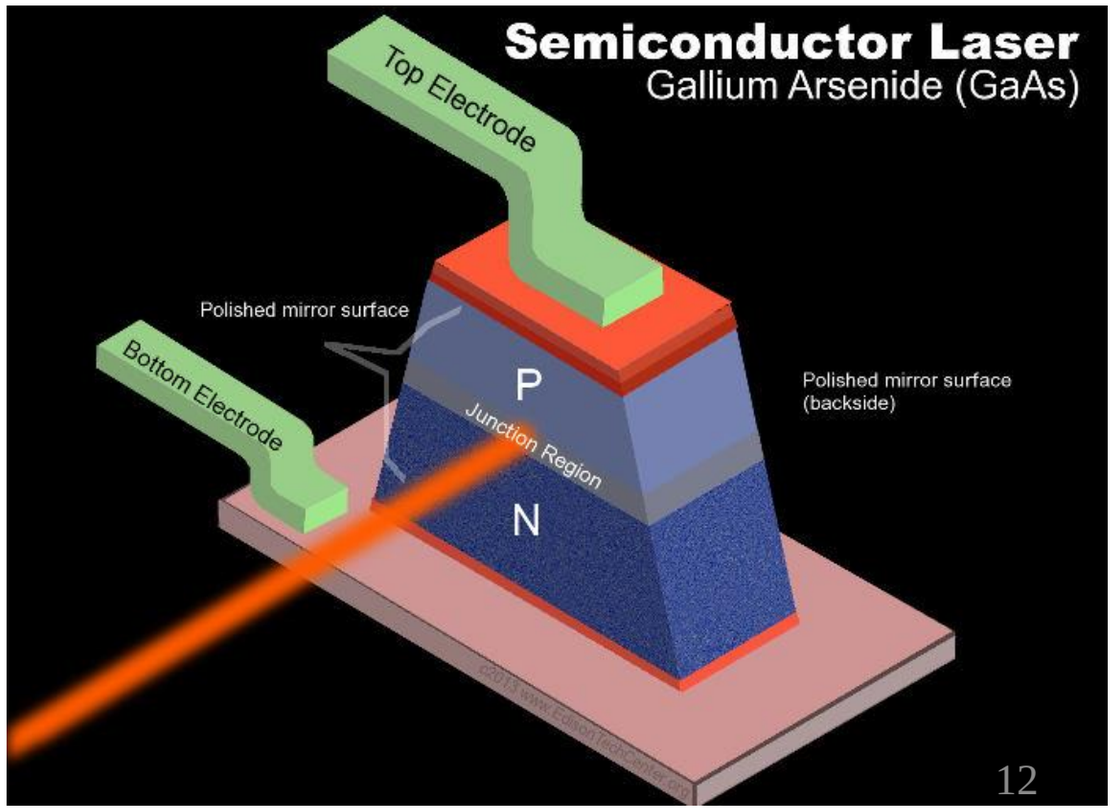
•Diode laser: A semiconductor laser is pumped by passing an electric current in the diode with a forward bias. As a result of passing electric current, electrons and holes are pumped into the double junction region, and when an electron (in the conduction band) combines with a gap (in the valence band) a photon is emitted (spontaneous emission) whose energy is equal to the energy gap Eg of the semiconducting material. And when the photon is near some electrons (in the conduction band) in the region of the double junction, it induces it to combine with the gap and another photon is emitted (induced emission). Thus, the number of photons is amplified by stimulated emission.



https://www.rp-photonics.com/semiconductor_lasers.html



https://en.wikipedia.org/wiki/Semiconductor_laser_theory



https://edisontechcenter.org/Lasers.html

Laser Types

Semiconductor lasers ليزر أشباه الموصلات

Semiconductor laser advantages:

- Small size (some types of semiconductor lasers are small and can be integrated into some electronic devices)
- It is pumped directly using electric current.
- Its efficiency is relatively higher than other types of laser.
- The intensity of the emitted laser beam can be controlled by controlling the pumping current.
- The possibility of including data at different frequencies on the pumping current (which will affect the intensity of the outgoing laser beam).In some devices, the wavelength of the outgoing laser beam can be controlled (by changing the temperature of the active medium).

Laser Types

Semiconductor lasers ليزر أشباه الموصلات

Semiconductor laser advantages:

- Small size (some types of semiconductor lasers are small and can be integrated into some electronic devices)
- It is pumped directly using electric current.
- Its efficiency is relatively higher than other types of laser.
- The intensity of the emitted laser beam can be controlled by controlling the pumping current.
- The possibility of including data at different frequencies on the pumping current (which will affect the intensity of the outgoing laser beam).In some devices, the wavelength of the outgoing laser beam can be controlled (by changing the temperature of the active medium).

- The pn- junction diode laser works in the pulsed mode only because it needs a high-intensity electric current for pumping to compensate for the losses that occur due to the leakage of electrons and holes from the diode region, as well as the losses due to the leakage of the emitted photons.
- ليزر الوصلة الثنائية يعمل بالنمط النبضى فقط لأنه يحتاج الى تيار كهربى عالى الشدة للضخ لتعويض الفاقد الذى يحدث نتيجة تسرب الالكترونات و الفجوات من منطقة الوصلة الثنائية و كذلك الفاقد نتيجة تسرب الفوتونات المنبعثة.

- The wavelength λ of the laser beam depends on the energy gap value of the semiconducting material as follows:
- يعتمد الطول الموجى λ لشعاع الليزر على قيمة فجوة الطاقة للمادة شبه الموصلة كالأتى:

$$\lambda = \frac{hc}{E_g}$$

Example: Calculate the wavelength of the laser beam emitted by a GaAs semiconductor laser if the energy gap of the GaAs semiconductor is 1.43 eV.

What is the spectral range of the emitted laser beam ?

Solution

$$E_g = 1.43 \text{ eV} = 1.43 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$\lambda = \frac{hc}{E_g} = \frac{6.62\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{1.43\times1.6\times10^{-19}} = 8.68 \times 10^{-7}\, m = 868\, nm$$

The wavelength is in the infrared spectral range.

Example: Calculate the wavelength of the laser beam emitted by a GaN semiconductor laser if the energy gap of the GaN semiconductor is 3.4 eV.

What is the spectral range of the emitted laser beam ?

Solution

$$E_g = 3.4 \text{ eV} = 3.4 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$\lambda = \frac{hc}{E_g} = \frac{6.62\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{3.4\times1.6\times10^{-19}} = 3.65 \times 10^{-7}\, m = 365\, nm$$

The wavelength is in the ultraviolet spectral range.

Injection Laser (Multi-Layer Diode Laser)

ليزر الحقن (ليزر الوصلة الثنائية بطبقات متعددة)

- In this type of laser, the diode is surrounded by other layers of semiconductor materials in order to make the charge carriers (electrons and holes) confined to the diode region and thus reduce the waste.

- فى هذا النوع من الليزر, دايود الوصلة الثنائية يكون محاط بطبقات أخرى من مواد شبه موصلة بغرض جعل حاملات الشحنة (الالكترونات و الفجوات) تنحصر فى منطقة الوصلة الثنائية و بالتالى يقل الفاقد.

- Therefore, the injection laser is more efficient than the conventional diode laser because it needs less electric current for pumping, and can operate in a pulsed or continuous mode.

- و لذلك ليزر الحقن أعلى كفاءة من ليزر الوصلة الثنائية العادية لانه يحتاج الى تيار كهربى للضخ أقل و يمكن أن يعمل بالنمط النبضى أو النمط المستمر.

Advantages of an injection laser (compared to a conventional diode):

مميزات ليزر الحقن (بالمقارنة بالوصلة الثنائية التقليدية):

- Needs less electric current for pumping.
- The output laser beam power is higher.
- The width of the emission line is narrower.
- Better possibility of modulation at higher frequencies.
- Higher transmission efficiency within optical fibers.

Laser Effects and Safety Rules

تأثيرات الليزر وإجراءات السلامة

Modern classification of laser classes - التصنيف الحديث لدرجات الليزر

Class 1 : Lasers classified within this class are considered safe and completely harmless due to the weak radiation emitted from these lasers.

الليزرات المصنفة ضمن هذه الدرجة تعتبر آمنة ولاضرر منها إطلاقاً بسبب ضعف الإشعاع

Class 1M : These lasers are also safe because of the large diameter and diffraction of the optical beam, but these lasers can be dangerous when passing through magnifying optics such as luminous lenses.

هذه الليزرات آمنة أيضاً بسبب كبر قطر الحزمة الضوئية وانحرافها ، لكن هذه الليزرات يمكن أن تكون خطرة عند مرورها بالبصريات المكبرة كالعدسات اللامة

Class 2 : This class of lasers does not exceed its output 1 mW , and can be harmful if applied to the retina for a relatively long period of time. Most laser pointers fall into this category.

هذا الصنف من الليزرات لايتجاوز خرجه 1mW ويمكن أن يكون ضاراً إذا سلط على الشبكية لفترة زمنية طويلة نسبياً . معظم مؤشرات الليزر تصنف ضمن هذه الدرجة .

التصنيف الحديث لدرجات الليزر

Class 2M : This class of lasers will remain the same as the previous ones unless they pass magnified optics.

هذا الصنف من الليزرات يضل كسابقه مالم يمر ببصريات مكبرة.

Class 3R : This class of lasers has an output of about 5 mW and is considered safe if handled with care.

هذا الصنف من الليزرات خرجه في حدود 5 mW ويعتبر آمناً إذا تم التعامل معه بحذر.

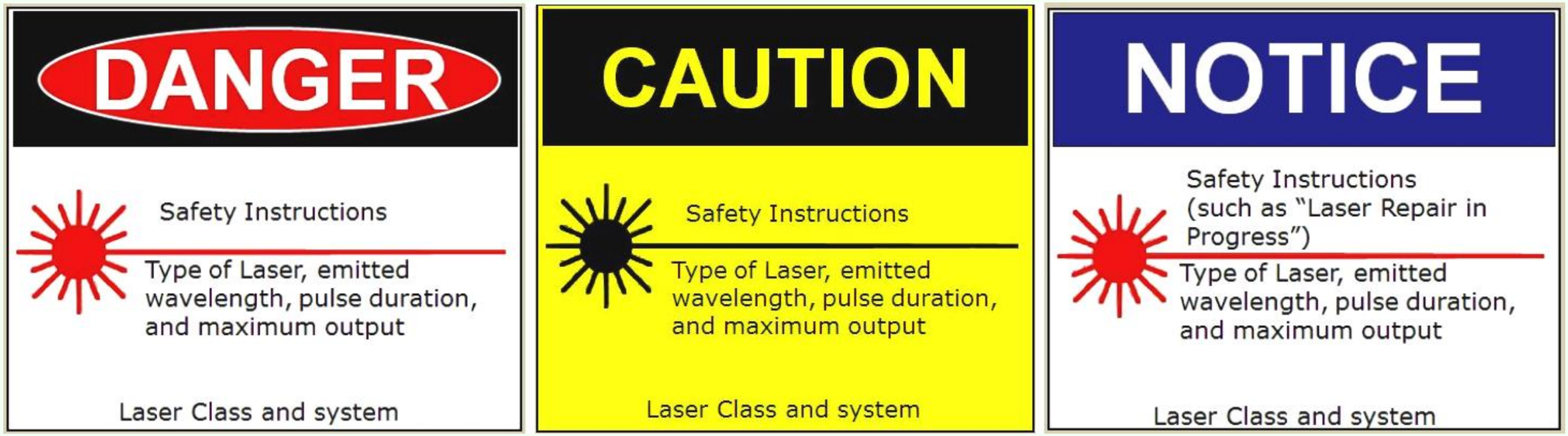
Class 3B : These lasers are considered absolutely unsafe and may cause harm if they fall directly on the eyes or skin, and they have an output that does not exceed 0.5 W, but the rays reflected from them are less dangerous.

هذه الليزرات تعتبر غير آمنة مطلقاً وقد تتسبب في الضرر إذا وقعت مباشرة على العين أو البشرة ، ولها خرج لايتجاوز 0.5 W ، لكن الأشعة المنعكسة منها أقل خطورة.

Class 4: This class of lasers is very dangerous, whether direct or reflected radiation, and it contains all lasers with a power that exceeds the power of the previous class.

هذا الصنف من الليزرات يعتبر خطراً جداً سواءاً الأشعة المباشرة منه أو المنعكسة ، وتحوي جميع الليزرات ذات القدرة التي تفوق قدرة الدرجة السابقة.

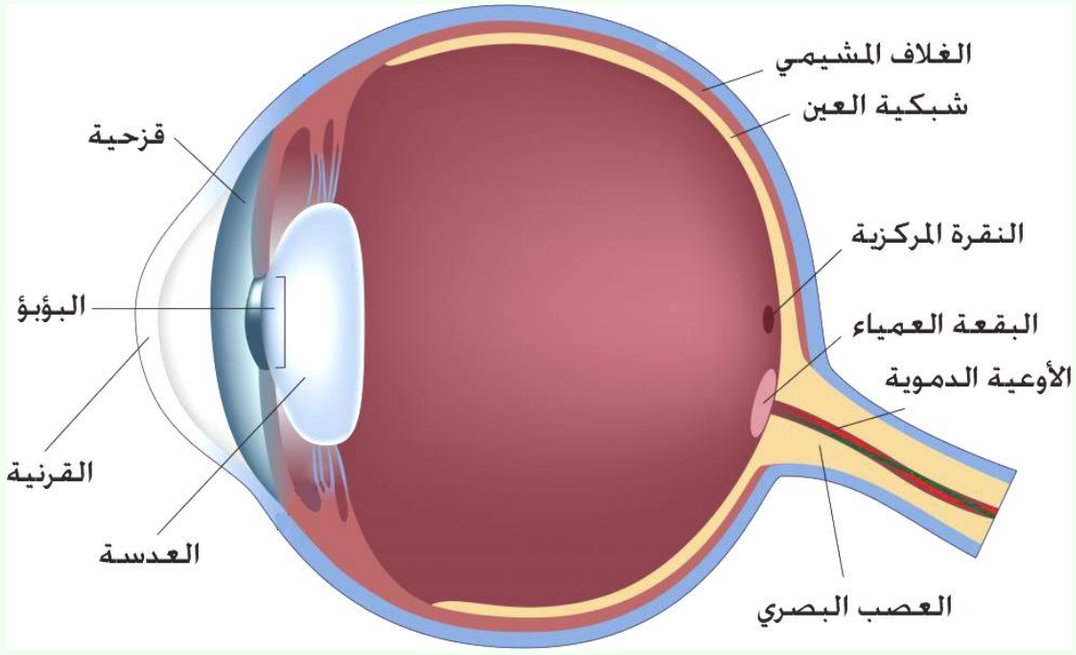
التصنيف الحديث لدرجات الليزر



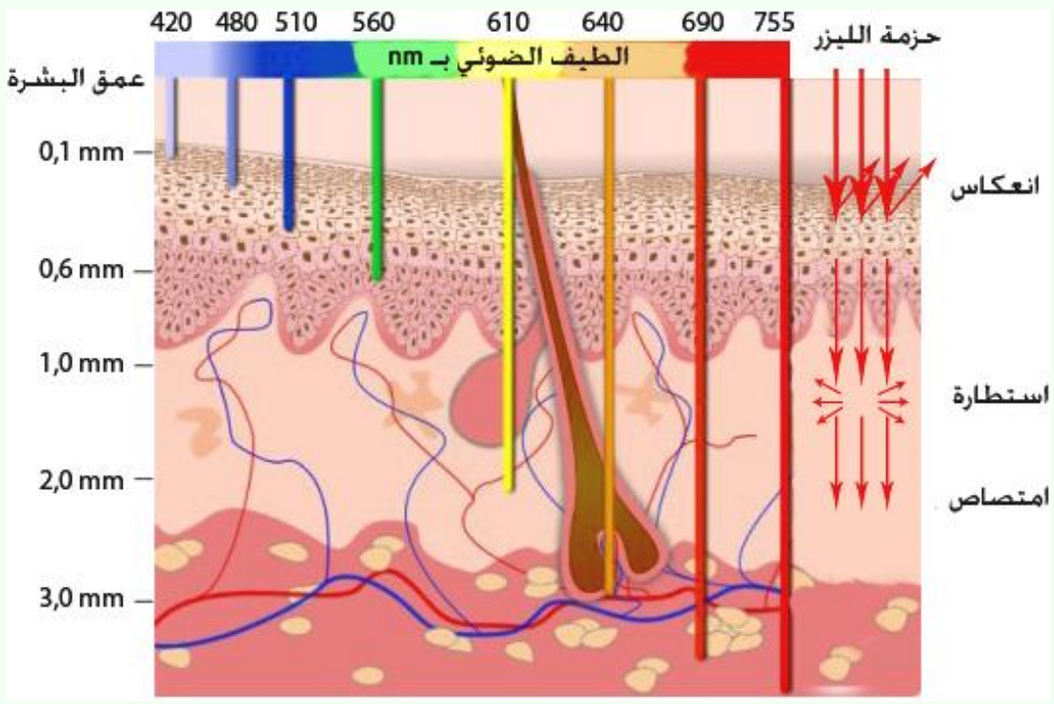
Laser Hazards (dangers) and harms

مخاطر الليزر وأضراره

1- Eye damage
ضرر العين



2- Skin damage
ضرر البشرة



3- Electrical and chemical hazards
أضرار أخرى : كهربائية ـ كيميائية

الفصل الثامن : التأثيرات والسلامة

Laser Safety rules and general advice
إجراءات السلامة ونصائح عامة

1. **Each user of the laser should know the degree of classification of the laser and the extent of its danger, in order to be able to deal with it.**

1- ينبغي لكل مستخدم لليزر معرفة درجة تصنيف الليزر ومدى خطورته ، حتى يتمكن من التعامل معه .

2. **It is always advised not to look directly at the laser output for any reason or to expose parts of the skin to the level in which the laser radiates.**

2- ينصح دائماً بعدم النظر مباشرة إلى خرج الليزر لأي سبب من الأسباب أو تعريض أجزاء من البشرة للمستوى الذي يشع فيه الليزر .

3. **It is always recommended to use laser protection glasses.**

3- يفضل دائماً استخدام النظارات الواقية من شعاع الليزر.

4. **Care should always be taken when dealing with magnifying optics and laser at the same time.**

4- ينبغي الحذر دائماً عند التعامل مع البصريات المكبرة والليزر في آن واحد .

5. **The necessary warning signs should be placed in the place where the laser is used, and bumpers should be placed around the place of the experiment to prevent the spread of the laser beams in the place.**

5- ينبغي وضع الإشارات التحذيرية اللازمة في مكان استخدام الليزر ، ووضع مصدات حول مكان إجراء التجربة لمنع انتشار الحزم الليزرية في المكان .

التطبيقات العسكرية لاشعة الليزر

Laser Range Finder
ليزر تحديد المدى

- A **laser rangefinder** is a device which uses a laser beam to determine the distance to an object. The most common form of laser rangefinder operates on the time of flight principle by sending a laser pulse in a narrow beam towards the object and measuring the time taken by the pulse to be reflected off the target and returned to the sender.
- جهاز قياس المسافة بالليزر هو جهاز يستخدم شعاع الليزر لتحديد المسافة إلى الجسم. يعمل الشكل الأكثر شيوعًا لجهاز تحديد المدى بالليزر على مبدأ وقت الطيران عن طريق إرسال نبضة ليزر في شعاع ضيق نحو الجسم وقياس الوقت الذي تستغرقه النبضة لتنعكس عن الهدف وتعود إلى المرسل.

Laser Range Finder
ليزر تحديد المدى

- To knock down an enemy tank, it is necessary to range it very accurately. Because of its high intensity and very low divergence even after travelling quite a few kilometres, laser is ideally suited for this purpose.
- The laser range finders using neodymium and carbon dioxide lasers have become a standard item for artillery and tanks.
- These laser range finders are light weight and high range accuracy as compared to the conventional range finders.
- لإسقاط دبابة العدو، من الضروري تحديد نطاقها بدقة شديدة. ونظرًا لكثافته العالية وتباعده المنخفض جدًا حتى بعد السفر لمسافة لا بأس بها لبضعة كيلومترات، فإن الليزر مناسب بشكل مثالي لهذا الغرض.
- أصبحت أجهزة تحديد المدى بالليزر التي تستخدم ليزر النيوديميوم وثاني أكسيد الكربون عنصرًا قياسيًا في المدفعية والدبابات.
- تتميز أجهزة تحديد المدى الليزرية هذه بأنها خفيفة الوزن ودقة عالية المدى مقارنةً بأجهزة تحديد المدى التقليدية.

Laser Range Finder

ليزر تحديد المدى

❑ The laser range finder works on the principle of a radar. It makes use of the characteristic properties of the laser beam, namely, monochromaticity, high intensity, coherency, and directionality. A collimated pulse of the laser beam is directed towards a target and the reflected 1ight from the target is received by an optical system and detected. The time taken by the laser beam to travel from the transmitter to the target is measured. When half of the time thus recorded is multiplied by the velocity of light, the

product gives the range, i.e., the distance of the target.

يعمل جهاز تحديد المدى بالليزر على مبدأ الرادار. إنه يستخدم الخصائص المميزة لشعاع الليزر، وهي أحادية اللون، والكثافة العالية، والتماسك، والاتجاهية. يتم توجيه نبضة موازية من شعاع الليزر نحو الهدف ويتم استقبال الضوء المنعكس من الهدف بواسطة نظام بصري ويتم اكتشافه. يتم قياس الوقت الذي يستغرقه شعاع الليزر للانتقال من جهاز الإرسال إلى الهدف. عندما يتم ضرب نصف الوقت المسجل في سرعة الضوء، فإن المنتج يعطي المدى، أي مسافة الهدف.

- **The distance between point A and B is given by**

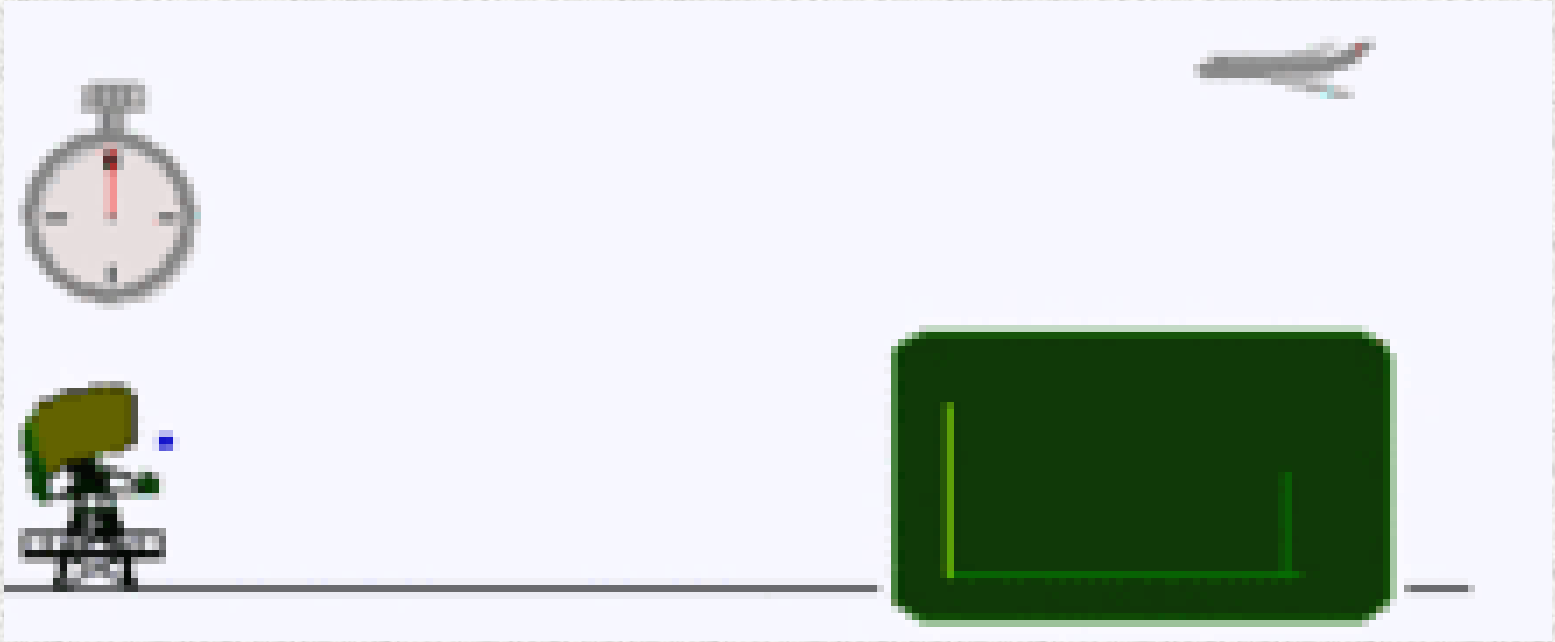
$$D = \frac{ct}{2}$$

- **where *c* is the speed of light in the atmosphere and *t* is the amount of time for the round-trip between A and B.**

- **يتم تحديد المسافة بين النقطتين A و B بواسطة**

- **حيث c هي سرعة الضوء في الغلاف الجوي و t هو مقدار الوقت لرحلة الذهاب** والإياب بين A وB.

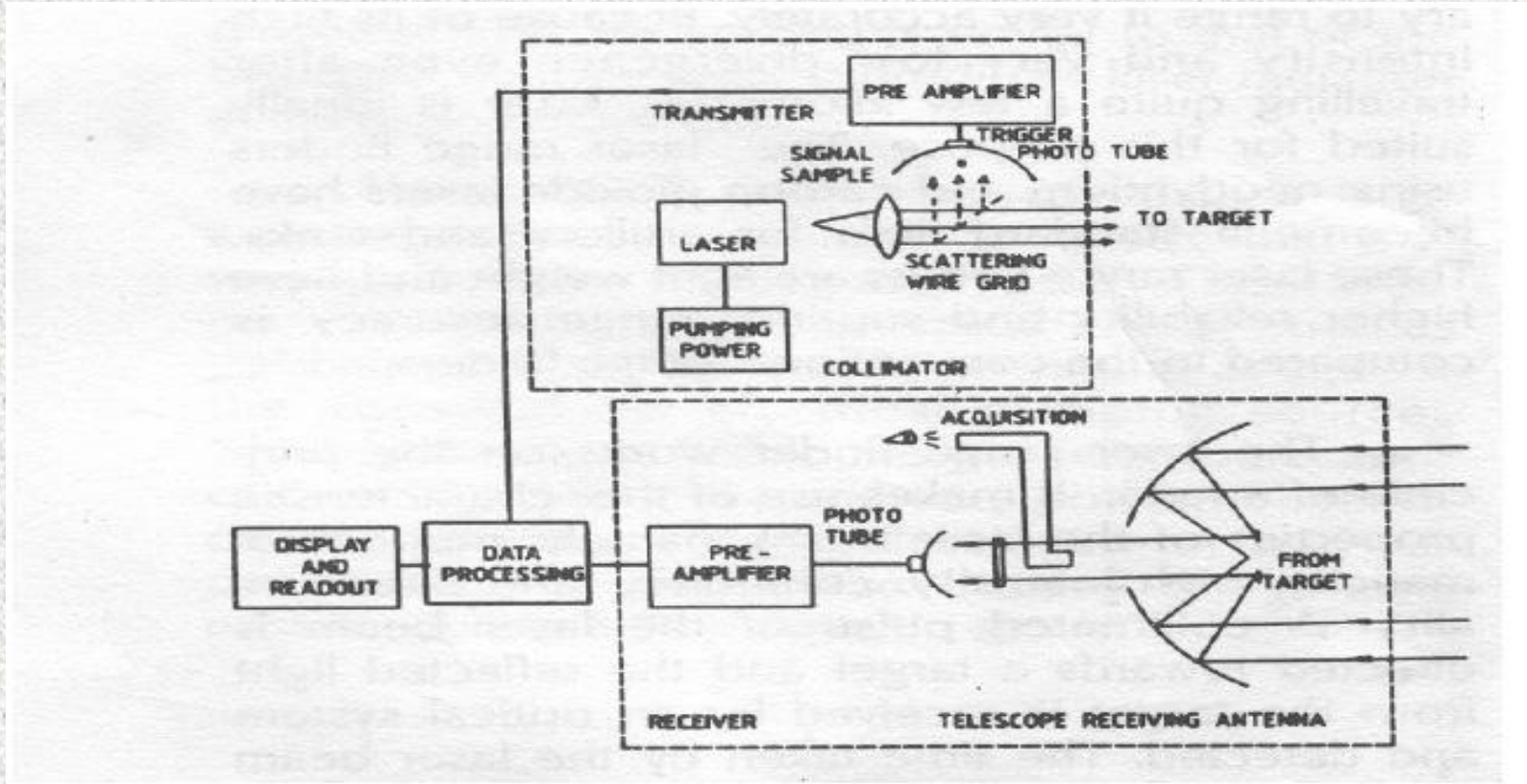
RADAR



Laser Range Finder

A typical laser range finder can be functionally divided into four parts: (i) transmitter, (ii) receiver, (iii) display and readout, and (iv) sighting telescope. An earlier version of a laser range finder is schematically shown in Fig. 4.1.

يمكن تقسيم جهاز تحديد المدى الليزري النموذجي وظيفيًا إلى أربعة أجزاء: (1) جهاز الإرسال، (2) جهاز الاستقبال، (3) العرض والقراءات، و (4) تلسكوب الرؤية. يتم عرض نسخة سابقة من جهاز تحديد المدى بالليزر بشكل تخطيطي في الشكل 4.1.



Laser Range Finder

The laser range finders of medium range (up to 10 km) are used in several Defence areas, including

• Tank laser range finder for artillery, an armoured vehicle, or a truck.

• Portable laser range finders, used in the field artillery fire control systems. These are intended for field application in conjunction with artillery fire control systems

• Airborne laser range finder the Air Force.

.

• The laser walkie-talkie range finder, a compact small instrument, weighing less than 4 kg, useful to range objects at distances less than 5 km. This range finder uses the semiconductor diode laser In emitting short duration pulses.

تُستخدم أجهزة تحديد المدى الليزرية متوسطة المدى (حتى 10 كم) في العديد من المناطق الدفاعية، بما في ذلك

• جهاز تحديد مدى الدبابة بالليزر للمدفعية أو المركبة المدرعة أو الشاحنة.

• أجهزة تحديد المدى الليزرية المحمولة، المستخدمة في أنظمة التحكم في نيران المدفعية الميدانية. وهي مخصصة للتطبيق الميداني بالتزامن مع أنظمة التحكم في نيران المدفعية

• جهاز تحديد المدى بالليزر المحمول جواً التابع للقوات الجوية.

.

• جهاز تحديد المدى بالليزر، وهو جهاز صغير الحجم، وزنه أقل من 4 كجم، ومفيد لتحديد مدى الأجسام على مسافات أقل من 5 كم. يستخدم جهاز تحديد المدى هذا ليزر ديود أشباه الموصلات في إصدار نبضات قصيرة المدة.

LIDAR الليدار

LIght Detection And Ranging

What can you measure with LIDAR?

- distance
- speed
- rotation

of a remote target, which can be either a clearly defined object, such as a vehicle, or a diffuse object, such as a smoke plume or clouds.

ما الذي يمكنك قياسه باستخدام LIDAR؟

مسافة
سرعة
دوران

لهدف بعيد، والذي يمكن أن يكون إما كائنًا محددًا بوضوح، مثل مركبة، أو كائنًا منتشرًا، مثل عمود دخان أو سحب.

LIDAR

When the laser beam is used for a radar application, it is called lidar. The details, which could not be achieved earlier with microwave radars, can now be obtained with lidar. Besides, the laser beam can be focused with lenses an mirrors easily whereas microwaves need huge antenna for focusing. As a beacon or a radar, the advantages of utilising small antenna and components are obvious. With a lidar, the dimension and the distance of the target can be obtained with higher accuracy, which is not possible with the conventional microwave radar. The lasers used in lidars are of carbon dioxide, Q-switched neodymium, or gallium arsenide semiconductor type.

عندما يتم استخدام شعاع الليزر لتطبيق الرادار، فإنه يسمى ليدار. التفاصيل، التي لم يكن من الممكن تحقيقها سابقًا باستخدام رادارات الموجات الدقيقة، يمكن الحصول عليها الآن باستخدام الليدار. علاوة على ذلك، يمكن تركيز شعاع الليزر باستخدام العدسات والمرايا بسهولة، بينما تحتاج أجهزة الميكروويف إلى هوائي ضخم للتركيز. كمنارة أو رادار، فإن مزايا استخدام هوائي صغير ومكوناته واضحة. باستخدام الليدار، يمكن الحصول على البعد والمسافة للهدف بدقة أعلى، وهو أمر غير ممكن مع رادار الموجات الدقيقة التقليدي. الليزر المستخدم في الليدارات هو من ثاني أكسيد الكربون، أو النيوديميوم ذو مفتاح Q، أو من نوع أشباه الموصلات من زرنيخيد الغاليوم.

LIDAR

- The great advantage of the use of carbon dioxide lasers for radar application is their capacity to produce high power output with requisite The spectral purity.
- The coherent carbon dioxide laser tips radar functions essential like a coherent microwave radar except for the fact that the carbon dioxide laser beam has a frequency of a few thousand times more than that of the X-band radar and at it a sharp beam width of a few microradians.

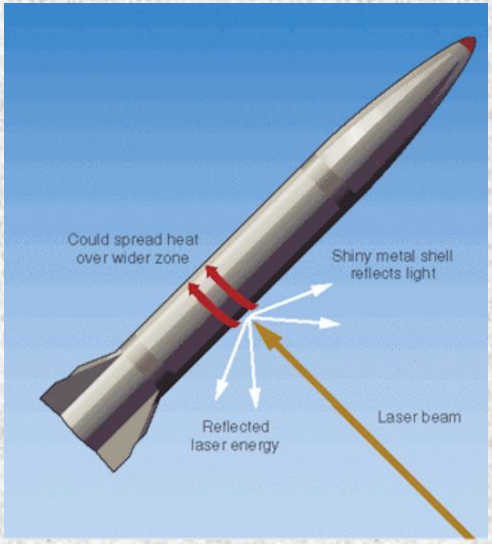
- الميزة الكبرى لاستخدام ليزر ثاني أكسيد الكربون لتطبيقات الرادار هي قدرتها على إنتاج مخرجات طاقة عالية مع النقاء الطيفي المطلوب.
- يعمل رادار أطراف ليزر ثاني أكسيد الكربون المتماسك بشكل أساسي مثل رادار الموجات الدقيقة المتماسك باستثناء حقيقة أن شعاع ليزر ثاني أكسيد الكربون له تردد يزيد ببضعة آلاف مرة عن تردد رادار النطاق Xوعنده عرض شعاع حاد يبلغ عدد قليل من ميكروراديان.

LIDAR

Anti-Missile Defence System (Star Wars)
نظام الدفاع المضاد للصواريخ (حرب النجوم)

In an antimissile defence system, laser is used to dispose the energy of warhead, not by vaporising or melting it, but by partially damaging the missile, say by drilling a hole. Tremendous energy is required to completely burn the missile, which is not practicable. If a guided vane of a missile is fractured, several vibrations will be developed in the air frame thereby disintegrating major sensitive portion of the missile.

في نظام الدفاع المضاد للصواريخ، يُستخدم الليزر للتخلص من طاقة الرأس الحربي، ليس عن طريق تبخيره أو إذابته، ولكن عن طريق إتلاف الصاروخ جزئيًا، على سبيل المثال عن طريق حفر ثقب. ويتطلب حرق الصاروخ بالكامل طاقة هائلة، وهو أمر غير عملي. إذا تم كسر ريشة الصاروخ الموجهة، فسوف تحدث عدة اهتزازات في الإطار الجوي وبالتالي تفكك الجزء الحساس الرئيسي من الصاروخ.

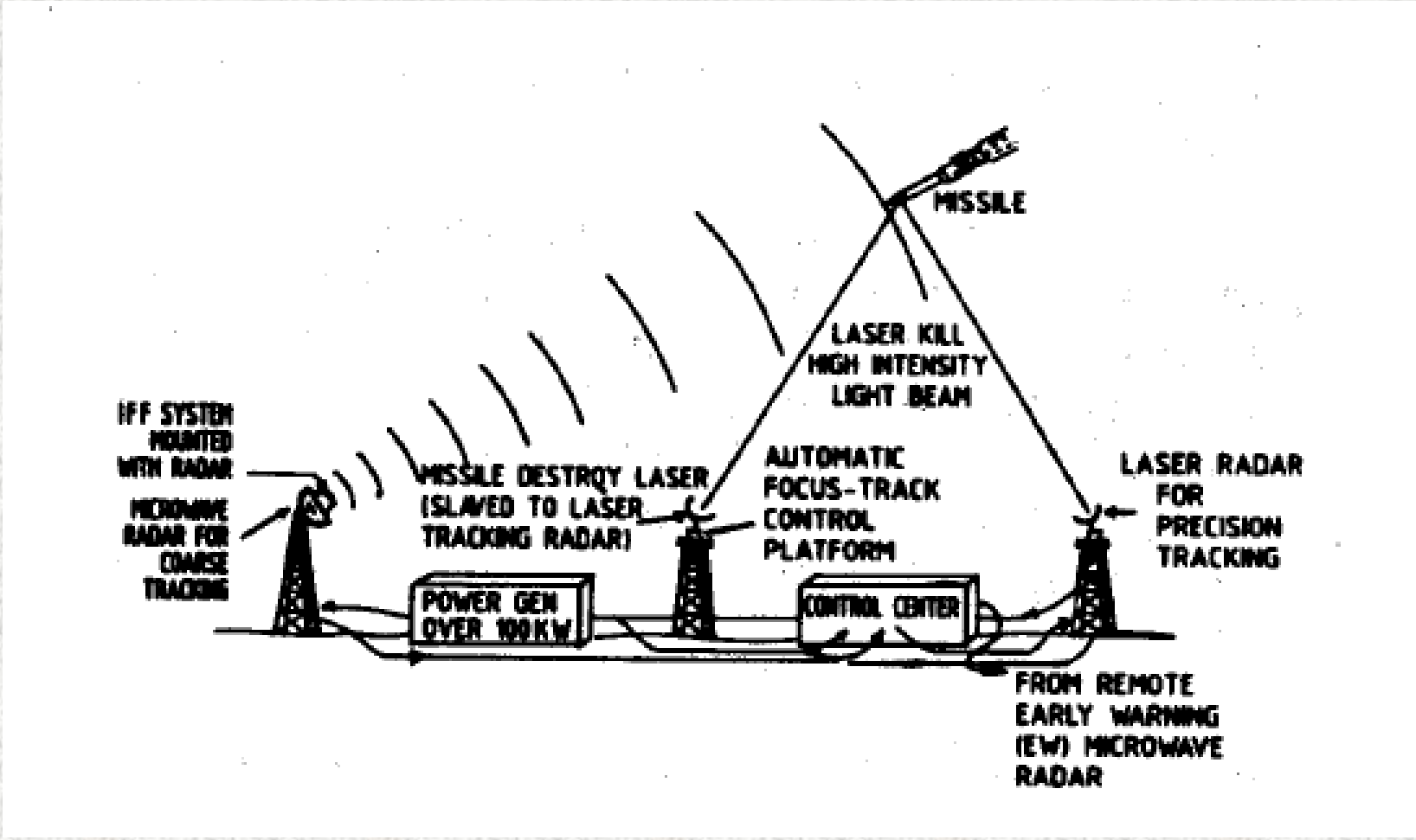


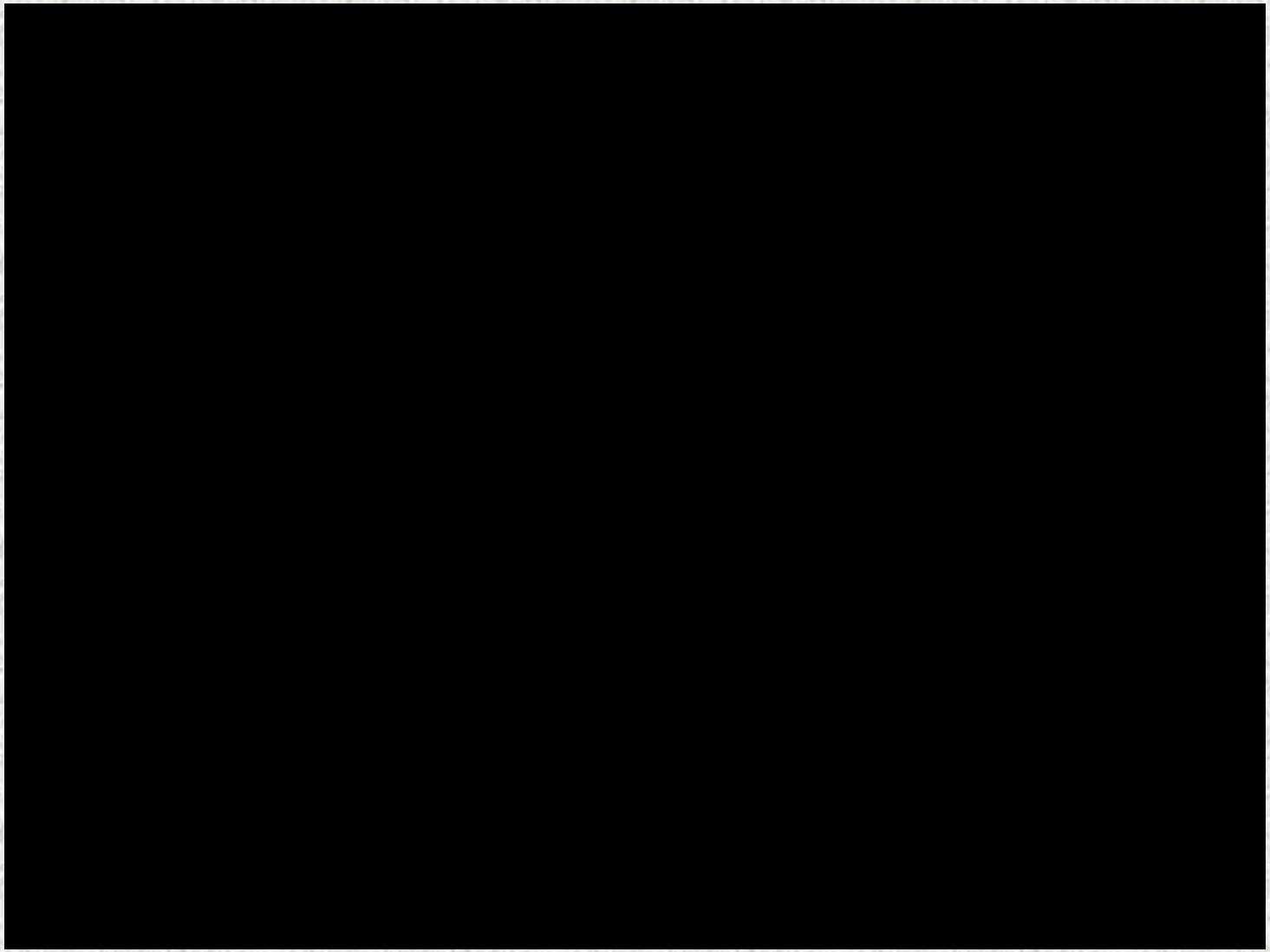
Anti-Missile Defence System (Star Wars)
نظام الدفاع المضاد للصواريخ (حرب النجوم)

Two types of anti-missile defence systems have been visualised. One such system, laser kill system is completely earthbound (Fig. 4.9). Here, an early warning microwave radar gives a rough position of the approaching missile. Then a lidar aligned to the target by the tracking radar gives the precise position of the missile. This data is fed on to another high intensity laser beam which actually does the killing. To exploit the laser's killing capability, a high speed servo system and a complex focusing system are essential.

تم تصور نوعين من أنظمة الدفاع المضادة للصواريخ .أحد هذه الأنظمة، نظام القتل بالليزر، متصل بالأرض تمامًا)الشكل .(4.9وهنا، يعطي رادار الموجات الدقيقة للإنذار المبكر موقعًا تقريبيًا للصاروخ المقترب .ثم يقوم جهاز الليدار المحاذي للهدف بواسطة رادار التتبع بتحديد الموقع الدقيق للصاروخ .يتم تغذية هذه البيانات إلى شعاع ليزر آخر عالي الكثافة والذي يقوم بالفعل بالقتل .لاستغلال قدرة الليزر على القتل، من الضروري وجود نظام مؤازر عالي السرعة ونظام تركيز معقد.

Anti-Missile Defence System (Star Wars)





Anti-Missile Defence System (Star Wars)

There are, however, many limitations in the utilisation of laser in its anti-missile role. The power required is very prohibitive and as a result huge power stations are required for the operation. At present, huge power of more than 100 kW in the continuous mode is being obtained from the gas dynamic carbon dioxide lasers and some other chemical lasers, developed in the US and Russia. This amount of laser power is sufficient to destroy an enemy vehicle or a missile.

ومع ذلك، هناك العديد من القيود في استخدام الليزر في دوره المضاد للصواريخ. الطاقة المطلوبة باهظة جدًا ونتيجة لذلك يلزم وجود محطات طاقة ضخمة للتشغيل. في الوقت الحاضر، يتم الحصول على طاقة هائلة تزيد عن 100 كيلووات في الوضع المستمر من ليزر ثاني أكسيد الكربون الديناميكي الغازي وبعض أجهزة الليزر الكيميائية الأخرى، التي تم تطويرها في الولايات المتحدة وروسيا. هذه الكمية من قوة الليزر كافية لتدمير مركبة معادية أو صاروخ.

Anti-Missile Defence System (Star Wars)