

# 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

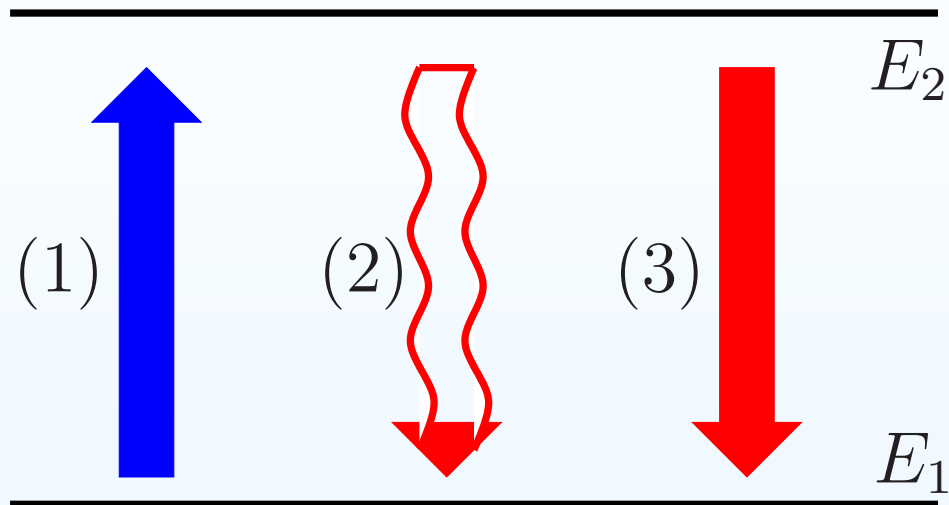
Bevezetés

• 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

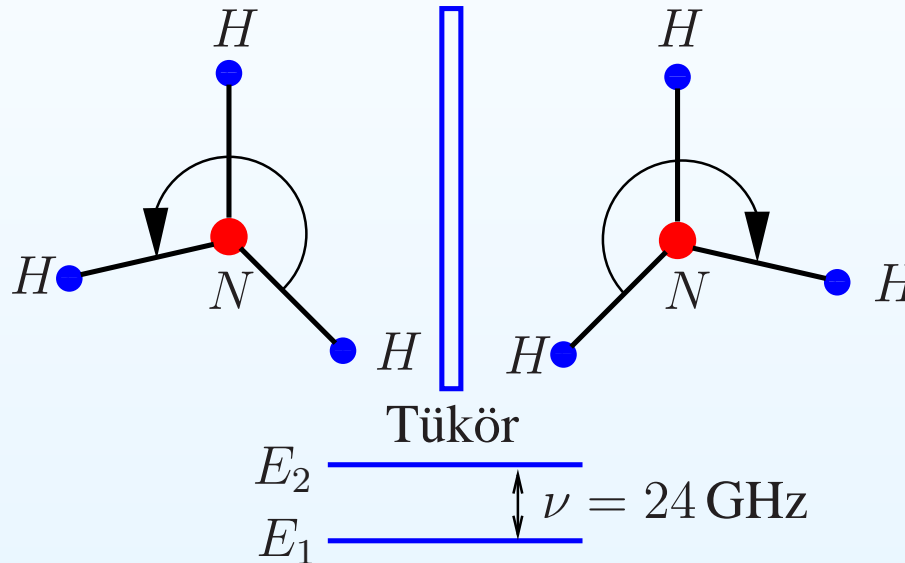
Inverz populáció

Mézerek

• Ammónia-mézer

Lézerek

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





# Ammónia-mézer

Bevezetés

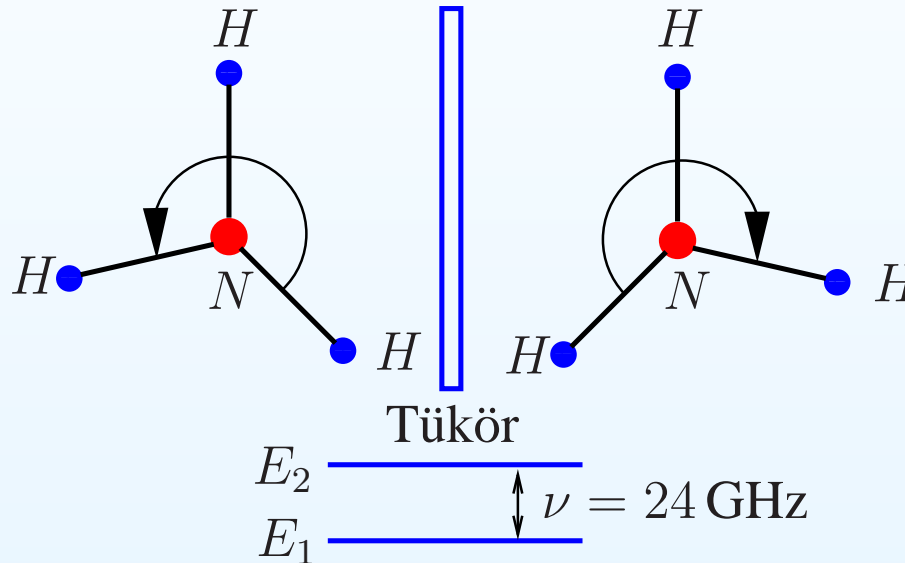
Inverz populáció

Mézerek

• Ammónia-mézer

Lézerek

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



Két körüljárási irány  $\implies$  energiaszintek felhasadása



## Ammónia-mézer

Bevezetés

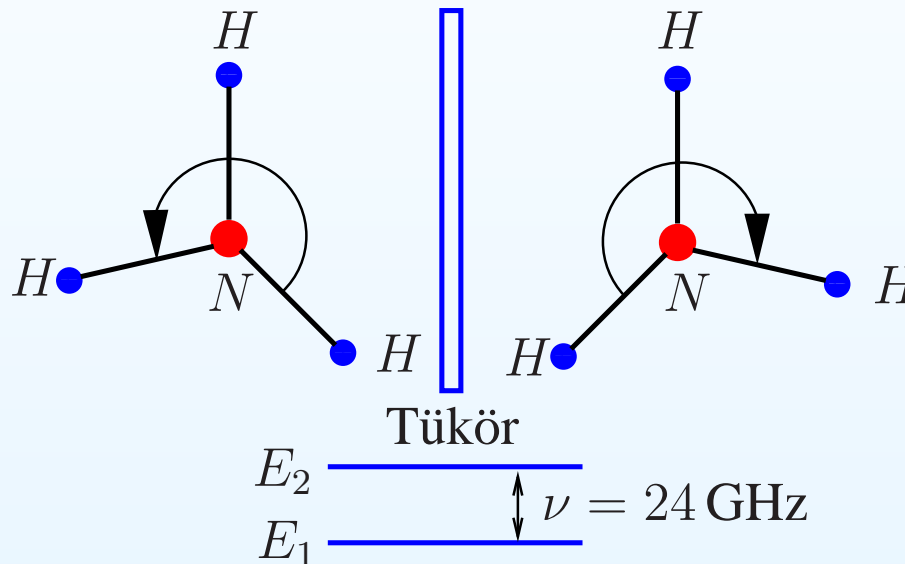
Inverz populáció

Mézerek

• Ammónia-mézer

Lézerek

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



Két körüljárási irány  $\implies$  energiaszintek felhasadása

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



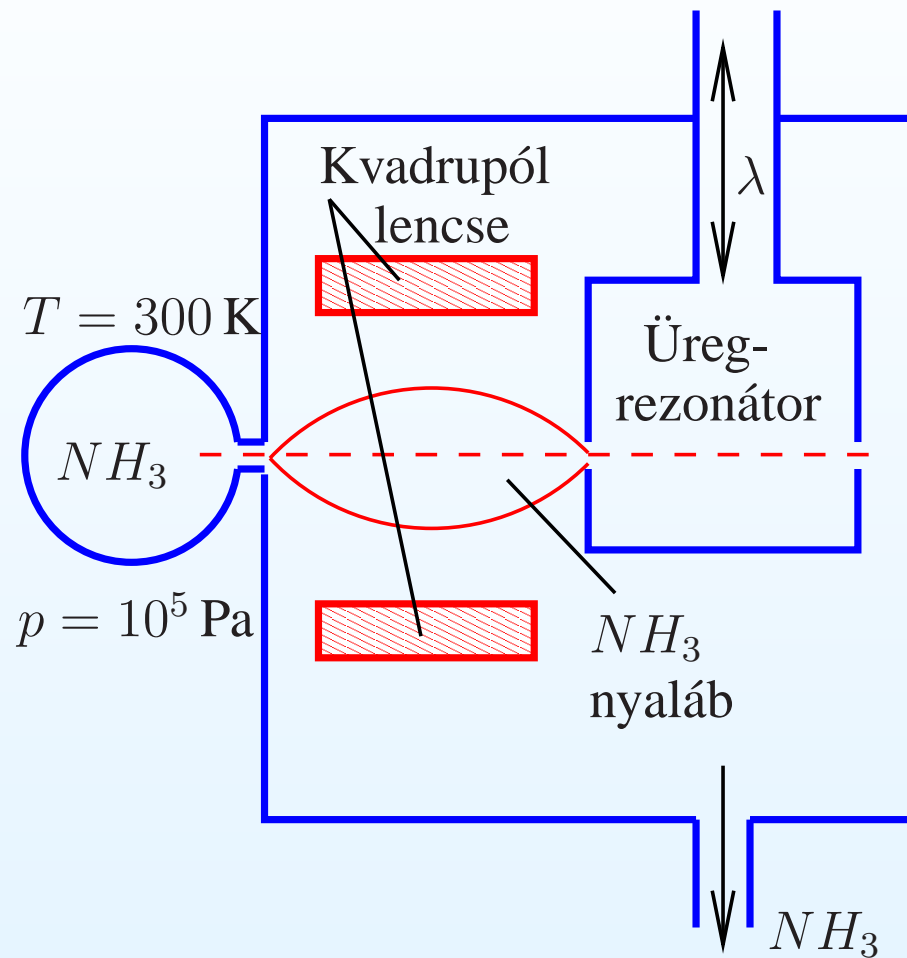
Bevezetés

Inverz populáció

Mézerek

• Ammónia-mézer

Lézerek





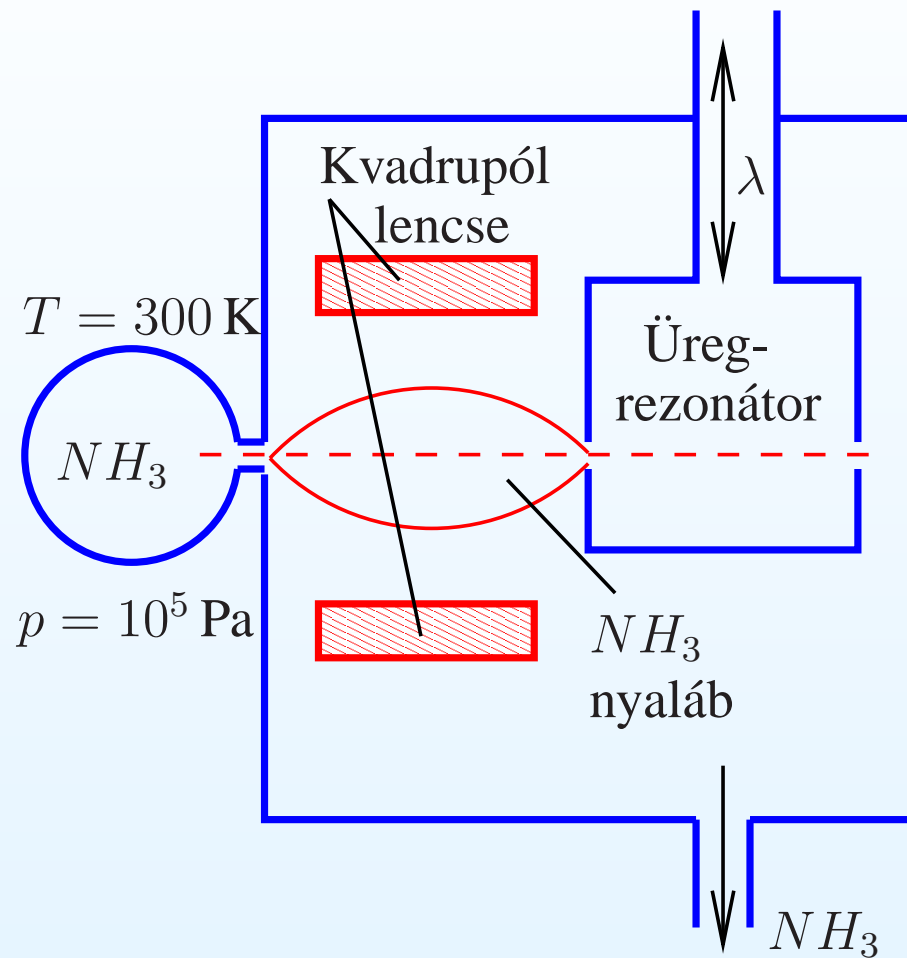
Bevezetés

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

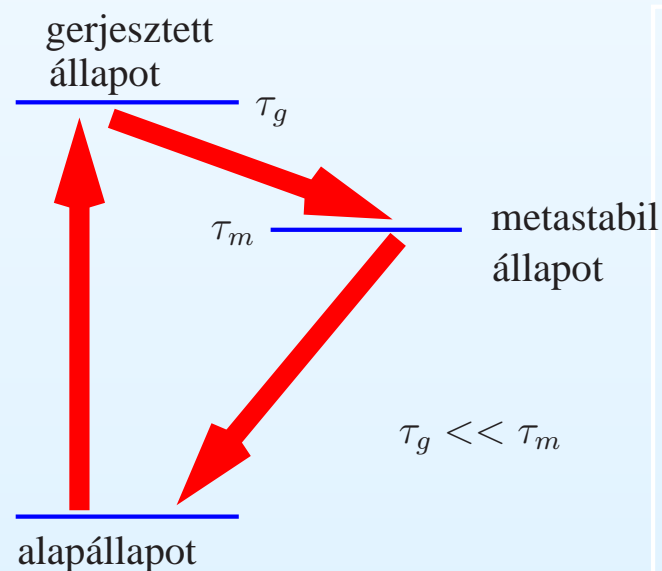
● **Közös vonások**

- 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

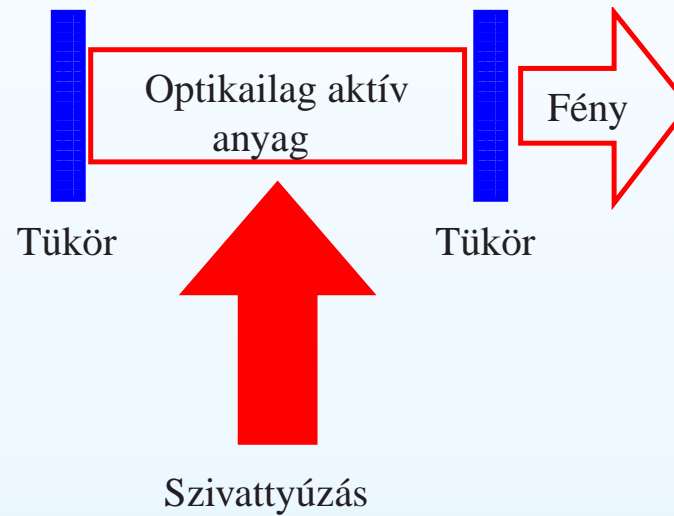
Mézerek

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

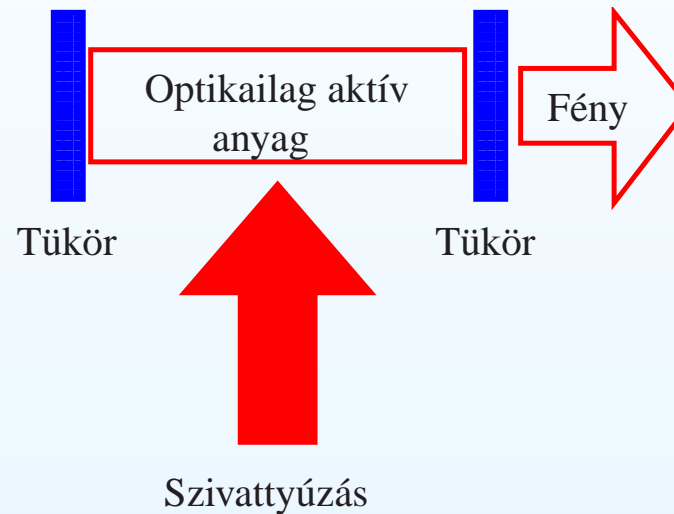
Mézerek

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

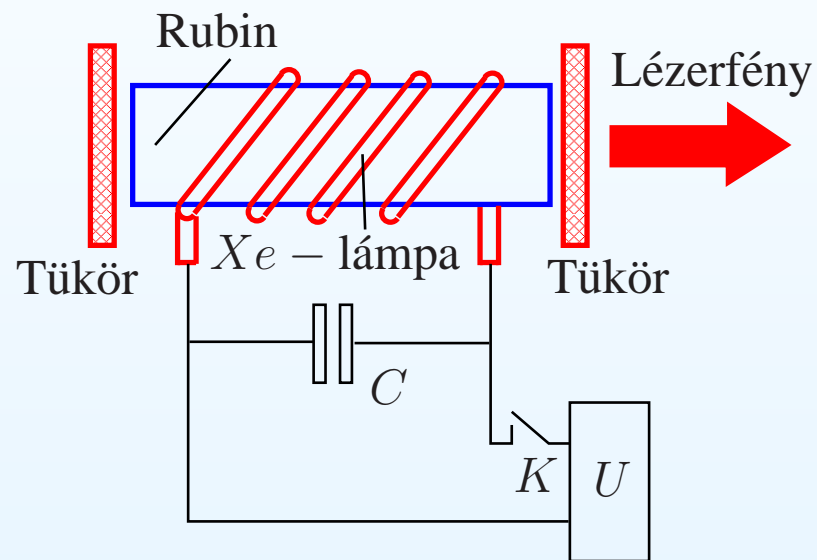
• He-Ne lézer

• He-Ne lézer

• Lézerfény tulajdonságai

• Lézerfény alkalmazásai

• Holográfia





# Rubinlézer

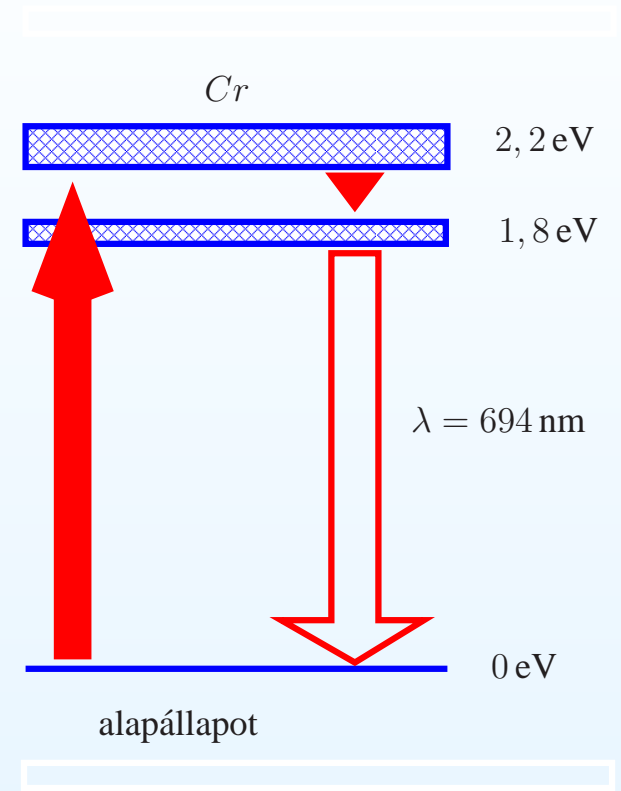
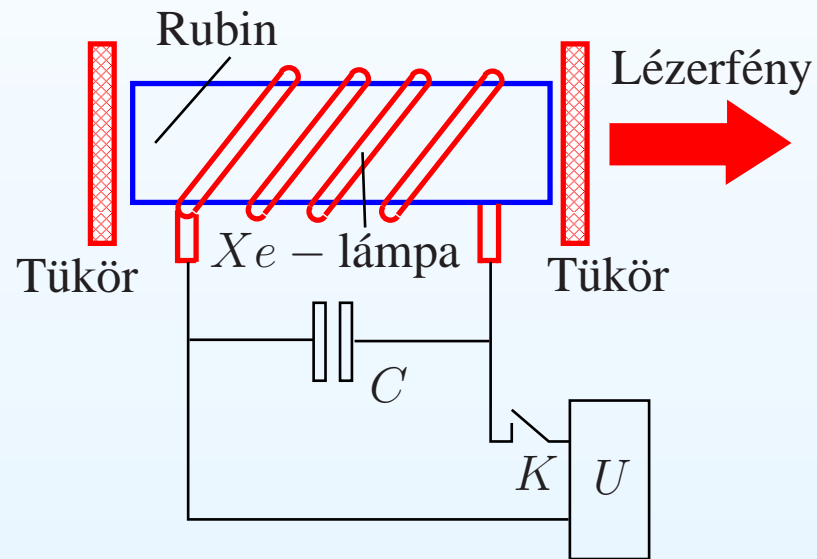
Bevezetés

Inverz populáció

Mézerek

Lézerek

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







# Rubinlézer

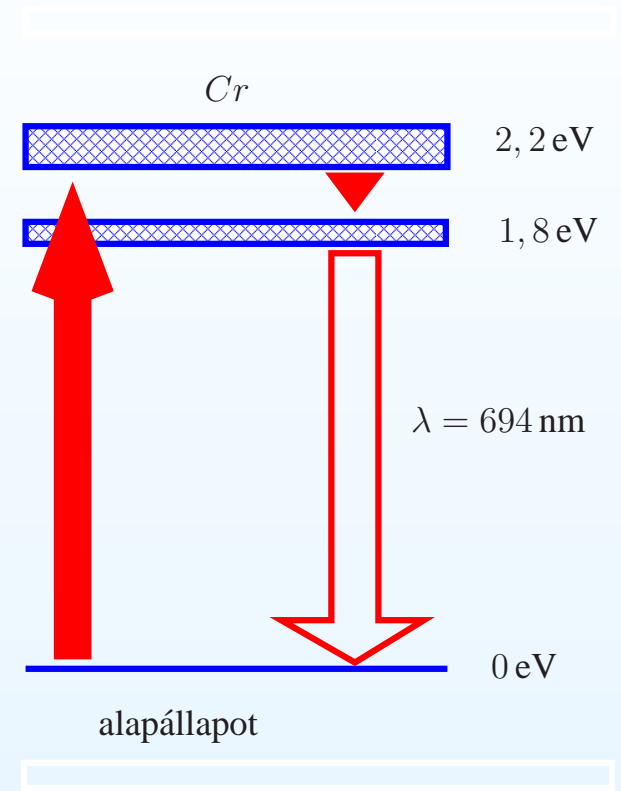
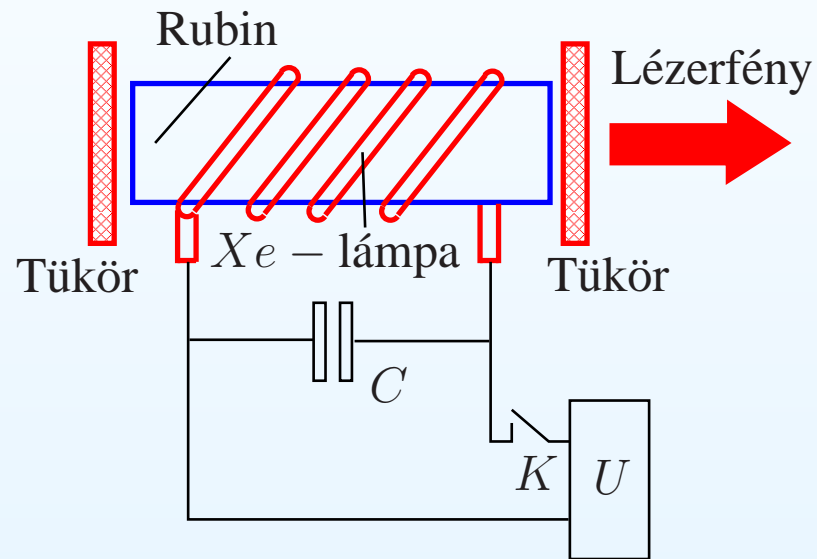
Bevezetés

Inverz populáció

Mézerek

Lézerek

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



Xe-lámpa villog  $\implies$  impulzuslézer



# Rubinlézer

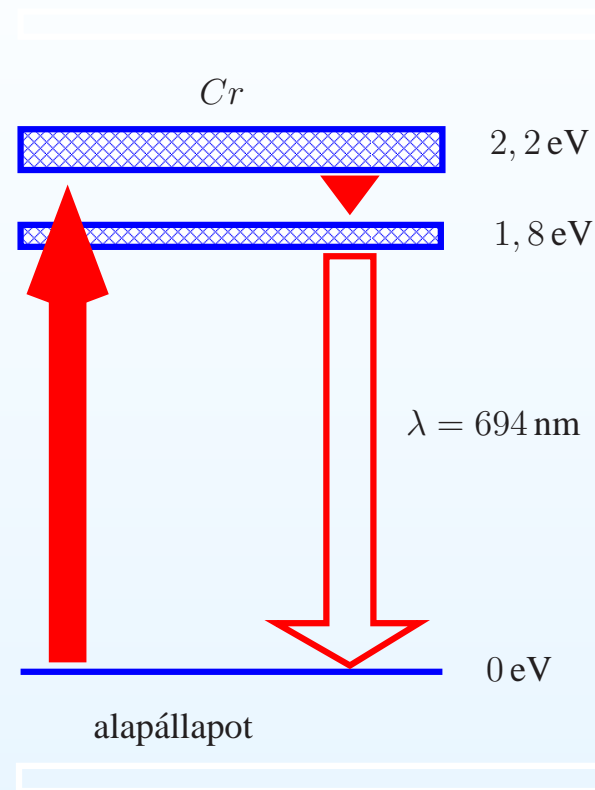
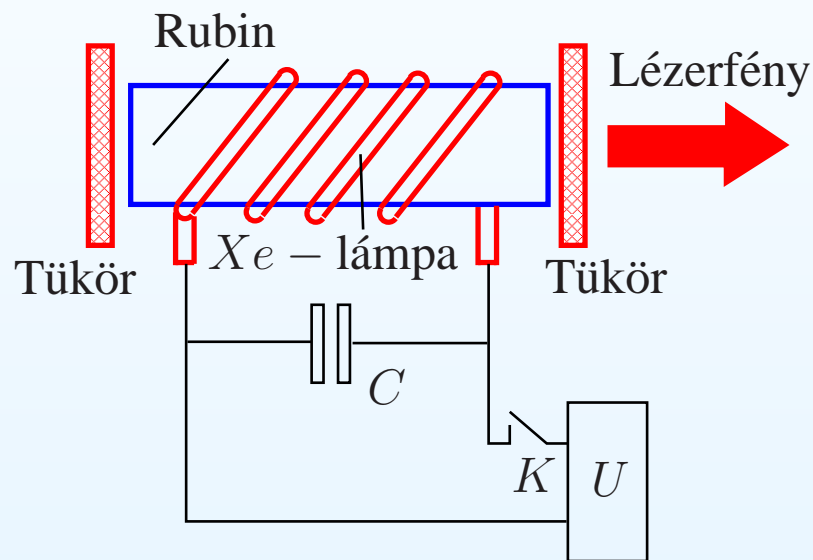
Bevezetés

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

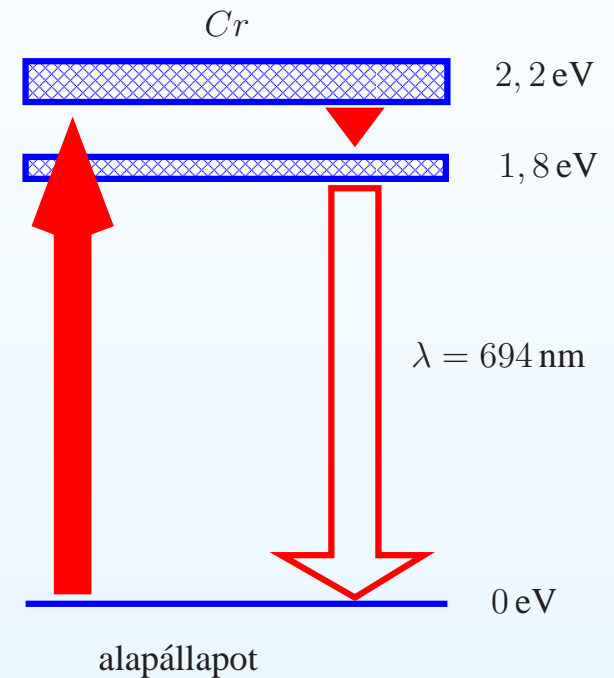
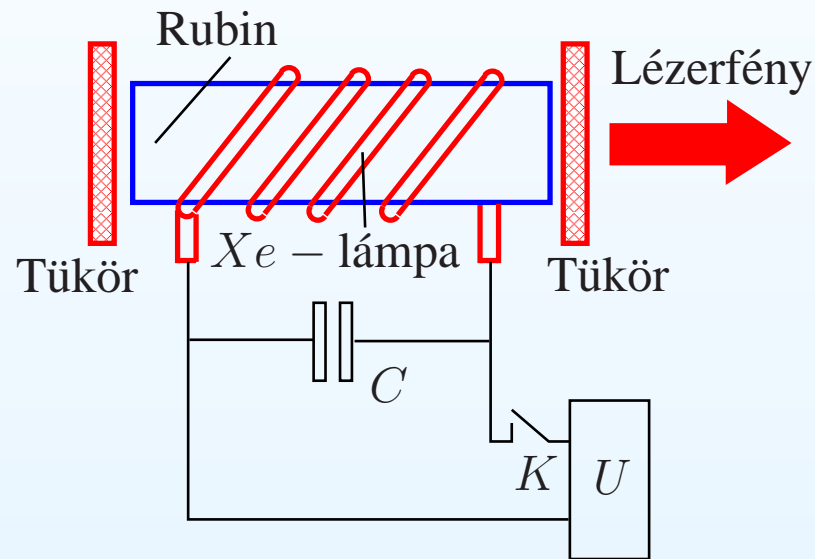
Bevezetés

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

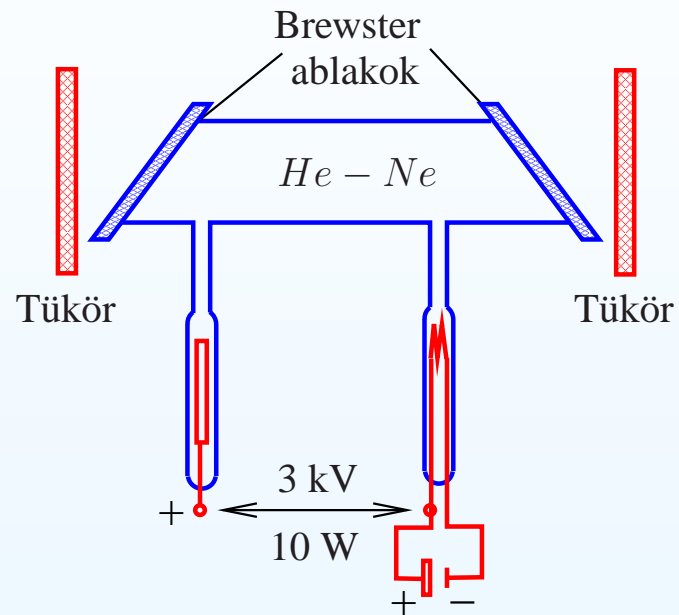
Bevezetés

Inverz populáció

Mézerek

Lézerek

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





# He-Ne lézer

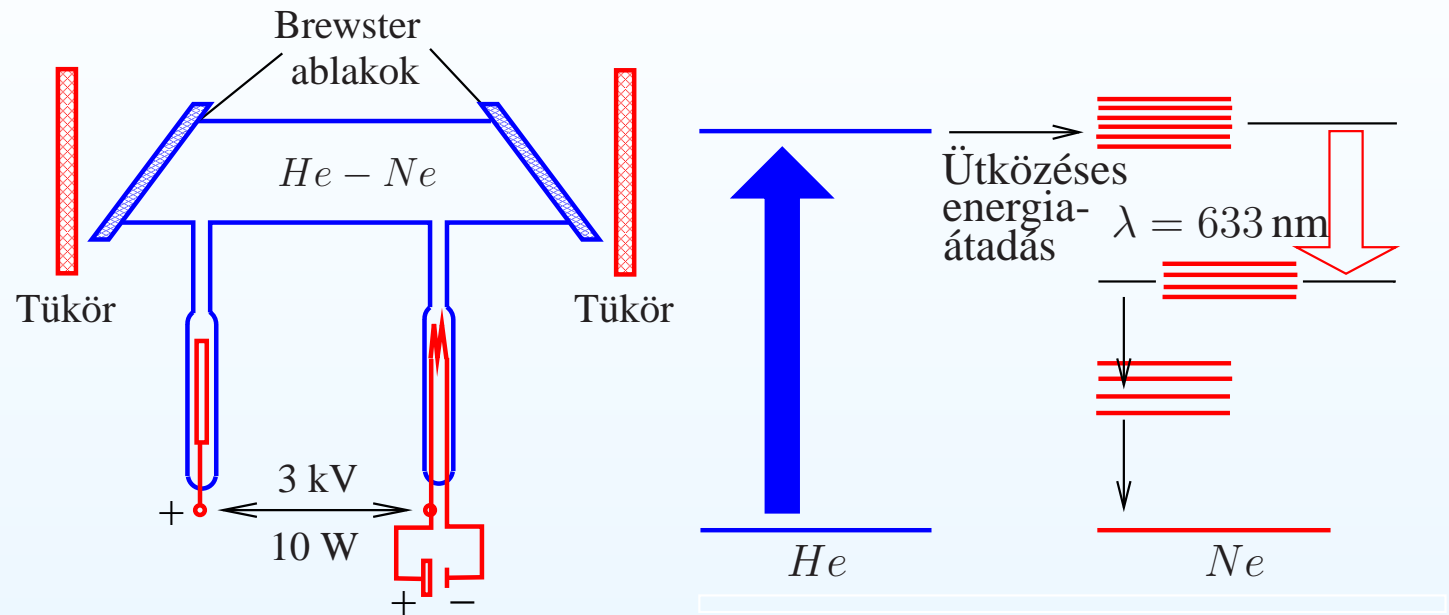
Bevezetés

Inverz populáció

Mézerek

Lézerek

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





# He-Ne lézer

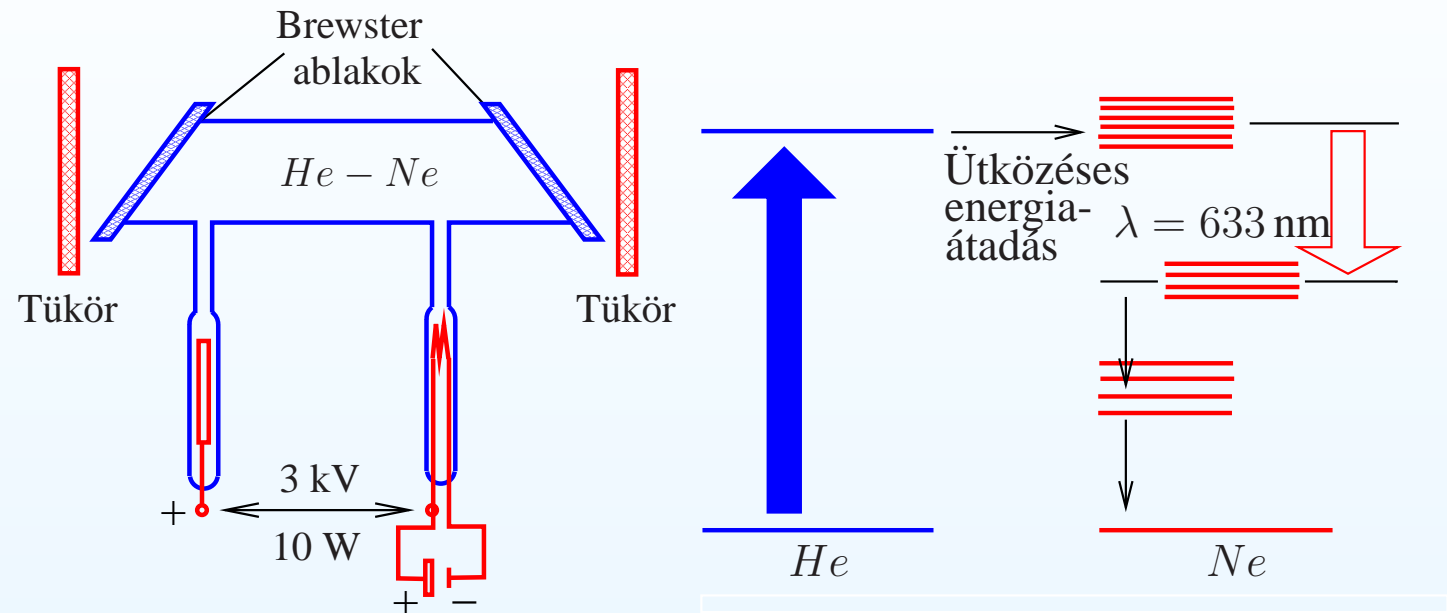
Bevezetés

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

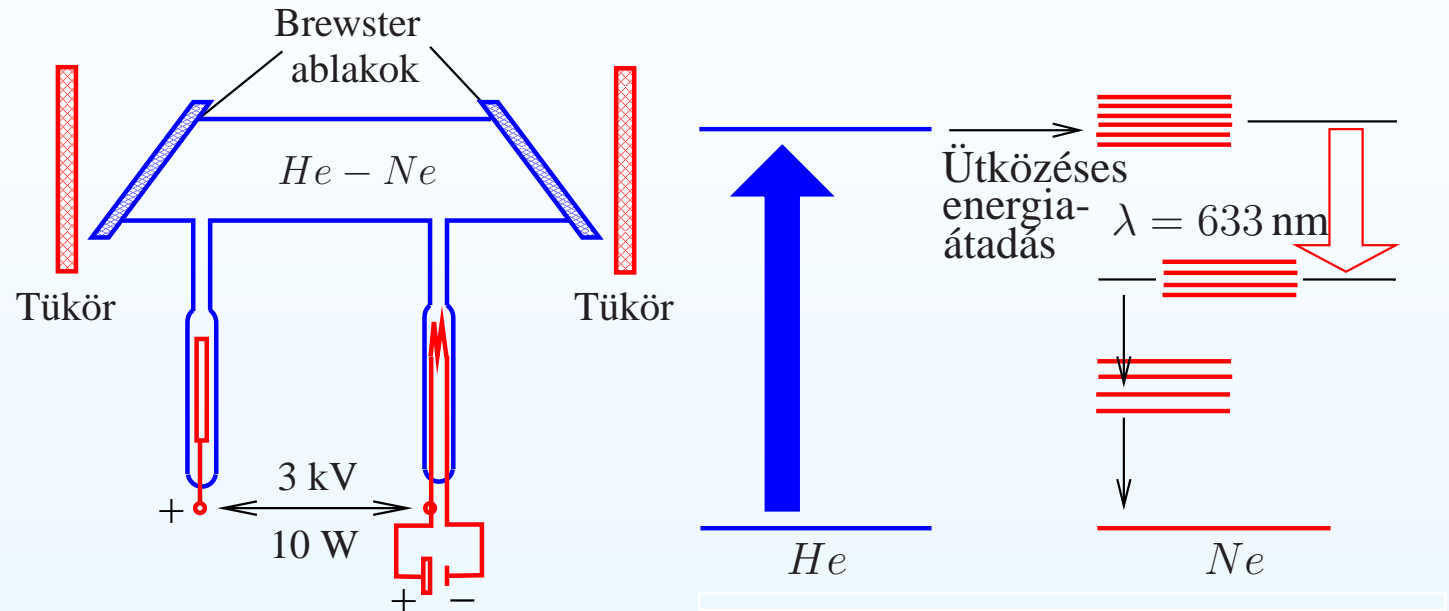
Bevezetés

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

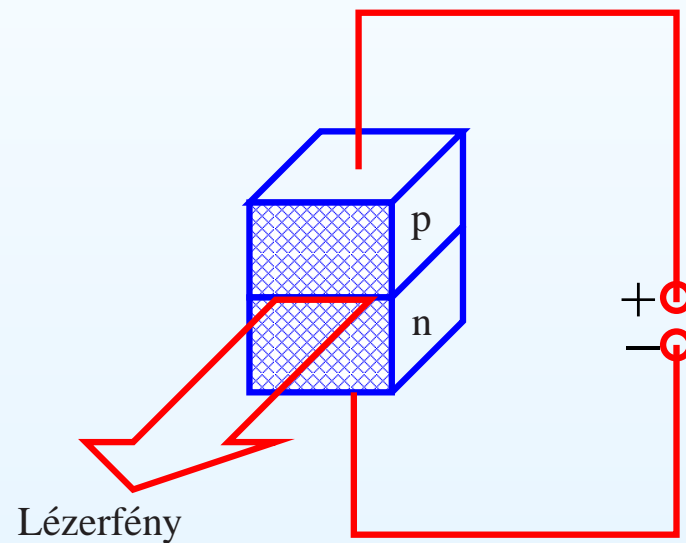
Bevezetés

Inverz populáció

Mézerek

Lézerek

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







# He-Ne lézer

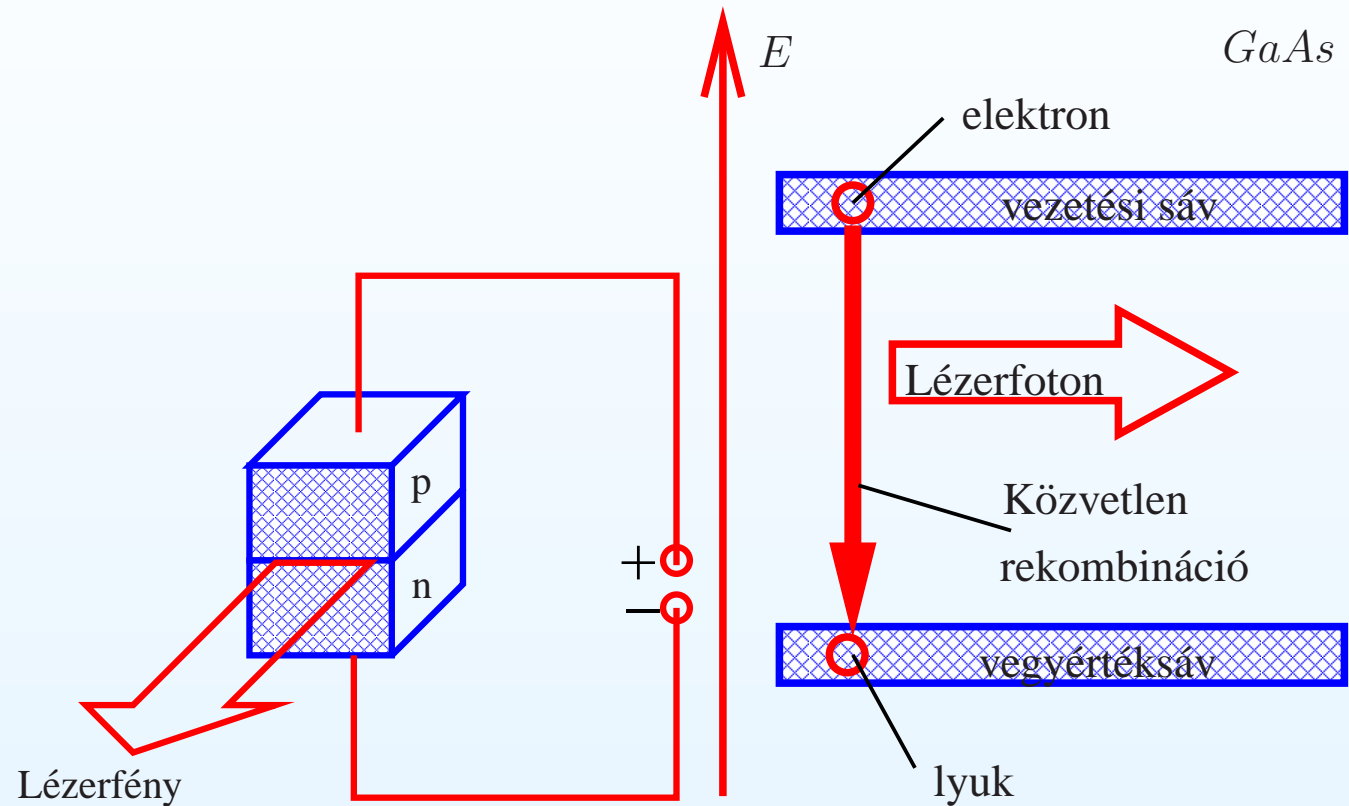
Bevezetés

Inverz populáció

Mézerek

Lézerek

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





# He-Ne lézer

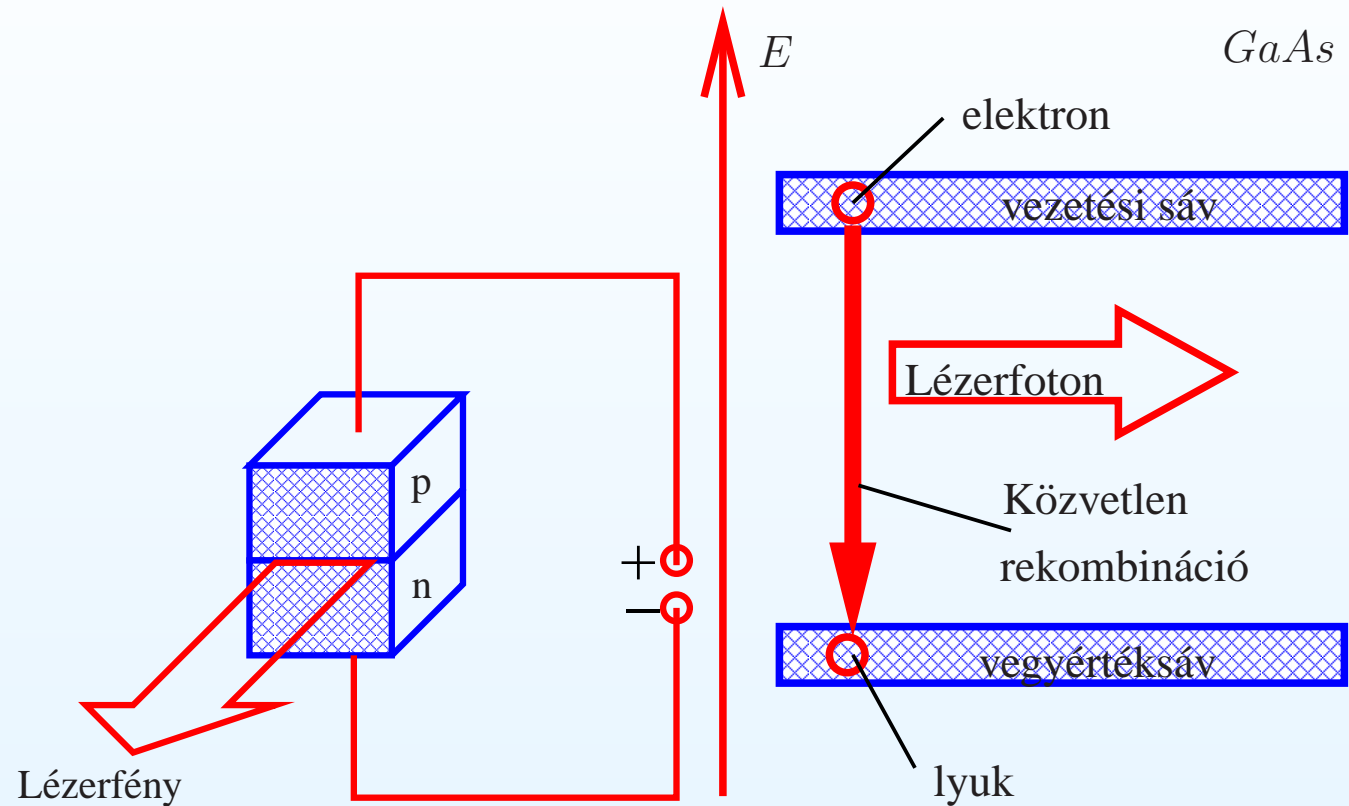
Bevezetés

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

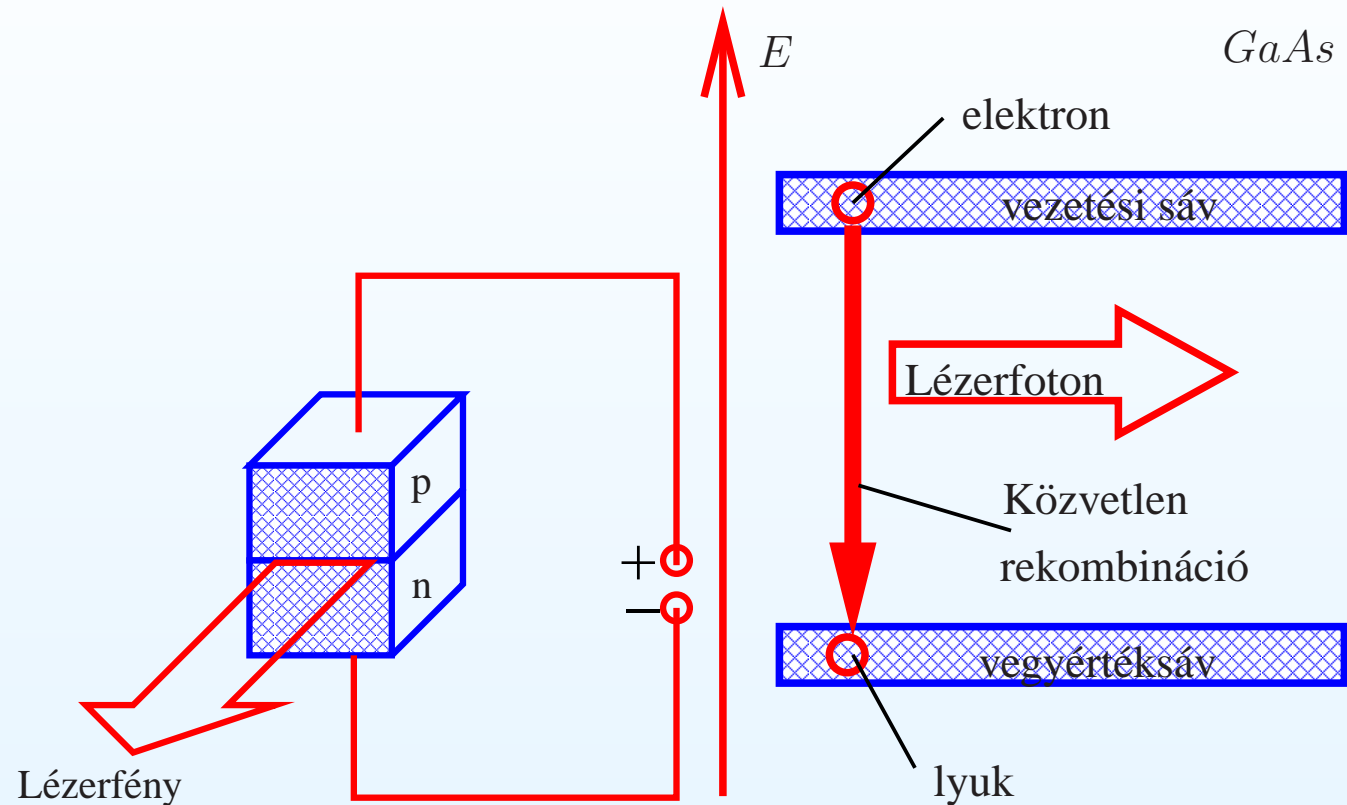
Bevezetés

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 nyálabszéttartás  $\implies$  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



Bevezetés

Inverz populáció

Mézerek

Lézerek

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

## Lézerfény alkalmazásai

- 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

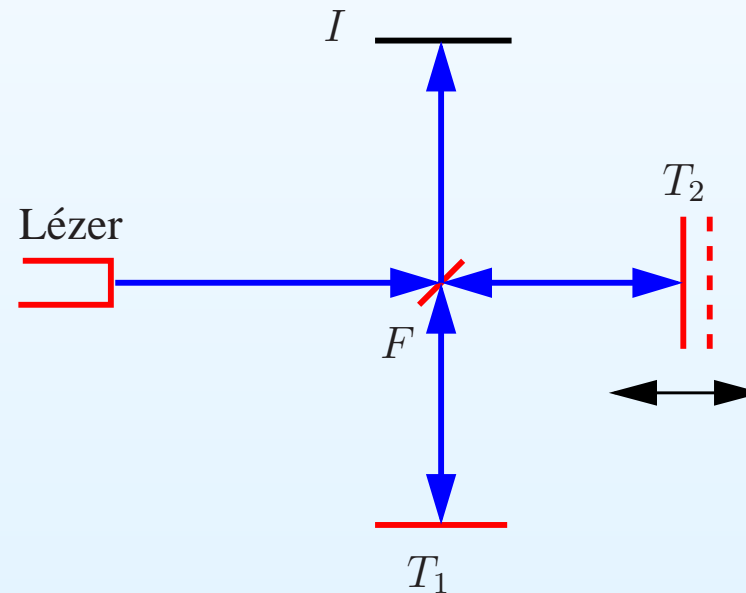
Lézerek

- 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

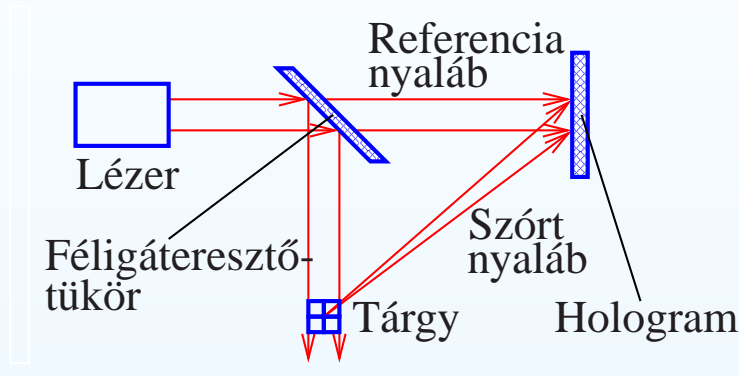
Bevezetés

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**

