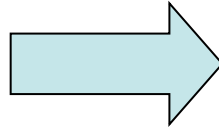
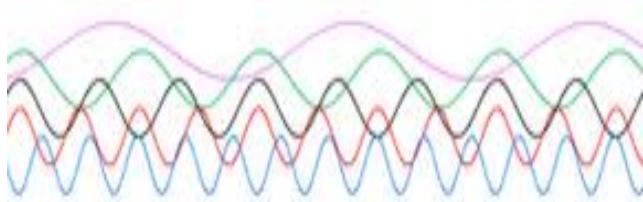


# Koherens fény (miért is különleges a lézernyaláb?)

1. Atomok egymástól függetlenül sugároznak ki különböző hullámhosszon, különböző fázissal fotonokat.

**Inkoherens fény**



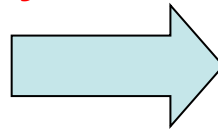
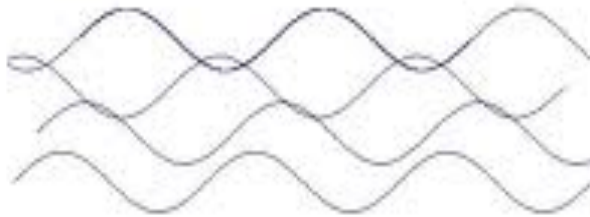
Termikus sugárzó



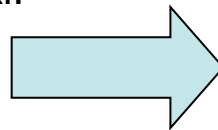
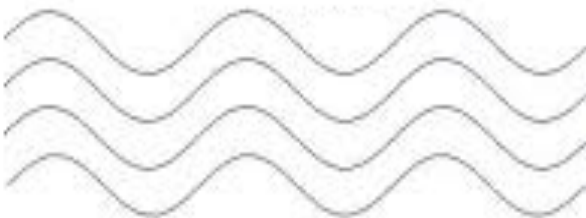
Pl: Na-gőz lámpa

2. Atomok egymástól függetlenül sugároznak ki azonos hullámhosszú, különböző fázisú fotonokat.

**Monokromatikus, inkoherens fény**



3. Atomok kollektív sugárzása: az atomok azonos energiájú és azonos impulzusú fotonokat bocsátanak ki.



Lézer



**Koherens fény**

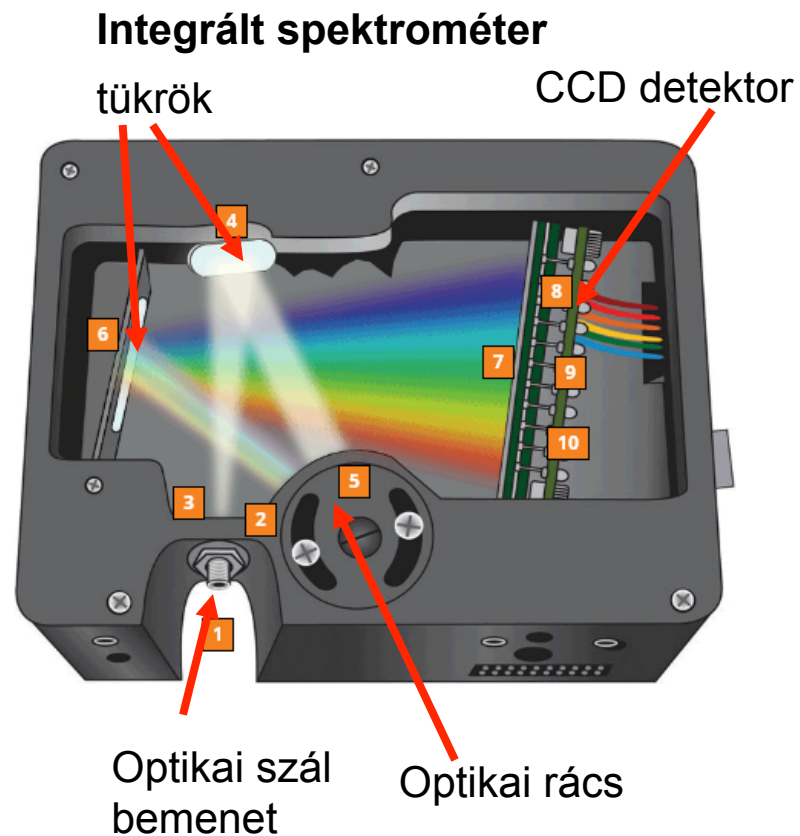
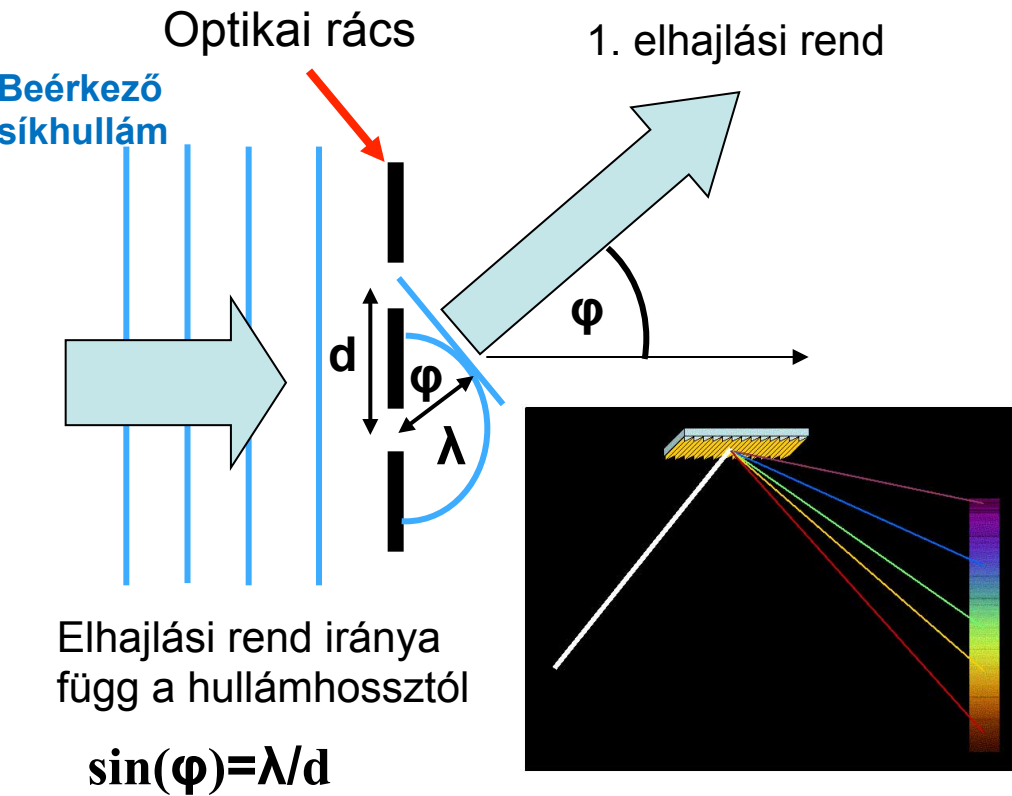
# Spektrométer

**Spektrum: Elektromágneses sugárzás hullámhossz szerinti felbontása.**

**A spektrumok mérésére szolgáló eszköz a **spektrométer**.**

A fény spektruma alapján következtethetünk arra, milyen anyag bocsátotta ki az adott elektromágneses sugárzást, vagy arra, hogy a hullám milyen anyagokkal lépett kölcsönhatásba. Spektrumok mérésével megállapíthatjuk vegyi anyagok, élelmiszerek, vagy akár távoli csillagok anyagi összetételét, tanulmányozhatjuk az atomok elektronszerkezetét.

A spektrométerekben a hullámhossz szerinti felbontást prizma, vagy optikai rács valósítja meg.



# Termikus sugárzás

## Planck-féle sugárzási törvény

Hullámhossz szerint:

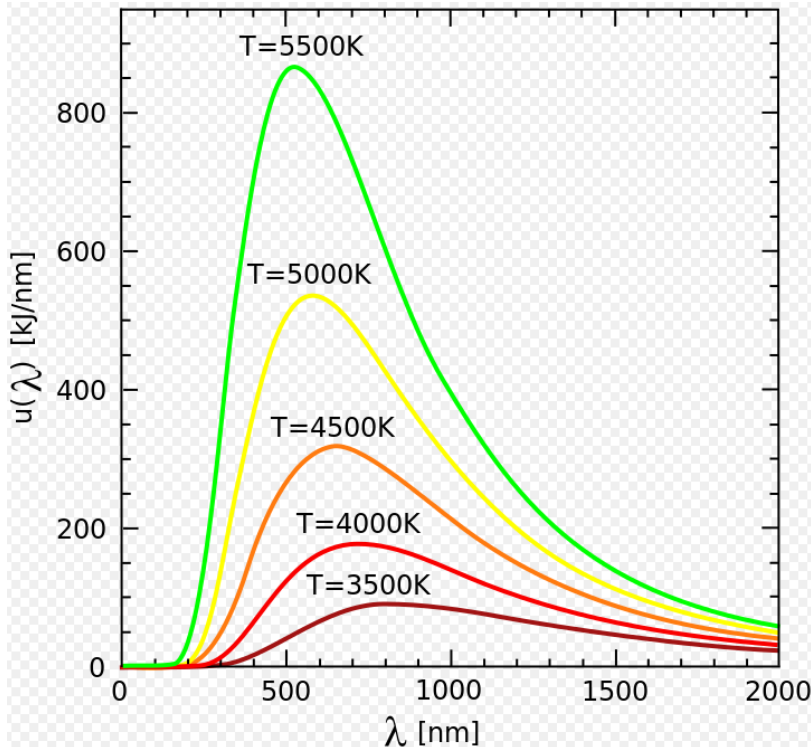
$$g(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{h\nu^3}{\exp\left\{\frac{hc}{\lambda kT}\right\} - 1}$$

Frekvencia szerint:

$$g(\nu, T) = \frac{8\pi}{c^3} \cdot \frac{h\nu^3}{\exp\left\{\frac{h\nu}{kT}\right\} - 1}$$

Planck-állandó:  $h$

Boltzmann-állandó:  $k$



Összes kisugárzott intenzitás

$$J(T) = \int_0^{\infty} I(\lambda, T) d\lambda$$

Stefan-Boltzmann törvény

$$J(T) = \sigma T^4$$

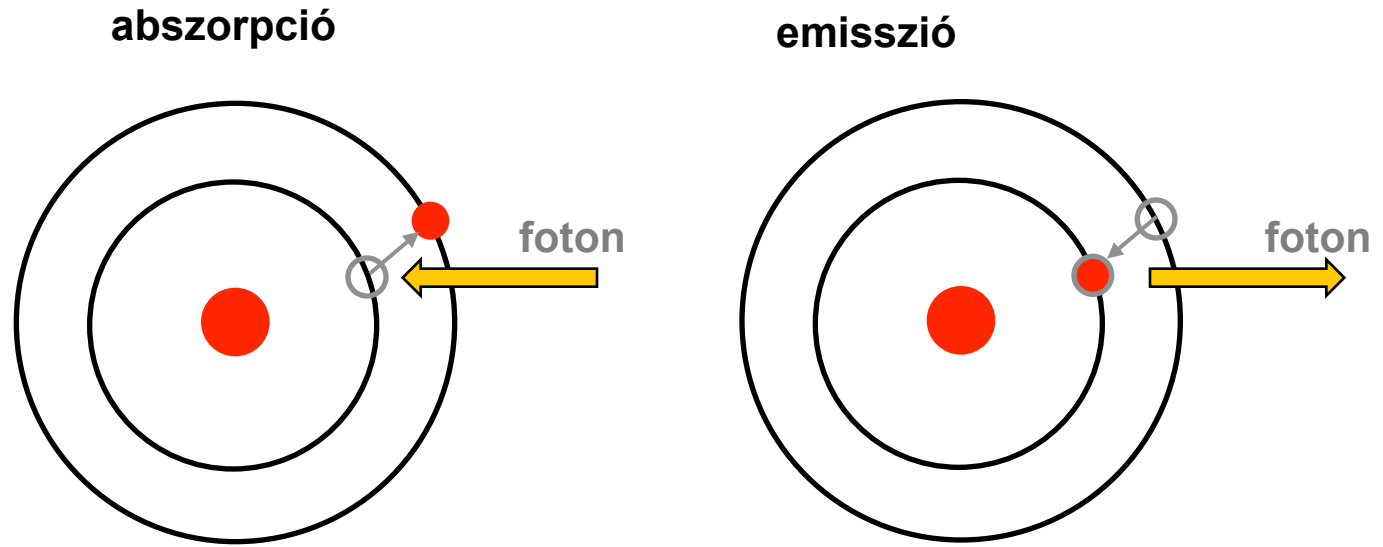
Wien-féle eltolódási törvény

$$\lambda_{\max} T = \text{állandó}$$

Minél nagyobb a sugárzó  $T$  hőmérséklete, annál rövidebb az a  $\lambda_{\max}$  hullámhossz, amely hullámhosszon a sugárzás spektrális teljesítménysűrűsége a legnagyobb.

# Atomok fénykibocsátása, fényelnyelése

Bohr-modell:



$$\Delta E = h\nu = \hbar\omega$$

A Bohr-féle atommodellben az elektronok meghatározott energiájú pályákon létezhetnek (keringenek) az atommag körül. A foton **abszorpciója** során az atom elektronja elnyel egy fotont, miközben egy magasabb energiaszintre, egy külsőbb pályára kerül. Az elnyelt foton energiája éppen az elektronnak a két pályára meghatározható energiának a különbsége:

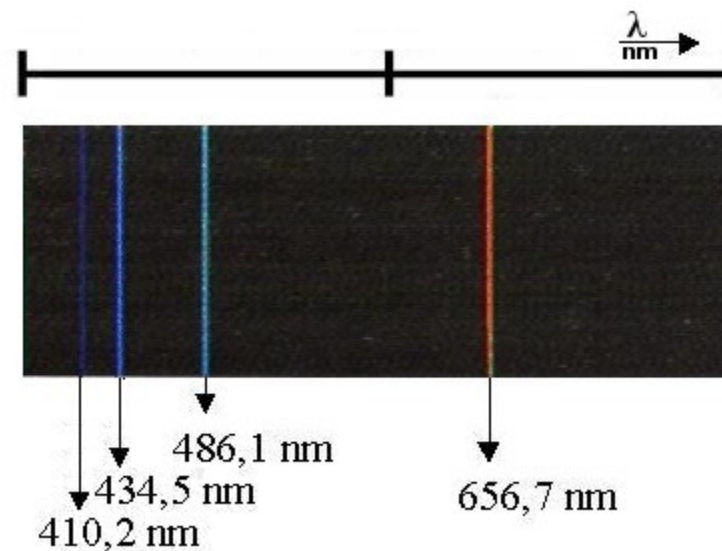
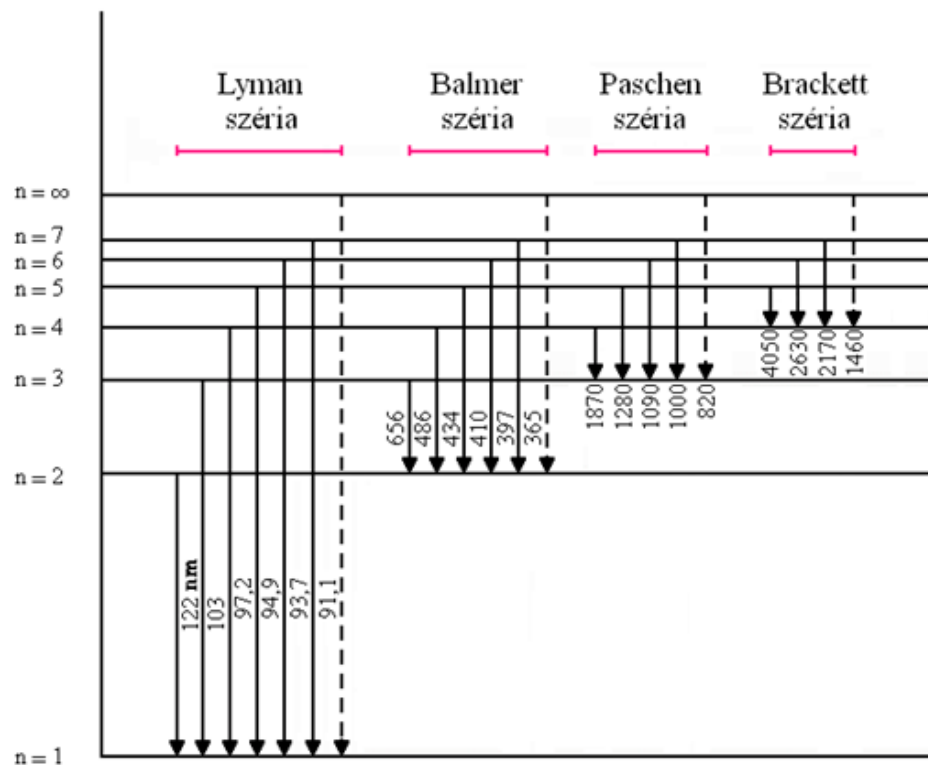
$$\Delta E = E_2 - E_1 = h\nu.$$

Az **emisszió** során egy magasabb energianívójú pályáról az elektron visszaugrik egy belsőbb, azaz kisebb energiájú pályára, miközben az atom kisugároz egy, a két nívó energia-különbségének megfelelő energiájú fotont. A Bohr-féle atommodell alkalmazásával magyarázható az emissziós és az abszorpciós spektrum vonalas szerkezete.

# Atomok fénykibocsátása, fényelnyelése

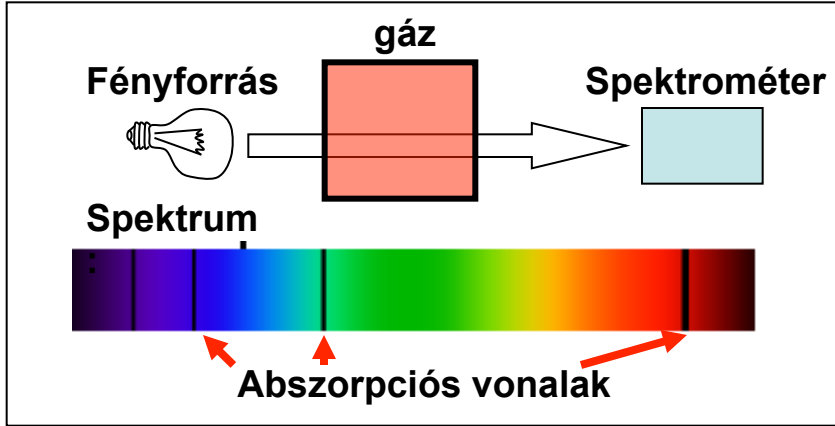
Bohr-modell:

$$\Delta E = E_{n_1} - E_{n_0} = \frac{m \cdot e^4}{8 \cdot \epsilon_0^2 \cdot h^2} \cdot \left( \frac{1}{n_0^2} - \frac{1}{n_1^2} \right) = h \cdot \nu$$



# Az Einstein együtthatók 1.

## Abszorpció (fényelnyelés)



Kétnívós atom modell:

Az atomot kétnívós rendszernek tekintjük.

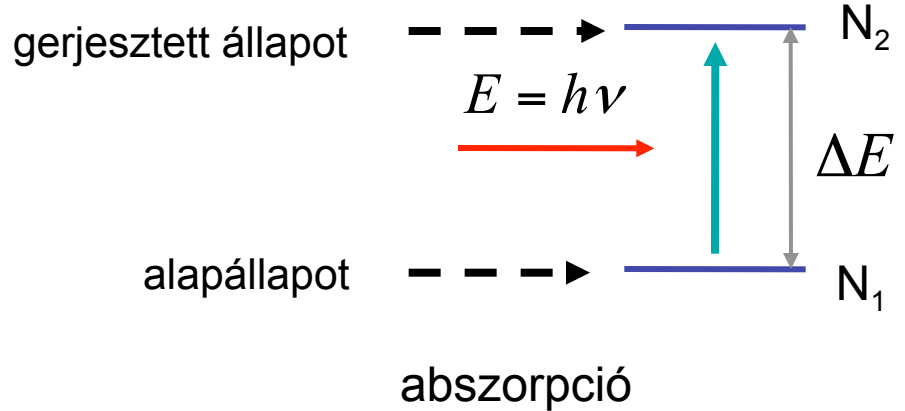
Az egységnyi térfogatban található alapállapotú atomok száma:  $N_1$ .

Az egységnyi térfogatban található gerjesztett (magasabb energiájú) atomok száma:  $N_2$ .

$$N_1 + N_2 = N = \text{állandó.}$$

$dN_{12}$  adja meg a  $dt$  időtartam alatt gerjesztett (alapállapotból gerjesztett állapotba jutó) atomok számát.

$B_{12}$  az abszorpcióra jellemző Einstein együttható.  $g_\nu$  a fekete test sugárzás leírásából ismert foton-sűrűség frekvencia szerinti eloszlása.



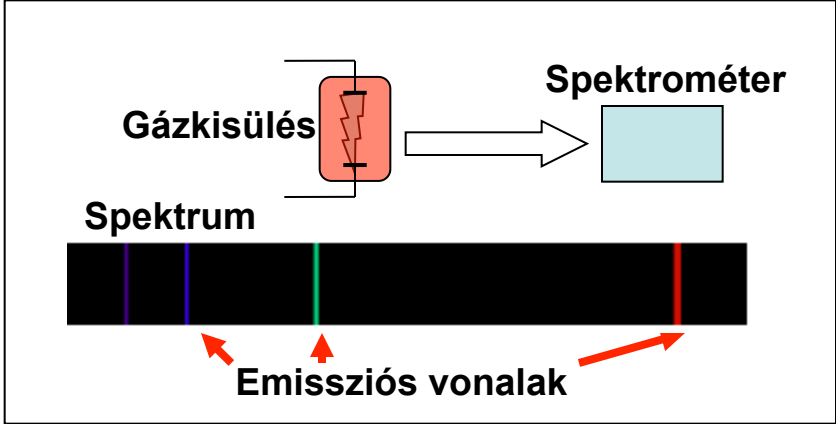
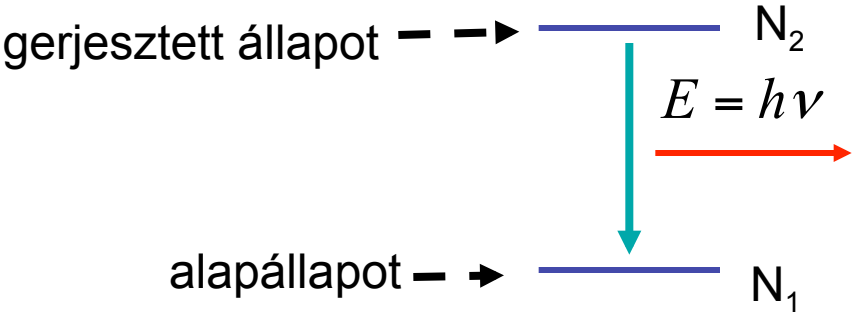
$$dN_{12} = B_{12} g_\nu N_1 dt$$

Einstein együttható

Foton sűrűség

# Az Einstein együtthatók 2.

## Spontán emisszió



spontán emisszió

$$dN'_{21} = A_{21}N_2 dt$$

Einstein együttható

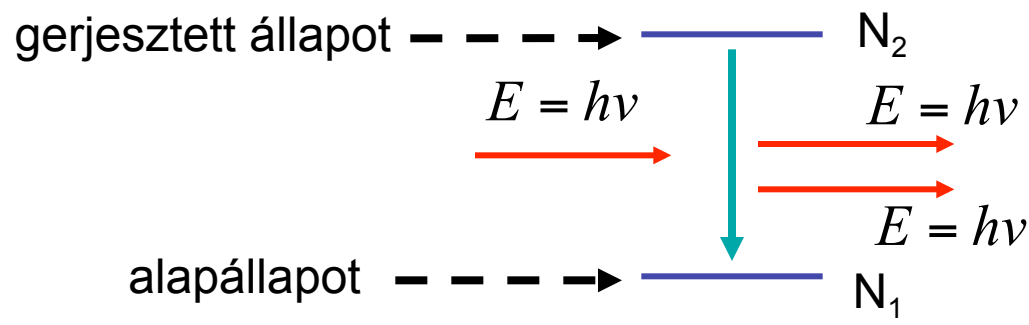
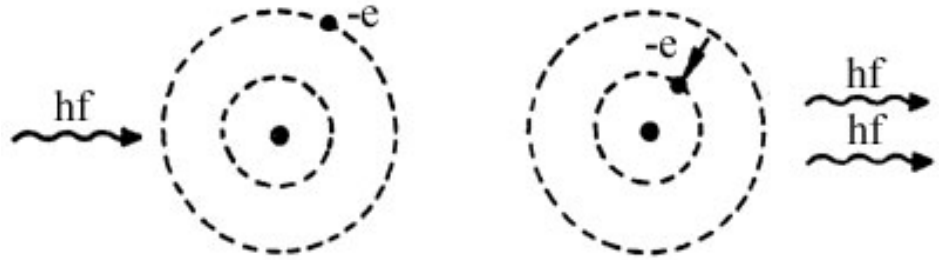
$dN'_{21}$  adja meg a  $dt$  időtartam alatt a spontán folyamattal gerjesztettségét elvesztő (alapállapotba jutó) atomok számát. A spontán emisszió alatt az atom egy  $h\nu$  energiájú foton kisugárzásával csökkenti energiáját.

A spontán emisszió külső behatás nélkül jön létre (hasonló a bomlási folyamatokhoz): a gerjesztett állapotnak van egy átlagos élettartama. A sugárzás iránya nem meghatározott, fázisa véletlen.

# Az Einstein együtthatók 3.

## Indukált emisszió

Az indukált emisszió modelljét Einstein javasolta 1917-ben.



indukált emisszió

$$dN''_{21} = B_{21}g_{\nu}N_2dt$$

Einstein együttható

Foton sűrűség:

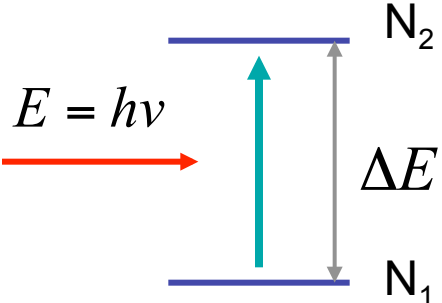
Külső behatásra jön létre: Egy "külső" foton kölcsönhatásba lép az atommal. Az indukált emisszió során a beeső fotonnal azonos energiájú (hullámhosszú), azonos irányú és fázisú foton kibocsájtásával gerjesztődik le az atom.

A folyamat fényerősítésre használható. (Pl: Erbiummal adalékolt optikai szálak a távközlésben)

$dN''_{21}$  adja meg a  $dt$  időtartam alatt indukált emisszióval legerjesztődő (alapállapotba jutó) atomok számát. Ez értelemszerűen arányos a gerjesztett atomok számával és a fotonok számával (sűrűségével) is.

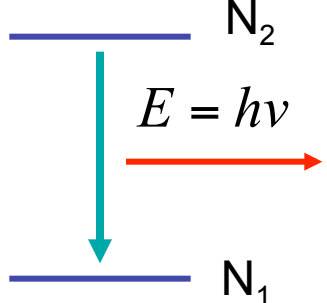


# Két állapotú atom és foton kölcsönhatásai



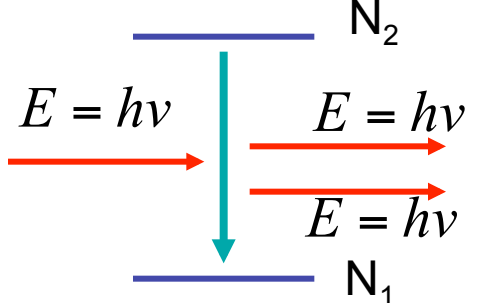
abszorpció

$$dN_{12} = B_{12}g_{\nu}N_1dt$$



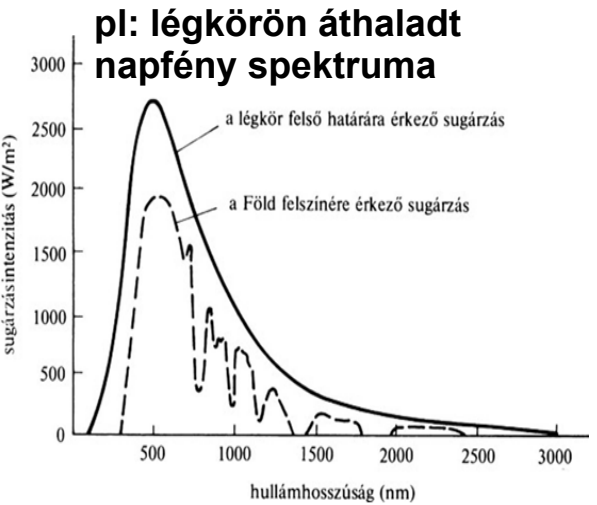
spontán emisszió

$$dN'_{21} = A_{21}N_2dt$$



indukált emisszió

$$dN''_{21} = B_{21}g_{\nu}N_2dt$$



Abszorpciós vonalak



pl: kisülő lámpák spektruma



Emissziós vonalak

Honnan tudta Einstein, hogy létezik indukált emisszió?



# Einstein együtthatók meghatározása termodinamikai egyensúlyban

Ha a rendszer termodinamikai egyensúlyban van, akkor az időegység alatt gerjesztődő és a foton-emisszióval alapállapotba jutó atomok száma megegyezik.

$$dN_{12} = dN'_{21} + dN''_{21}$$

abszorpció

$$dN_{12} = B_{12}g_{\nu}N_1dt$$

spontán emisszió

$$dN'_{21} = A_{21}N_2dt$$

indukált emisszió

$$dN''_{21} = B_{21}g_{\nu}N_2dt$$



# Einstein együtthatók meghatározása termodinamikai egyensúlyban

Ha a rendszer termodinamikai egyensúlyban van, akkor az időegység alatt gerjesztődő és a foton-emisszióval alapállapotba jutó atomok száma megegyezik.

$$dN_{12} = dN'_{21} + dN''_{21}$$

abszorpció	$dN_{12} = B_{12}g_{\nu}N_1dt$
spontán emisszió	$dN'_{21} = A_{21}N_2dt$
indukált emisszió	$dN''_{21} = B_{21}g_{\nu}N_2dt$

Kifejezve a foton-sűrűséget:

$$g_{\nu} = \frac{A_{21} / B_{12}}{\frac{N_1}{N_2} - \frac{B_{21}}{B_{12}}}$$



# Einstein együtthatók meghatározása termodinamikai egyensúlyban

Ha a rendszer termodinamikai egyensúlyban van, akkor az időegység alatt gerjesztődő és a foton-emisszióval alapállapotba jutó atomok száma megegyezik.

$$dN_{12} = dN'_{21} + dN''_{21}$$

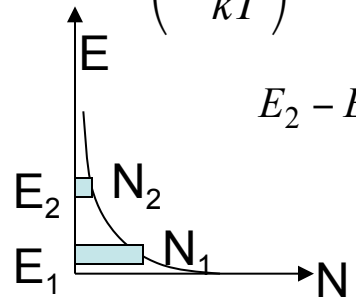
- abszorpció  $dN_{12} = B_{12}g_{\nu}N_1dt$
- spontán emisszió  $dN'_{21} = A_{21}N_2dt$
- indukált emisszió  $dN''_{21} = B_{21}g_{\nu}N_2dt$

Kifejezve a fotonsűrűséget:

$$g_{\nu} = \frac{A_{21}/B_{12}}{\frac{N_1}{N_2} - \frac{B_{21}}{B_{12}}}$$

**Termodinamikai egyensúlyban lévő rendszerben az energia-eloszlás Boltzmann-statisztikát mutat:**

$$N_1 \approx \exp\left(-\frac{E_1}{kT}\right) \quad N_2 \approx \exp\left(-\frac{E_2}{kT}\right)$$



**Kétnívós, termodinamikai egyensúlyban lévő rendszerre :**

$$\frac{N_1}{N_2} = \exp \frac{h\nu}{kT}$$



# Einstein együtthatók meghatározása termodinamikai egyensúlyban

Ha a rendszer termodinamikai egyensúlyban van, akkor az időegység alatt gerjesztődő és a foton-emisszióval alapállapotba jutó atomok száma megegyezik.

$$dN_{12} = dN'_{21} + dN''_{21}$$

Kifejezve a fotonsűrűséget:  $g_\nu = \frac{A_{21}/B_{12}}{\frac{N_1}{N_2} - \frac{B_{21}}{B_{12}}}$

abszorpció  $dN_{12} = B_{12}g_\nu N_1 dt$

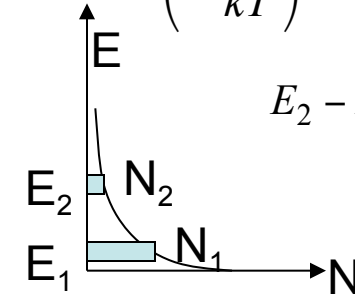
spontán emisszió  $dN'_{21} = A_{21}N_2 dt$

indukált emisszió  $dN''_{21} = B_{21}g_\nu N_2 dt$

$$g_\nu = \frac{A_{21}/B_{12}}{\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right) - \frac{B_{21}}{B_{12}}}$$

**Termodinamikai egyensúlyban lévő rendszerben az energia-eloszlás Boltzmann-statisztikát mutat:**

$$N_1 \approx \exp\left(-\frac{E_1}{kT}\right) N_2 \approx \exp\left(-\frac{E_2}{kT}\right)$$



**Kétnívós, termodinamikai egyensúlyban lévő rendszerre :**

$$\frac{N_1}{N_2} = \exp \frac{h\nu}{kT}$$



# Einstein együtthatók meghatározása termodinamikai egyensúlyban

Ha a rendszer termodinamikai egyensúlyban van, akkor az időegység alatt gerjesztődő és a foton-emisszióval alapállapotba jutó atomok száma megegyezik.

$$dN_{12} = dN'_{21} + dN''_{21}$$

- abszorpció  $dN_{12} = B_{12}g_{\nu}N_1dt$
- spontán emisszió  $dN'_{21} = A_{21}N_2dt$
- indukált emisszió  $dN''_{21} = B_{21}g_{\nu}N_2dt$

Kifejezve a fotonsűrűséget:

$$g_{\nu} = \frac{A_{21}/B_{12}}{\frac{N_1}{N_2} - \frac{B_{21}}{B_{12}}}$$

$$g_{\nu} = \frac{A_{21}/B_{12}}{\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right) - \frac{B_{21}}{B_{12}}}$$

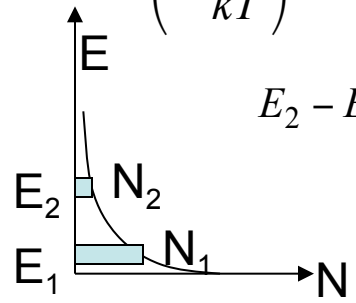
**Termodinamikai egyensúlyban a fotonsűrűség:**

$$g_{\nu} = \frac{8\pi}{c^3} \cdot \frac{h\nu^3}{\exp\left\{\frac{h\nu}{k_B T}\right\} - 1}$$

Lásd: (hőmérsékleti sugárzás)

**Termodinamikai egyensúlyban lévő rendszerben az energia-eloszlás Boltzmann-statisztikát mutat:**

$$N_1 \approx \exp\left(-\frac{E_1}{kT}\right) \quad N_2 \approx \exp\left(-\frac{E_2}{kT}\right)$$



**Kétnívós, termodinamikai egyensúlyban lévő rendszerre :**

$$\frac{N_1}{N_2} = \exp \frac{h\nu}{kT}$$



# Einstein együtthatók meghatározása termodinamikai egyensúlyban

Ha a rendszer termodinamikai egyensúlyban van, akkor az időegység alatt gerjesztődő és a foton-emisszióval alapállapotba jutó atomok száma megegyezik.

$$dN_{12} = dN'_{21} + dN''_{21}$$

abszorpció  $dN_{12} = B_{12}g_{\nu}N_1dt$   
 spontán emisszió  $dN'_{21} = A_{21}N_2dt$   
 indukált emisszió  $dN''_{21} = B_{21}g_{\nu}N_2dt$

Kifejezve a fotonsűrűséget:

$$g_{\nu} = \frac{A_{21}/B_{12}}{\frac{N_1}{N_2} - \frac{B_{21}}{B_{12}}}$$

$$g_{\nu} = \frac{A_{21}/B_{12}}{\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right) - \frac{B_{21}}{B_{12}}}$$

Termodinamikai egyensúlyban a fotonsűrűség:

$$g_{\nu} = \frac{8\pi}{c^3} \cdot \frac{h\nu^3}{\exp\left\{\frac{h\nu}{k_B T}\right\} - 1}$$

Lásd: (hőmérsékleti sugárzás)

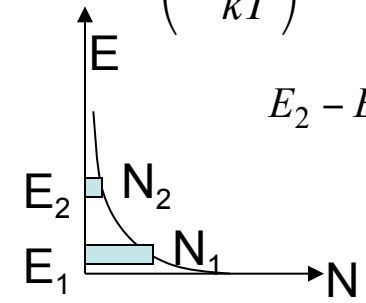
A két kifejezés csak akkor lehet egyenlő, ha:

$$1) \quad B_{12} = B_{21}$$

Vagyis az indukált emisszió Einstein együtthatója nem nulla!

Termodinamikai egyensúlyban lévő rendszerben az energia-eloszlás Boltzmann-statisztikát mutat:

$$N_1 \approx \exp\left(-\frac{E_1}{kT}\right) \quad N_2 \approx \exp\left(-\frac{E_2}{kT}\right)$$



Kétnívós, termodinamikai egyensúlyban lévő rendszerre :

$$\frac{N_1}{N_2} = \exp \frac{h\nu}{kT}$$



# Einstein együtthatók meghatározása termodinamikai egyensúlyban

Ha a rendszer termodinamikai egyensúlyban van, akkor az időegység alatt gerjesztődő és a foton-emisszióval alapállapotba jutó atomok száma megegyezik.

$$dN_{12} = dN'_{21} + dN''_{21}$$

- abszorpció  $dN_{12} = B_{12}g_{\nu}N_1dt$
- spontán emisszió  $dN'_{21} = A_{21}N_2dt$
- indukált emisszió  $dN''_{21} = B_{21}g_{\nu}N_2dt$

Kifejezve a fotonsűrűséget:

$$g_{\nu} = \frac{A_{21}/B_{12}}{\frac{N_1}{N_2} - \frac{B_{21}}{B_{12}}} = \frac{A_{21}/B_{12}}{\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right) - \frac{B_{21}}{B_{12}}}$$

Termodinamikai egyensúlyban a fotonsűrűség:

$$g_{\nu} = \frac{8\pi}{c^3} \cdot \frac{h\nu^3}{\exp\left\{\frac{h\nu}{k_B T}\right\} - 1}$$

Lásd: (hőmérsékleti sugárzás)

A két kifejezés csak akkor lehet egyenlő, ha:

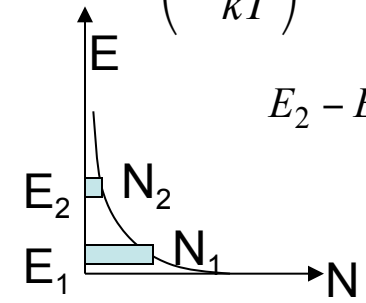
1)  $B_{12} = B_{21}$

Vagyis az indukált emisszió Einstein együtthatója nem nulla!

2)  $\frac{A_{21}}{B_{12}} = \frac{8h\nu^3\pi}{c^3}$

Termodinamikai egyensúlyban lévő rendszerben az energia-eloszlás Boltzmann-statisztikát mutat:

$$N_1 \approx \exp\left(-\frac{E_1}{kT}\right) N_2 \approx \exp\left(-\frac{E_2}{kT}\right)$$



Kétnívós, termodinamikai egyensúlyban lévő rendszerre :

$$\frac{N_1}{N_2} = \exp\frac{h\nu}{kT}$$





# Einstein együtthatók meghatározása termodinamikai egyensúlyban

Ha a rendszer termodinamikai egyensúlyban van, akkor az időegység alatt gerjesztődő és a foton-emisszióval alapállapotba jutó atomok száma megegyezik.

$$dN_{12} = dN'_{21} + dN''_{21}$$

abszorpció  $dN_{12} = B_{12}g_\nu N_1 dt$   
 spontán emisszió  $dN'_{21} = A_{21}N_2 dt$   
 indukált emisszió  $dN''_{21} = B_{21}g_\nu N_2 dt$

Kifejezve a fotonsűrűséget:

$$g_\nu = \frac{A_{21}/B_{12}}{\frac{N_1}{N_2} - \frac{B_{21}}{B_{12}}}$$

$$g_\nu = \frac{A_{21}/B_{12}}{\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right) - \frac{B_{21}}{B_{12}}}$$

**Termodinamikai egyensúlyban a fotonsűrűség:**

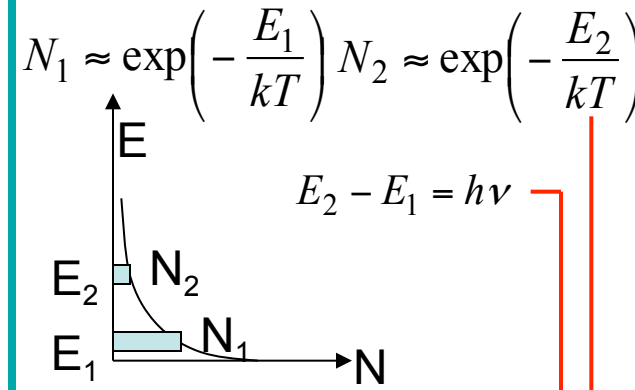
$$g_\nu = \frac{8\pi}{c^3} \cdot \frac{h\nu^3}{\exp\left\{\frac{h\nu}{k_B T}\right\} - 1}$$

Lásd: (hőmérsékleti sugárzás)

A két kifejezés csak akkor lehet egyenlő, ha:

- 1)  $B_{12} = B_{21}$   
**Vagyis az indukált emisszió Einstein együtthatója nem nulla!**
- 2)  $\frac{A_{21}}{B_{12}} = \frac{8h\nu^3\pi}{c^3}$

**Termodinamikai egyensúlyban lévő rendszerben az energia-eloszlás Boltzmann-statisztikát mutat:**



**Kétnívós, termodinamikai egyensúlyban lévő rendszerre :**

$$\frac{N_1}{N_2} = \exp\frac{h\nu}{kT}$$

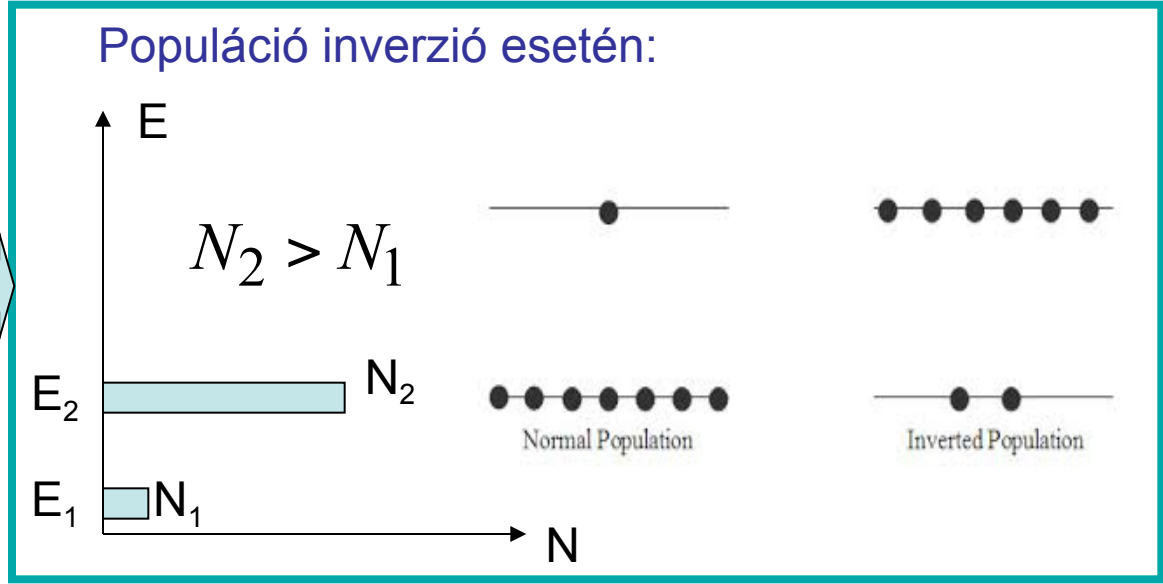
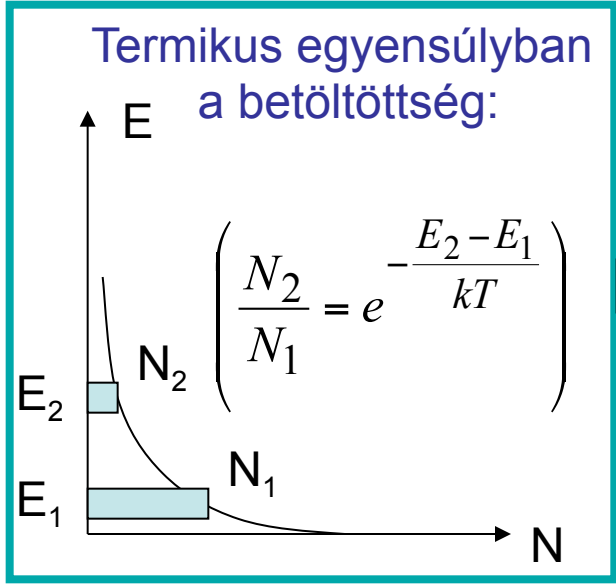
**A spontán emisszió és az indukált emisszió gyakoriságának aránya:**

$$\frac{A_{21}}{gB_{12}} = 125$$

( $\lambda=10\mu\text{m}$ ,  $T=300\text{K}$ )  
**Szobahőmérsékleten, közeli infravörös tartományban a spontán emisszió 125x gyakoribb, mint az indukált emisszió!**

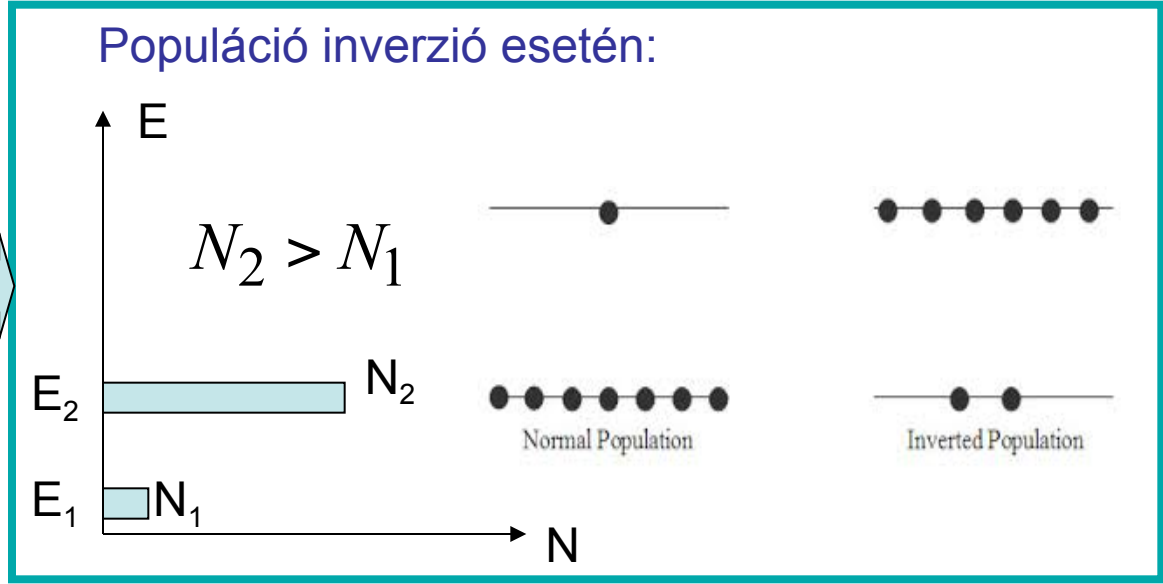
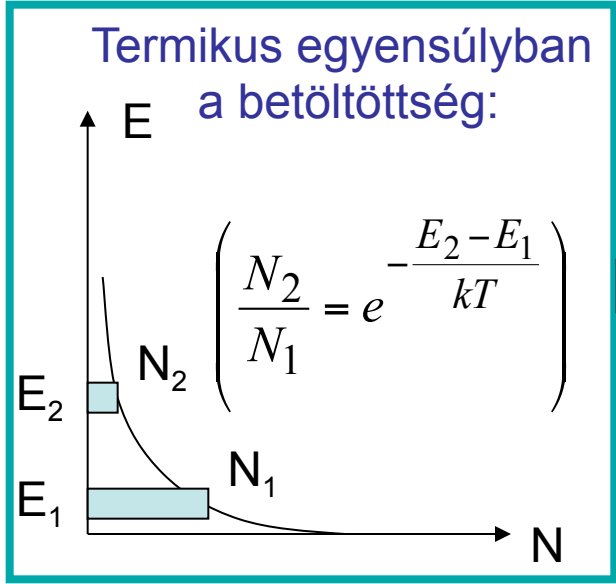
# Indukált emisszió valószínűségének növelése

## Populáció inverzió megvalósításával:

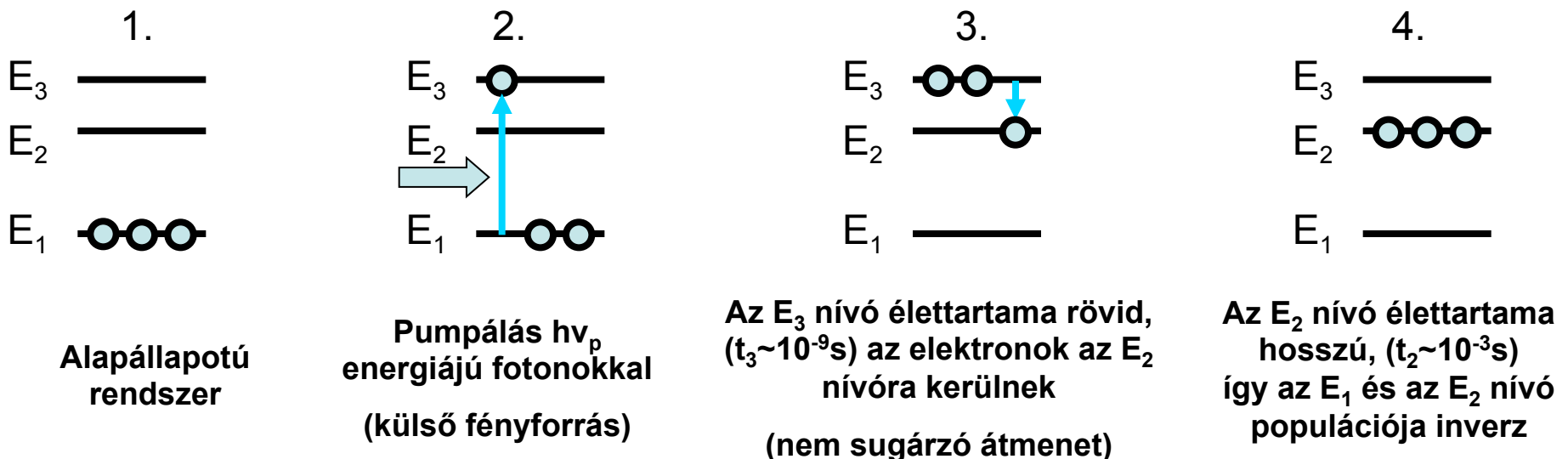


# Indukált emisszió valószínűségének növelése

## Populáció inverzió megvalósításával:



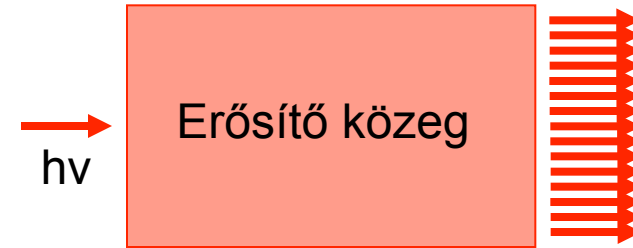
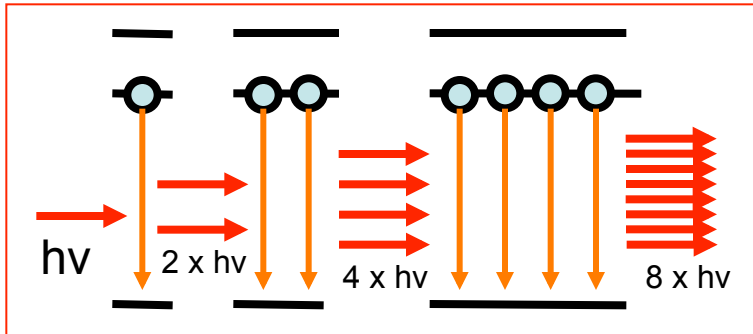
A populáció inverzió megvalósításához legalább 3 nívó szükséges:



# Fényerősítés indukált emisszióval

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

Populáció inverzió esetén:

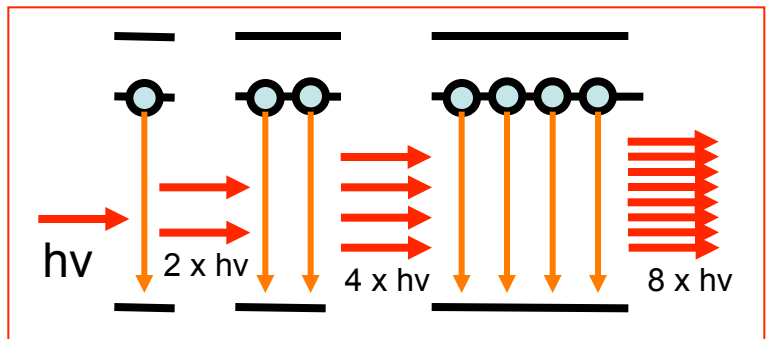


Az erősítés impulzus-szerű, hiszen az indukált emissziót követően az elektronok alapállapotba kerülnek

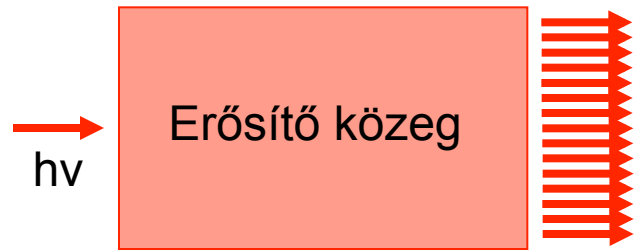
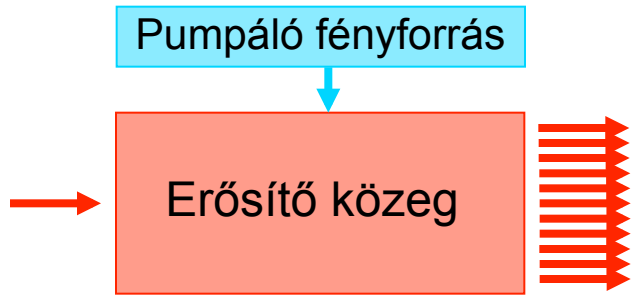
# Fényerősítés indukált emisszióval

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

Populáció inverzió esetén:

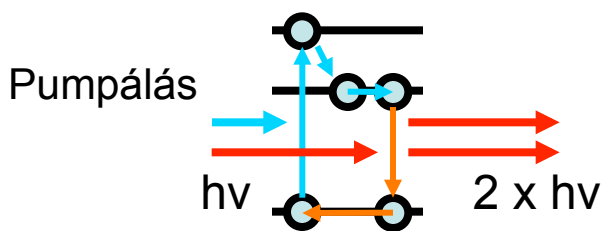


Folytonos erősítés fenntartása pumpálással:



Az erősítés impulzus-szerű, hiszen az indukált emissziót követően az elektronok alapállapotba kerülnek

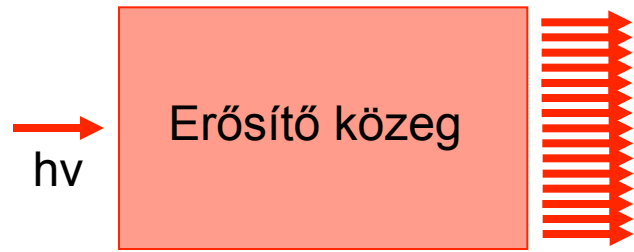
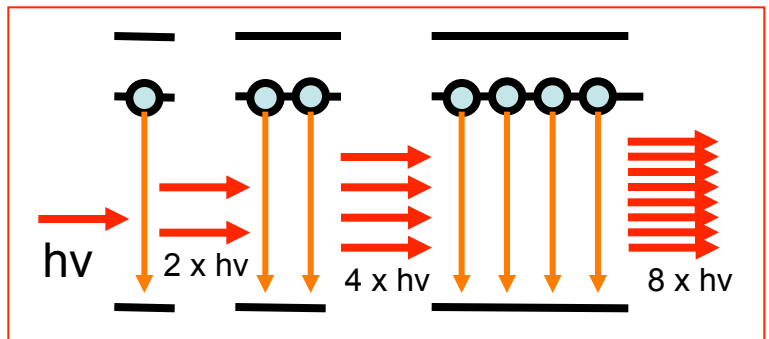
Pumpálás (abszorpció) és erősítés (indukált emisszió) ciklikus ismétlődése



# Fényerősítés indukált emisszióval

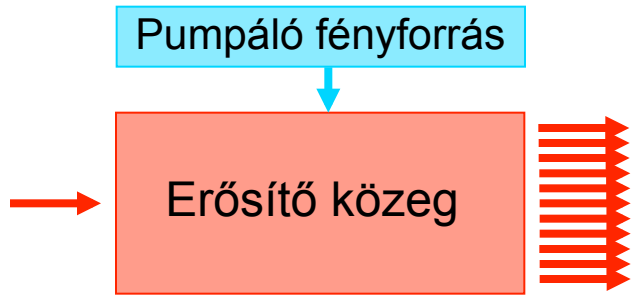
Laser: **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation

Populáció inverzió esetén:



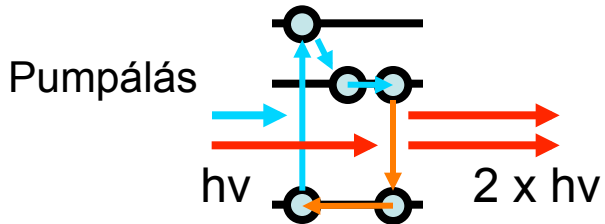
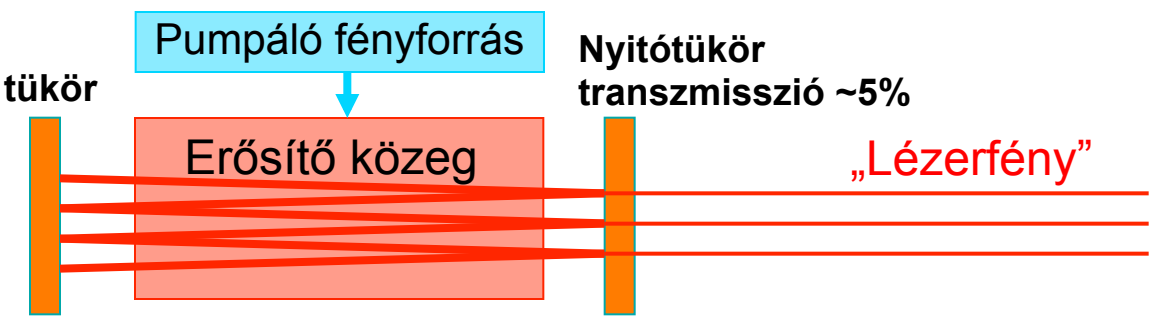
Az erősítés impulzus-szerű, hiszen az indukált emissziót követően az elektronok alapállapotba kerülnek

Folytonos erősítés fenntartása pumpálással:



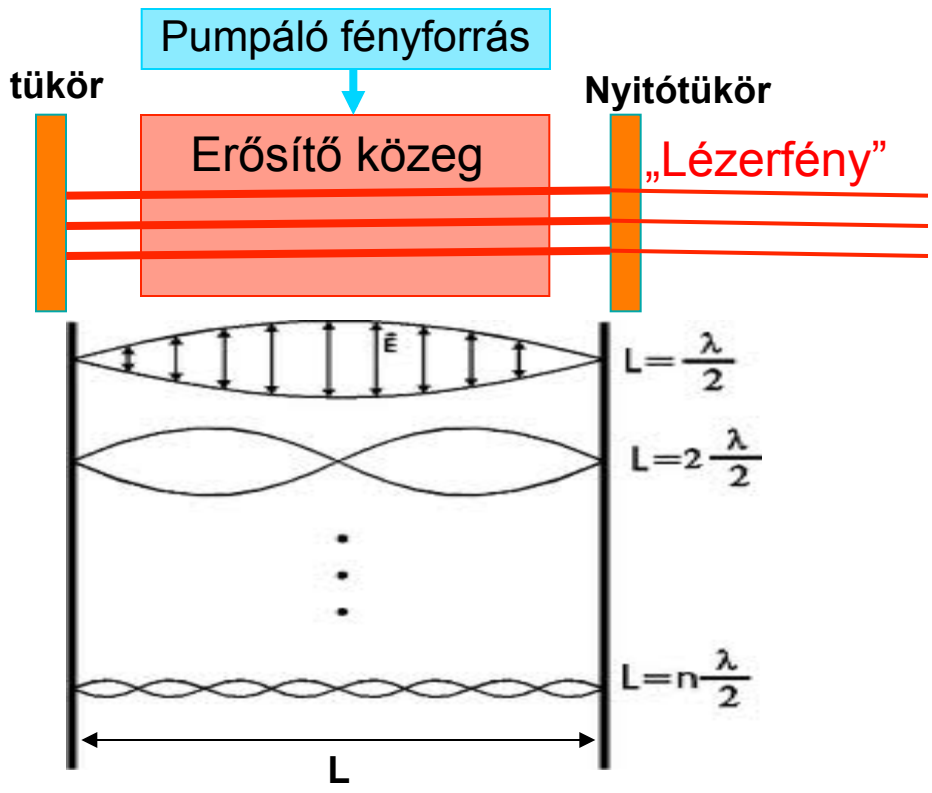
Pumpálás (abszorpció) és erősítés (indukált emisszió) ciklikus ismétlődése

Visszacsatolás tükrökkel: optikai rezonátor



# Optikai rezonátor

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

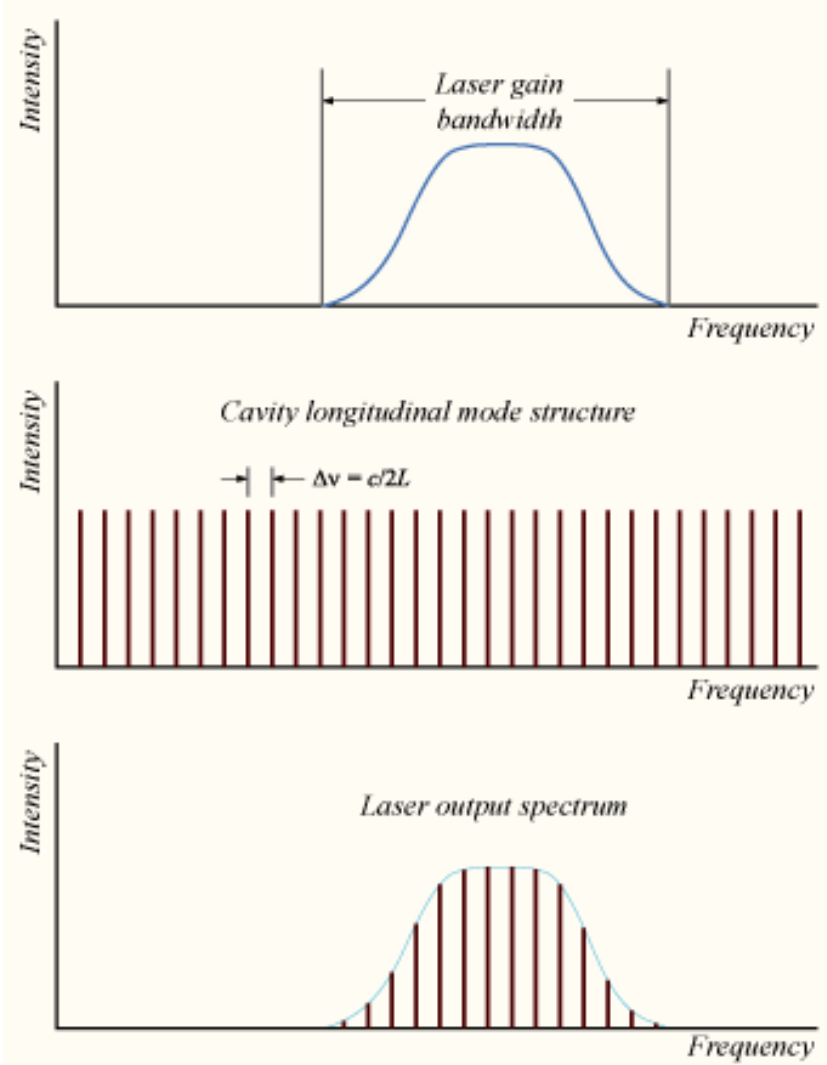


Rezonátor módusok távolsága:

$$\Delta f = \frac{c}{2L}$$

A rezonátor egyrészt elősegíti, hogy a fotonyaláb többször áthaladva a lézeraktív anyagon az indukált emisszióval "felerősödjön", másrészt növeli a fény koherenciáját

A rezonátor által meghatározott frekvenciák és a lézeraktív anyag erősítési görbéje együttesen határozzák meg a lézer fényének spektrumát.



# A lézerműködés feltételei, lézerfény tulajdonságai

Lézerműködés feltételei

- Populáció inverzió
- Indukált emisszió
- Optikai erősítés

Megvalósítható

Alkalmasan megválasztott erősítő közeggel és pumpálással

Rezonátor tükrök

## Lézerfény tulajdonságai:

- Monokromatikus  
(egyszínű; jellemző, stabil hullámhossza van)
- Kollimált (a nyalábnak kis nyílásszöge van)
- Koherens (a hullámtér két eltérő pontjában az elektromágneses rezgés fázisa időben állandó.)

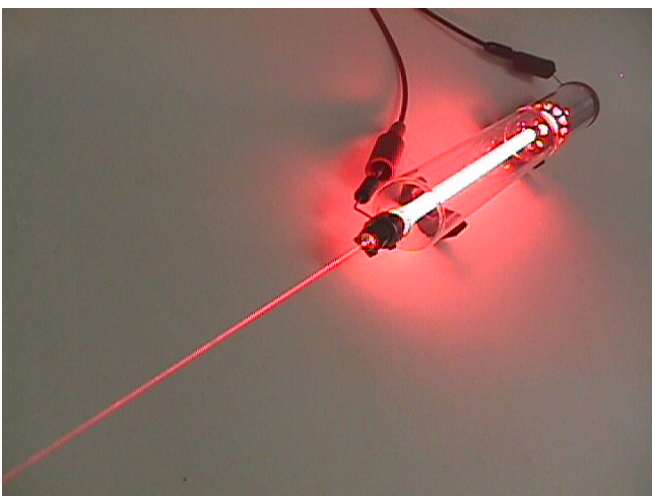
(A koherencia csak egy bizonyos távolságtartományon belül igaz, ezt a távolságtartományt koherencia hosszának nevezzük. Néhány mm-től akár km-ig terjedhet)

Ezen tulajdonságok közös oka, hogy a lézerben indukált emisszió segítségével keltjük a fényt, ellentétben más fényforrásokkal, ahol a fény spontán emisszió útján jön létre.



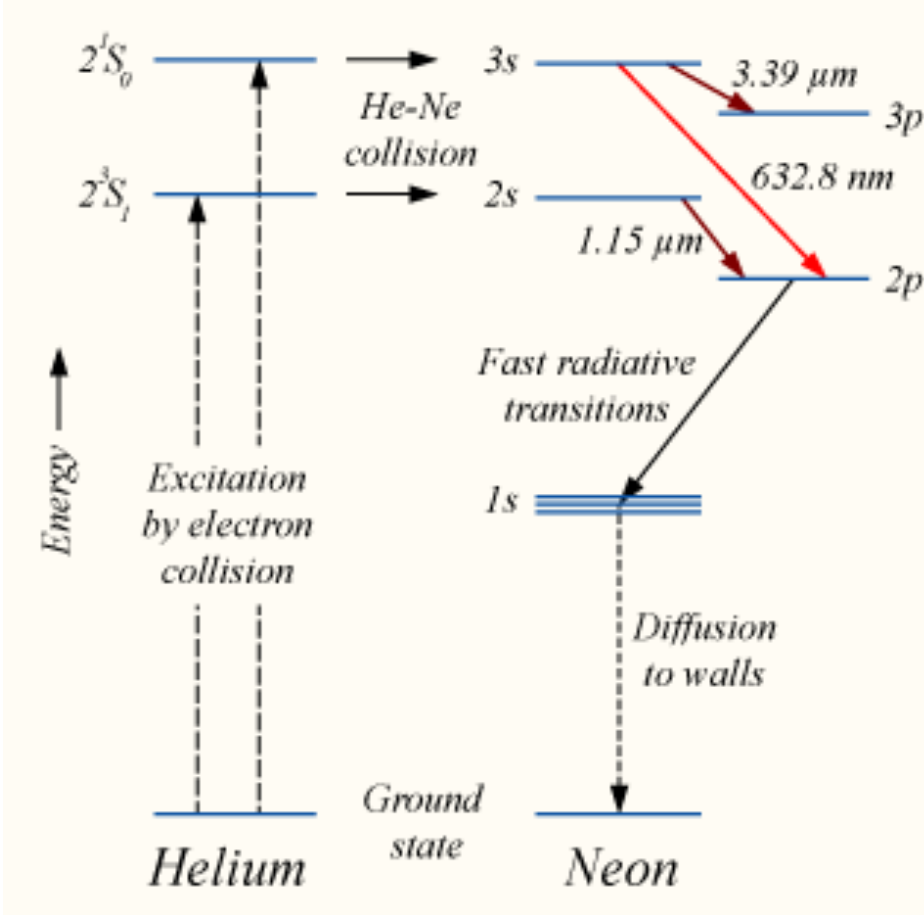
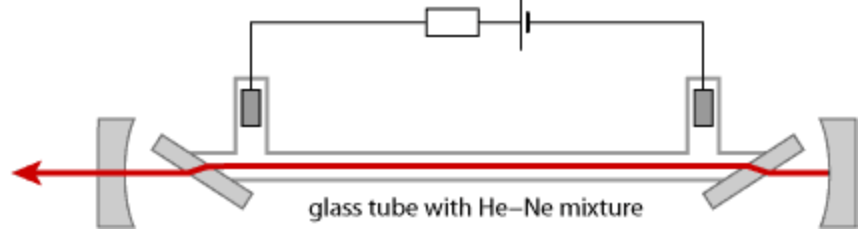


# Gázlézer (He-Ne)



A gáztérben lévő plazmában (amelyben szabad elektronok és pozitív ionok is vannak) a hélium atomok a rugalmatlan ütközések során gerjesztődhetnek.

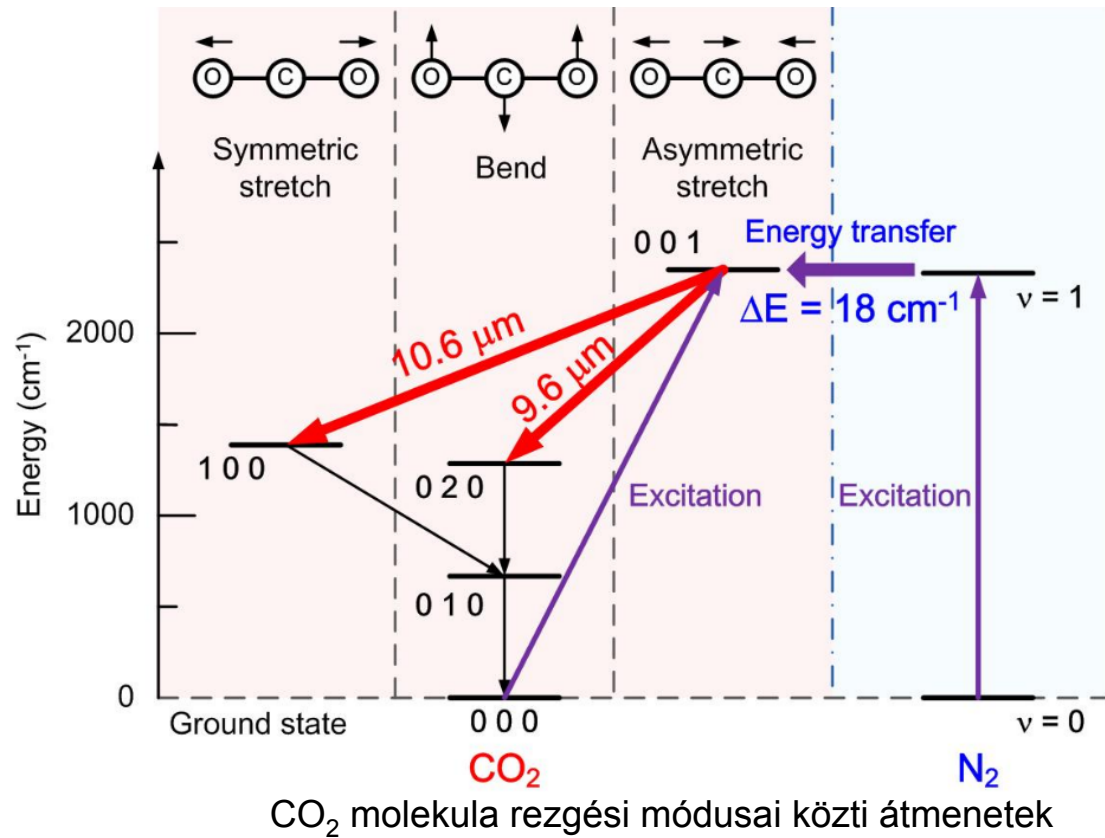
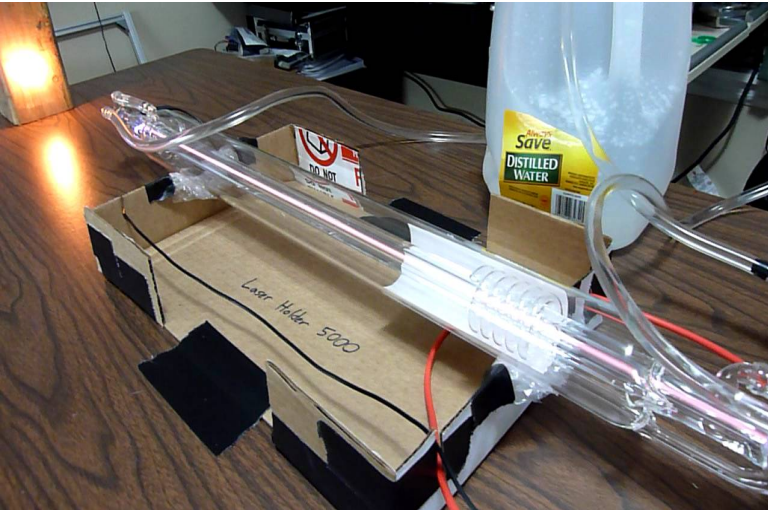
Egy gerjesztett hélium atom - ütközve egy neon atommal - átadhatja annak gerjesztési energiáját. A lézerműködés (indukált emisszió) a rezonátor tükrök reflexiójától függően a neon atom két megengedett nívója között jöhet létre.



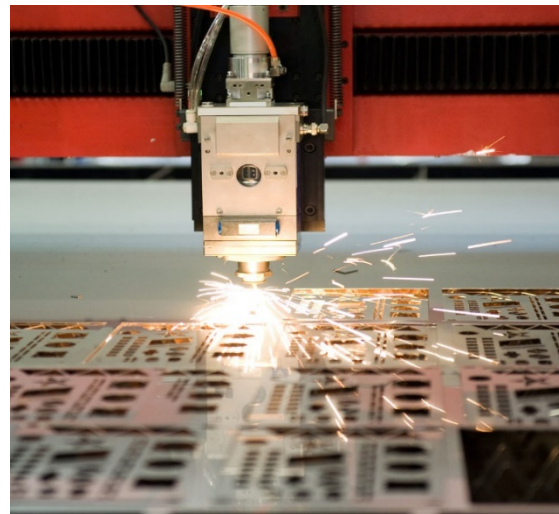
$\lambda=632,8 \text{ nm}$   
**P=1-10 mW**

- Jellemző koherencia hossz:  $l \sim 30 \text{ cm}$
- Hatásfok  $\sim 5\%$
- Felhasználása: laboratóriumi eszközök, interferométerek

# Gázlézer (CO<sub>2</sub>)



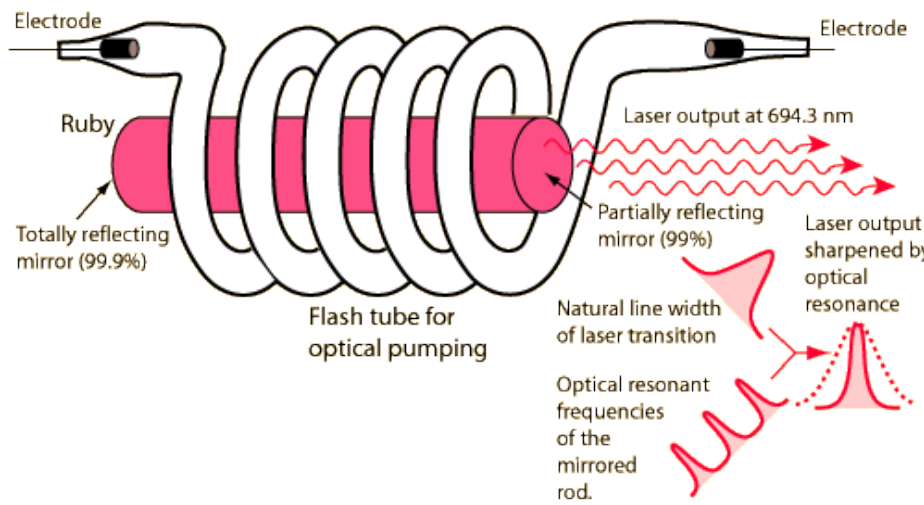
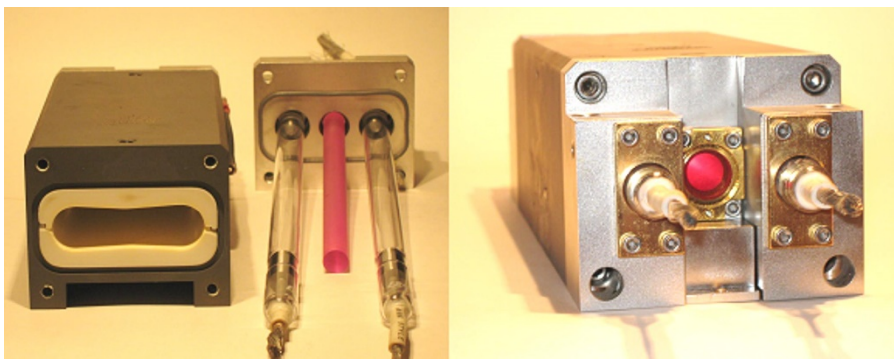
- Gerjesztése: elektromos kisüléssel
- Hatásfok ~10-20%
- Nagy teljesítmény
- Felhasználása: ipari megmunkálás, sebészet



$\lambda=10,6 \mu\text{m}$

$P=10-10000 \text{ W}$

# Szilárdtest lézer (rubin)



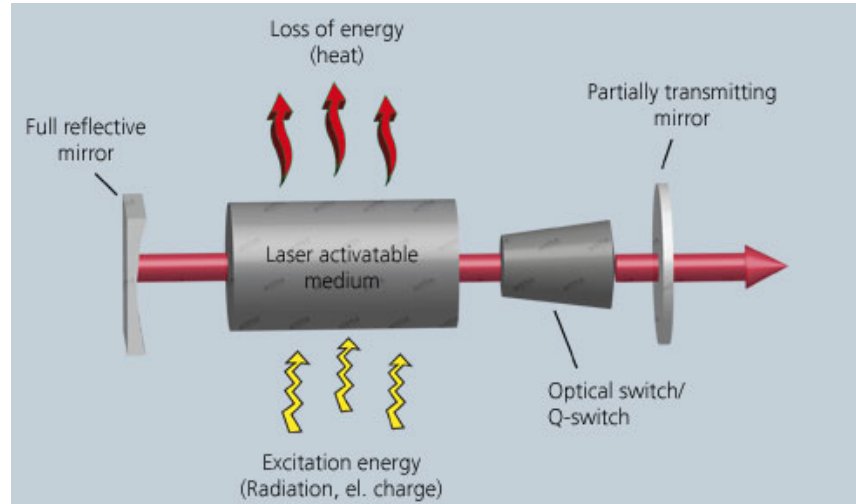
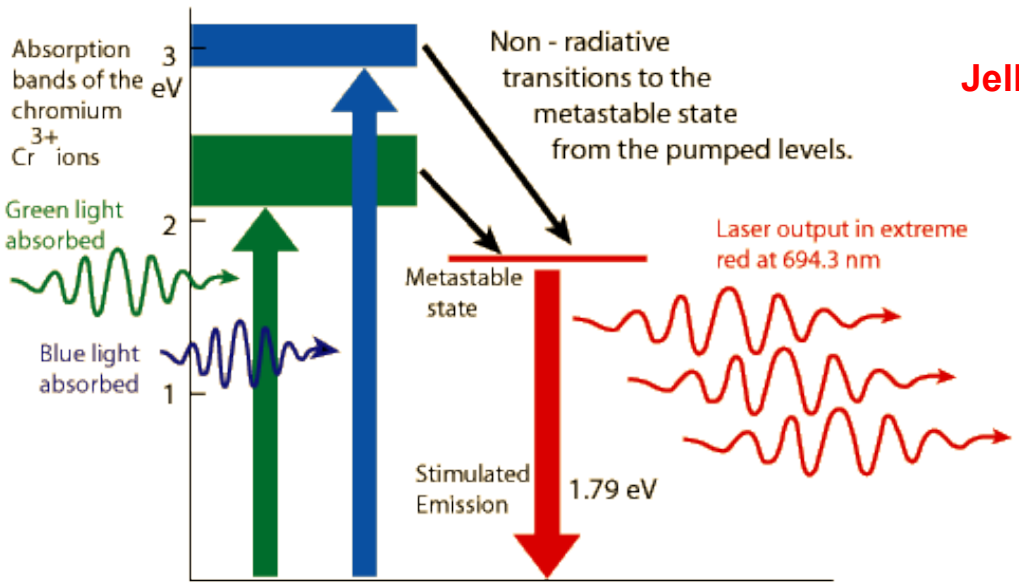
Rubin lézer: 1960. Nobel-díj **1964**-ben.  
(N. G. Basov, A. Prokhorov, C. H. Townes)

$\lambda=694,3 \text{ nm}$

**P=1-2 mW impulzus üzemű**

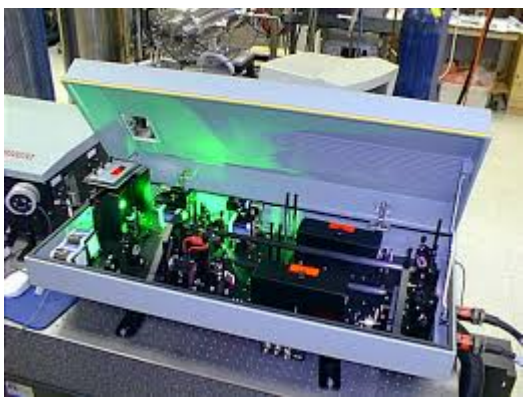
Felhasználása: laboratóriumi eszközök,  
lézeres radar

**Jellemző koherencia-hossz: néhány mm**





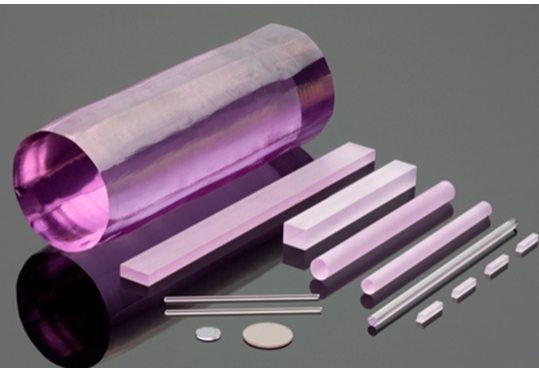
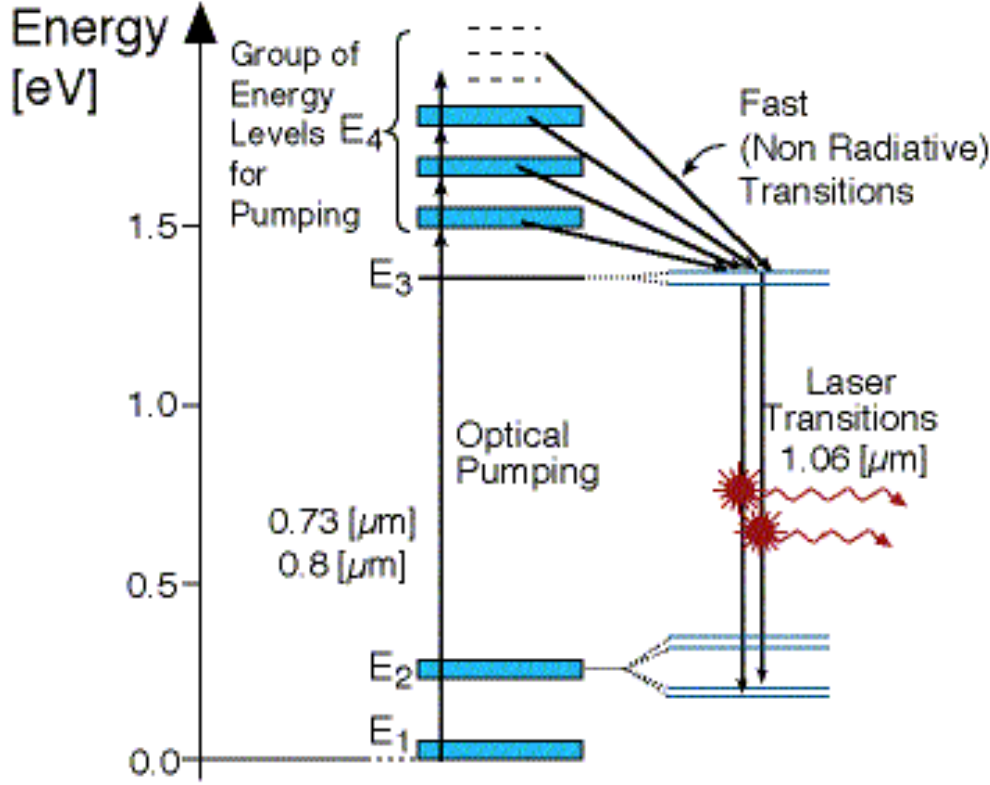
# Szilárdtest lézer (Nd:YAG)



$\lambda=1064 \text{ nm}, 532 \text{ nm}$  (frekvencia kétszerezve)

$P=1 \text{ mW}-5000 \text{ W}$

- Gerjesztése: kisülőlámpával, LED-del, lézerdiodával
- Felhasználása: laboratóriumi eszközök, lézer pointer, ipari megmunkálás, sebészet (finomabb megmunkálást tesz lehetővé, mint a  $\text{CO}_2$ )



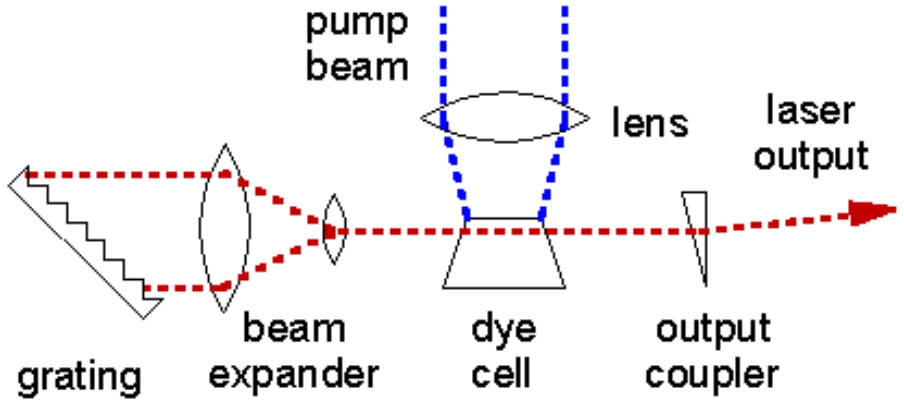
Neodímium atomok  
Ittrium-alumínium-gránát kristályban



# Festék lézer

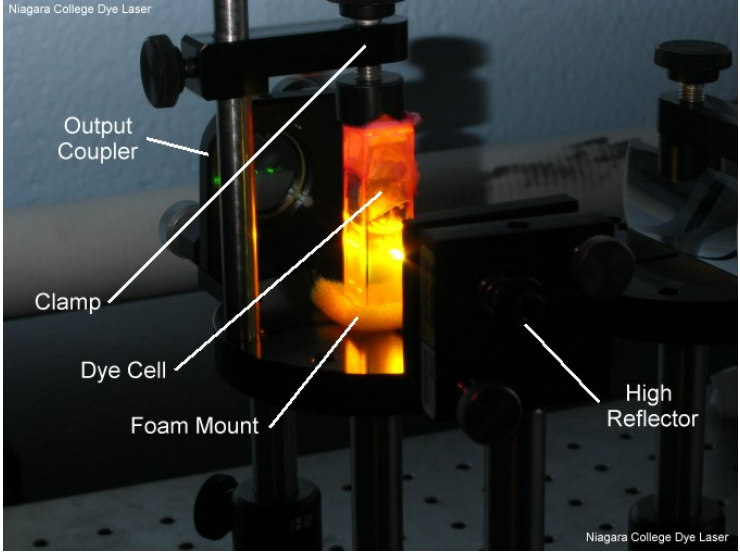
Lézeraktív anyag: szerves fluoreszcens festékek

Rezonátorban elhelyezett diszperzív optikai elem segítségével a lézer hullámhossza széles (~100 nm-es) tartományban hangoltató:

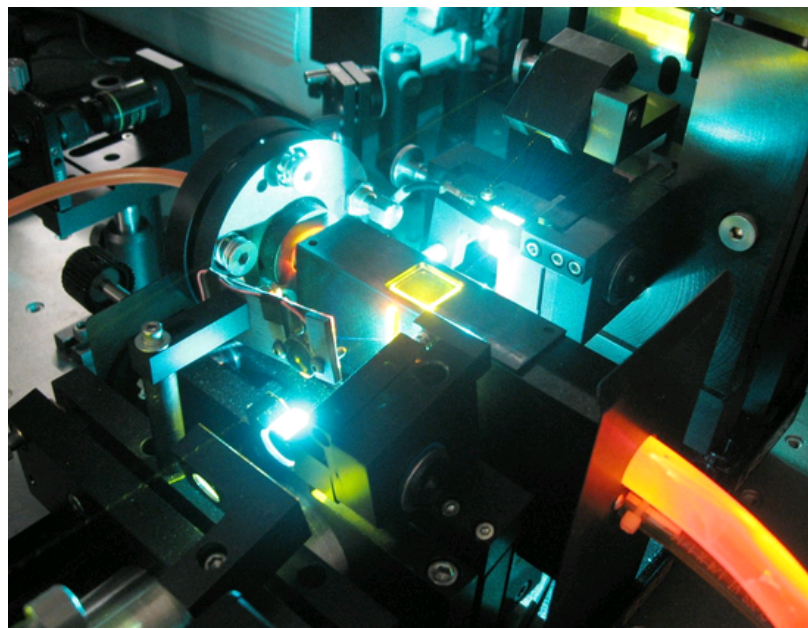


$\lambda \approx 1000 \text{ nm} - 400 \text{ nm}$  (festéktől függően)

$P = 1 \text{ mW} - 5000 \text{ W}$



- Gerjesztése: kisülőlámpával, másik lézerrel
- Felhasználása: spektroszkópia, ipari megmunkálás, sebészet, bőrgyógyászat.



# További alkalmazások

Vágás, hegesztés,  
forrasztás, felületkezelés



Hologram készítés



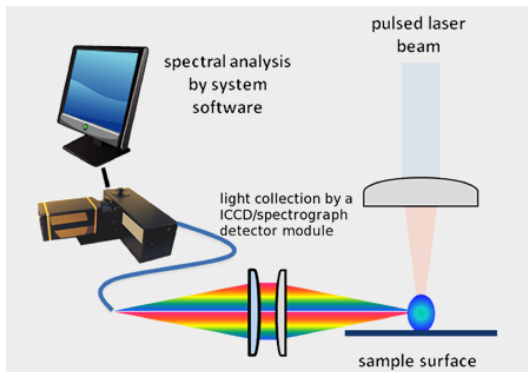
„Traffipax”



Áramlástanai vizsgálatok



Anyagvizsgálati  
módszerek



Interferometria, alakmérés

