

Mézerek és lézerek

Berta Miklós
SZE, Fizika és Kémia Tsz.

2006. november 19.



Bevezetés

- Fény és anyag kölcsönhatása

Inverz populáció

Mézerek

Lézerek

Bevezetés



Fény és anyag kölcsönhatása

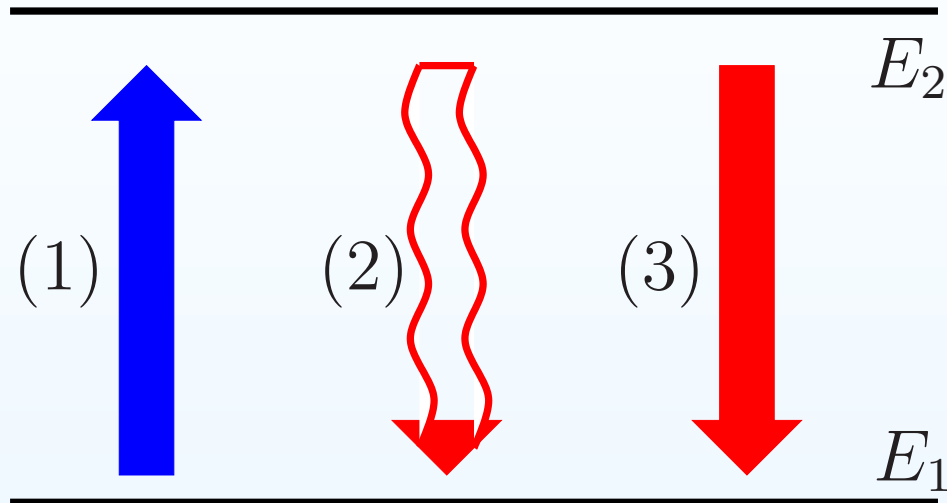
Bevezetés

• Fény és anyag
kölcsönhatása

Inverz populáció

Mézerek

Lézerek



(1) – gerjesztés

(2) – spontán emisszió

(3) – indukált emisszió



Bevezetés

• Fény és anyag
kölcshatása

Inverz populáció

Mézerek

Lézerek

- **Gerjesztés** - az atomok elektronjai külső energiaközlésre alacsonyabb energetikai állapotukból nagyobb energiájú állapotba kerülhetnek. Ez a gerjesztési folyamat *mindig külső energia hatására következik be*.



Bevezetés

● Fény és anyag
kölcshatása

Inverz populáció

Mézerek

Lézerek

- **Gerjesztés** - az atomok elektronjai külső energiaközlésre alacsonyabb energetikai állapotukból nagyobb energiájú állapotba kerülhetnek. Ez a gerjesztési folyamat *mindig külső energia hatására következik be*.
- **Spontán emisszió** - az energiaminimum elvének következtében a gerjesztett elektron, *minden külső behatás nélkül*, alacsonyabb energetikai állapotba kerülhet miközben többletenergiáját egy foton formájában sugározza ki.



Bevezetés

● Fény és anyag köölcsönhatása

Inverz populáció

Mézerek

Lézerek

- **Gerjesztés** - az atomok elektronjai külső energiaközlésre alacsonyabb energetikai állapotukból nagyobb energiájú állapotba kerülhetnek. Ez a gerjesztési folyamat *mindig külső energia hatására következik be*.
- **Spontán emisszió** - az energiaminimum elvének következtében a gerjesztett elektron, *minden külső behatás nélkül*, alacsonyabb energetikai állapotba kerülhet miközben többletenergiáját egy foton formájában sugározza ki.
- **Stimulált vagy indukált emisszió** - ha jelen van már egy, vagy több $h\nu = E_2 - E_1$ energiájú foton, és a rendszer gerjesztett állapotban van, akkor a gerjesztett elektron *a már jelenlévő foton hatására* az alacsonyabb energetikai állapotba kerül egy újabb ugyanolyan $h\nu$ energiájú foton kisugárzásának kíséretében.



Bevezetés

• Fény és anyag
kölcshatása

Inverz populáció

Mézerek

Lézerek

Spontán emisszió - az emittált fotonok csak energiájukban egyeznek meg, más tulajdonságaikban véletlenszerűen eltérnek.



Bevezetés

● Fény és anyag
kölcshatása

Inverz populáció

Mézerek

Lézerek

Spontán emisszió - az emittált fotonok csak energiájukban egyeznek meg, más tulajdonságaikban véletlenszerűen eltérnek.

Stimulált vagy indukált emisszió - az emittált fotonok minden tulajdonsága megegyezik, mert ugyanaz az elektromágneses mező kényszeríti ki az átmeneteket. Ezek a fotonok **koherensek**.



Bevezetés

● Fény és anyag
kölcshatása

Inverz populáció

Mézerek

Lézerek

Spontán emisszió - az emittált fotonok csak energiájukban egyeznek meg, más tulajdonságaikban véletlenszerűen eltérnek.

Stimulált vagy indukált emisszió - az emittált fotonok minden tulajdonsága megegyezik, mert ugyanaz az elektromágneses mező kényszeríti ki az átmeneteket. Ezek a fotonok **koherensek**.

A koherens fotonok következő fizikai jellemzői azonosak:

- frekvencia
- polarizáció
- kezdőfázis
- terjedési irány



Bevezetés

Inverz populáció

- Inverz populáció

Mézerek

Lézerek

Inverz populáció



[Bevezetés](#)

[Inverz populáció](#)

● [Inverz populáció](#)

[Mézerek](#)

[Lézerek](#)

Inverz populáció

Erősítés csak akkor jöhet létre, ha többször történik emisszió, mint abszorpció.



Bevezetés

Inverz populáció

● **Inverz populáció**

Mézerek

Lézerek

Inverz populáció

Erősítés csak akkor jöhet létre, ha többször történik emisszió, mint abszorpció.

Adott hőmérsékleten az alacsonyabb energiájú állapotokban több elektron van, mint a magasabb energiájúakban.



Bevezetés

Inverz populáció

● **Inverz populáció**

Mézerek

Lézerek

Inverz populáció

Erősítés csak akkor jöhet létre, ha többször történik emisszió, mint abszorpció.

Adott hőmérsékleten az alacsonyabb energiájú állapotokban több elektron van, mint a magasabb energiájúakban.

Az erősítés érdekében ezt a természetes állapotot meg kell fordítani.



Bevezetés

Inverz populáció

● Inverz populáció

Mézerek

Lézerek

Inverz populáció

Erősítés csak akkor jöhet létre, ha többször történik emisszió, mint abszorpció.

Adott hőmérsékleten az alacsonyabb energiájú állapotokban több elektron van, mint a magasabb energiájúakban.

Az erősítés érdekében ezt a természetes állapotot meg kell fordítani.

Inverz populáció - több a gerjesztett atom mint az alapállapotban lévő



Bevezetés

Inverz populáció

● Inverz populáció

Mézerek

Lézerek

Inverz populáció

Erősítés csak akkor jöhet létre, ha többször történik emisszió, mint abszorpció.

Adott hőmérsékleten az alacsonyabb energiájú állapotokban több elektron van, mint a magasabb energiájúakban.

Az erősítés érdekében ezt a természetes állapotot meg kell fordítani.

Inverz populáció - több a gerjesztett atom mint az alapállapotban lévő

$$N_m > N_n$$

Kialakításához külső energiát kell befektetni. \implies **szivattyúzás**



Bevezetés

Inverz populáció

Mézerek

- Ammónia-mézer

Lézerek

Mézerek



[Bevezetés](#)

[Inverz populáció](#)

[Mézerek](#)

● [Ammónia-mézer](#)

[Lézerek](#)

Ammónia-mézer

Az ammóniamolekulában található három hidrogénatom asszimmetrikusan helyezkedik el a térben a nitrogénatom körül.



Ammónia-mézer

Bevezetés

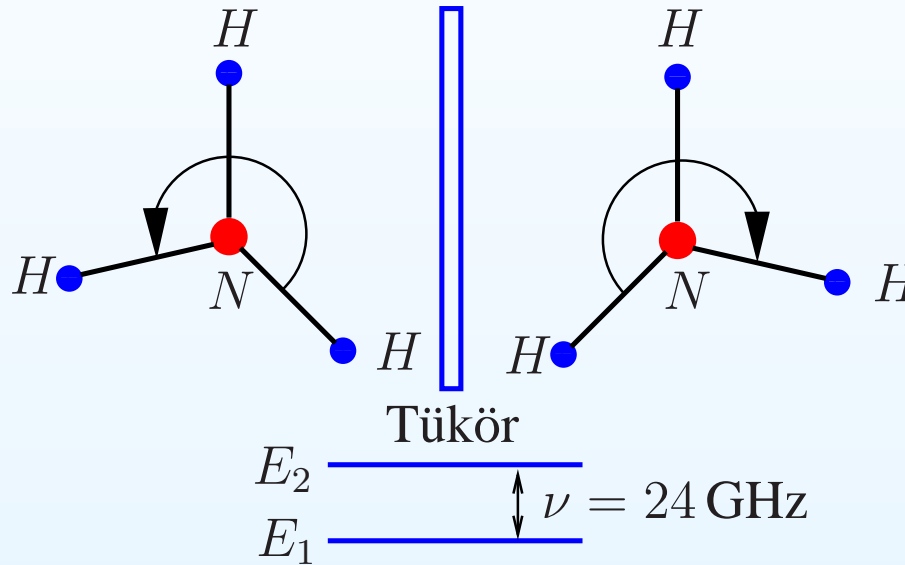
Inverz populáció

Mézerek

● Ammónia-mézer

Lézerek

Az ammóniamolekulában található három hidrogénatom asszimmetrikusan helyezkedik el a térben a nitrogénatom körül.





Ammónia-mézer

Bevezetés

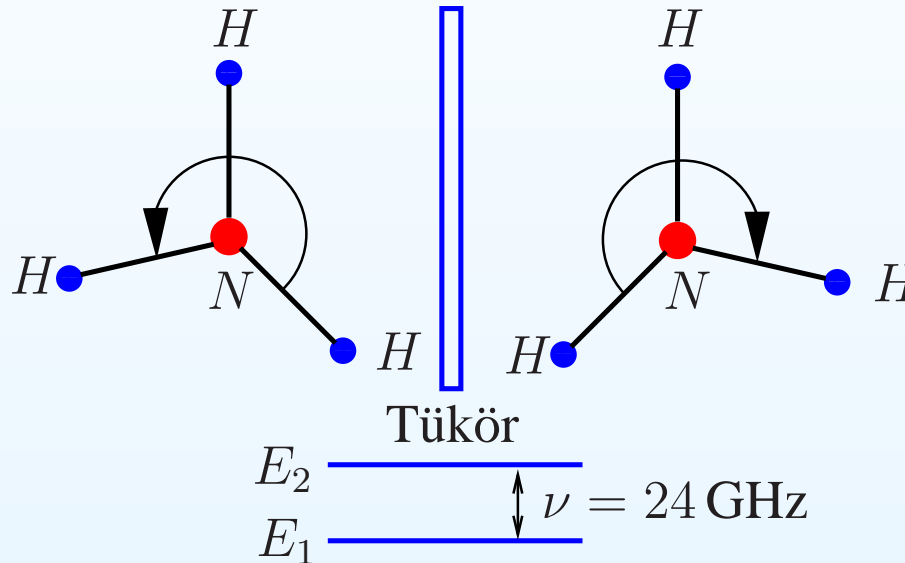
Inverz populáció

Mézerek

• Ammónia-mézer

Lézerek

Az ammóniamolekulában található három hidrogénatom asszimmetrikusan helyezkedik el a térben a nitrogénatom körül.



Két körüljárási irány \implies energiaszintek felhasadása



Bevezetés

Inverz populáció

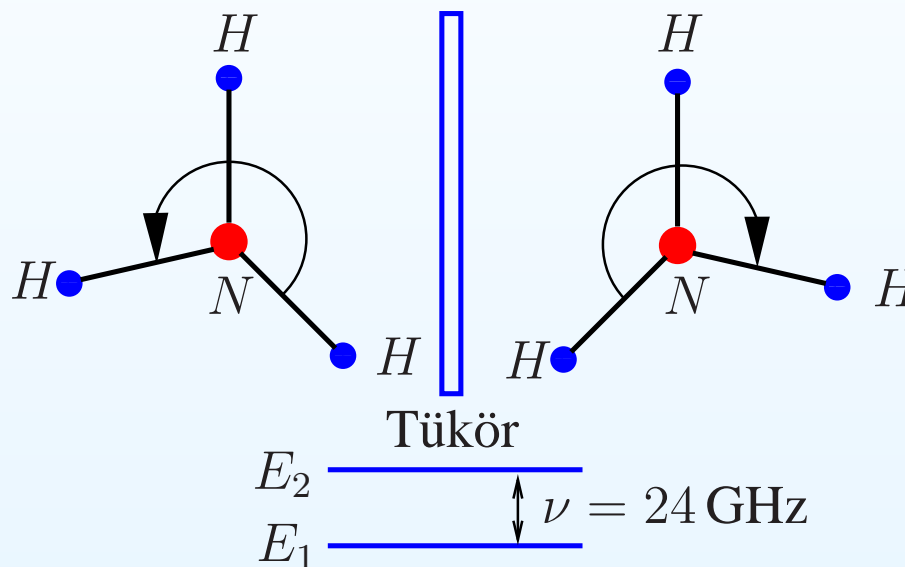
Mézerek

• Ammónia-mézer

Lézerek

Ammónia-mézer

Az ammóniamolekulában található három hidrogénatom asszimmetrikusan helyezkedik el a térben a nitrogénatom körül.



Két körüljárási irány \implies energiaszintek felhasadása

Az NH_3 molekula dipólusnyomatéka attól függ, hogy elektronja melyik energetikai állapotban tartózkodik. \implies a dipólusnyomaték alapján a molekulák energetikai állapotuk szerint inhomogén elektromos térben szétválogathatók



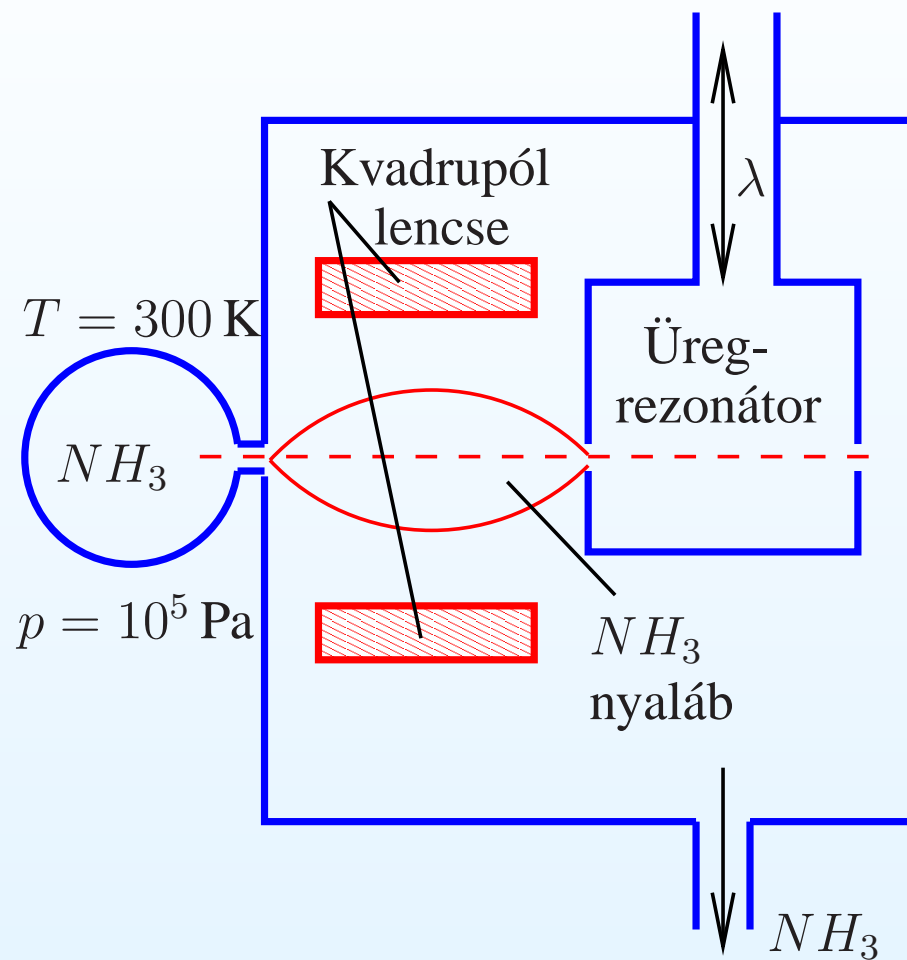
Bevezetés

Inverz populáció

Mézerek

• Ammónia-mézer

Lézerek





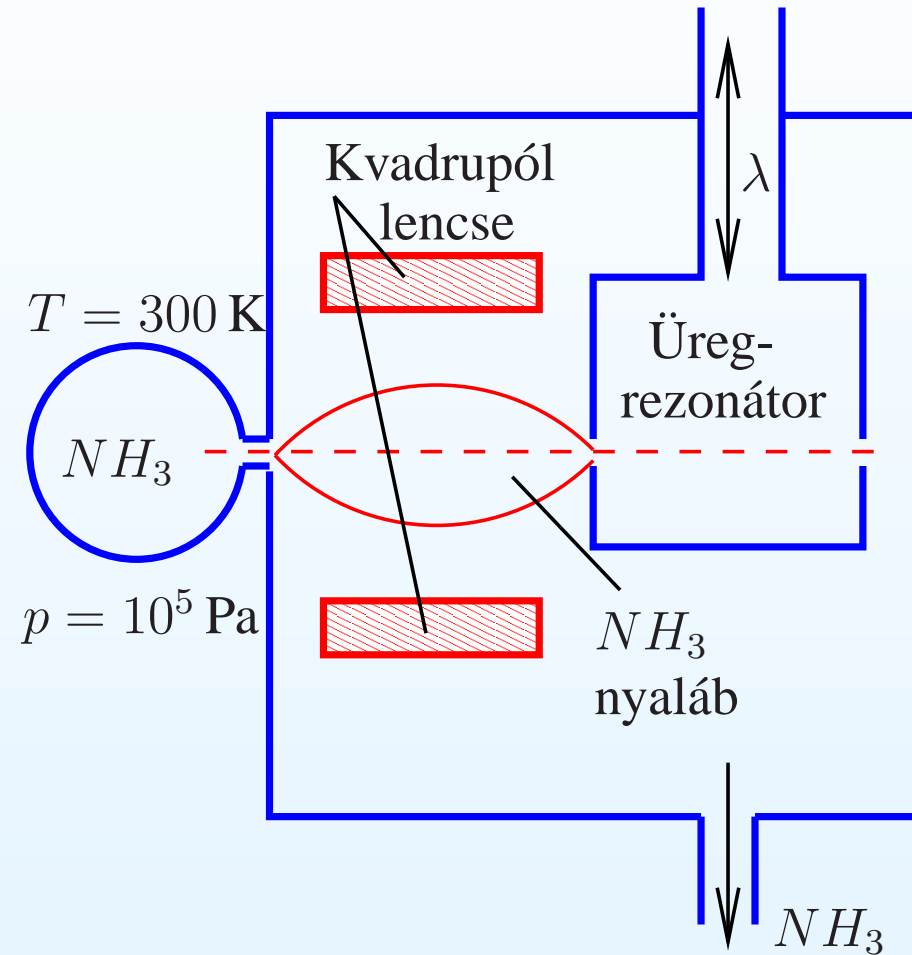
Bevezetés

Inverz populáció

Mézerek

• Ammónia-mézer

Lézerek



Frekvenciaingadozás $\sim \pm 1 \text{ Hz!!!}$



Bevezetés

Inverz populáció

Mézerek

Lézerek

- Közös vonások
- Rubinlézer
- He-Ne lézer
- He-Ne lézer
- Lézerfény tulajdonságai
- Lézerfény alkalmazásai
- Holográfia

Lézerek



Bevezetés

Inverz populáció

Mézerek

Lézerek

● **Közös vonások**

- Rubinlézer
- He-Ne lézer
- He-Ne lézer
- Lézerfény tulajdonságai
- Lézerfény alkalmazásai
- Holográfia

Közös vonások

- külső energia betáplálásával biztosítani kell az inverz populációt, illetve



Bevezetés

Inverz populáció

Mézerek

Lézerek

● **Közös vonások**

- Rubinlézer
- He-Ne lézer
- He-Ne lézer
- Lézerfény tulajdonságai
- Lézerfény alkalmazásai
- Holográfia

Közös vonások

- külső energia betáplálásával biztosítani kell az inverz populációt, illetve
- a látható fény frekvenciatartományában is biztosítani kell a stimulált átmenetek túlsúlyát, mivel természetes körülmények között ebben a tartományban a spontán emisszió a valószínűbb.



Bevezetés

Inverz populáció

Mézerek

Lézerek

● **Közös vonások**

- Rubinlézer
- He-Ne lézer
- He-Ne lézer
- Lézerfény tulajdonságai
- Lézerfény alkalmazásai
- Holográfia

Közös vonások

- külső energia betáplálásával biztosítani kell az inverz populációt, illetve
- a látható fény frekvenciatartományában is biztosítani kell a stimulált átmenetek túlsúlyát, mivel természetes körülmények között ebben a tartományban a spontán emisszió a valószínűbb.

Szivattyúzás \longleftrightarrow **metastabil állapot** - viszonylag hosszú ideig létező gerjesztett állapot (\sim ms)



Bevezetés

Inverz populáció

Mézerek

Lézerek

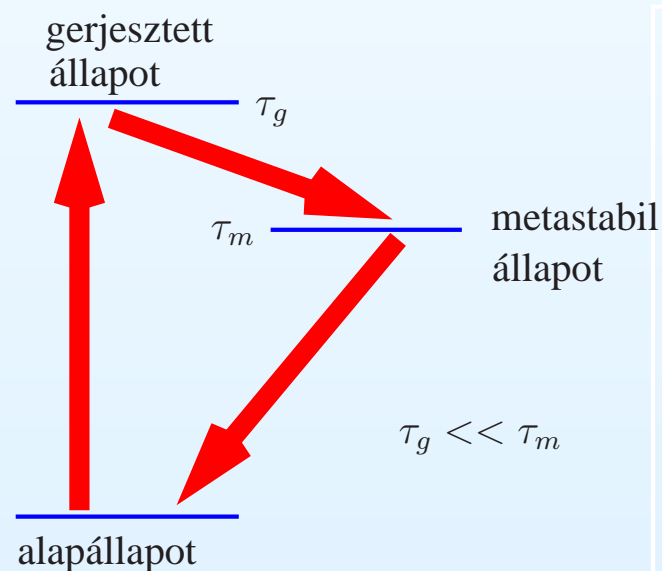
● **Közös vonások**

- Rubinlézer
- He-Ne lézer
- He-Ne lézer
- Lézerfény tulajdonságai
- Lézerfény alkalmazásai
- Holográfia

Közös vonások

- külső energia betáplálásával biztosítani kell az inverz populációt, illetve
- a látható fény frekvenciatartományában is biztosítani kell a stimulált átmenetek túlsúlyát, mivel természetes körülmények között ebben a tartományban a spontán emisszió a valószínűbb.

Szivattyúzás \longleftrightarrow **metastabil állapot** - viszonylag hosszú ideig létező gerjesztett állapot (\sim ms)





Bevezetés

Inverz populáció

Mézerek

Lézerek

● **Közös vonások**

- Rubinlézer
- He-Ne lézer
- He-Ne lézer
- Lézerfény tulajdonságai
- Lézerfény alkalmazásai
- Holográfia

A spektrális intenzitás növelése \implies **optikai rezonátorok**, tükrök segítségével



Bevezetés

Inverz populáció

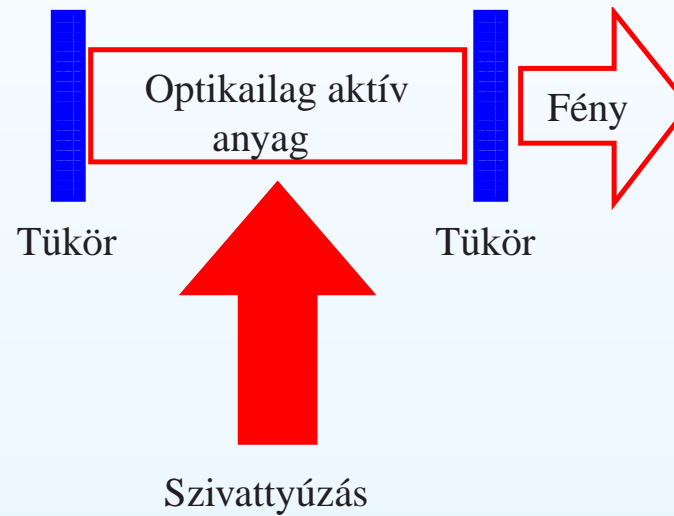
Mézerek

Lézerek

● **Közös vonások**

- Rubinlézer
- He-Ne lézer
- He-Ne lézer
- Lézerfény tulajdonságai
- Lézerfény alkalmazásai
- Holográfia

A spektrális intenzitás növelése \implies **optikai rezonátorok**, tükrök segítségével





Bevezetés

Inverz populáció

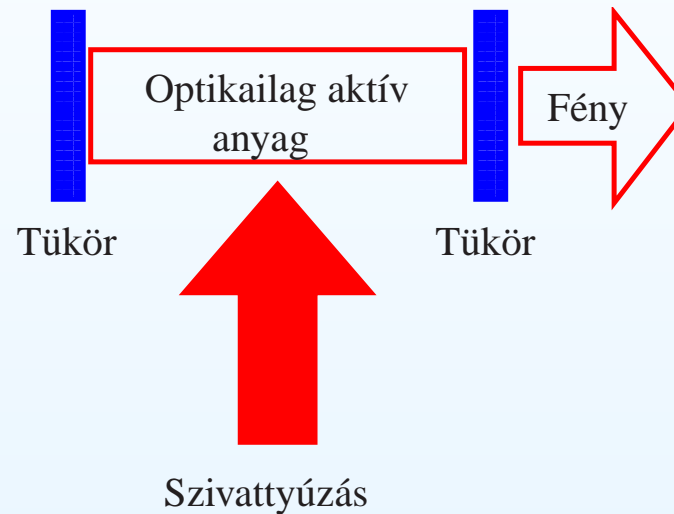
Mézerek

Lézerek

● **Közös vonások**

- Rubinlézer
- He-Ne lézer
- He-Ne lézer
- Lézerfény tulajdonságai
- Lézerfény alkalmazásai
- Holográfia

A spektrális intenzitás növelése \implies **optikai rezonátorok**, tükrök segítségével



Egyik tükör visszaverőképessége 100% a másiké kisebb mint 100%.
 \implies **lézerfény**



Rubinlézer

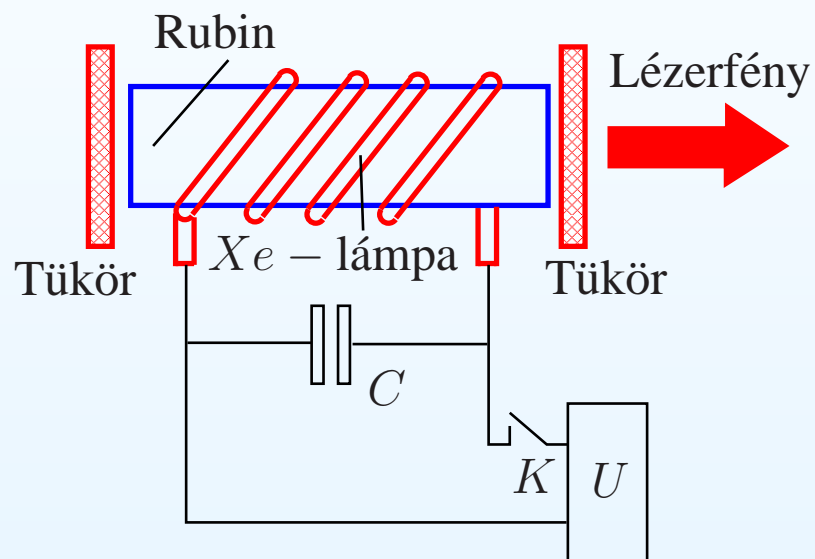
Bevezetés

Inverz populáció

Mézerek

Lézerek

- Közös vonások
- Rubinlézer
- He-Ne lézer
- He-Ne lézer
- Lézerfény tulajdonságai
- Lézerfény alkalmazásai
- Holográfia





Rubinlézer

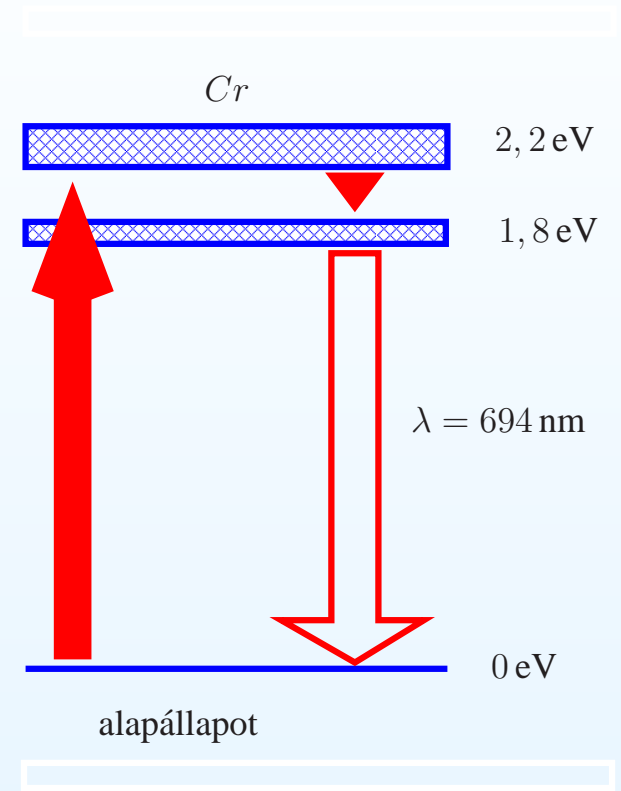
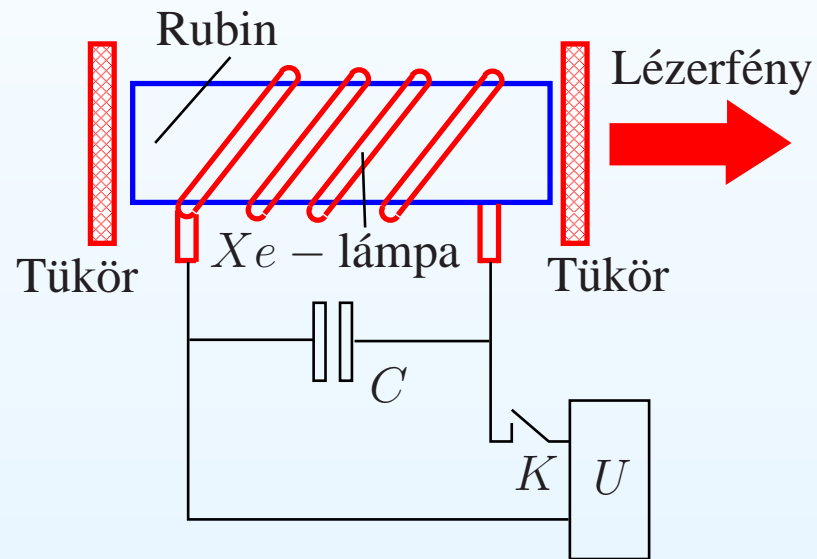
Bevezetés

Inverz populáció

Mézerek

Lézerek

- Közös vonások
- **Rubinlézer**
- He-Ne lézer
- He-Ne lézer
- Lézerfény tulajdonságai
- Lézerfény alkalmazásai
- Holográfia





Rubinlézer

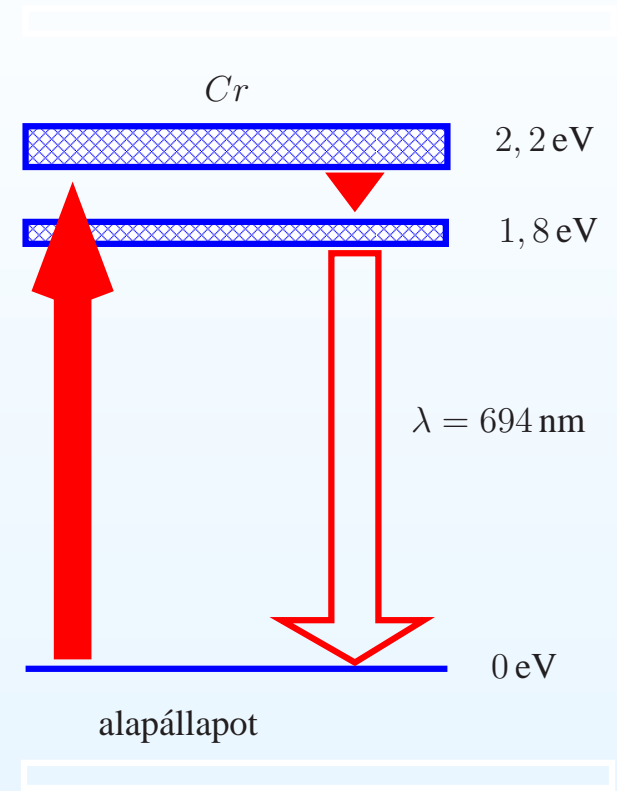
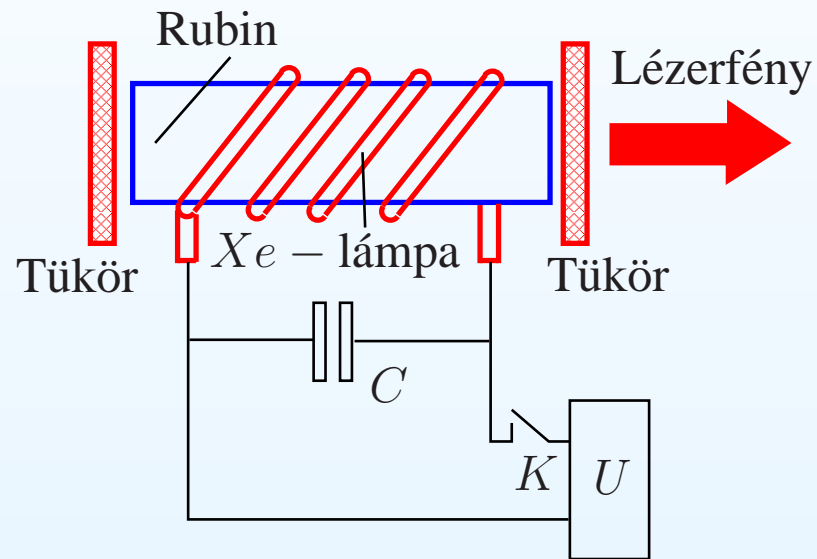
Bevezetés

Inverz populáció

Mézerek

Lézerek

- Közös vonások
- Rubinlézer
- He-Ne lézer
- He-Ne lézer
- Lézerfény tulajdonságai
- Lézerfény alkalmazásai
- Holográfia



Xe-lámpa villog \implies impulzuslézer



Rubinlézer

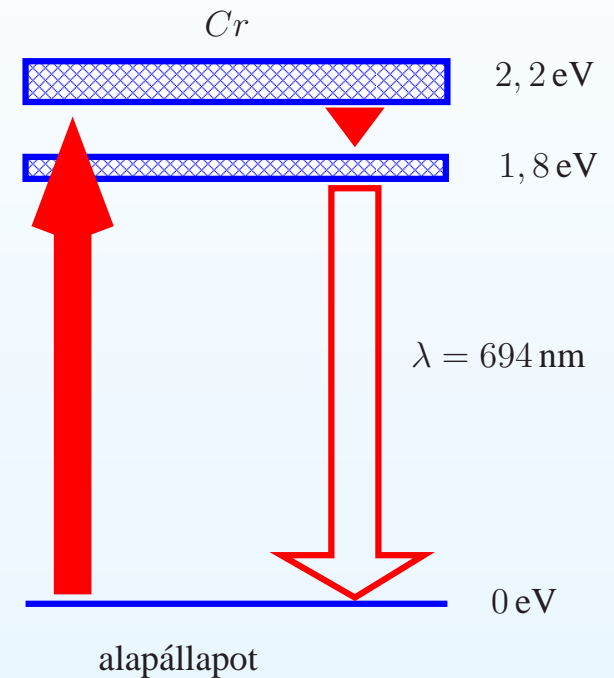
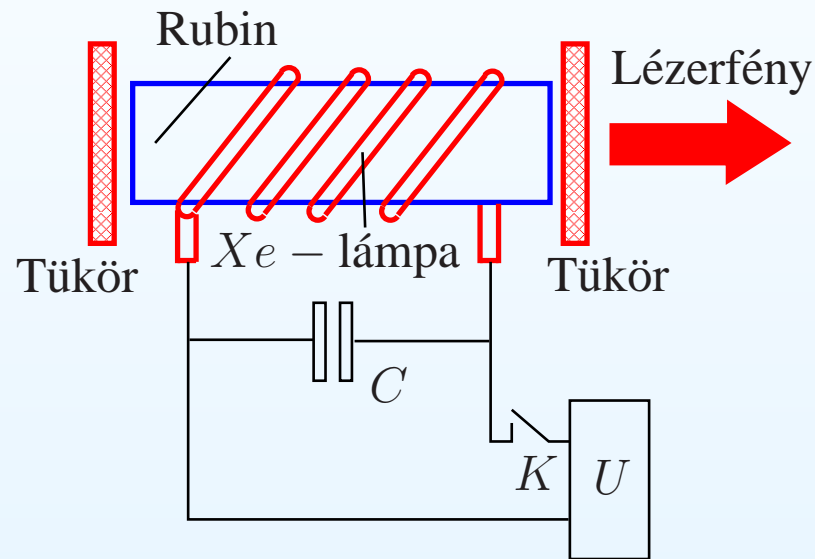
Bevezetés

Inverz populáció

Mézerek

Lézerek

- Közös vonások
- Rubinlézer
- He-Ne lézer
- He-Ne lézer
- Lézerfény tulajdonságai
- Lézerfény alkalmazásai
- Holográfia



Xe-lámpa villog \implies impulzuslézer

Nagyon nagy spektrális intenzitás érhető el velük!!!



Rubinlézer

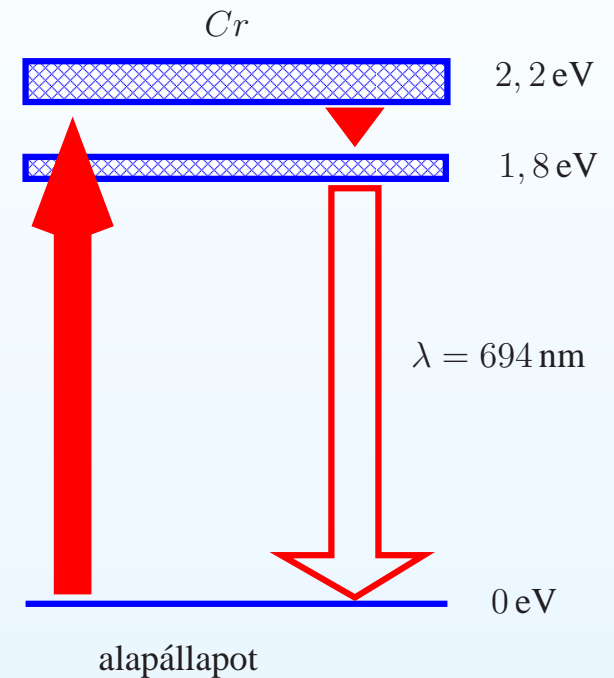
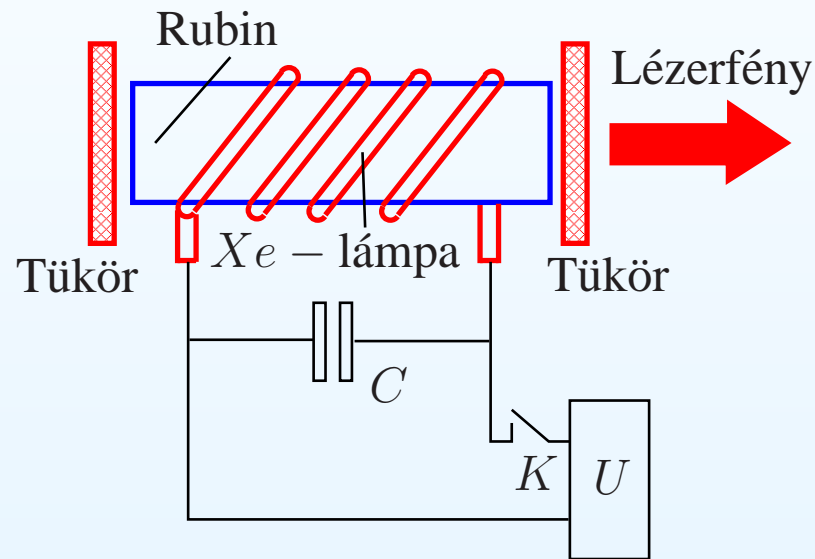
Bevezetés

Inverz populáció

Mézerek

Lézerek

- Közös vonások
- Rubinlézer
- He-Ne lézer
- He-Ne lézer
- Lézerfény tulajdonságai
- Lézerfény alkalmazásai
- Holográfia



Xe-lámpa villog \implies impulzuslézer

Nagyon nagy spektrális intenzitás érhető el velük!!!

Szilárdtest lézer \implies energiasávok \implies frekvenciaingadozás



He-Ne lézer

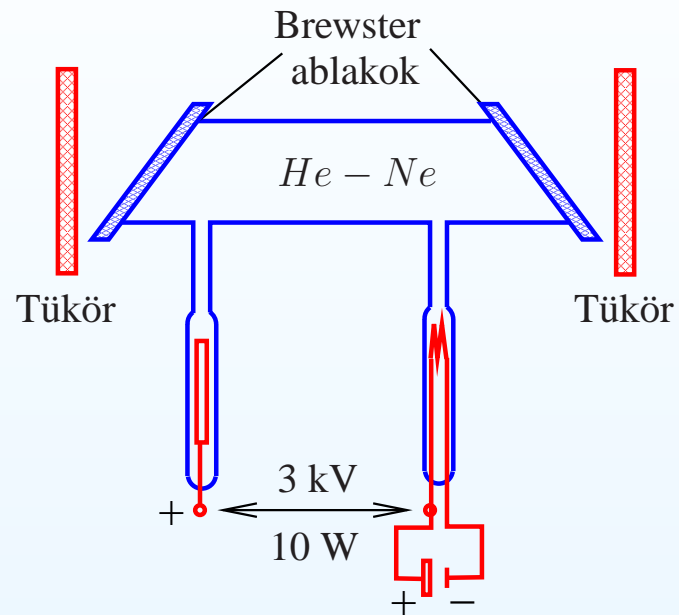
Bevezetés

Inverz populáció

Mézerek

Lézerek

- Közös vonások
- Rubinlézer
- He-Ne lézer
- He-Ne lézer
- Lézerfény tulajdonságai
- Lézerfény alkalmazásai
- Holográfia





He-Ne lézer

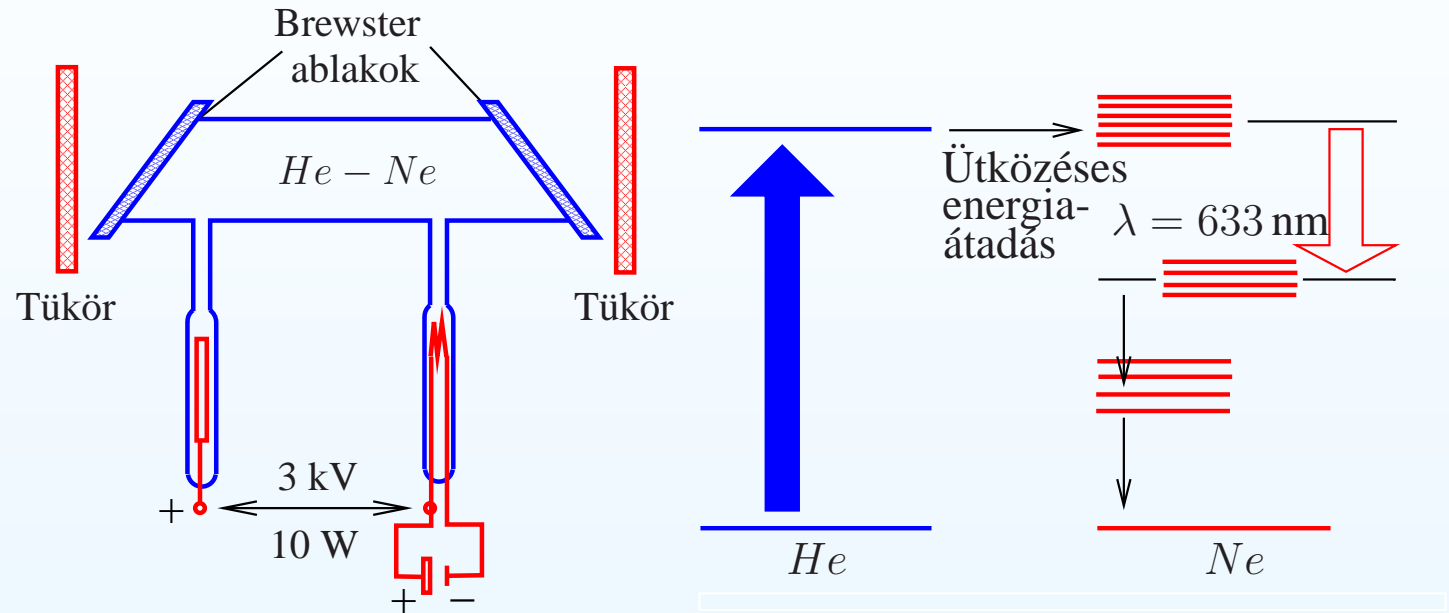
Bevezetés

Inverz populáció

Mézerek

Lézerek

- Közös vonások
- Rubinlézer
- **He-Ne lézer**
- He-Ne lézer
- Lézerfény tulajdonságai
- Lézerfény alkalmazásai
- Holográfia





He-Ne lézer

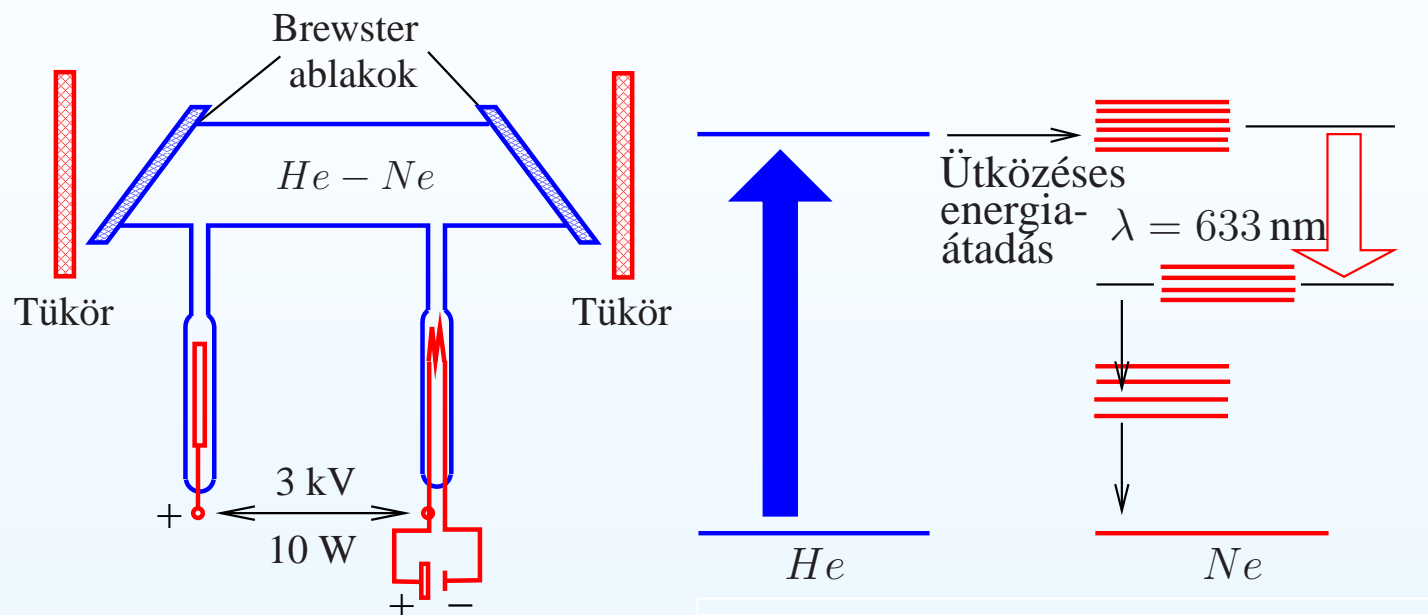
Bevezetés

Inverz populáció

Mézerek

Lézerek

- Közös vonások
- Rubinlézer
- He-Ne lézer
- He-Ne lézer
- Lézerfény tulajdonságai
- Lézerfény alkalmazásai
- Holográfia



Különálló atomok \implies nívók \implies frekvenciastabilitás



He-Ne lézer

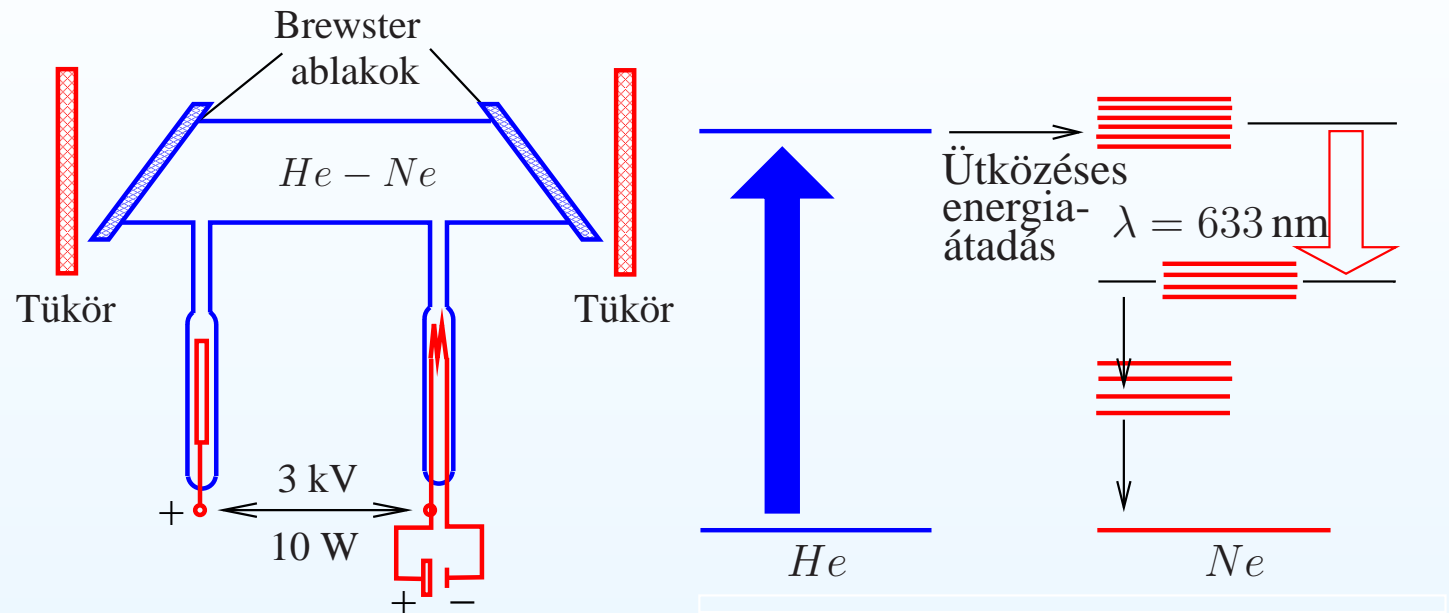
Bevezetés

Inverz populáció

Mézerek

Lézerek

- Közös vonások
- Rubinlézer
- He-Ne lézer
- He-Ne lézer
- Lézerfény tulajdonságai
- Lézerfény alkalmazásai
- Holográfia



Különálló atomok \implies nívók \implies frekvenciastabilitás

Viszonylag nagy koherenciahossz!!!



He-Ne lézer

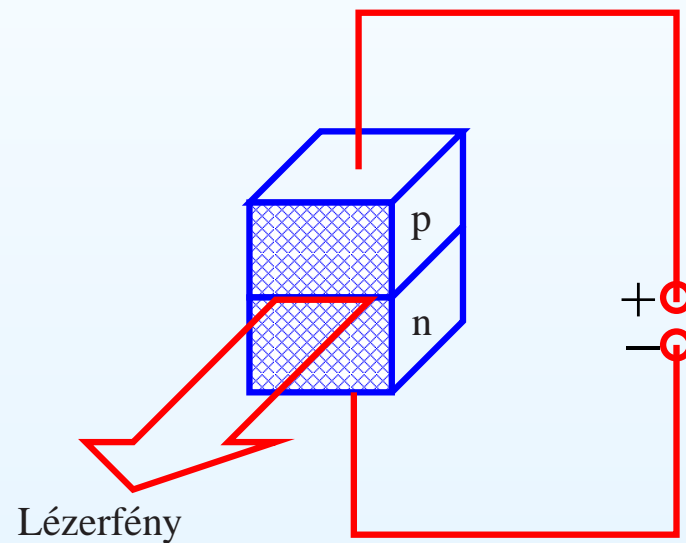
Bevezetés

Inverz populáció

Mézerek

Lézerek

- Közös vonások
- Rubinlézer
- He-Ne lézer
- He-Ne lézer
- Lézerfény tulajdonságai
- Lézerfény alkalmazásai
- Holográfia





He-Ne lézer

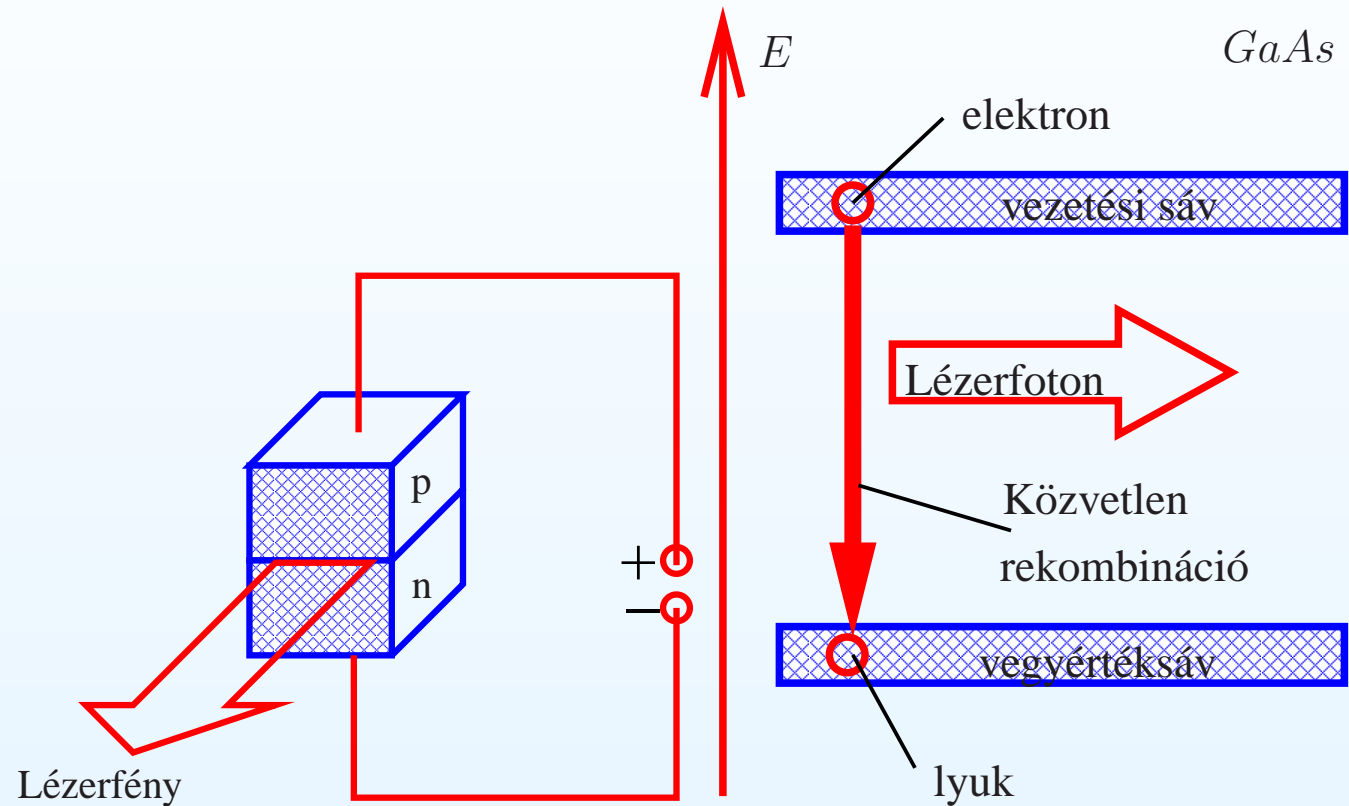
Bevezetés

Inverz populáció

Mézerek

Lézerek

- Közös vonások
- Rubinlézer
- He-Ne lézer
- He-Ne lézer
- Lézerfény tulajdonságai
- Lézerfény alkalmazásai
- Holográfia





He-Ne lézer

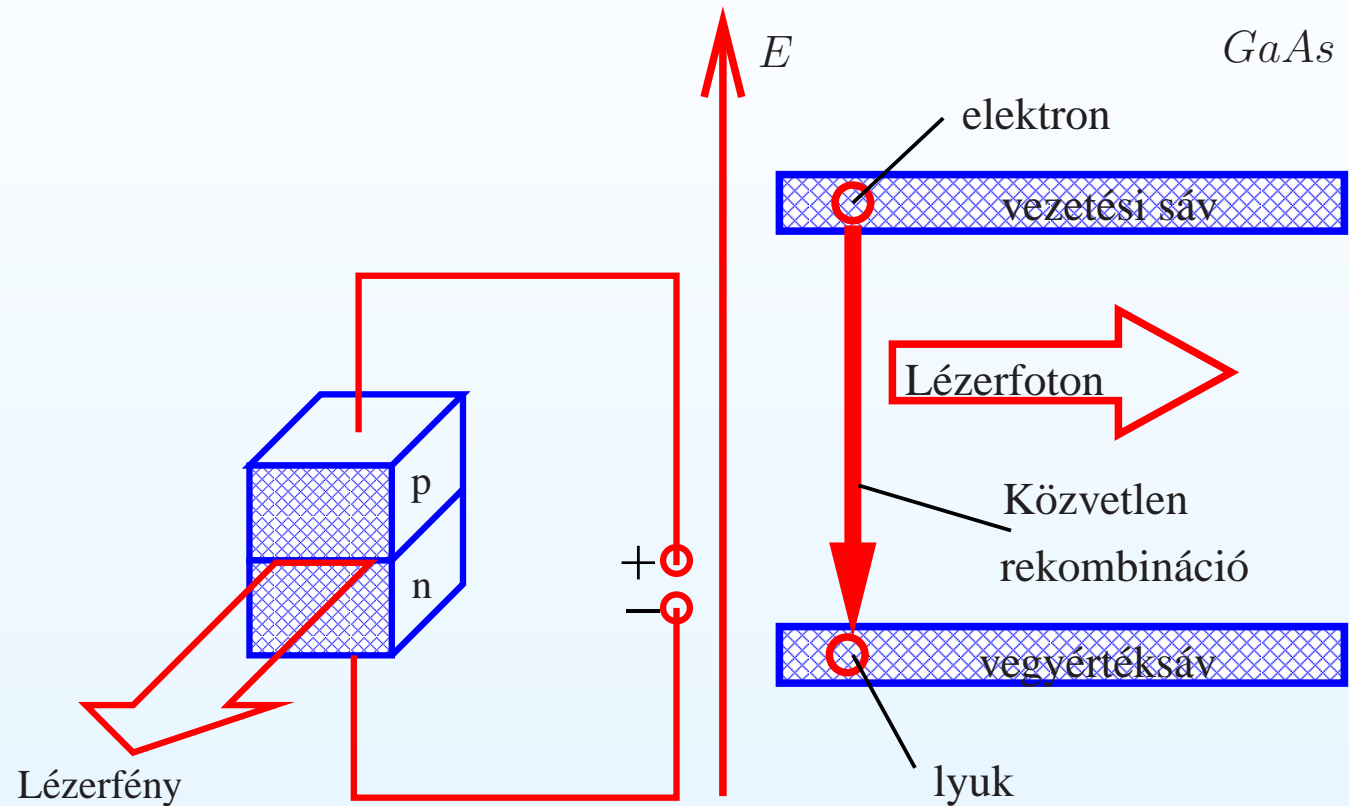
Bevezetés

Inverz populáció

Mézerek

Lézerek

- Közös vonások
- Rubinlézer
- He-Ne lézer
- He-Ne lézer
- Lézerfény tulajdonságai
- Lézerfény alkalmazásai
- Holográfia



Rácsrezgések nélküli elektron-lyuk rekombináció



He-Ne lézer

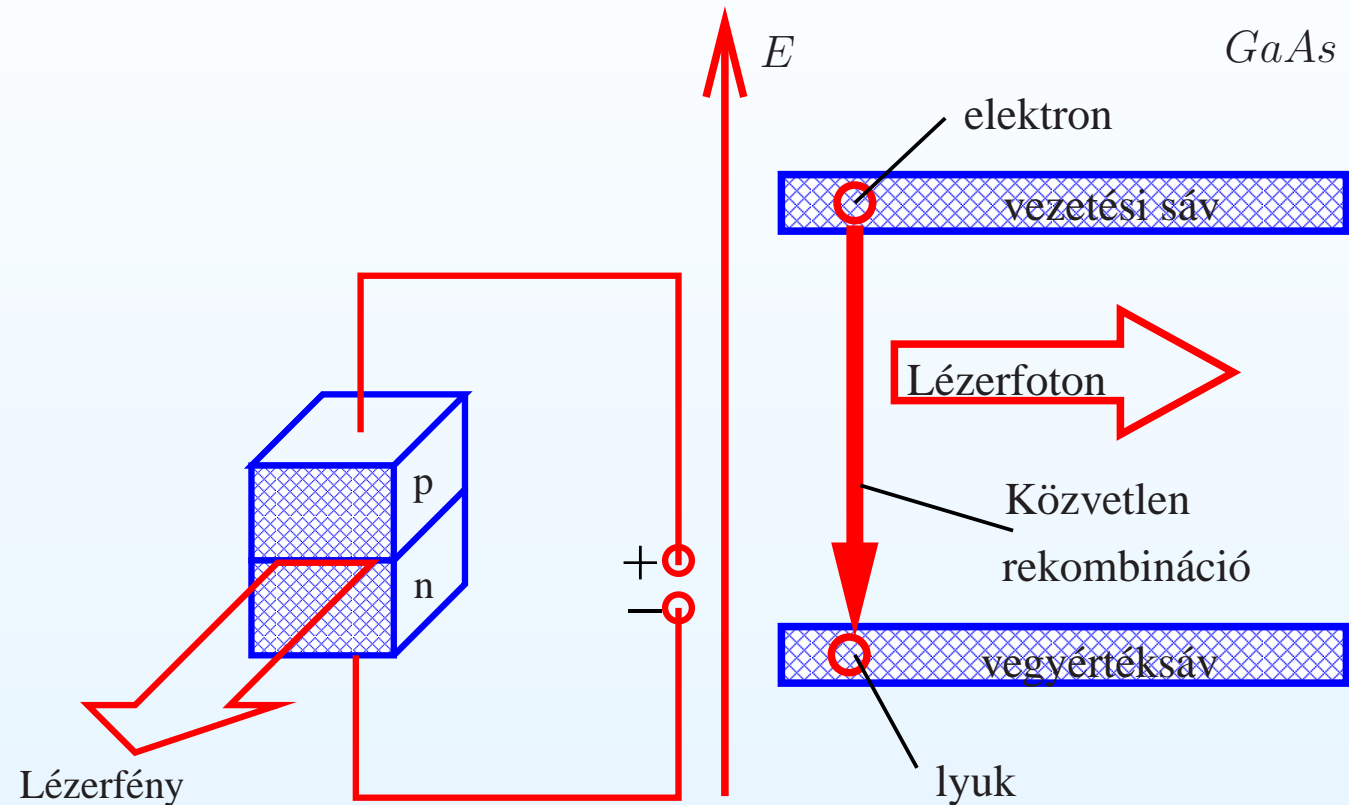
Bevezetés

Inverz populáció

Mézerek

Lézerek

- Közös vonások
- Rubinlézer
- He-Ne lézer
- He-Ne lézer
- Lézerfény tulajdonságai
- Lézerfény alkalmazásai
- Holográfia



Rácsrezgések nélküli elektron-lyuk rekombináció

Viszonylag nagy nyalábszéttartás és kicsi koherenciahossz, de nagyon kicsi méret!!!



Bevezetés

Inverz populáció

Mézerek

Lézerek

- Közös vonások
- Rubinlézer
- He-Ne lézer
- He-Ne lézer
- **Lézerfény tulajdonságai**
- Lézerfény alkalmazásai
- Holográfia

Lézerfény tulajdonságai

- nagy koherenciahossz (akár \sim m)



Bevezetés

Inverz populáció

Mézerek

Lézerek

- Közös vonások
- Rubinlézer
- He-Ne lézer
- He-Ne lézer
- **Lézerfény tulajdonságai**
- Lézerfény alkalmazásai
- Holográfia

Lézerfény tulajdonságai

- nagy koherenciahossz (akár $\sim \text{m}$)
- kicsi nyalábszéttartás \implies párhuzamos nyaláb



Bevezetés

Inverz populáció

Mézerek

Lézerek

- Közös vonások
- Rubinlézer
- He-Ne lézer
- He-Ne lézer
- **Lézerfény tulajdonságai**
- Lézerfény alkalmazásai
- Holográfia

Lézerfény tulajdonságai

- nagy koherenciahossz (akár $\sim \text{m}$)
- kicsi nyalábszéttartás \implies párhuzamos nyaláb
- nagyfokú „egyszínűség”, monokromatikus fény



Bevezetés

Inverz populáció

Mézerek

Lézerek

- Közös vonások
- Rubinlézer
- He-Ne lézer
- He-Ne lézer
- **Lézerfény tulajdonságai**
- Lézerfény alkalmazásai
- Holográfia

Lézerfény tulajdonságai

- nagy koherenciahossz (akár $\sim \text{m}$)
- kicsi nyalábszéttartás \implies párhuzamos nyaláb
- nagyfokú „egyszínűség”, monokromatikus fény
- nagy spektrális intenzitás



Lézerfény alkalmazásai

Bevezetés

Inverz populáció

Mézerek

Lézerek

- Közös vonások
- Rubinlézer
- He-Ne lézer
- He-Ne lézer
- Lézerfény tulajdonságai
- **Lézerfény alkalmazásai**
- Holográfia

- mutatóeszközök és iránykijelölés



Bevezetés

Inverz populáció

Mézerek

Lézerek

- Közös vonások
- Rubinlézer
- He-Ne lézer
- He-Ne lézer
- Lézerfény tulajdonságai
- **Lézerfény alkalmazásai**
- Holográfia

Lézerfény alkalmazásai

- mutatóeszközök és iránykijelölés
- vágás, darabolás lézerrel, lézeres műtétek



Bevezetés

Inverz populáció

Mézerek

Lézerek

- Közös vonások
- Rubinlézer
- He-Ne lézer
- He-Ne lézer
- Lézerfény tulajdonságai
- **Lézerfény alkalmazásai**
- Holográfia

Lézerfény alkalmazásai

- mutatóeszközök és iránykijelölés
- vágás, darabolás lézerrel, lézeres műtétek
- interferometria



Bevezetés

Inverz populáció

Mézerek

Lézerek

- Közös vonások
- Rubinlézer
- He-Ne lézer
- He-Ne lézer
- Lézerfény tulajdonságai
- **Lézerfény alkalmazásai**
- Holográfia

Lézerfény alkalmazásai

- mutatóeszközök és iránykijelölés
- vágás, darabolás lézerrel, lézeres műtétek
- interferometria
- holográfia



Bevezetés

Inverz populáció

Mézerek

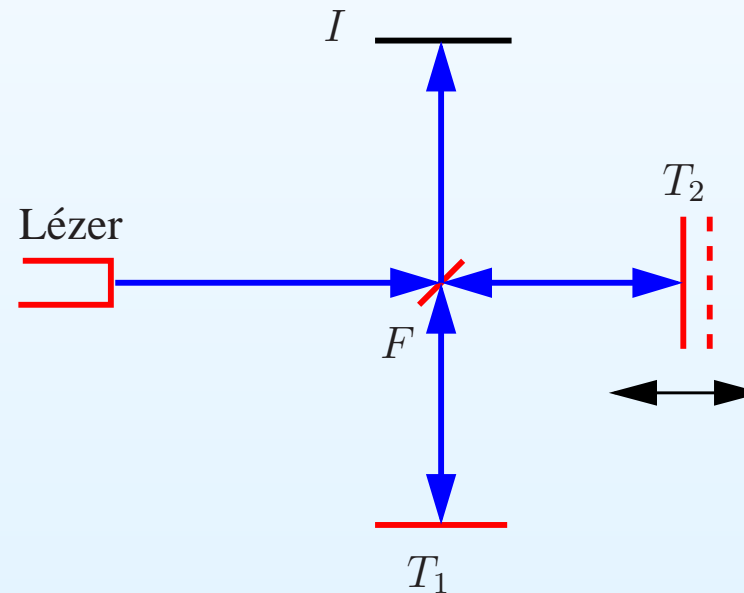
Lézerek

- Közös vonások
- Rubinlézer
- He-Ne lézer
- He-Ne lézer
- Lézerfény tulajdonságai
- Lézerfény alkalmazásai
- Holográfia

Lézerfény alkalmazásai

- mutatóeszközök és iránykijelölés
- vágás, darabolás lézerrel, lézeres műtétek
- interferometria
- holográfia

Interferometria



Kis elmozdulások mérése!



Holográfia

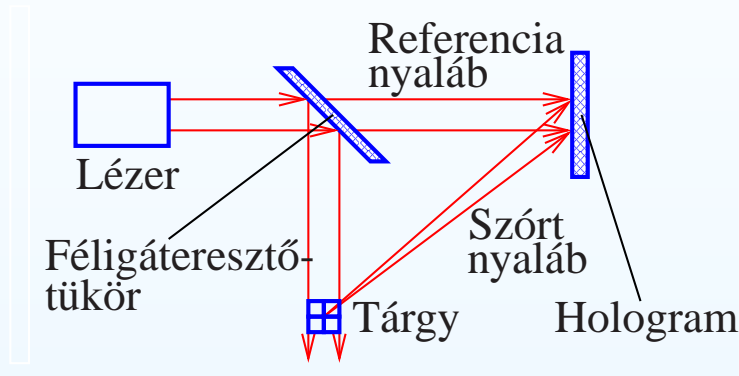
Bevezetés

Inverz populáció

Mézerek

Lézerek

- Közös vonások
- Rubinlézer
- He-Ne lézer
- He-Ne lézer
- Lézerfény tulajdonságai
- Lézerfény alkalmazásai
- **Holográfia**





Holográfia

Bevezetés

Inverz populáció

Mézerek

Lézerek

- Közös vonások
- Rubinlézer
- He-Ne lézer
- He-Ne lézer
- Lézerfény tulajdonságai
- Lézerfény alkalmazásai
- **Holográfia**

