



LUNDS UNIVERSITET  
Lunds Tekniska Högskola

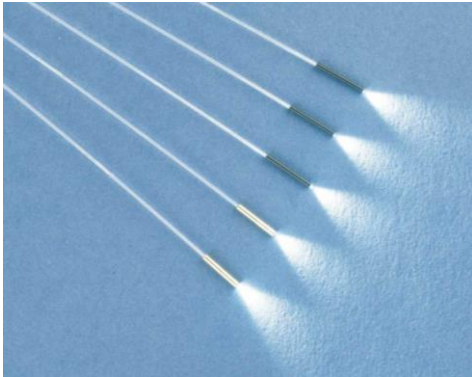
# F11 Lasern och detektorer

---

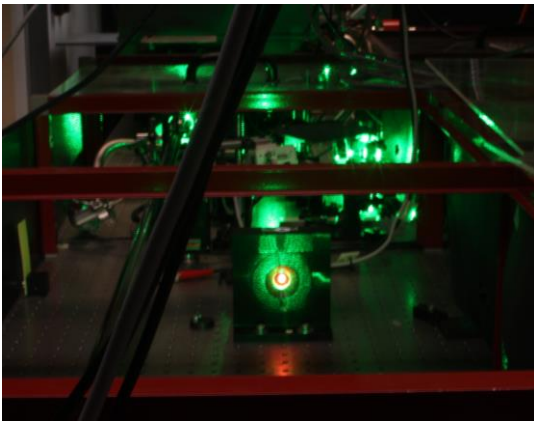


# Dagens föreläsning – Fotonik

---



- F9 – Vågledare och optiska fiber
  - F10 – Fiberoptik och ljuskällor
  - F11 – Lasern och detektorer
  - F12 – Fiberoptiska system
- 



- Hur fungerar en laser?
- Olika lasertyper
- Fotodetektorer
- Halvledare



# Vad är en laser?

---

**L**ight  
**A**mplification by  
**S**timulated  
**E**mission of  
**R**adiation

## Egenskaper:

- Monokroma
- Väldefinierad riktning
- Koherenta
- Hög intensitet
- Korta ljuspulser

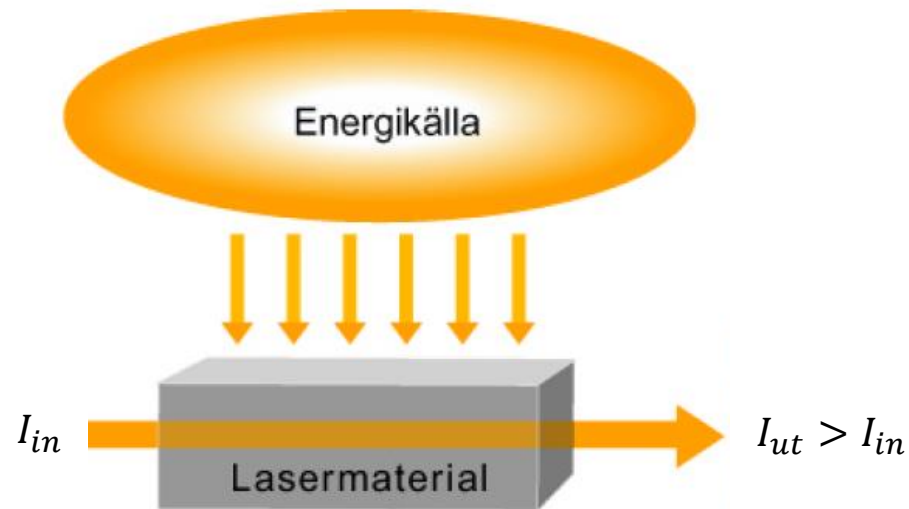


**LUNDS UNIVERSITET**  
Lunds Tekniska Högskola



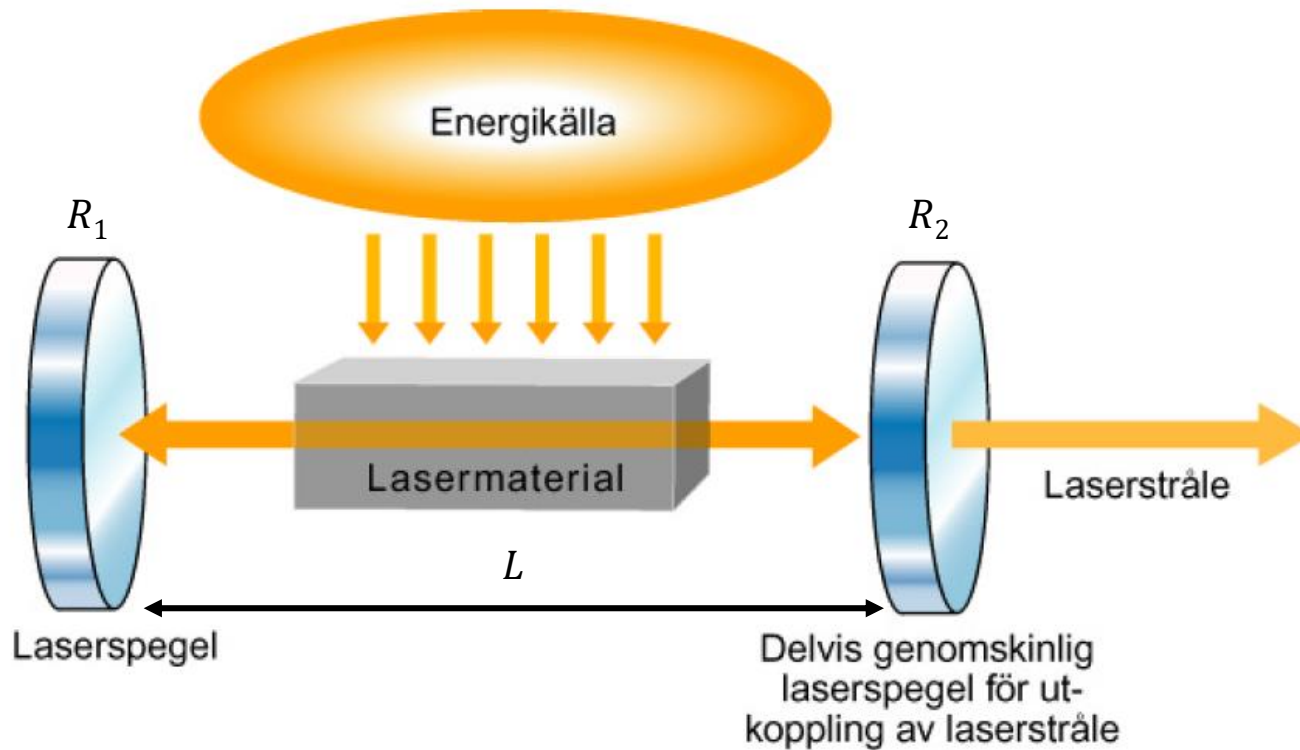
# Hur fungerar en laser?

---



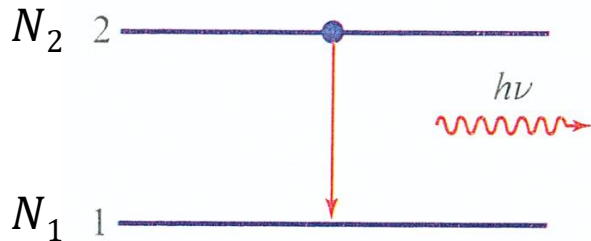
# Hur fungerar en laser?

---



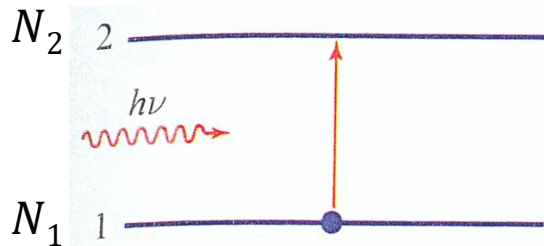
# Hur förstärks ljuset i en laser?

## Tre fundamentala processer



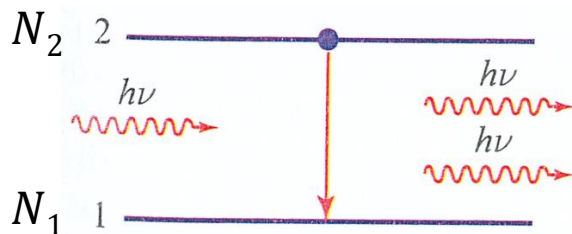
Spontan emission

$$\left( \frac{dN_2}{dt} \right)_{spe} = -A_{21} \cdot N_2 = -\frac{N_2}{\tau}$$



Stimulerad absorption

$$\left( \frac{dN_2}{dt} \right)_{sta} = \rho(f) B_{12} \cdot N_1$$



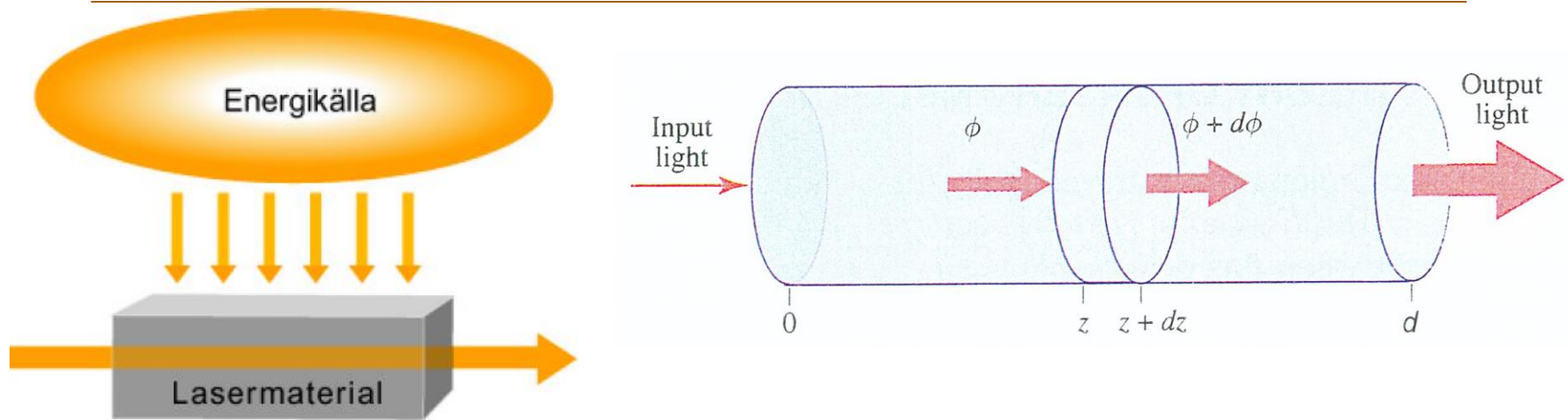
Stimulerad emission

$$\left( \frac{dN_2}{dt} \right)_{ste} = -\rho(f) B_{21} \cdot N_2$$





# Hur förstärks ljuset en laser?



- Laserverkan bygger på förstärkning genom stimulerad emission
- Detta kräver
  - Försumbar spontan emission
  - Att stimulerad emission dominerar stimulerad absorption



# Relation mellan Einsteinkoefficienterna

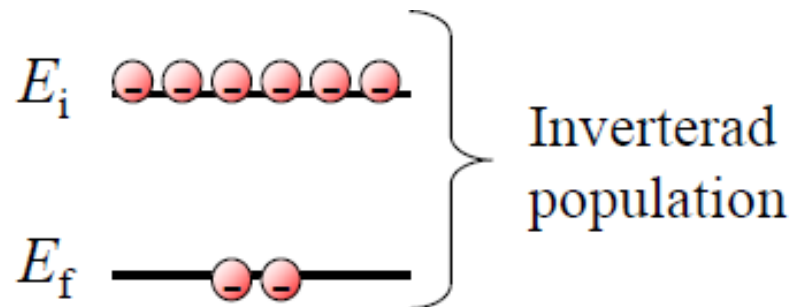
- Stimulerad absorption och emission lika sannolika
- Stimulerade vs. spontana processen skalar med  $\lambda^3$ 
  - Svårare att bygga en laser i röntgenområdet

$$B_{12} = B_{21} = \frac{\lambda^3}{8\pi h \tau}$$

- Hur många fotoner skapas?

$$\frac{d\rho}{dt} = \rho(f)B_{21}N_2 - \rho(f)B_{12}N_1 = (N_2 - N_1)\rho(f)\frac{\lambda^3}{8\pi h \tau}$$

- För laserverkan krävs att  $N_2 - N_1 > 0$ 
  - Detta kallas inverterad population
  - Omöjligt vid termisk jämvikt





# Förstärkning i en laser

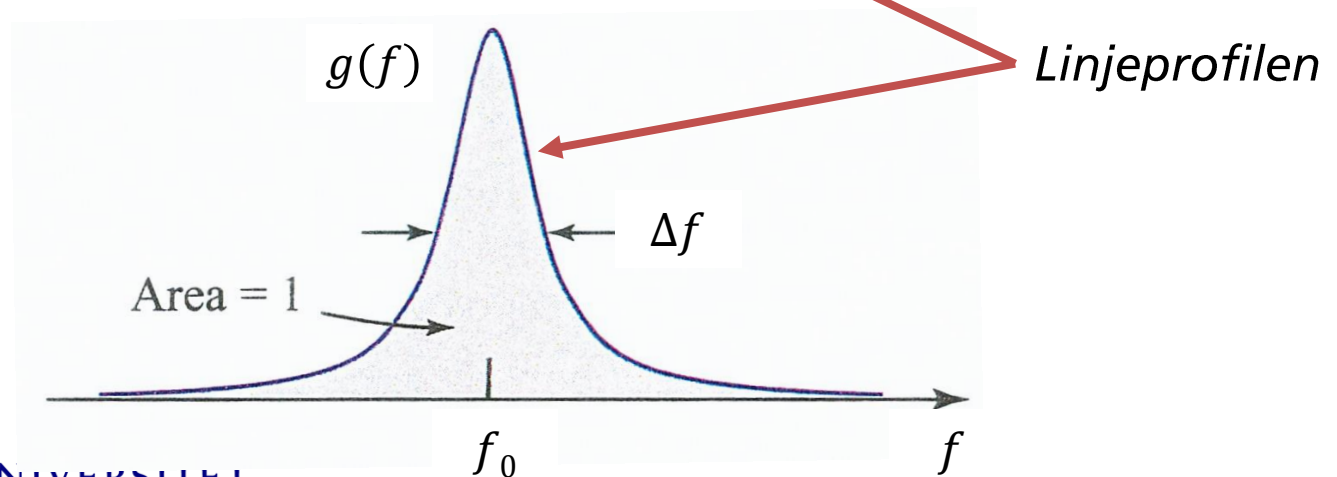
## Linjebredd

- I realiteten har varje övergång en viss linjeprofil, dvs. en frekvensbredd.
- En fullständig beräkning ger

$$I(x) = I(0) \cdot e^{\gamma(f)x}$$

- med förstärkningskoefficienten

$$\gamma(f) = (N_2 - N_1) \frac{\lambda^2}{8\pi\tau} g(f)$$

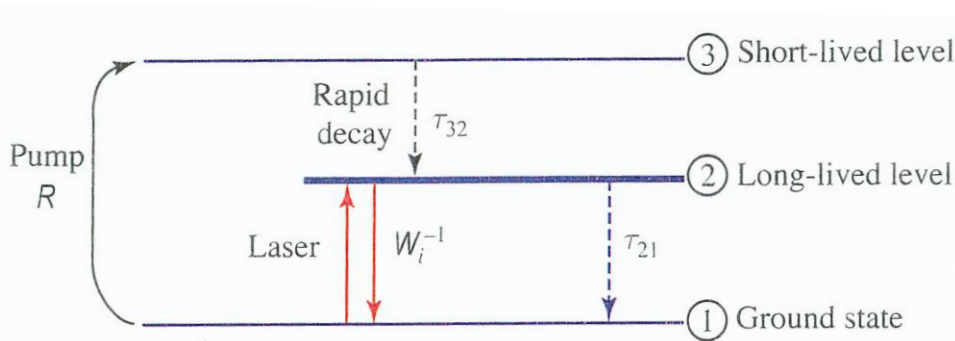


# Hur fungerar en laser?

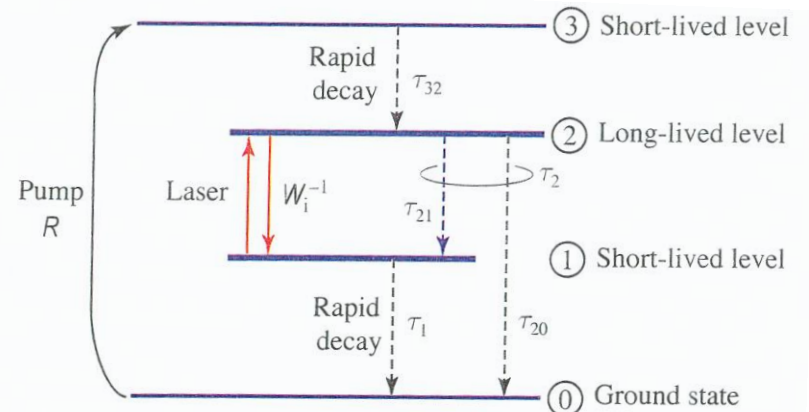
## Populationsinversion

- Utnyttjar flera energinivåer i en atom med olika livstider

### Trenivålasrar



### Fyranivålasrar



# Exempeluppgift

## Rubinlaser

---

I en rubinlaser används en rubinstav som innehåller  $10^{17}$   $\text{Cr}^{3+}$ -joner per kubikcentimeter. Lasring sker mellan energinivåer i  $\text{Cr}^{3+}$ -jonerna. Livstiden för den övre lasernivån är 3 ms och våglängden för övergången är 694 nm. Brytningsindex för rubinstaven är 1,78. Linjeprofilens maximum är  $g(f_0) = 6,7$  ps.

a) Vad är förstärkningskoefficienten  $\gamma(f_0)$  om 75% av populationen pumpas till den övre nivån?

Om staven är 1 meter lång, vad blir intensitetsförändringen för ljus med denna våglängd våglängd som skickas genom den?



# Laseroscillatorn

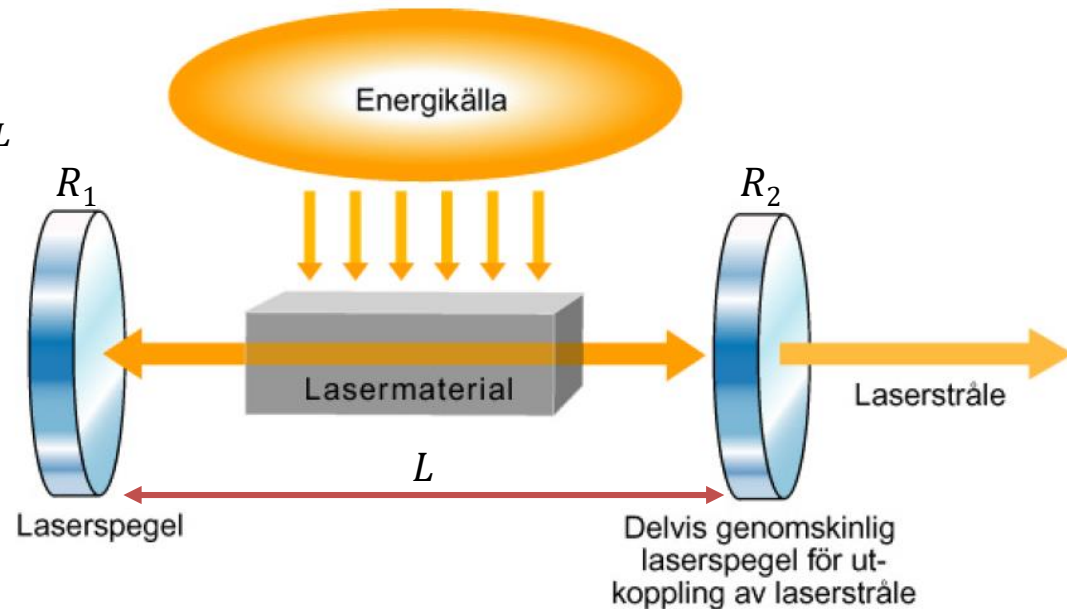
- Longitudinella kavitetsmoder

$$f_m = m \cdot \frac{c}{2nL}$$

- $m$  är heltal
- $L$  är kavitets fysiska längd
- $n$  är kavitets viktade brytningsindex

- Förstärkning per rundtrip

$$\frac{I_{n+1}}{I_n} = R_1 R_2 e^{2\gamma(f)L}$$



# Exempeluppgift

## Rubinlaser

---

I en rubinlaser används en rubinstav som innehåller  $10^{17}$   $\text{Cr}^{3+}$ -joner per kubikcentimeter. Lasring sker mellan energinivåer i  $\text{Cr}^{3+}$ -jonerna. Livstiden för den övre lasernivån är 3 ms och våglängden för övergången är 694 nm. Brytningsindex för rubinstaven är 1,78. Linjeprofilens maximum är  $\gamma(f_0) = 6,7$  ps.

**b)** Rubinstaven är 5 cm lång och placeras i en kavitet där en av ändspegelarna har 100% reflektans, och den andra har en lägre reflektans för att koppla ut en del av laserljuset. Vilken är den minsta reflektans som den andra spegeln kan ha för att få förstärkning i kaviteten då 75% av populationen pumpas till den övre lasernivån?



# Vad används lasrar till?

---

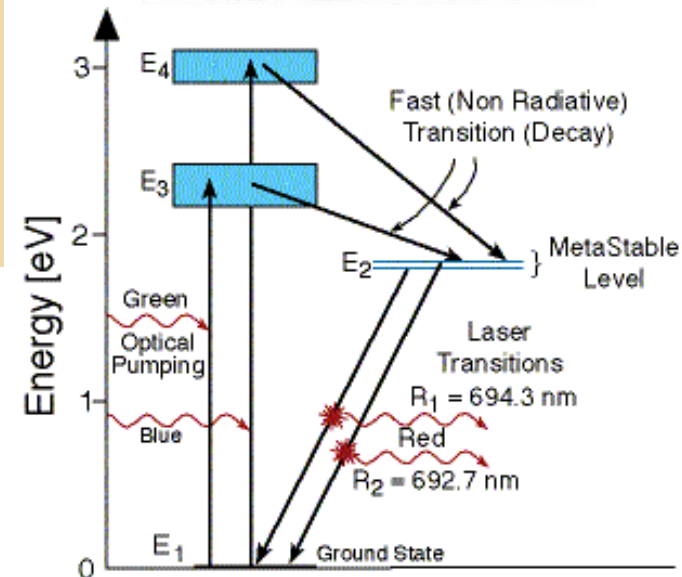
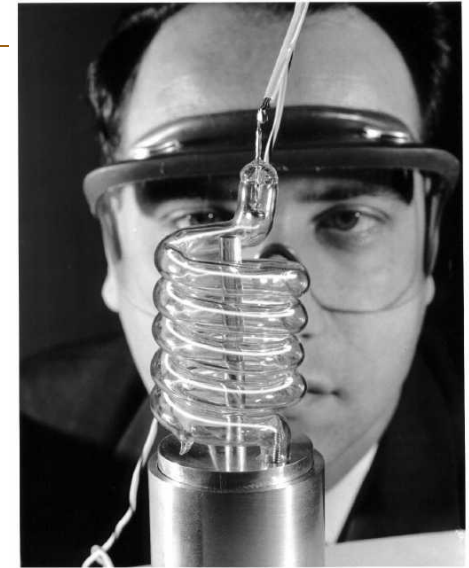
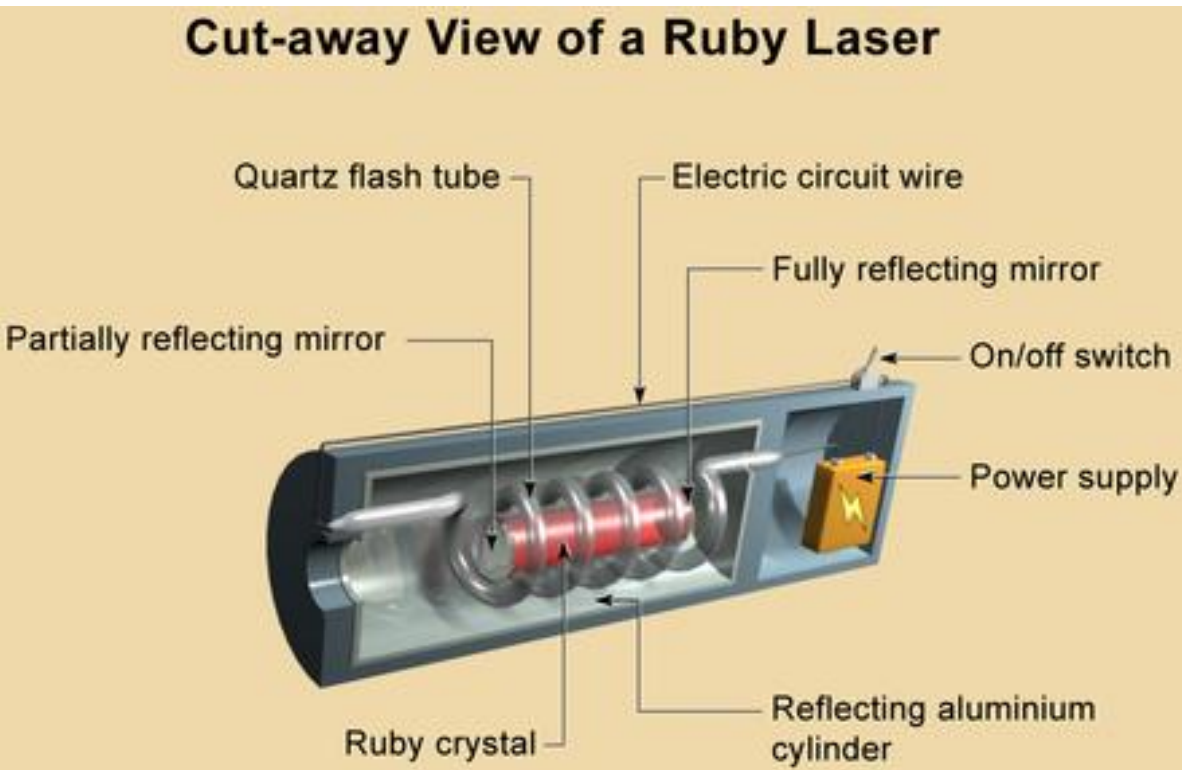
- Optisk kommunikation
- Optiska minnen (CD / DVD / Blu-ray)
- Avståndsbestämning
- Materialbearbetning
- Medicin (kirurgi, diagnostik)
- Forskning
  - Spektroskopi
  - Tidsupplösta mätningar
  - ...



# Kristallasrar

Exempel: Rubinlasern – den första lasern

Theodore Maiman, 1960

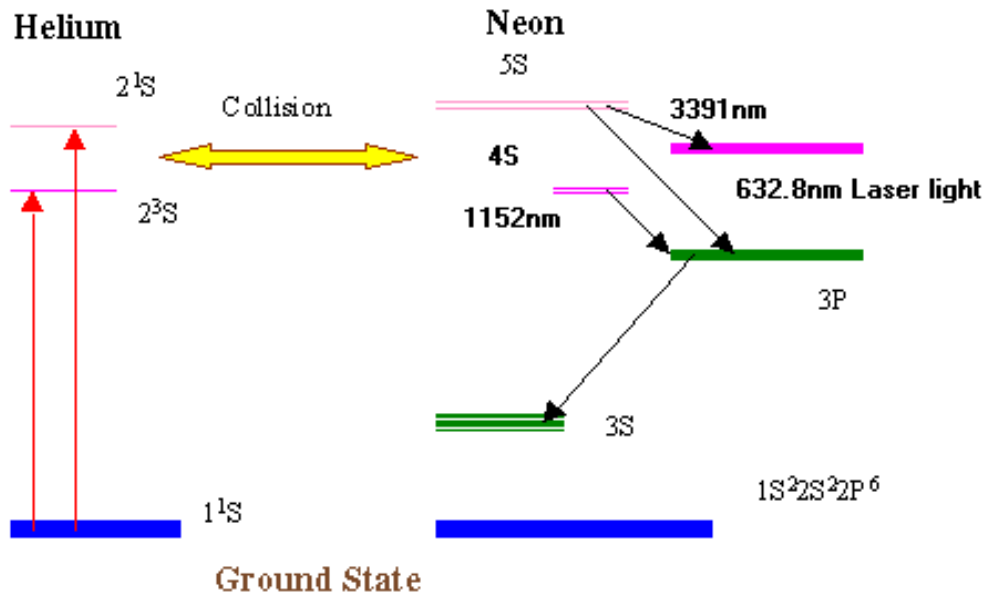


**LUNDS UNIVERSITET**  
Lunds Tekniska Högskola



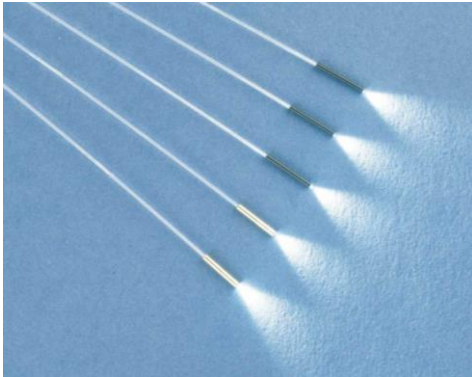
# Gaslasrar

## Exempel: HeNe-laser



# Dagens föreläsning – Fotonik

---



- F9 – Vågledare och optiska fiber
  - F10 – Fiberoptik och ljuskällor
  - F11 – Lasern och detektorer
  - F12 – Fiberoptiska system
- 

- Hur fungerar en laser?
- Olika lasertyper
- Fotodetektorer
- Halvledare



# Detektorer

## Huvudtyper

---

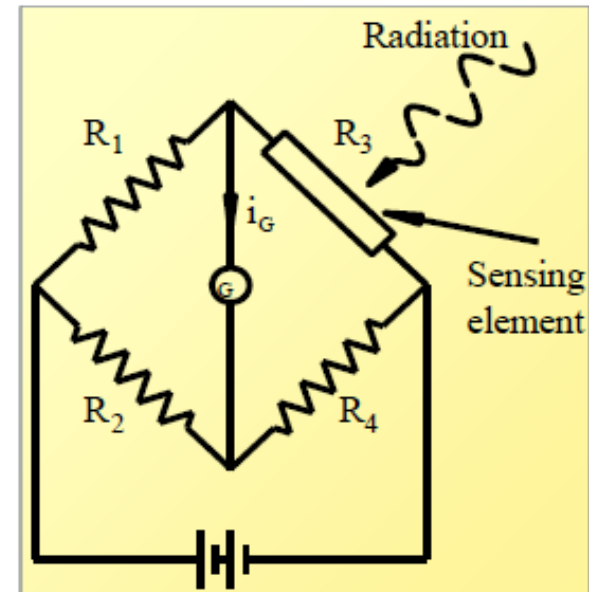
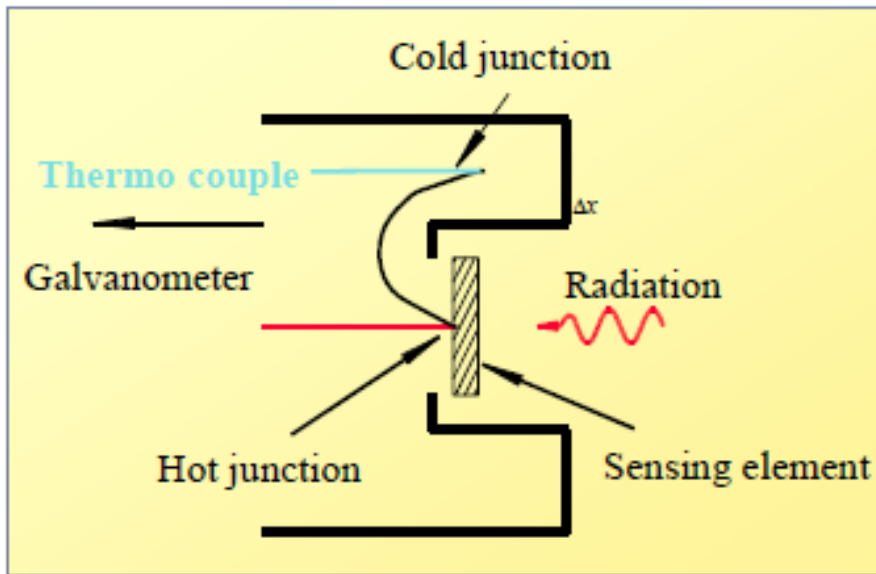
- **Termiska detektorer**
  - Fotonenergin värmer upp detektorn och temperaturen mäts
- **Kvantdetektorer** – utnyttjar den fotoelektriska effekten
  - Yttre fotoelektrisk effekt – en foton skapar en fri elektron som detekteras
  - Inre fotoelektrisk effekt – en foton exciterar en elektron som därmed ökar ledningsförmågan hos materialet
    - » Ingår i nästa föreläsning



# Termiska fotodetektorer

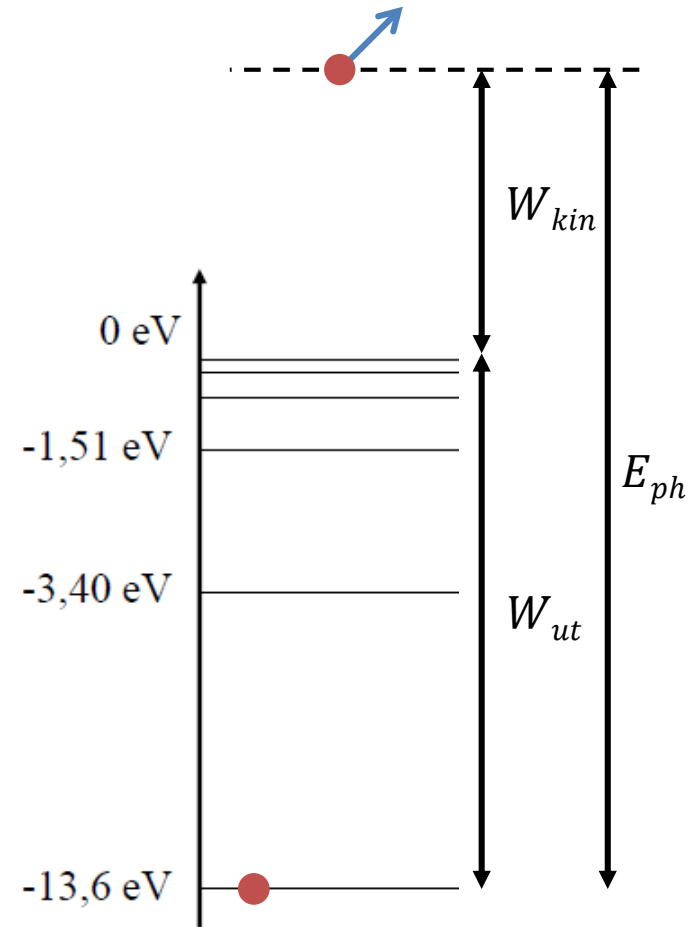
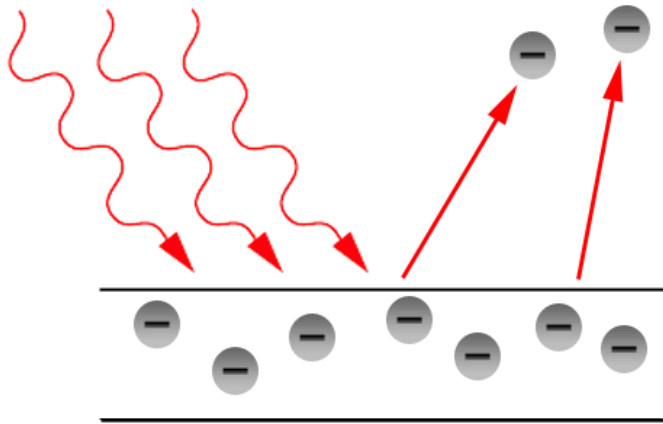
## Effektmätare och infraröda mätningar

- + Våglängdsberoende
- Långsamma (millisekunder)



# Yttre fotoelektrisk effekt

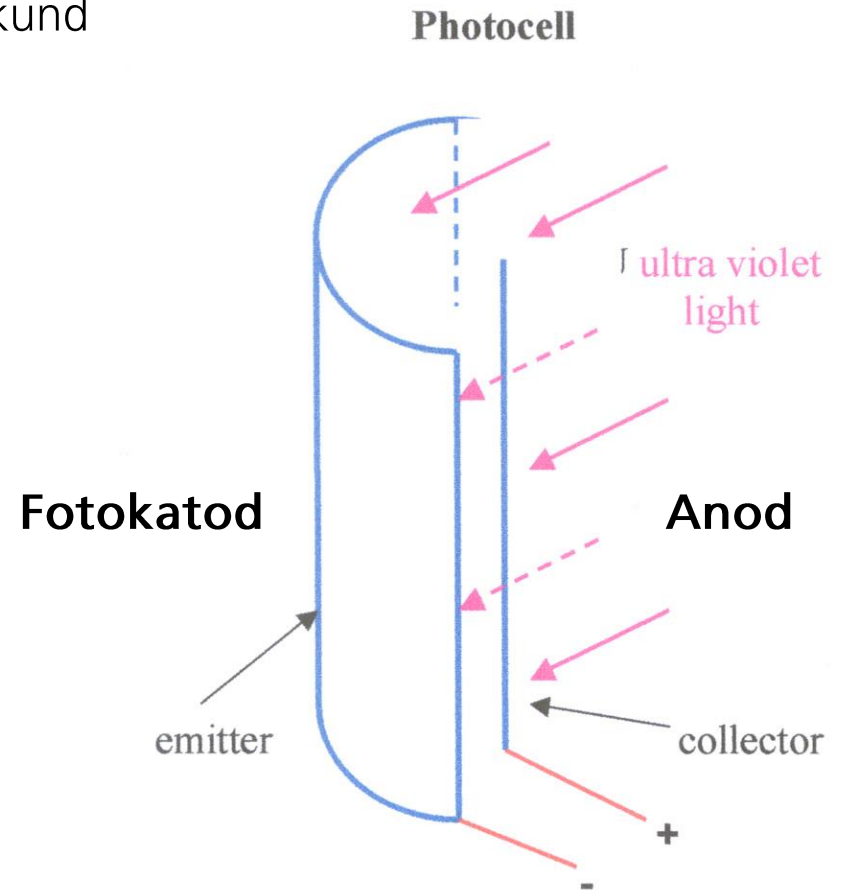
- Fotonens energi:  $E_{ph} = hf = \frac{hc}{\lambda_0}$
- Gränsvåglängd för fotoemission:  $\lambda_0 = \frac{hc}{W_{ut}}$
- Elektronens energi:  $W_{kin} = E_{ph} - W_{ut}$



# Fotocell

---

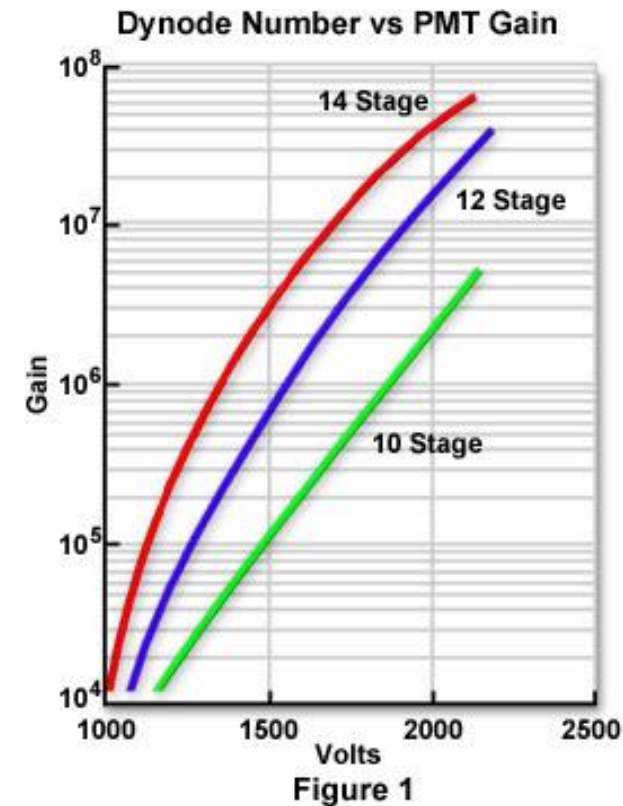
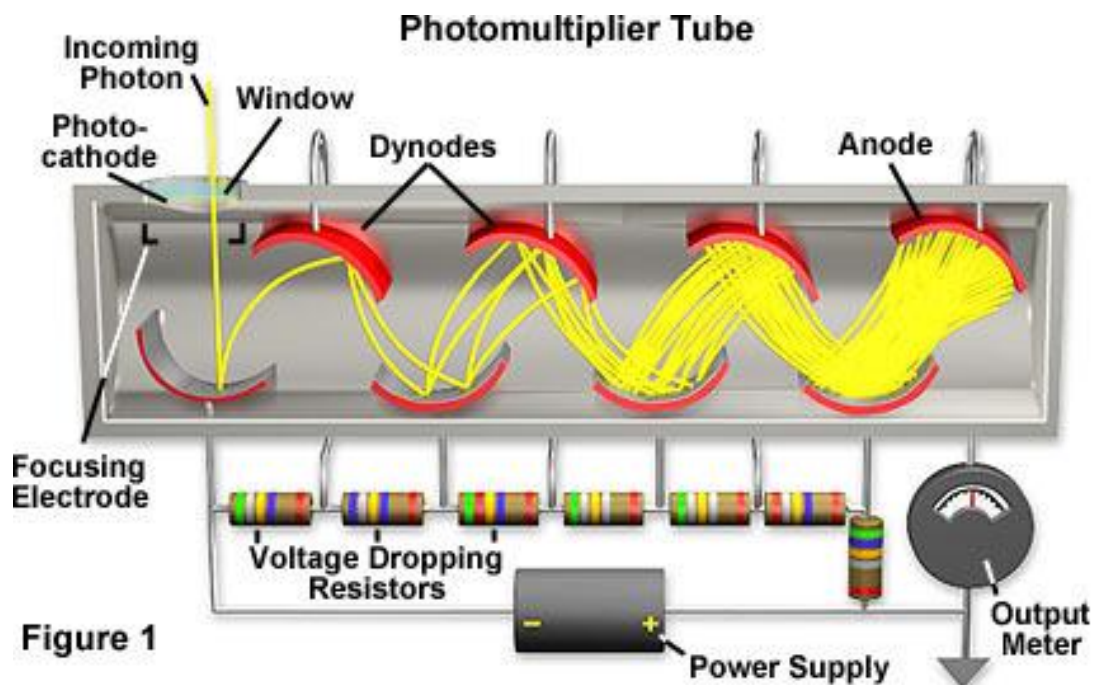
- Enklaste typen av kvantdetektor
- Kan mäta ner till  $10^8$  fotoner per sekund





# Fotomultiplikator

- Kan detektera enskilda fotoner
- Svarstid ned till 1 ns





# Sammanfattning – Lasrar och detektorer

## Ljuskällor, lasrar och detektorer

---

- Fotonens energi:  $E_{ph} = hf = \frac{hc}{\lambda_0}$
- Boltzmannfördelningen:  $\frac{N_2}{N_1} = e^{-\frac{E_2-E_1}{kT}} = e^{-\frac{\Delta E}{kT}}$
- Förstärkning i en laserkavitet:  $\frac{I_{n+1}}{I_n} = R_1 R_2 e^{2\gamma(f)L}$
- Förstärkningskoefficienten:  $\gamma(f) = (N_2 - N_1) \frac{\lambda_2}{8\pi\tau} g(f)$
- Gränsvåglängd för fotoemission:  $\lambda_0 = \frac{hc}{W_{ut}}$

