

الفصل الأول

مقدمة في الليزر

Introduction to Laser

1-1 مقدمة Introduction

الليزر كتكنولوجيا حديثة يعتبر من العلوم المتطورة التي تدخل في العديد من التطبيقات مثل استخدام الليزر في التطبيقات: الطبية والاتصالات والأبحاث العلمية والهندسية والعسكرية. أي 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 آخر.

كلمة **ليزر** **LASER** هي مختصر لفكرة عمل الليزر، فهي الأحرف الأولى من عبارة:

Light **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation

و هي تعني 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 مرئياً 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 (كهربائياً مثلاً) حيث يثير الذرات لتنبعث الفوتونات الليزر, ثم تعمل هذه الفوتونات على تحفيز أبعثات 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.

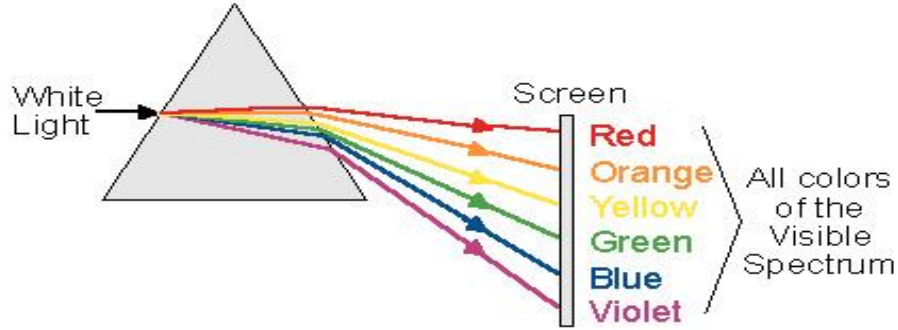
2-1 خصائص شعاع الليزر Laser Beam Properties

- شعاع الليزر يمتلك خصائص تميزه عن أية مصدر من مصادر الإشعاع الكهرومغناطيسي وهذه الخصائص هي:
1. **اتجاهية Directionality** أي الانحراف 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.
- الخصائص الأساسية التي تلعب دور أساسي في أغلب التطبيقات العملية هي:

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

1-2-1 الأحادية اللونية Monochromaticity

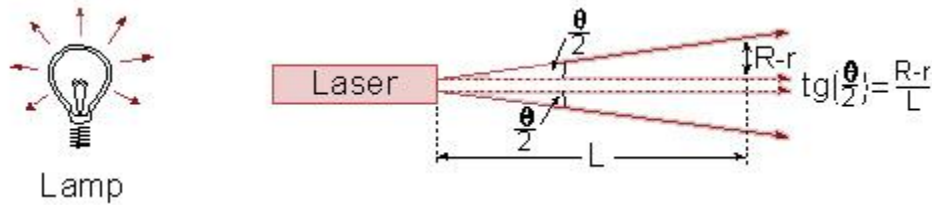
تعني أن الليزر أحادي اللون وهذا ما يميزه عن الضوء العادي حيث أن بتحليل الضوء الأبيض الصادر من الشمس أو من مصباح ضوئي فإنه يحتوي على العديد من الأطوال الموجية، كما هو واضح عند تحليل الضوء باستخدام المنشور Prism و المبين في الشكل (1).



شكل (1): تحليل الضوء الأبيض بواسطة المنشور

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 و جيود كبير كما في الشكل (2).



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

3-2-1 التمشاك Coherence

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

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

A = Amplitude السعة

ω = Angular Frequency التردد الزاوي

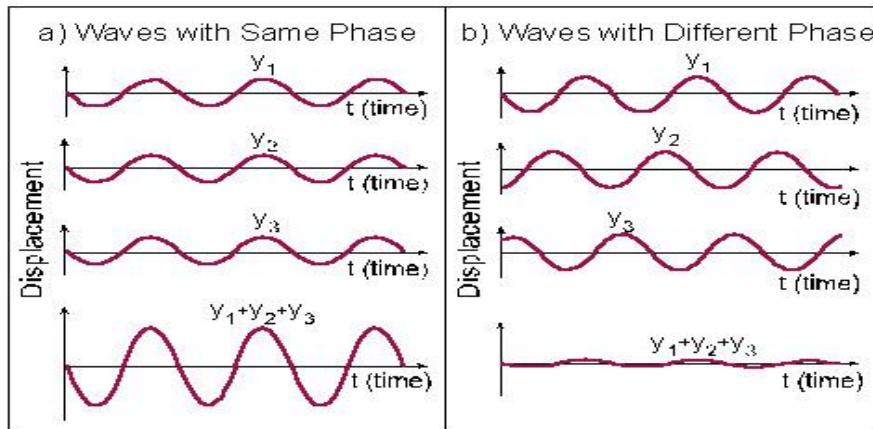
θ = Initial Phase of the wave الطور الابتدائي للموجة
(يصف نقطة البداية في وقت التذبذب)

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

الخاصية الفيزيائية التمشاك Coherent تعني أن هنالك علاقة ثابتة في فرق الطور بين الأمواج المتداخلة مما تسبب في ظاهرة التراكم البناء. التمشاك يقسم الى قسمين : التمشاك المكاني و التمشاك الزماني.

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

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



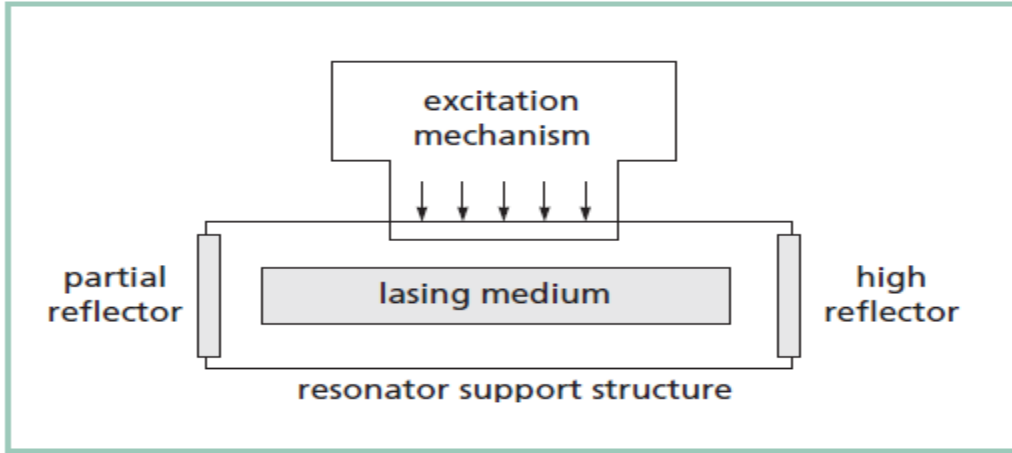
شكل (3): تراكم موجات Superposition of waves

3-1 المكونات الأساسية 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) أقلاب 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 وتفقدتها 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 وانبعث الإشعاع الكهرومغناطيسي.

وحيث أن عملية الليزر تعتمد على انتقال الطاقة من خلال **امتصاص Absorption** الإشعاع 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 اثنين 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 :

إذا كان نطاق الطيف الموجي المرئي هو: $0.4-0.7 [\mu\text{m}]$ $400-700[\text{nm}]$.
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:

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

تردد الضوء الأحمر:

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

الفرق بين الترددين هو

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

طاقة الفوتون البنفسجي

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

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

طاقة الفوتون الأحمر

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

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

الفرق بين الطاقين للفوتون البنفسجي و الفوتون الأحمر هو

$$2.15 \times 10^{-19} \text{ Joule}$$

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:

$$E_1 = 0 \text{ eV}, \quad E_2 = 1.1 \text{ eV}, \quad E_3 = 3.5 \text{ eV}$$

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

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).

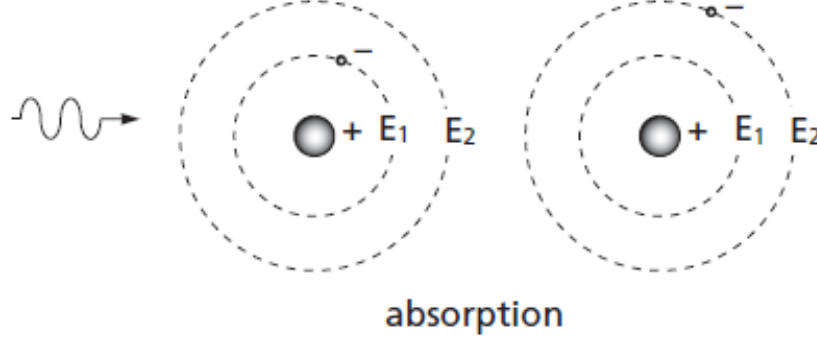
إذا تم نقل هذه الطاقة بشكل كهرومغناطيسية، فتسمى الفوتون photon. يكون انبعاث الفوتون المنفرد عشوائياً، يحصل بشكل فردي من قبل كل ذرة متهيجة، لا علاقة له بالفوتونات المنبعثة من ذرات أخرى.

عندما تنبعث الفوتونات بشكل عشوائياً 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، والتي تدعى بعمليات الاسترخاء Relaxation Processes، حيث أن الذرات المثارة تعود 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 ؟

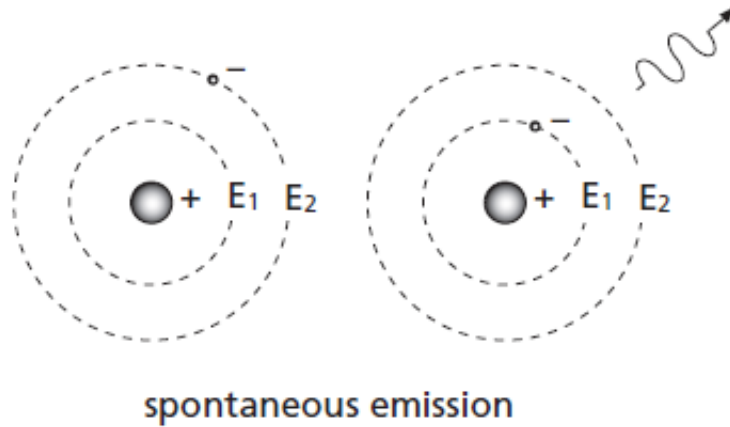
الجواب: ثلاث عمليات محتملة بين الفوتونات والذرات: الأمتصاص Absorption ، والانبعاث التلقائي Spontaneous Emission ، والانبعاث المحفز stimulated emission .

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



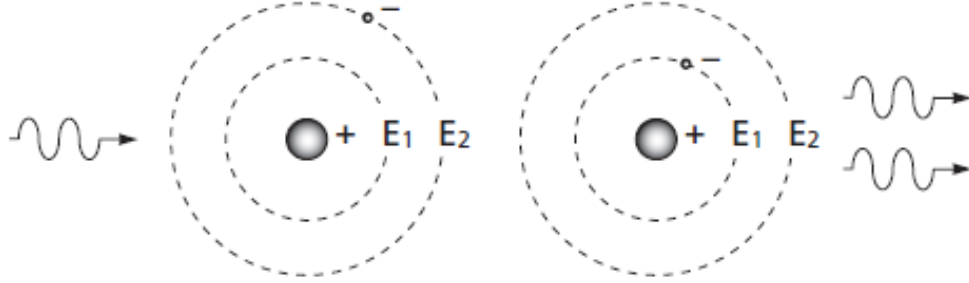
شكل (5): عملية الأمتصاص في نظام ذري

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



شكل (6): عملية الأنبعث التلقائي في نظام ذري

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



stimulated emission

شكل (7): عملية الانبعاث المحث في نظام ذري

يمكن تصنيف هذه العمليات حسب التلقائية الحدوث أو التحفيز الى فئتين هما :

○ الامتصاص 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.

○ الانبعاث 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 المتشابه مع الفوتون القادم

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

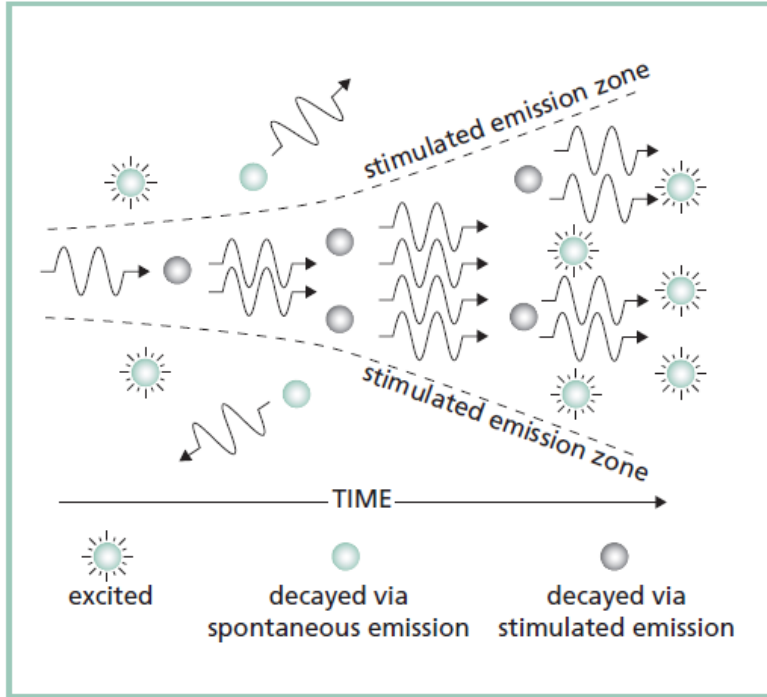
$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

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 الانبعاث المحفز.

هذه العملية التي تم شرحها في الفصل السابق:

LASER = Light Amplification by Stimulated emission of Radiation



شكل (8): التضخيم بواسطة الانبعاث المحفز

2-4-1 متوسط العمر Average Lifetime

تبقى الذرات في المستوى المتييج 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 المثيرة قبل أن يحدث أي انتقال تلقائي. أي أنه وقت الذرات المثارة الذي ستعود بعده إلى مستوى طاقة أقل.

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

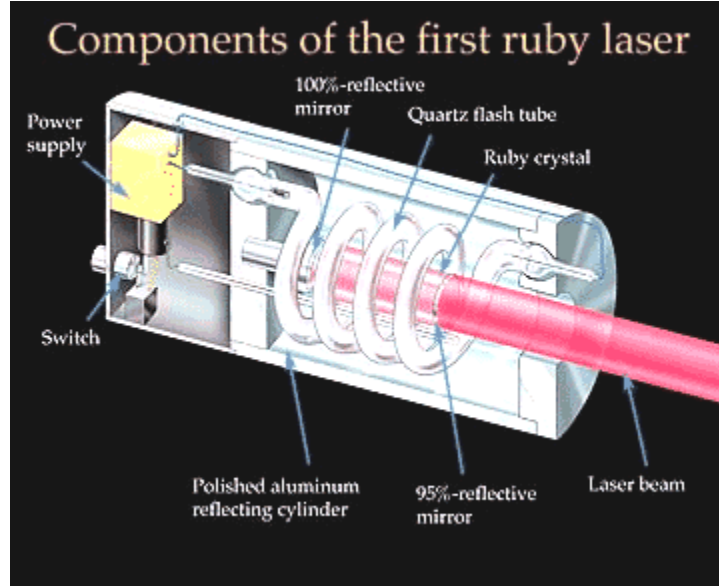
عندما يكون احتمال انتقال منخفض لانتقال محددة، وعمر هذا مستوى الطاقة أطول (حوالي 10^{-3} sec)، ويصبح هذا المستوى مستوى "شبه مستقر" **Metastable**. في هذا المستوى يمكن تجميع عدد كبير من الذرات. كما سنرى، فإنه يمكن لهذا المستوى أن يكون مرشحاً للعمل لليزر.

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، فإن 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:

	<p>فرق جهد عالي يعمل على تزويد المصباح الوميضي بالطاقة الكافية لتوليد ضوء ذو شدة عالية ولفترة زمنية قصيرة. هذا الضوء يعمل على إثارة الذرات في بلورة الياقوت إلى مستويات الطاقة الأعلى.</p>
<p>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 لأنبعث لفوتونات من ذرات أخرى وعندها يبدأ تكبير الضوء.</p>	



شكل (10): خطوات الحصول على فعل الليزر

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