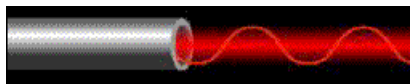


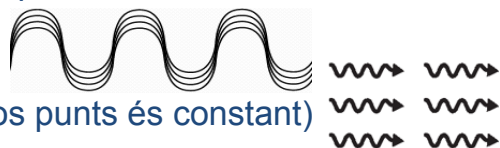
Làser

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation



Un làser és una font de llum que utilitza l'emissió estimulada, per emetre un feix de llum

- **coherent**
(la relació de fase entre dos punts és constant)
- molt **monocromàtic**
(d'un sol color, una sola freqüència)
- **altament direccional**
i molt **col·limat**
(raigs pràcticament paral·lels)
- força **intens**
- sovint **polaritzat**.



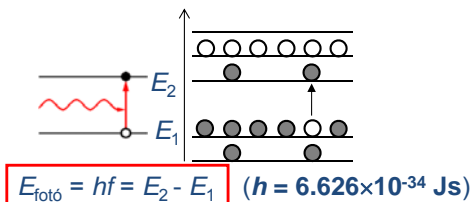
© 2013 Quim Trullàs
Departament de Física i Enginyeria Nuclear
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

El làser es basa en dos fenòmens físics:

- 1) **L'emissió estimulada** en un **medi actiu**
- 2) **Amplificació i interferència** en una **cavitat ressonant**

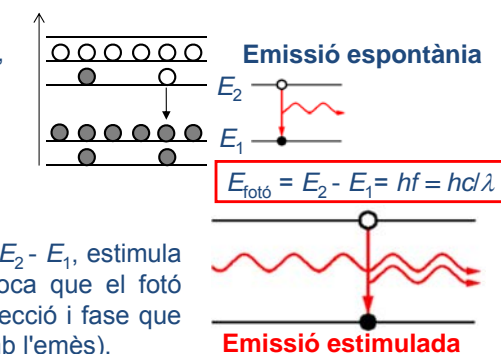
Absorció (excitació):

Quan un electró d'un àtom o molècula absorbeix un fotó, s'excita i passa de l'estat d'energia E_1 on es troba a un d'energia $E_2 > E_1$. Només passa si



Emissió (desexcitació):

Quan un electró d'un àtom o molècula, d'un estat excitat d'energia E_2 , passa a un estat d'energia $E_1 < E_2$, emet un fotó d'energia $E_{\text{fotó}} = E_2 - E_1 = hf$.



▪ **Emissió espontània**

▪ **Emissió estimulada:**
Un fotó incident, amb energia $hf = E_2 - E_1$, estimula la desexcitació de l'electró i provoca que el fotó emès tingui la mateixa energia, direcció i fase que el fotó incident (que **s'amplifica** amb l'emès).

© 2013 Quim Trullàs (UPC)

Làser

2

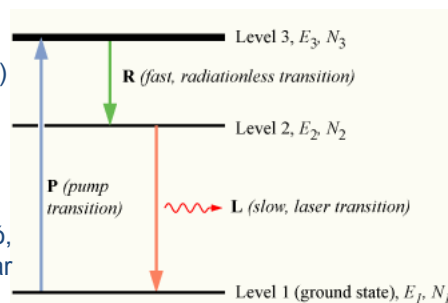
Medi actiu

(material on es produeix l'emissió estimulada)

Els electrons dels seus àtoms o molècules poden ocupar diferents nivells d'energia

$$E_1 \text{ (estat fonamental)} < E_2 < E_3 < \dots$$

Si s'il·lumina el medi actiu hi haurà absorció, doncs l'estat fonamental E_1 acostuma a estar més poblat que els excitats E_2, E_3, \dots



Perquè hi hagi emissió estimulada cal que hi hagi **inversió de població** (que la població del nivell excitat E_2 sigui més gran que la del E_1).

Per aconseguir la inversió de població, es fa un **bombeig**, que consisteix en, amb una font externa (una descàrrega elèctrica, un flaix de llum, un altre làser, una ddp), donar prou energia als electrons perquè pugin a un nivell $E_3 > E_2$.

El nivell E_3 és **poc estable** i els electrons es desexciten ràpidament passant al nivell E_2 que és **metastable**.

Els electrons estan al nivell E_2 prou temps perquè es produeixi la inversió de població i es pugui produir l'emissió estimulada.

© 2013 Quim Trullàs (UPC)

Làser

3

- El primer làser, construït per Maiman el 1960, utilitzava com a medi actiu un cristall de robí dopat que tenia 3 nivells d'energia.

▪ Interactive Physics with Java: The Laser (S. Kiselev and T. Yanovsky-Kiselev)
(http://www.physics.uoquelph.ca/applets/Intro_physics/kisalev/java/laser)

- En altres làsers, com el de Heli-Neó (He-Ne), hi ha 4 nivells d'energia, la qual cosa permet assolir més fàcilment la inversió de població.

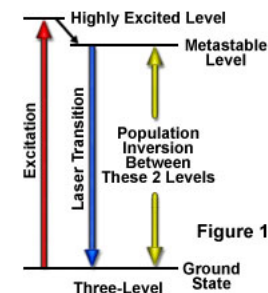
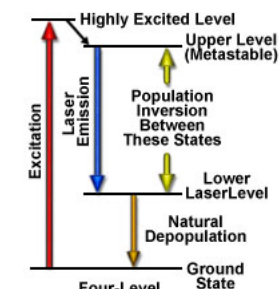
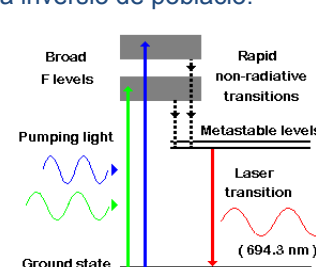


Figure 1



▪ Molecular Expressions / Interactive Java Tutorials: Laser Energy Levels
(<http://micro.magnet.fsu.edu/primer/java/lasers/stimulatedemission>)

© 2013 Quim Trullàs (UPC)

Làser

4

Cavitat ressonant (o interferòmetre)

La cavitat ressonant, acostuma a consistir en dos miralls als extrems del medi actiu (1):

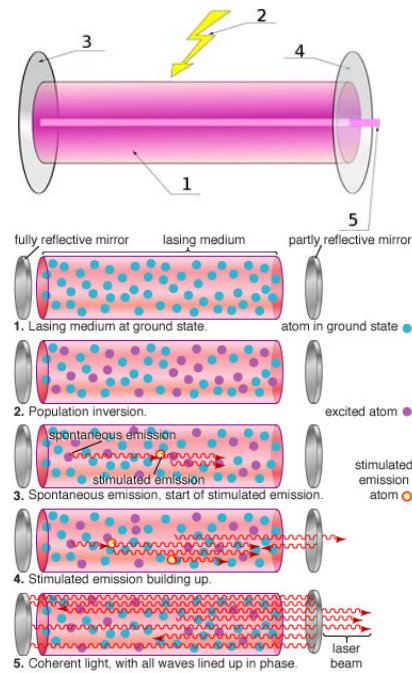
- (3) un perfectament reflector,
- (4) un que deixa passar una part de llum, la que surt del làser (4).

Sense miralls, el feix de llum que es genera només passaria un cop pel medi actiu.

Amb miralls, el feix es confina i està obligat a fer un camí d'anada i tornada entre els miralls de manera que a cada pas s'**amplifica** (amb **interferència constructiva**) cada vegada més gràcies a l'emissió estimulada.

Jugant amb la distància entre miralls i la seva reflectivitat, s'aconsegueix l'equilibri entre l'amplificació del feix i la pèrdua d'energia a través del mirall amb la llum útil que emet.

- Molecular Expressions / Interactive Java Tutorials: Stimulated Emission in a Laser Cavity (<http://micro.magnet.fsu.edu/primer/java/lasers/heliumneonlaser/>)



Resum del procés d'emissió làser

1. El **bombeig** (amb una descàrrega elèctrica, un flaix de llum, un altre làser, una diferència de potencial) excita electrons i crea la inversió de població: més electrons excitats que en estats de menor energia.
2. Els àtoms retornen a un estat inferior d'energia per **emissió espontània**, emetent fotons de qualsevol fase i en qualsevol direcció. La majoria d'aquests fotons es perden sense més efecte.
3. Alguns dels fotons emesos surten aleatòriament en la direcció de l'eix de la **cavitat ressonant** i queden confinats pels miralls, viatjant endavant i endarrere.
4. Els fotons confinats provoquen l'**emissió estimulada** de nous fotons en interaccionar amb el medi actiu (que segueix en inversió de població pel bombeig).
5. L'emissió estimulada assegura que els nous fotons seran idèntics (en freqüència, fase i direcció) a l'original.
6. Els nous fotons s'afegeixen al procés iniciat pels primers al pas 3.
7. La quantitat de fotons generada creix exponencialment fins que el ritme de creació s'equilibra amb les pèrdues de llum a través d'un dels miralls (la llum làser que surt de l'aparell i que podem aprofitar).
8. L'emissió espontània (aleatòria i en totes direccions) segueix tenint lloc, però és negligible comparada amb l'estimulada.

Alguns tipus de làser:

- **Gas:** El medi actiu és un gas com He-Ne ($\lambda = 633 \text{ nm}$) o Ar. En el He-Ne el bombeig es fa per descàrrega elèctrica d'uns 1000 V. S'utilitzen en d'espectacles, discoteques i laboratoris (de 1 a 100 mW).
- **Estat sòlid:** El medi actiu és un cristall dopat (com el de robí, ara poc utilitzat). El bombeig es fa amb llum.
- **Semiconductors:** El medi és un díode (λ entre 375 i 1800 nm). El bombeig es fa polaritzant directament al díode. Molt habituals: DVD, punters làser, lectors codis barres, etc. Poden ser de 10 kW i s'usen a la indústria per tallar i soldar.

Algunes aplicacions:

- Lectura i gravació en suports òptics digitals (CD, DVD, Làser Disc, etc.)
- Lectura de codis (de barres, matricials, etc.)
- Mesura de distàncies (telemetria) i velocitats
- Medicina (cirurgia, oftalmologia, dermatologia)
- Tractament de materials (tall, soldadura, etc.)
- Impressió làser
- Holografia
- Telecomunicacions per fibra òptica
- Transmissió entre satèl·lits

Energia i potència d'un làser

Energia d'un feix làser de N fotons $\equiv E = Nhf = Nhcl/\lambda$ ($h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}$)

Potència d'emissió d'un làser $\equiv P = \Delta E/\Delta t = nhf = nhcl/\lambda$

$n = \Delta N/\Delta t \equiv$ fotons emesos per unitat de temps

Potència	Aplicacions	tipus
1-5 mW	Punters làser	Semiconductors
5-10 mW	DVD player	Semiconductors
250 mW	DVD burner	Semiconductors
1-20 W	Microtecnologia	Estat sòlid
30-100 W	Cirurgia	Gas (CO ₂)
100-3000 W	Tall de metalls	Gas (CO ₂)

▪ Funcionamiento del Láser

(<http://www.youtube.com/watch?v=idO7i5N2G5Q&feature=related>)