

Laser?

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

- Produce un fascio coerente di radiazione ottica da una stimolazione elettronica, ionica, o transizione molecolare a più alti livelli energetici
- Ritornando a livelli energetici più bassi da emissione stimolata, emettono energia.

Proprietà dei laser

- **Monocromatico**

Concentrato in uno stretto range di lunghezze d'onda (one solo colore).

- **Coerente**

Tutti i fotoni hanno fase costante sia nel tempo sia nello spazio

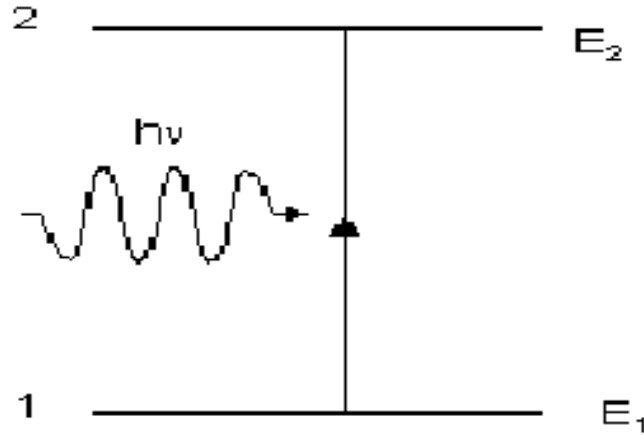
- **Direzionale**

Uno fascio molto stretto di forte intensità e concentrato

Concetti di base sui laser

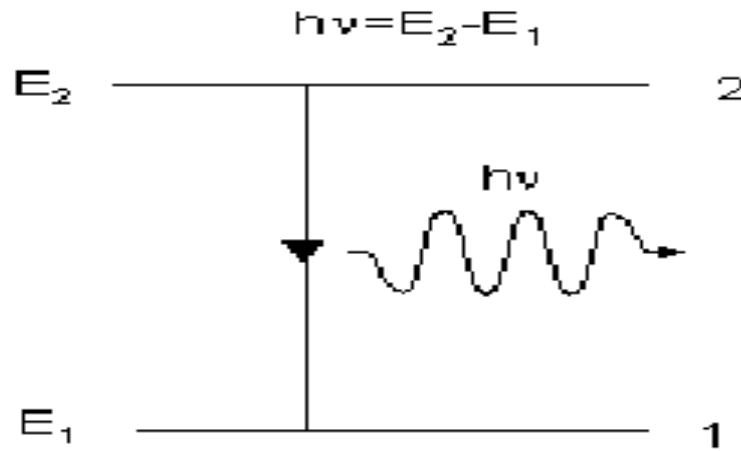
- Assorbimento
- Emissione spontanea
- Emissione stimolata
- Inversione della popolazione

Assorbimento



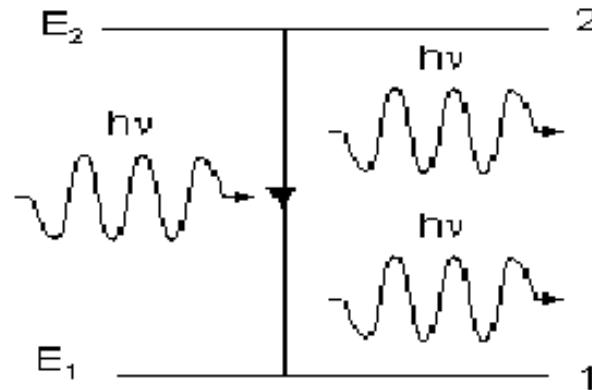
- L' energia è assorbita da un atomo, gli elettroni vengono **eccitati** ad un livello energetico libero.

Emissione spontanea



- L' atomo decade dal livello 2 al livello 1 attraverso l'emissione di un fotone con una energia $h\nu$.
E un processo completamente casuale

Emissione stimolata



Gli atomi su un livello energetico maggiore possono essere stimolati in fase da un fotone con una energia specifica.

Emissione stimolata

I fotoni stimolati hanno le seguenti proprietà:

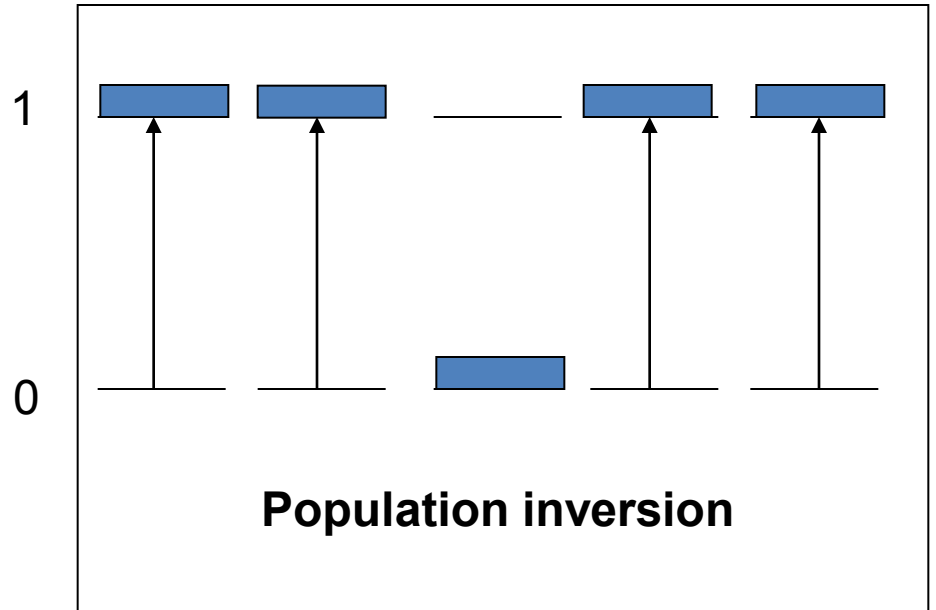
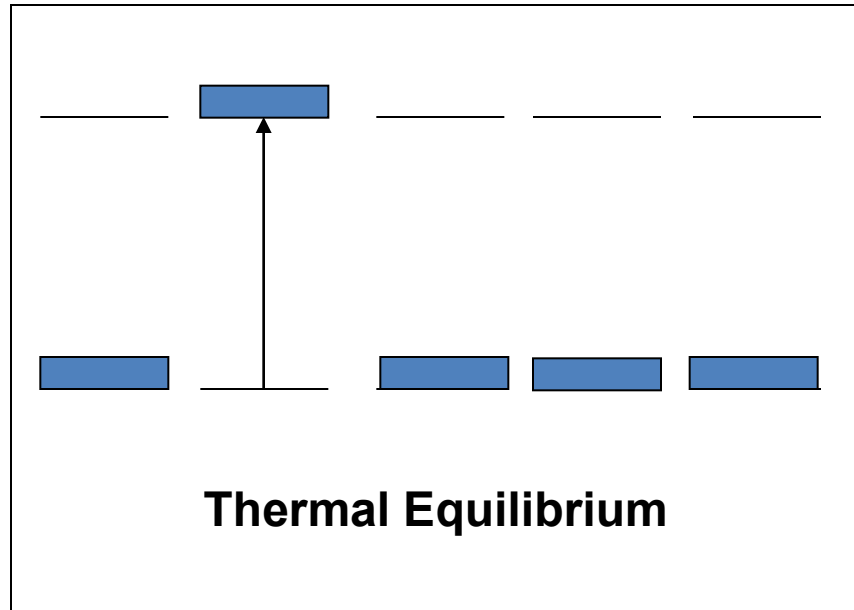
- In fase con il fotone incidente
- Stessa lunghezza d'onda come il fotone incidente
- Viaggiano nella stessa direzione come il fotone incidente

Inversione di popolazione

- Uno stato in cui una sostanza è stata energizzata o eccitata a livelli energetici specifici.
- Più atomi o molecole sono in un stato eccitato.
- Il processo di produzione di popolazione inversa è chiamato pompaggio.
- Esempi:
 - con lampade di una intensità appropriata
 - con scarica elettrica

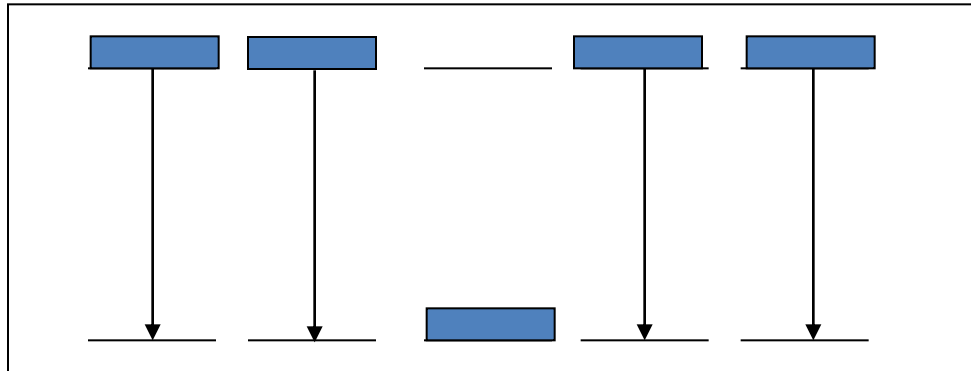
Come si forma uno stato eccitato metastabile ?

L'inversione di popolazione è necessaria per avere uno stato eccitato metastabile



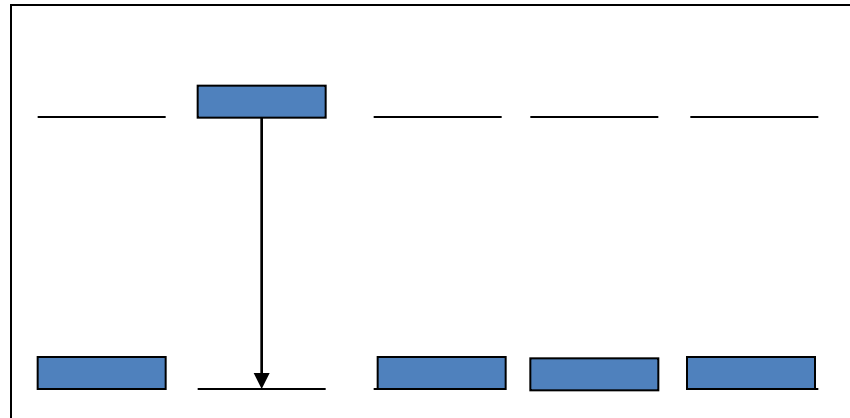
Inversione di popolazione: il numero di particelle nel livello più alto eccede il numero di particelle nel livello più basso.

Emissione Stimolata di Radiazione



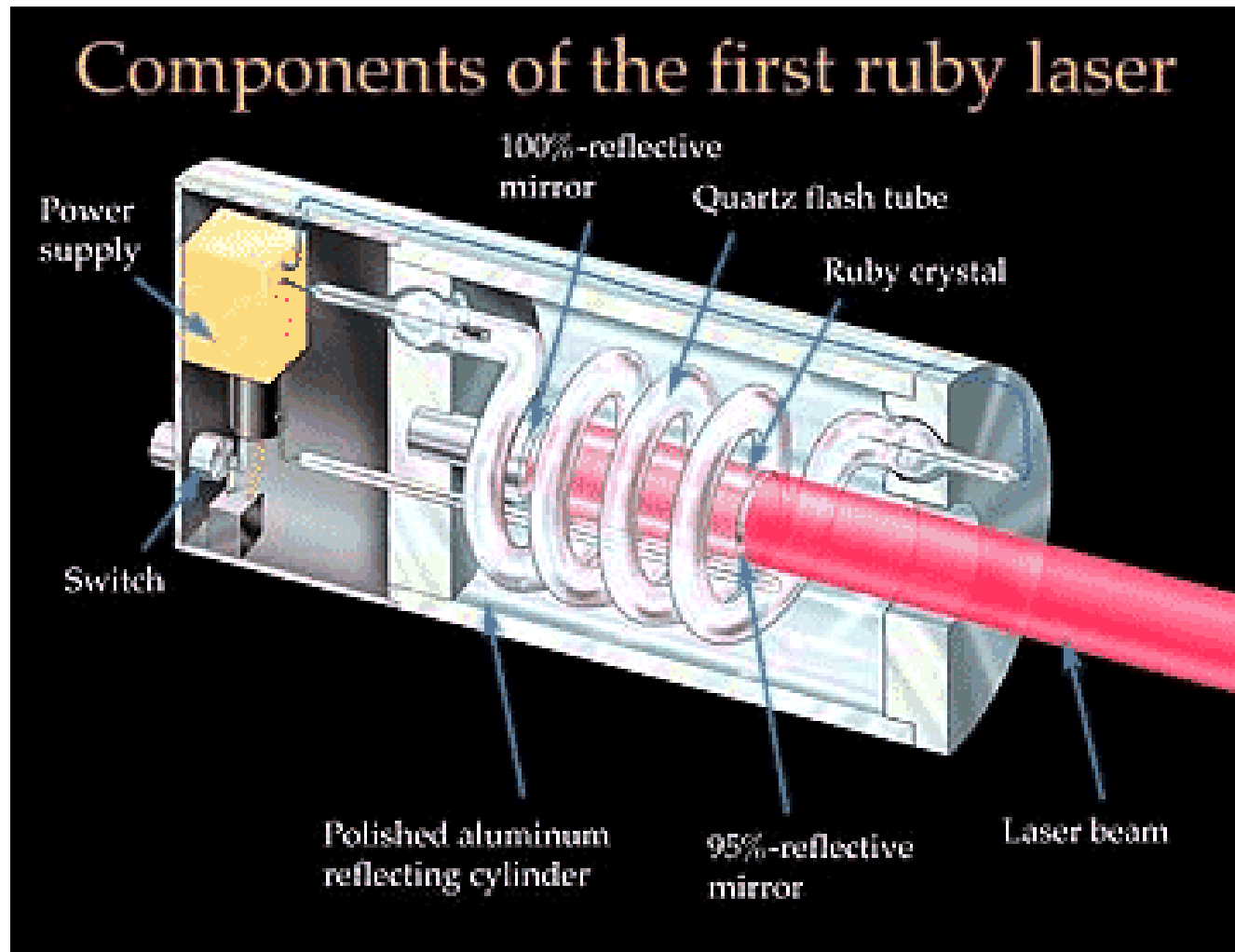
Coherence Emission

Emissione spontanea (fluorescenza)

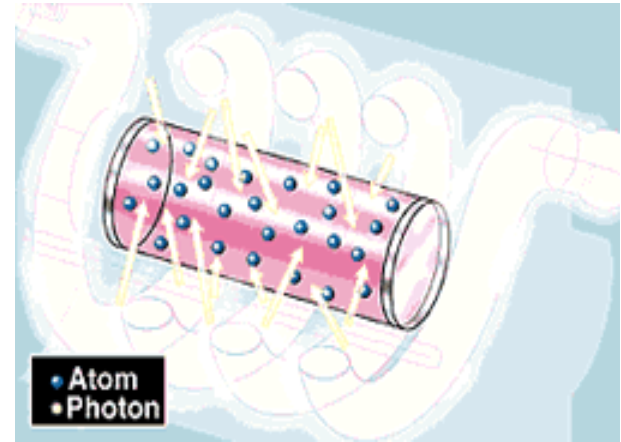


Random and incoherence Emission

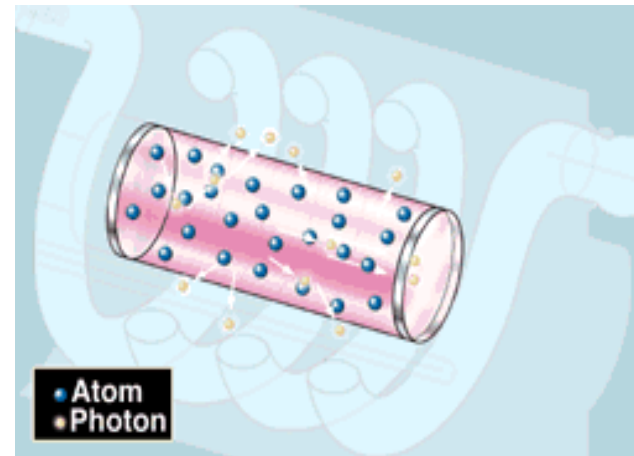
Come funziona un laser?



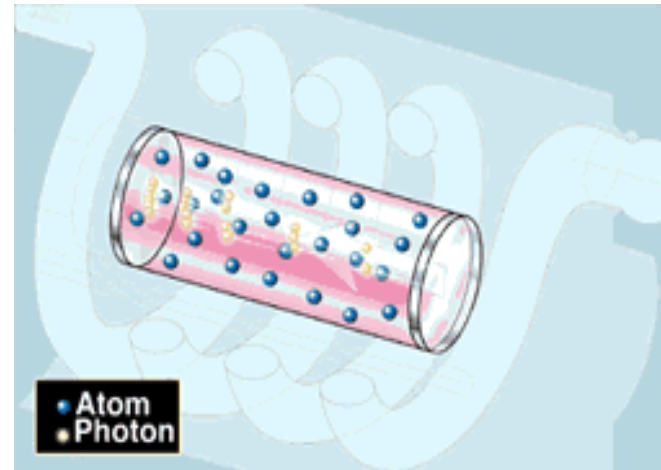
1. Alto voltaggio causa il tubo ad emettere un intensa scarica di luce, eccitando alcuni dei Cr^{3+} a livelli energetici più alti.



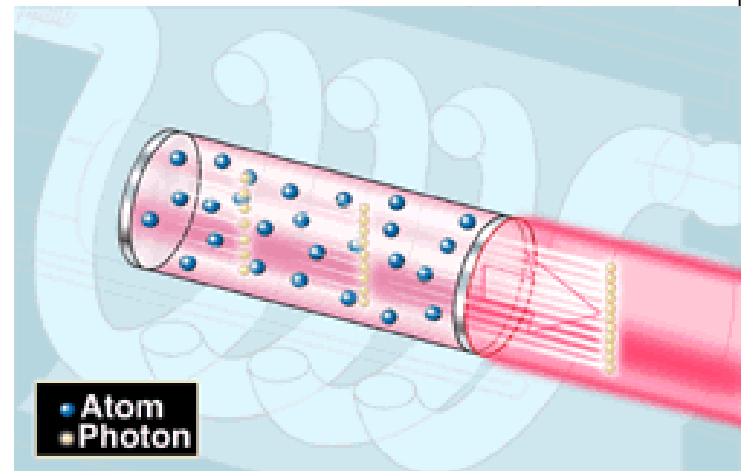
2. Ad uno specifico livello energetico Cr^{3+} emettono fotoni. I fotoni sono emessi in tutte le direzioni. Fotoni da un Cr^{3+} stimolano emissione di fotoni da altri Cr^{3+} e l'intensità della luce viene rapidamente amplificata.



3. Specchi ai lati riflettono I fotoni avanti ed indietro, continuando il processo di emissione stimolata ed amplificazione.



4. I fotoni passano attraverso la superficie parzialmente riflettente da una parte. Esce la luce laser.



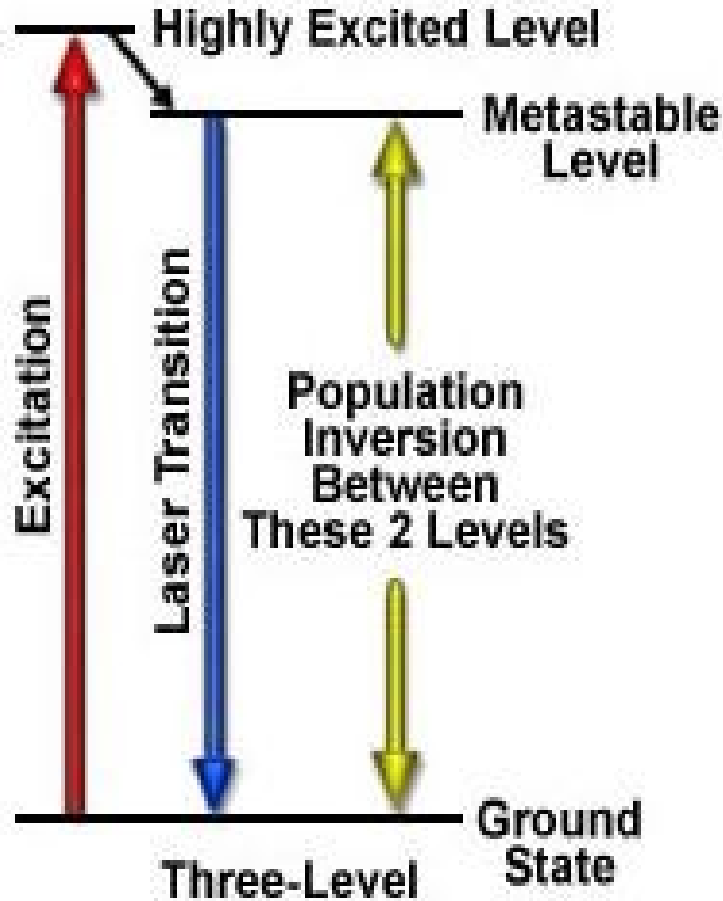
Sistema laser a due livelli

- Impossibile

Assorbimento e processo stimolato si neutralizzano a vicenda.

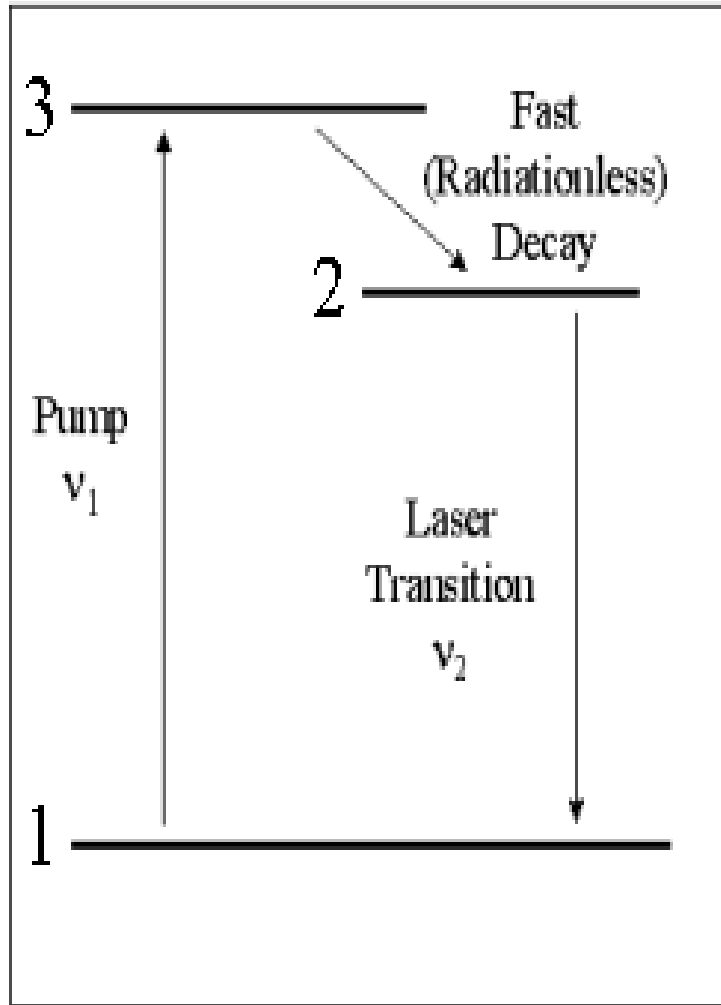
- Il materiale diventa trasparente

Sistema laser a tre livelli



- Inizialmente eccitato ad un livello ad alta energia e basso tempo di vita.
- Poi velocemente decade ad un livello intermedio metastabile.
- Inversione di popolazione è creata tra il livello fondamentale e livello energetico metastabile.

Sistema laser a tre livelli



Three Level Scheme

$$\tau_3 \ll \tau_2$$

$$\tau_1 \ll \tau_2$$

Nd:YAG laser

$$\lambda = 1.06 \text{ } \mu m$$

$$\tau_2 \approx 2.3 \times 10^{-4} s$$

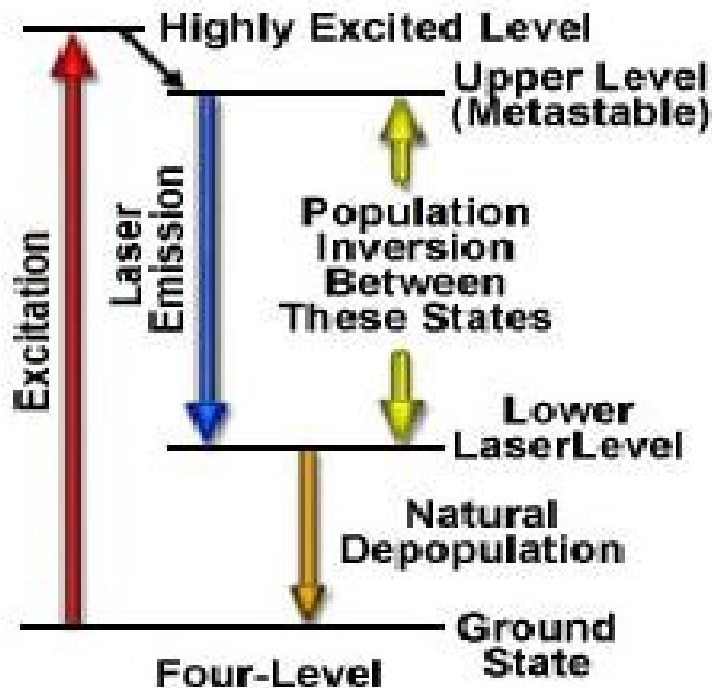
He-Ne laser

$$\lambda_1 = 3.39 \text{ } \mu m \quad \lambda_2 = 0.6328 \text{ } \mu m$$

$$\lambda_3 = 1.15 \text{ } \mu m$$

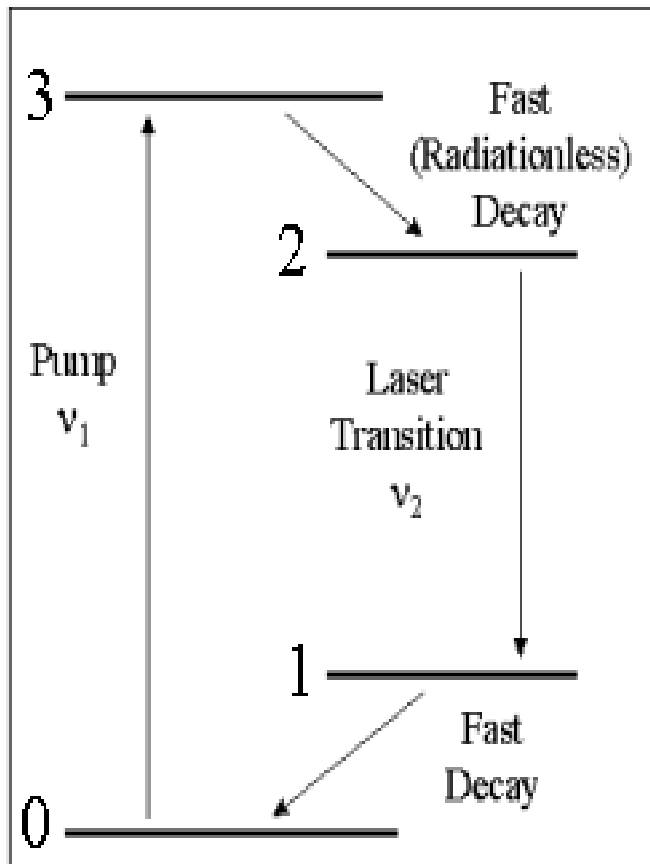
$$\tau_2 \approx 100 ns \quad \tau_1 \approx 10 ns$$

Sistema laser a quattro livelli



- Le transizioni Laser tra il terzo ed il secondo stato eccitato.
- Rapida depopolazione del livello laser più basso.

Four-level Laser System



Four Level Scheme

$$\tau_3 \ll \tau_2$$

Ruby laser

$$\lambda_1 = 0.6943 \mu m$$

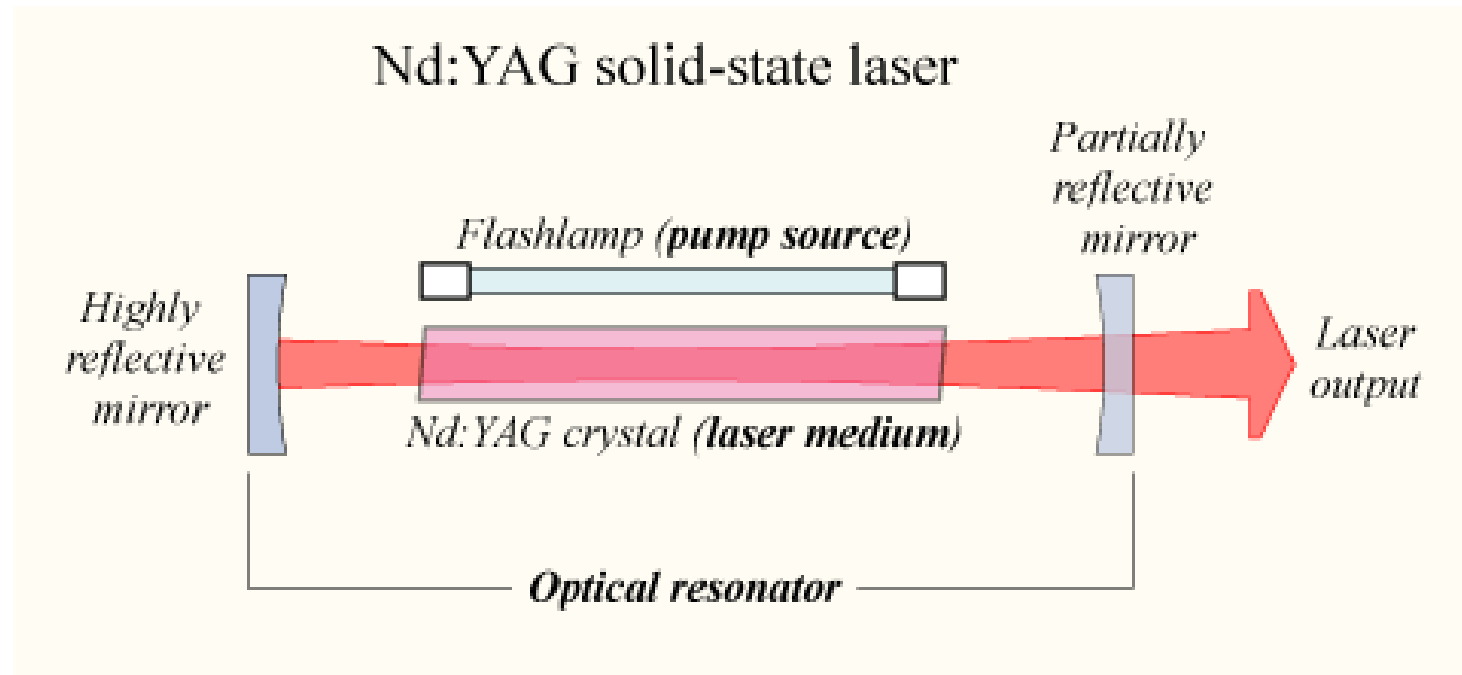
$$\lambda_2 = 0.6928 \mu m$$

$$\tau_3 \approx 10^{-7} s \quad \tau_2 \approx 3 \cdot 10^{-3} s$$

Costruzione di un Laser

- Una sorgente pompa
- Un mezzo di guadagno o mezzo laser.
- Gli specchi formando un risonatore ottico.

Costruzione di un Laser



Sorgente pompa

- Fornisce energia al sistema laser
- Esempi: scariche elettriche, lampade ad arco, reazioni chimiche.
- Il tipo di sorgente pompa usato dipende dal mezzo di guadagno.
 - Un laser elio-neon usa una scarica elettrica nella miscela gassosa.
 - Laser ad eccimeri usano una reazione chimica.

Mezzo di guadagno

- Fattore determinante la lunghezza d'onda di operazione del laser.
- Viene eccitato dalla pompa per produrre una inversione di popolazione.
- E' il mezzo in cui avviene l'emissione spontanea e stimolata dei fotoni.
- Esempio:
solido, liquido, gas o semiconduttore.

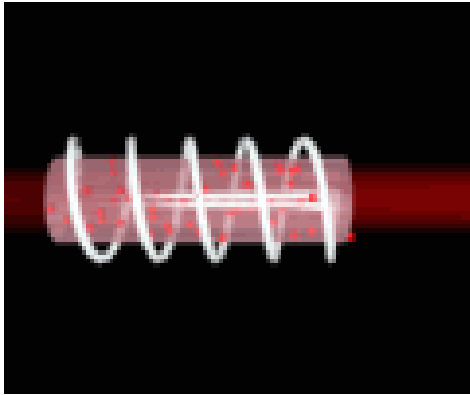
Risonatore ottico

- Due specchi paralleli messi accanto al mezzo di guadagno.
- La luce viene riflessa dagli specchi indietro verso il mezzo e viene amplificata.
- Il disegno e l'allineamento degli specchi rispetto al mezzo è cruciale.

Tipi di Laser

- Divisi rispetto al **materiale attivo**:
stato solido, liquido, gas, eccimeri o laser a semiconduttore.
- Rispetto alla **lunghezza d'onda**:
infra-rosso, visibile, ultra-violetto (UV) o raggi X

Laser a stato solido



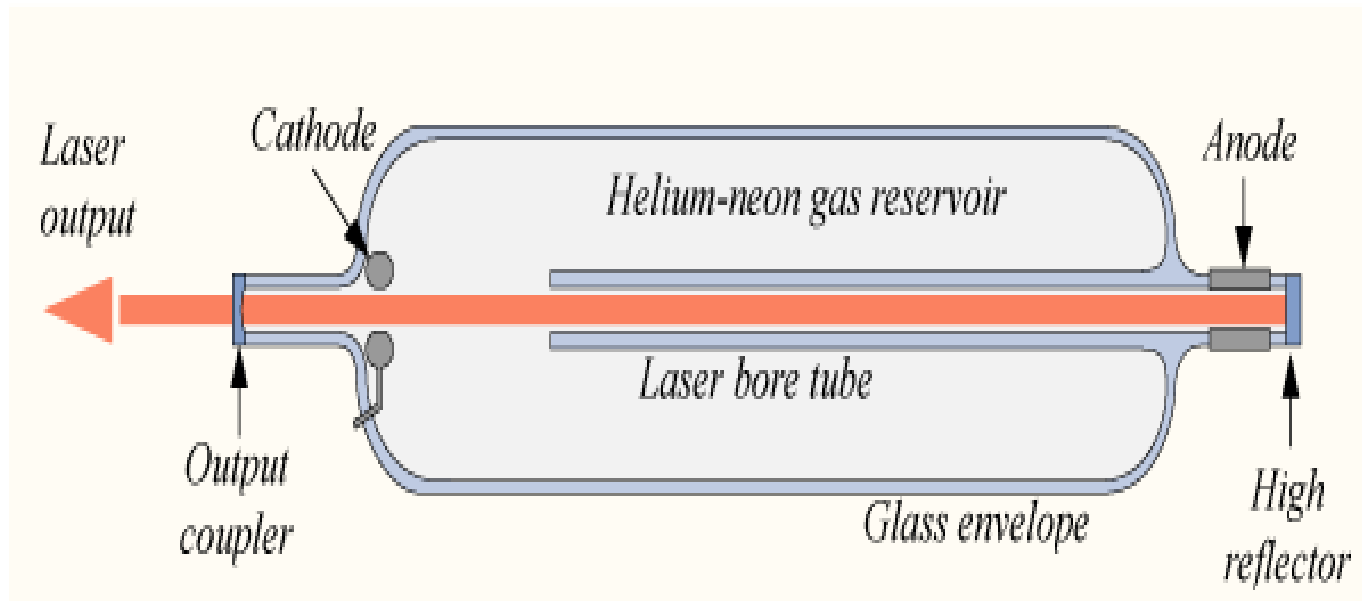
- Esempio: Laser a rubino
 - Lunghezza d'onda: 694.3 nm (IR)
 - Sistema a 3 livelli: assorbe verde/blu
-
- Mezzo di guadagno: cristallo di ossido di alluminio (Al_2O_3) con piccole parti di atomi di alluminio viene sostituito da Cr^{3+} ions.
 - Sorgente pompa: lampada flash
 - Le estremità del tubo di rubino funzionano come specchi laser.

Laser liquido

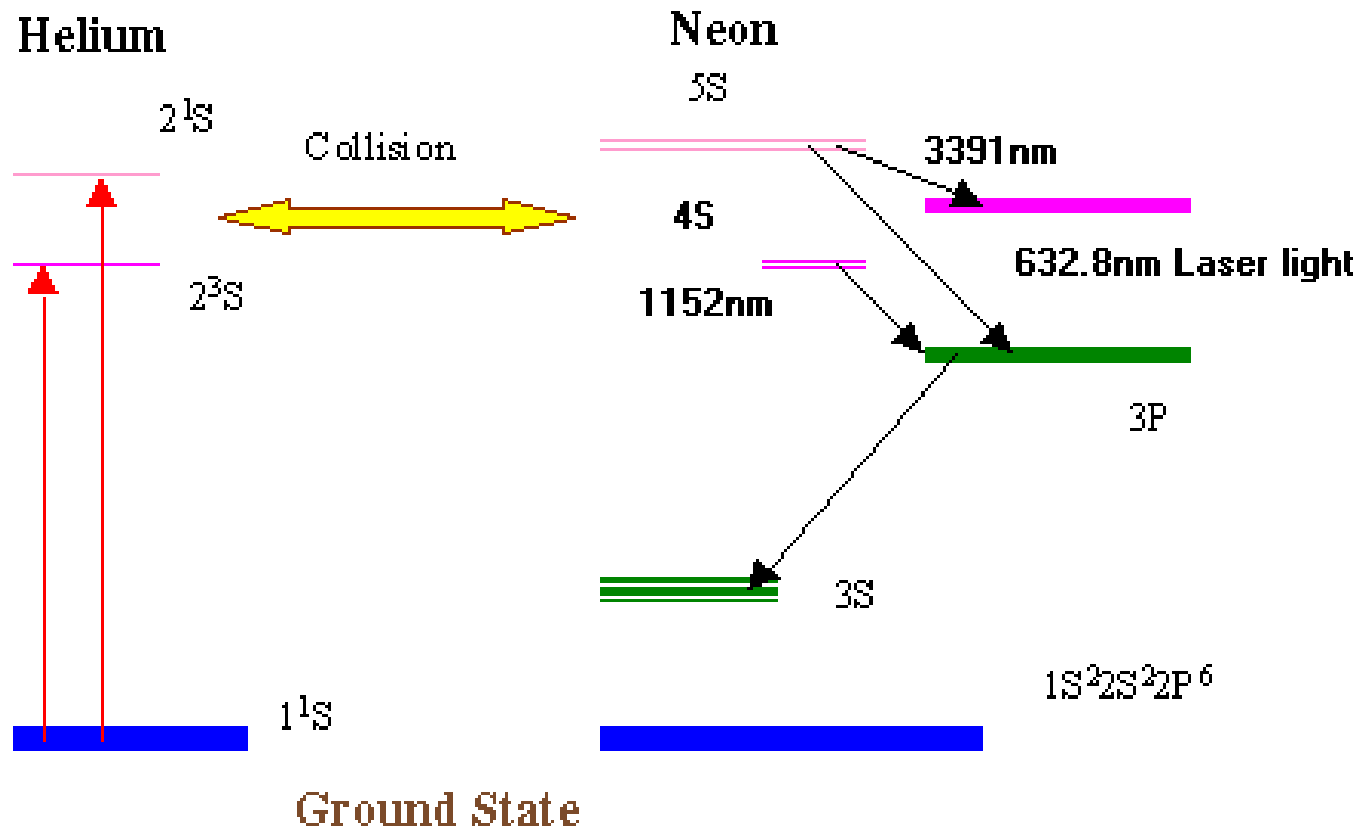
- Esempio: laser dye
- Mezzo di guadagno: complessi di coloranti, come la rodamina 6G, in soluzione liquida o in sospensione.
- Sorgente pompa: altri laser o lampade flash.
- Diverse lunghezze d'onda dipendenti dal tipo di colorante.

Gas Laser

- Esempio: Laser elio-neon (He-Ne laser)
- Lunghezza d'onda: 632.8 nm
- Sorgente di pompa: scarica elettrica
- Mezzo di guadagno: miscela di gas elio e neon



He-Ne laser



$$\lambda_1 = 3.39 \mu\text{m} \quad \lambda_2 = 0.6328 \mu\text{m} \quad \lambda_3 = 1.15 \mu\text{m}$$