الفصل الأول

مقدمة في الليزر
Introduction to Laser

1-1 مقدمة Introduction

تعتبر تكنولوجيا الليزر من العلوم المتطورة التي تدخل في العديد من التطبيقات مثل استخدام الليزر في التطبيقات الطبية والاتصالات والأبحاث العلمية والهندسية والعسكرية. وأي مستخدم لليزر مهما اختلف تخصصه فهو بحاجة إلى فهم مبدأ عمل الليزر أي ما يعرف بفيزياء الليزر.

إن الليزر هو عبارة عن جهاز يحول الطاقة من مصادر مختلفة إلى صورة أشعاع كهرومغناطيسي. وهذا تعريف بسيط للبدأ في الموضوع وتوضيح فكرة عمل الليزر حيث أننا نحصل في النهاية على شعاع كهرومغناطيسي (ضوء) يمتلك العديد من الخواص التي تميزه عن أي مصدر ضوئي أخر.

كلمة **ليزر** LASER هي من الأحرف الأولي لفكرة عمل الليزر أي:

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

وتعني تضخيم الضوء بواسطة الانبعاث المحفز للإشعاع. وقد تنبأ بوجود الليزر العالم البرت اينشتاين في 1917 حيث وضع الأساس النظري لعملية الانبعاث المحفز stimulated emission وتم تصميم أول جهاز ليزر في 1960 بواسطة العالم T.H. Maiman باستخدام بلورة الياقوت ويعرف بليزر الياقوت Ruby Laser ,

لفهم مبدأ عمل الليزر نحتاج إلى توضيح مفهوم كل مصطلح من مصطلحات الواردة في التعريف وهي

- **ضوء Light** : كل ضوء هو شكل من أشكال الإشعاع الكهرومغناطيسي الذي يكون مرئيا للعين المجردة.
- **التضخيم Amplification** : هو ببساطة عملية صنع شيء أكبر أو أكثر . ففي أشعة الليزر يجعل التضخيم الضوء أكثر شدة.

- **المحفز Stimulated** : هو وسائل تحفيز لإثارة العمل. يتم إنشاء ضوء الليزر عندما يستثار الضوء (كهربائيا مثلا) حيث يثير الذرات لتنبعث الفوتونات الليزر, ثم تعمل هذه الفوتونات على تحفيز أنبعاثات أخرى لخلق فوتونات إضافية متطابقة لإنتاج ضوء الليزر أشد.
- **الانبعاث Emission**: كلمة تشير إلى شيء الذي يمكن توليده من عملية الانتقال من حالة متهيجة الى الحالة المستقرة. يكون الانبعاث المحفز بالليزر أعداد كبيرة من الفوتونات التي تخلق ضوء الليزر الشديد.
- **الإشعاع Radiation** : ضوء الليزر هو شكل من أشكال الطاقة التي تشع، ليخرج من مصدر الليزر.

2-1 خصائص شعاع الليزر Laser Beam Properties

شعاع الليزر يمتلك خصائص تميزه عن أية مصدر من مصادر الإشعاع الكهرومغناطيسي وهذه الخصائص هي:

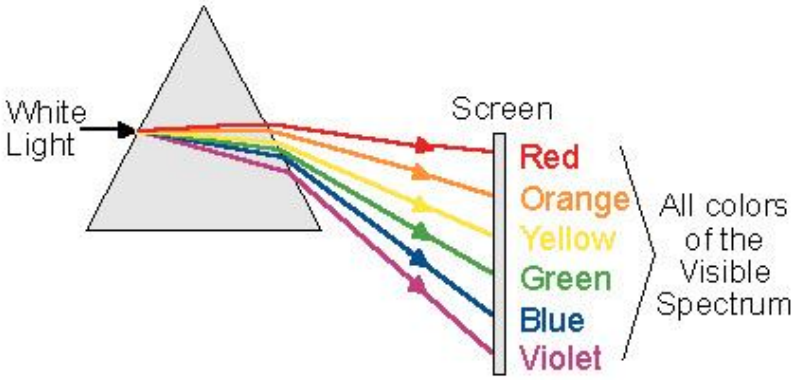
1. **اتجاهية Directionality** أي الأنحراف صغير جدا في الحزمة, فالشعاع يكاد يكون شعاع مواز لمحور الليزر وتحركه في اتجاه واحد في الفضاء .
2. **الأحادية اللونية Monochromaticity** بدرجة عالية فالإشعاع هو مقارب من الطول الموجي المحدد، كما يمكن أن يكون قياس العرض الطيفي ضيق جدا.
3. **التشاكه Coherence** , هو محافظة حزمة الليزر على طور ثابت بين موجاتها المكونة مع بقاء شكل جبهة الموجة ثابت.
4. **السطوع Brightness**, هو أشغال عدد كبير من فوتونات ضوء الليزر مسافة صغيرة و ضمن زاوية مجسمة مكافئة لشدة الضوء.

الجمع بين هذه الخصائص يعطي أشعة الليزر العديد من المزايا، مثل تحقيق كثافات عالية جدا، و هي ليست متوفرة في مصادر أخرى.

الاتجاهية Directionality. الأحادية اللونية Monochromaticity. التشاكه Coherence.	**هذه الخصائص جعلت لشعاع الليزر العديد من التطبيقات في كافة المجالات**

1-2-1 الأحادية اللونية Monochromaticity

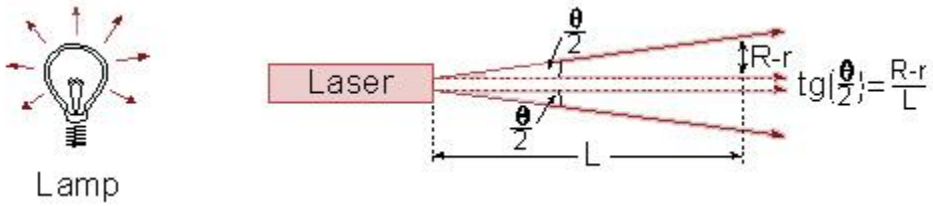
تعني أن الليزر أحادي اللون وهذا ما يميزه عن الضوء العادي حيث أن بتحليل الضوء الأبيض الصادر من الشمس أو من مصباح ضوئي فإنه يحتوي على العديد من الأطوال الموجية، كما هو واضح عند تحليل الضوء باستخدام المنشور Prism و المبين في الشكل (1).



شكل (1): تحليل الضوء الأبيض بواسطة الموشور

2-2-1 الاتجاهية Directionality

الضوء الصادر عن الليزر له اتجاه واحد بجيود مهمل بالمقارنة مع الضوء الصادر من مصباح كهربائي حيث أن الضوء ينبعث في كافة الاتجاهات وبجيود كبير كما في الشكل (2).



شكل (2): مقارنة بين تشتيت الضوء من مصدر تقليدي (مصباح) و ضور الليزر

3-2-1 التشاكه Coherence

حيث أن الشعاع الكهرومغناطيسي يمتلك خاصية موجية يمكن وصفها بالمعادلة التالية:

$$y = A\cos(\omega t+\theta)$$

السعة A = Amplitude

التردد الزاوي ω = Angular Frequency

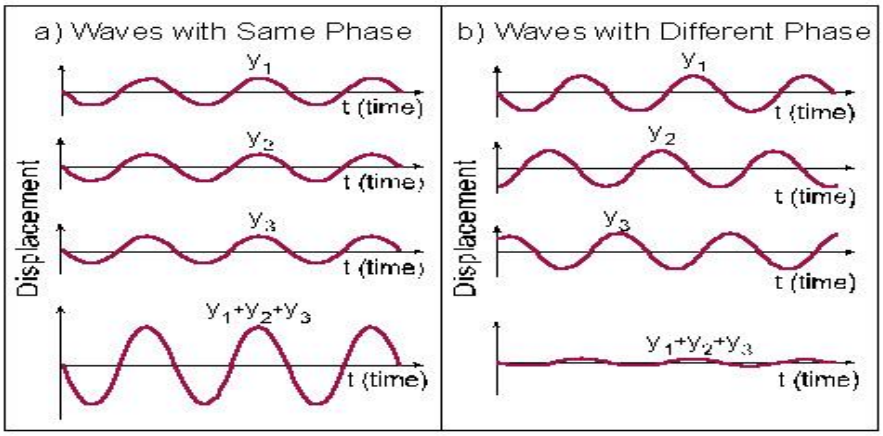
الطور الأبتدائي للموجة θ = Initial Phase of the wave
(يصف نقطة البداية في وقت التذبذب)

طور الموجة $(\omega t+\theta)$ = Phase of the wave

الخاصية الفيزيائية التشاكه Coherent تعني أن هنالك علاقة ثابتة في فرق الطور بين الأمواج المتداخلة مما تسبب في ظاهرة التراكب البناء.

الموجات المتشاكهة Coherent waves هي الموجات التي تحافظ الطور النسبي بينهما.

الشكل (3) يوضح كيف أن ثلاث موجات لها نفس الطور Phase تعطي تراكب بناء Constructive بينما تلك التي تخلف في الطور تكون المحصلة هي تلاشي الموجة Destructive.



شكل (3): تراكب موجات Superposition of waves

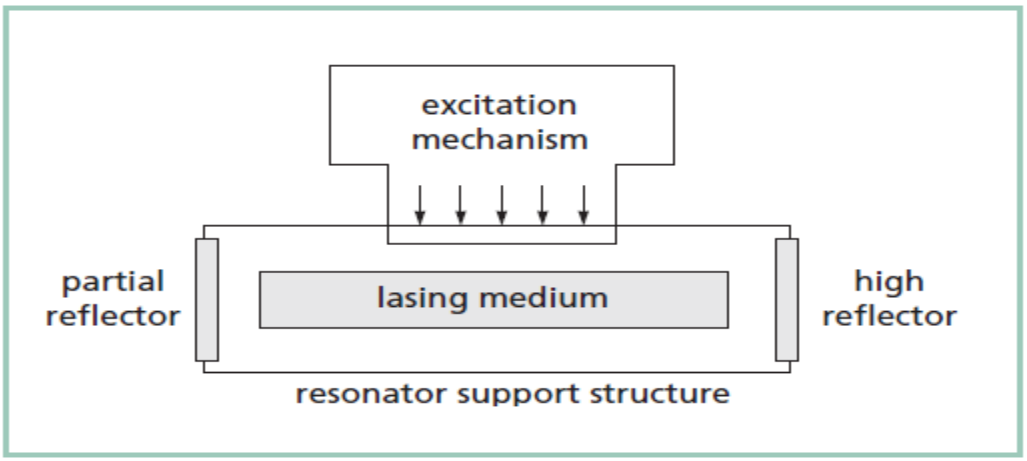
3-1 المكونات الاساسية لجهاز الليزر The Basic Components of Laser Device

من أجل تحقيق العمل لمعظم أجهزة الليزر ، يجب أن توفر ثلاثة مكونات أساسية

(1) **الوسط الفعال Active Medium :** مجموعة من الذرات والجزيئات أو الأيونات في الحالة الصلبة أو السائلة أو الغازية.

(2) **أنقلاب التعداد Population Inversion**

(3) **التغذية المرتدة البصرية Optical Feed Back**



شكل (4): المكونات الأساسية لجهاز الليزر

4-1 تفاعل الإشعاع الكهرومغناطيسي مع المادة The Interaction of Electromagnetic Radiation with Matter

نعلم أن الذرة تكتسب طاقة وتفقدها بصورة مستمرة وإن انتقال الطاقة إلى الذرة يتم بواسطة طريقتين هما:

1. التصادم مع الذرات الأخرى، ونقل الطاقة الحركية نتيجة الاصطدام. يتم نقل هذه الطاقة الحركية إلى طاقة داخلية للذرة.
2. امتصاص وانبعاث الإشعاع الكهرومغناطيسي.

وحيث أن عملية الليزر تعتمد على انتقال الطاقة من خلال **امتصاص Absorption** الاشعاع الكهرومغناطيسي ثم **انبعاث Emission** و تكبيره على شكل شعاع ليزر، لذا سندرس ظاهرة الامتصاص والانبعاث.

التفاعلات بين الإشعاع الكهرومغناطيسي والمواد تسبب تغيرات في حالات طاقة الإلكترونات في المادة. يمكن نقل الإلكترونات من مستوى الطاقة إلى آخر، في حالة امتصاص أو انبعاث كمية معينة من الطاقة. هذه الكمية من الطاقة تساوي فرق الطاقة بين أثنين من مستويات الطاقة (E_2-E_1).

عندما تمتص هذه الطاقة أو تنبعث في شكل من أشكال الإشعاع الكهرومغناطيسي، وفرق الطاقة بين هذه المستويات الطاقة اثنين (E_2-E_1) يحدد التردد المعين (ν) من الإشعاع الكهرومغناطيسي:

$$(\Delta E) = E_2 - E_1 = h\nu$$

مثال :

أذا كان نطاق الطيف الموجي المرئي هو: 0.4-0.7 [□m] (400-700 [nm]).
الطول الموجي للضوء البنفسجي هو الأقصر، والطول الموجي للضوء الأحمر هو أطول. أحسب:

أ) ما هو مدى التردد من الطيف المرئي.
ب) ما هو مقدار طاقة الفوتون المرتبطة بالضوء البنفسجي، بالمقارنة مع طاقة الفوتون من الضوء الأحمر

الحل :

تردد الضوء البنفسجي:

$$\nu_1 = \frac{c}{\lambda_1} = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot \frac{m}{sec}}{0.4 \cdot 10^{-6} \cdot m} = 7.5 \cdot 10^{14} \cdot \frac{1}{sec}$$

تردد الضوء الأحمر:

$$\nu_2 = \frac{c}{\lambda_2} = \frac{3\cdot 10^8 \cdot \frac{m}{sec}}{0.7\cdot 10^{-6}\cdot m} = 4.3\cdot 10^{14}\cdot \frac{1}{sec}$$

الفرق بين الترددين هو

$$\Delta\nu = \nu_1 - \nu_2 = 7.5\cdot 10^{14} - 4.3\cdot 10^{14} = 3.2\cdot 10^{14}\cdot \frac{1}{sec}$$

طاقة الفوتون البنفسجي

$$E_1 = h\cdot\nu_1 = (6.626\cdot 10^{-34}\cdot J\cdot sec)\cdot\left(7.5\cdot 10^{14}\cdot \frac{1}{sec}\right)$$

$$E_1 = 5\cdot 10^{-19}\cdot Joule$$

طاقة الفوتون الأحمر

$$E_2 = h\cdot\nu_2 = (6.626\cdot 10^{-34}\cdot J\cdot sec)\cdot\left(4.3\cdot 10^{14}\cdot \frac{1}{sec}\right)$$

$$E_2 = 2.85\cdot 10^{-19}\cdot Joule$$

الفرق بين الطاقتين للفوتون البنفسجي و الفوتون الأحمر هو

$$2.15^{*}10^{-19}\ [J]$$

من المثال يظهر الفرق الكبير بين طاقة الفوتون البنفسجي و طاقة الفوتون الأحمر

سؤال :

أحسب بوحدات نانومتر، الطول الموجي للضوء المنبعث من الانتقال من مستوى الطاقة E_3 إلى مستوى الطاقة E_2 فيه عندما:

$E_1 = 0$ eV, $E_2 = 1.1$ eV, $E_3 = 3.5$ eV

1-4-1 انبعاث وامتصاص الإشعاع Emission and Absorption of Radiation

كل نظام في الطبيعة "يفضل" أن يكون في حالة الطاقة الدنيا. وتسمى هذه الحالة بالحالة الأرضية. عندما يتم تطبيق طاقة على نظام ما، فالذرات في المادة ستتهيج، و سترتفع إلى مستويات طاقة أعلى. (أذا أستخدم المصطلحات "الذرات المثارة"، "حالات متهيجة"، و "الإلكترونات المثارة" هنا فلا فرق) . ستبقى هذه الإلكترونات في الحالة المثارة لفترة معينة من الزمن، ومن ثم ستعود إلى حالة طاقة أقل في حين تنبعث منها الطاقة بمقدار محدد يعادل الفرق بين مستويات الطاقة (ΔE).

إذا تم نقل هذه الطاقة بشكل طاقة كهرومغناطيسية، فتسمى الفوتون photon.

يكون انبعاث الفوتون المنفرد عشوائي، يحصل بشكل فردي من قبل كل ذرة متهيجة، لا علاقة له بالفوتونات المنبعثة من ذرات أخرى.

عندما تنبعث الفوتونات بشكل عشوائي من ذرات مختلفة في أوقات مختلفة، تسمى هذه العملية بالانبعاث التلقائي Spontaneous Emission . وبما أن هذه الانبعاثات مستقلة عن التأثير الخارجي، ليس هناك اتجاه مفضل للفوتونات المختلفة، وليس هناك علاقة بين مستوى الفوتونات المنبعثة من ذرات مختلفة.

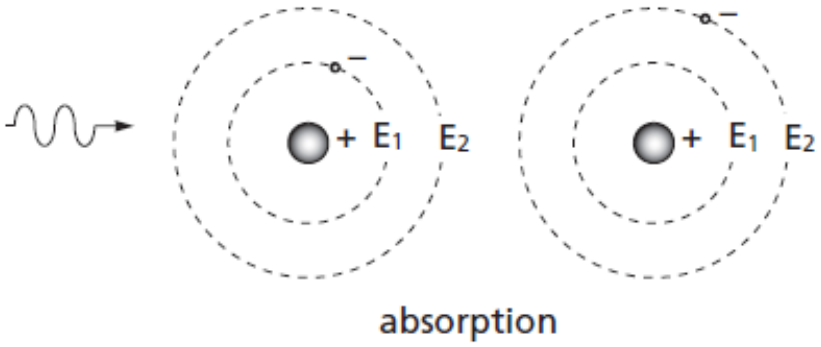
الانبعاث التلقائي هو واحد من مجموعة عمليات، و التي تدعى بعمليات الاسترخاء Relaxation Processes ، حيث أن الذرات المثارة تعودة إلى حالة الأستقرار Equilibrium (الحالة الأرضية).

يفترض من هذا التفسير أن الترددات المحددة المنبعثة من ذرة مثارة هي نفس الترددات المميزة للذرة، وهو ما يعني أن طيف الانبعاث مطابق لطيف الامتصاص.

سؤال : ما هي العمليات الممكنة بين الفوتونات والذرات ؟

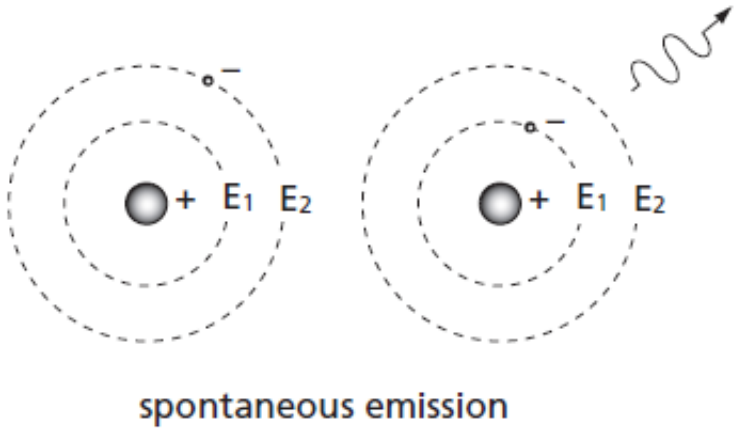
الجواب: ثلاث عمليات محتملة بين الفوتونات والذرات: الأمتصاص Absorption ، والانبعاث التلقائي Spontaneous Emission ، والانبعاث المحفز stimulated emission .

- **امتصاص الفوتون Photon Absorption:** الفوتون مع تردد ν_{12} يضرب ذرة مستقرة (الى اليسار)، ويثيرها ذلك إلى الارتفاع الى مستوى الطاقة (E_2)، في حين يتم امتصاص الفوتون , كما هو مبين في الشكل (5).



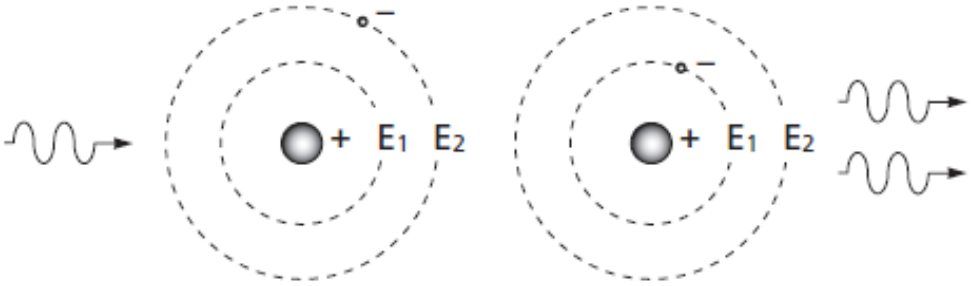
شكل (5): عملية الأمتصاص في نظام ذري

- **انبعاث التلقائي للفوتون Spontaneous emission of a photon :** ذرة في حالة مثارة (يسار) تنبعث الفوتون مع تردد ν_{12} و تذهب إلى مستوى طاقة أقل (E_1), كما هو مبين في الشكل (6).



شكل (6): عملية الأنبعاث التلقائي في نظام ذري

- **الانبعاث المحفز للفوتون Stimulated emission of a photon :** أذا فوتون بتردد ν_{12} يسلط على ذرة مثارة (الى اليسار) بمستوى طاقة عالي (E_2)، سيتسبب ذلك في انبعاث فوتون أخر بالتردد نفسه ν_{12} و الذرة ستهبط إلى مستوى طاقة أقل (E_1), كما هو مبين في الشكل (7).



stimulated emission

شكل (7): عملية الأنبعاث ا لمحتث في نظام ذري

يمكن تصنيفها الى فئتين هما :

- **الأمتصاص و الانبعاث التلقائي**

أن عملية امتصاص الفوتون من قبل الذرة هي عملية رفع ذرة (الإلكترون) من مستوى طاقة أقل إلى مستوى أعلى من الطاقة (حالة متهيجة)، مقدار طاقة المستوي وهو ما يعادل طاقة استيعاب الفوتون.

- **الأنبعاث المحفز**

الفوتون الصادر هو المجال الكهرومغناطيسي الذي يتذبذب في الوقت والمكان. يفرض هذا المجال لذرة المتهيجة يتطابق مع التردد نفسه والطور القوة المسلطة، وهو ما يعني أن الذرة لا يمكن أن تتذبذب بحرية، ولكن تضطر إلى التذبذب المتشاكه مع الفوتون القادم

أذا كان اثنين من الفوتونات بنفس الطول الموجي (تردد) لها نفس الطاقة

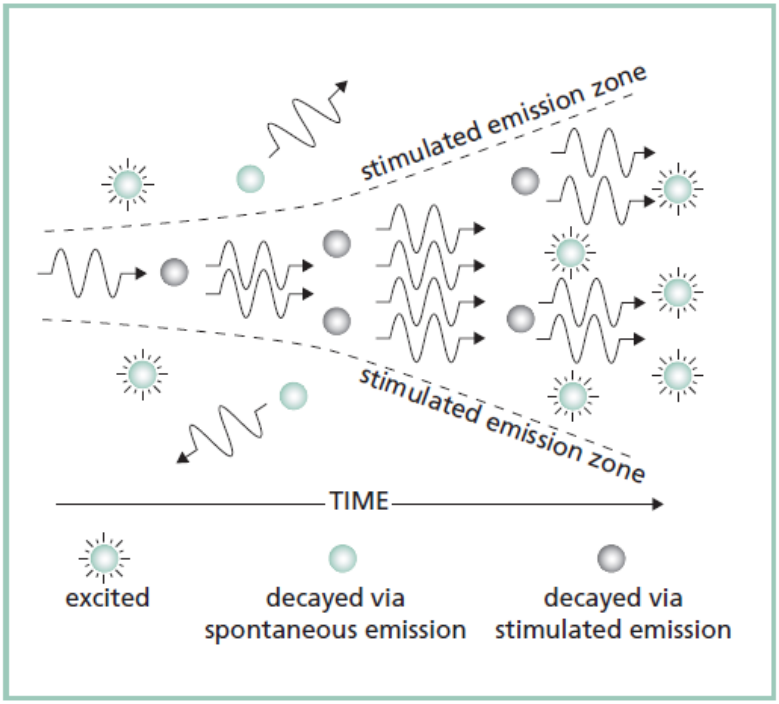
$$E = h\nu = hc/\lambda$$

الفوتون القادم لا يتغير على الإطلاق نتيجة لعملية الانبعاث المحفز.

ونتيجة لعملية الانبعاث المحفز، سيصبح لدينا اثنين من الفوتونات متطابقة نتجت من فوتون واحد ساقط و الأخر من الحالة المثارة. وهكذا أصبح لدينا التضخيم بمعنى أن عدد الفوتونات قد ازداد. و الشكل (8) يوضح كيفية تضخيم الضوء نتيجة الأنبعاث المحفز.

هذه هي العملية التي تم شرحها في الفصل السابق:

LASER = Light Amplification by Stimulated emission of Radiation



شكل (8): التضخيم بواسطة الأنبعاث المحفز

2-4-1 متوسط العمر Average Lifetime

تبقى الذرات في المستوى المتهيج لفترة قصيرة (حوالي 10^{-8} sec)، ثم تعود إلى مستوى طاقة أقل عن طريق الانبعاث التلقائي.

كل مستوى طاقة لديه متوسط عمر محدد، الذي هو المتوسط الزمني لوجود الإلكترون في الحالة المثارة المتهيجة قبل أن يحدث أي انتقال تلقائي. أي أنه وقت الذرات المثارة الذي ستعود بعده إلى مستوى طاقة أقل.

وفقا لنظرية الكم، يوصف الانتقال من مستوى الطاقة إلى آخر عن طريق الاحتمال الإحصائي. أن احتمال الانتقال من مستوى الطاقة أعلى إلى أخر أقل يتناسب عكسيا مع عمر مستوى الطاقة الأعلى. في الواقع، أن الاحتمال لمختلف الأنتقالات هو خاصية من خواص كل انتقال، وفقا لقواعد الاختيار.

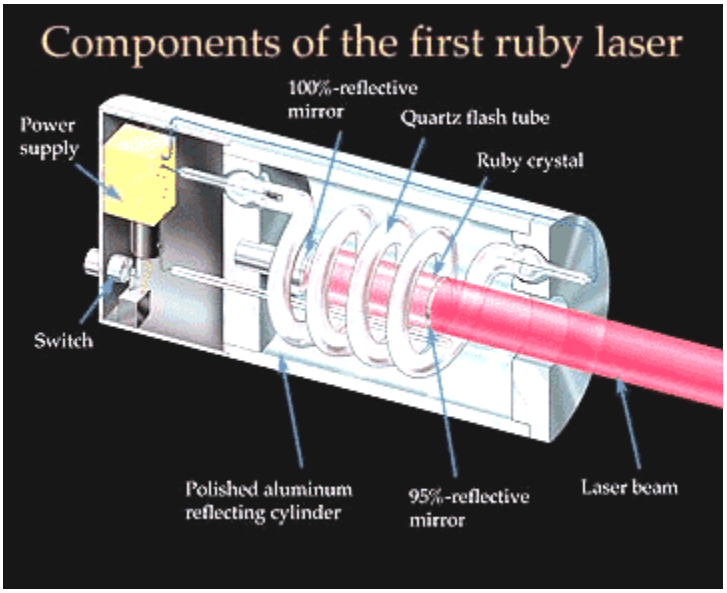
عندما يكون احتمال انتقال منخفض لانتقال محددة، وعمر هذا مستوى الطاقة أطول (حوالي 10^{-3} sec)، ويصبح هذا المستوى مستوى " **شبه مستقر" Metastable** . في هذا المستوى يمكن تجميع عدد كبير من الذرات. كما سنرى، فأنه يمكن لهذا المستوى أن يكون مرشحا للعمل الليزر.

عندما يكون التعداد في مستوى أعلى من الطاقة أكبر من التعداد في مستوى الطاقة الأقل ، سيتم تأسيس حالة من **"انقلاب التعداد" "Population Inversion"**.

في حالة وجود انعكاس التعداد بين مستويات الطاقة، فأن الاحتمال كبير بأن الفوتون القادم **سيحفز Stimulate** الذرة المثارة للعودة إلى حالة أقل، في حين تنبعث منها فوتون آخر من الضوء. أن احتمالية هذه العملية تعتمد على التناغم بين طاقة الفوتون الوارد وفرق الطاقة بين هذين المستويين.

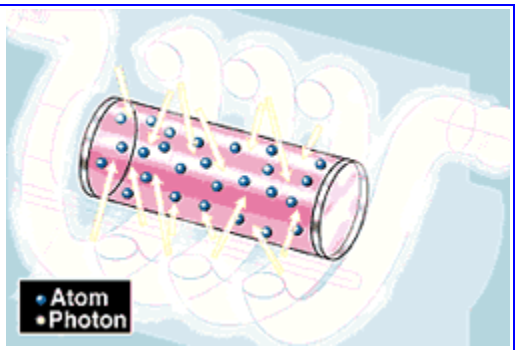
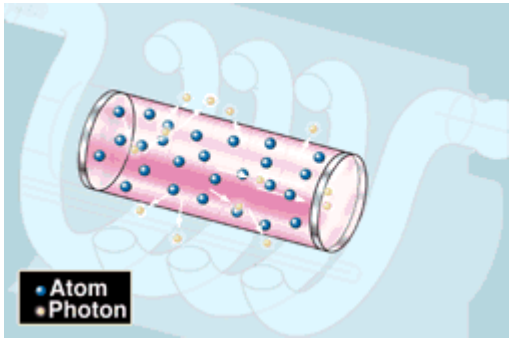
5-1 كيف يعمل ليزر الياقوت الأول How the First Ruby Laser Works

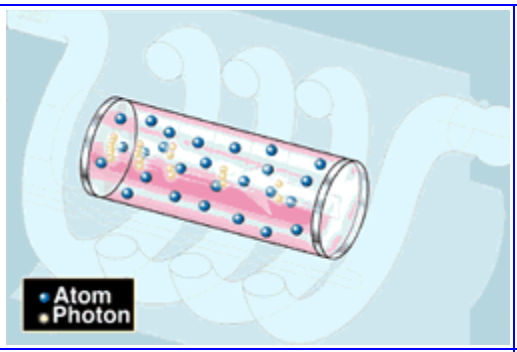
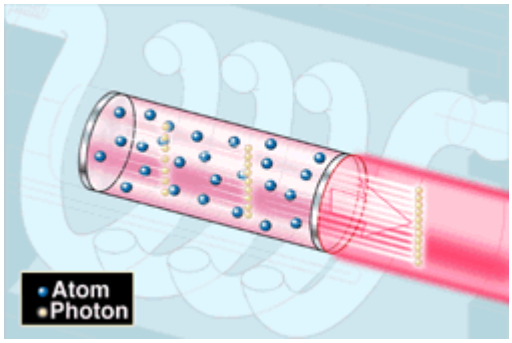
سنعرض فكرة عمل أول ليزر تمت صناعته و هو ليزر الياقوت Ruby Laser لتوضيح العناصر الأساسية لمبدأ عمل الليزر قبل الشروع في دراسة تأثير كل عنصر على حدة. في الشكل(9) نلاحظ ساق بلورة الياقوت محاطاً بانبوب وميض حلزوني وهو مصدر الطاقة التي ستعمل على إثارة الذرات. يكون شعاع الليزر لهذا النوع أحمر.



شكل (9): مكونات أول ليزر الياقوت

في الشكل (10) التالي توضيحي موجز لمراحل توليد اشعة الليزر في 4 خطوات على النحو التالي:

فرق جهد عالي يعمل على تزويد المصباح الوميضي بالطاقة الكافية لتوليد ضوء ذو شدة عالية ولفترة زمنية قصيرة. هذا الضوء يعمل على اثارة الذرات في بلورة الياقوت إلى مستويات الطاقة الأعلى.	
	عند بعض من مستويات الطاقة تقوم بعض الذرات باطلاق فوتونات عند انتقالها إلى مستويات طاقة ادنى. هذه الفوتونات تنبعث في البداية في كافة الاتجاهات. ولكن فوتونات من بعض الذرات تقوم بعملية الحث لأنبعاث لفوتونات من ذرات أخرى وعندها يبدأ تكبير الضوء.

تقوم مرأتين على طرفي ساق بلورة الياقوت بعمل المكبر حيث ينعكس عندها الفوتونات إلى داخل ساق بلورة الياقوت لتعمل المزيد من stimulate emission وتستمر عملية التكبير للضوء.	
	يتم تصميم احدى هاتين المرأتين بحيث تعكس 98% من الضوء والباقي ينفذ وهو شعاع الليزر.

شكل (10): خطوات الحصول على فعل الليزر

بالأمكان زيادة الطاقة ورؤية كيف يعمل الليزر، يوفر العرض لك استخدام الصورة الموجية أو صورة الفوتونات