

Lézerfizika tételsor

Illés Gergő, Sarkadi Balázs

2023. május 30.

1. Mit rövidít a „laser” mozaikszó?

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation.

2. Min alapszik a mátrixokkal való sugárkövetés (mátrixoptika)?

A mátrixoptikai leírásban a sugarakat 2 paraméterrel jellemezzük. Az optikai tengelytől való távolsággal és az optikai tengellyel bezárt szöggel. Továbbá paraxiális közelítésben vagyunk ami azt jelenti, hogy a szögek szinuszait magával a szög értékével közelítjük. Egyes optikai elrendezést úgynevezett sugártranszfer (ABCD) mátrixszal jellemezhetünk, ami a következő egyenletrendszert kódolja.

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_1 \\ \varphi_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_2 \\ \varphi_2 \end{pmatrix} \quad (1)$$

3. Adja meg f fókusz távolságú vékony lencse és d távolságon való terjedés mátrixait!

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{f} & 1 \end{pmatrix} \text{ és } \begin{pmatrix} 1 & d \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

4. Adja meg az optikai rezonátor stabilitási feltételét!

$$0 \leq \left(1 - \frac{L}{R_1}\right) \left(1 - \frac{L}{R_2}\right) \leq 1 \quad (3)$$

$$0 \leq \frac{A + D + 2}{4} \leq 1 \quad (4)$$

5. Határozza meg a Gauss-nyalábok átmérőjét és görbületi sugarát adott helyen a nyalábnyak és a hullámhossz függvényében!

$$W(z) = w_0 \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{z}{z_R}\right)^2} \quad (5)$$

$$R(z) = z \cdot \left[1 + \left(\frac{z_R}{z}\right)^2\right] \quad (6)$$

$$z_R = \frac{nw_0^2\pi}{\lambda} \quad (7)$$

6. Definiálja a Gauss nyalábokra felírható komplex nyaláb paramétert! Adja meg, hogy az 1-es számú síkban felvett q_1 hogyan viszonyol a 2-es síkban felvett q_2 -höz!

$$q(z) = z + iz_R \quad (8)$$

$$q_2 = \frac{Aq_1 + B}{Cq_1 + D} \quad (9)$$

7. Mekkora a frekvenciakülönbség egy L hosszúságú rezonátorban kialakuló módusok közötti frekvenciakülönbség?

$$\Delta f = \frac{c}{2L} \quad (10)$$

8. Mi az összefüggés a foton élettartama (τ_p), a körülfordulási idő(τ_{RT}) és a „túlélési faktor” (S) között? Mi az összefüggés a foton élettartam és (Q) minőségi faktor között?

$$\tau_p = \frac{\tau_{RT}}{1 - S} \quad (11)$$

$$\tau_p = \frac{Q}{\omega_0} \quad (12)$$

9. Definiálja Einstein szerinti leírásban lévő B_{12} abszorpció, B_{21} kényszerített emissziós és A_{21} spontán emissziós együtthatót!

$$\left. \frac{dN_2}{dt} \right|_{sp.e.} = -A_{21} \cdot N_2 \quad (13)$$

$$\left. \frac{dN_2}{dt} \right|_{st.e.} = -B_{21} \cdot N_2 \cdot \rho(\nu) \quad (14)$$

$$\left. \frac{dN_2}{dt} \right|_{abs.} = B_{12} \cdot N_1 \cdot \rho(\nu) \quad (15)$$

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{B_{12} \cdot \rho(\nu)}{A_{21} + B_{21} \cdot \rho(\nu)} \quad (16)$$

$$g_2 B_{21} = g_1 B_{12} \quad \frac{A_{21}}{B_{21}} = \frac{8\pi n^2 n_g h \nu^3}{c^3} \quad (17)$$

10. Hogy viszonyulnak egymáshoz a kényszerített emisszió által kibocsátott és az azt kiváltó foton tulajdonságai?

Frekvencia, polarizáció, fázis és haladási irány megegyezik.

11. Definiálja a hatáskeresztmetszet empirikus jelentését!

A hatáskeresztmetszet a részecske olyan környezete ahol a fotonokkal interakcióba léphet.

Másképp:

Effektív terület vagy valószínűség abszorpcióra vagy foton emisszióra egy adott energiaszinten.

Harmadképp:

Interakció valószínűsége az atom/molekula/ion és a beeső sugárzás között.

12. Adja meg az összefüggést az erősítési együttható, az emissziós és abszorpciós hatáskeresztmetszetek és populációk közti összefüggést adott energiaszinten!

$$\gamma(\nu) = N_2 \sigma_{em}(\nu) - N_1 \sigma_{abs}(\nu) \quad (18)$$

13. Írja fel egy három szintű lézer populációváltozásának egyenleteit s hatáskeresztmetszetek segítségével!

(0-2 pumpa, 2-1 spontán emissziós, 1-0 stimulált emisszió?)

Csak a sugárzással járó átmeneteket figyelembe véve:

$$\frac{dN_2}{dt} = \frac{\sigma_{abs} I_{pumpa}}{h\nu_{pumpa}} \left(\frac{g_2}{g_0} N_0 - N_2 \right) - \frac{N_2}{\tau_2} \quad (19)$$

$$\frac{dN_1}{dt} = \phi_{21} \frac{N_2}{\tau_2} - \frac{N_1}{\tau_1} - \frac{\sigma_{em} I_{opt}}{h\nu_{opt}} \left(N_1 - \frac{g_1}{g_0} N_0 \right) \quad (20)$$

$$N = N_0 + N_1 + N_2 \quad , \text{ ahol } N \text{ konstans} \quad (21)$$

14. Mi a spektrális kiszélesedés két fajtája? Mi a különbség az abszorpciós vagy emissziós szaturációban? (ellenőrizni)

1, Homogén kiszélesedés: Az erősítési térben lévő részecskék energia szintjei közötti különbség azonos. Több frekvencia komponens vesz részt az erősítésben abszorbens anyag jelenlétében ezáltal a szaturáció jelentősebb mértékű

2, Inhomogén kiszélesedés: égethető

Az erősítési térben a részecskék energiaszintjei közötti különbségek nem teljesen egyformák, így a kiszélesedés struktúrált lehet, ezáltal kevesebb frekvencia komponens vesz részt az erősítésben abszorbens anyag jelenlétében így a szaturáció mértéke is csökken.

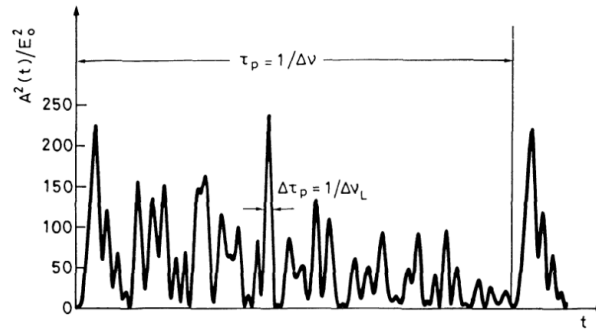
15. Mit jelent a Q-kapcsolás? Mekkora a Q-kapcsolt lézerek impulzushossza? Hogyan viszonyul ez a körülfutási időhöz?

A Q-kapcsolás lényege az, hogy pumpálás alatt megnöveljük a rezonátorban lévő veszteséget, így az erősítés alacsony lesz és nagyon sok részecskét tudunk gerjesztett állapotba juttatni, mivel a spontán kibocsátott fotonok nem erősödnek jelentősen. Ezután a veszteséget lecsökkentjük, ilyenkor a spontán emisszió jele nagyon gyorsan nagy mértékben megnő. Ezzel nagyenergiájú rövid impulzusokat hozhatunk létre. Könyv: körülfutási idő: $\approx 1,75$ ns, impulzushossz: $\approx 7,1$ ns tehát nagyjából 5 körülfutás.

16. Mi a módusszinkronizált lézer? Tipikusan milyen hullámhosszon működtethetőek? Hogyan viszonyul az impulzushossz a körülfutási időhöz?

A lézertérben különböző longitudinális hullámok alakulhatnak ki, (tegyük fel) azonos amplitúdóval és véletlenszerű fázissal, ezzel egy periodikusan változó intenzitás lefutású

impulzust kapunk. Módusszinkronizálásnak nevezzük azt amikor ezekből a módusokból csak bizonyos módusokat erősítünk. Ehhez plusz eszközöket telepítünk a rezonátorba.



1. ábra. Azonos amplitúdójú és véletlenszerű fázissal rezgő longitudinális módusok összege.

Aktív módusszinkronizálásról beszélünk, amikor ezt a szelekciót egy kívülről vezérelt berendezéssel tesszük meg. Pl egy idővezérelt kapuval a véletlenszerűen keletkező (de periodikusan állandó intenzitás lefutású) impulzus csak egy kiválasztott részét csatoljuk ki mindig a lézerből ($\frac{2L}{c}$ időközönként) ezzel megrövidítve az eredeti impulzust.

Passzív módusszinkronizálásról beszélünk, amikor a rezonátorba egy telítődő abszorptions anyagot helyezünk el, ami a nagyobb intenzitású sugárzás hatására gyorsan átlátszóvá válik (azt átengedve), a véletlen amplitúdójú hullám többi részét viszont kiszűri, így csak azokat a módusokat erősítjük, amikre szükségünk van és így rövidebb impulzusokat kaphatunk.

Impulzushossz: ps - fs tartományban működnek jellemzően. Körüljárási idő: 1-10 ps.

17. Nevezzen meg két gázlézert és két szilárdtest lézert! Írja le az ezekre jellemző paramétereket!

Gázlézerek:

1. HeNe: 5:1-től egészen 20:1 arányban tartalmaz héliumot és neont. A tipikus belső nyomás 1 torr (133 Pa). $\lambda=632.8$ nm. Folytonos üzemi. 50 mW optikai teljesítmény.
2. CO₂: $\lambda=10.6$ μ m, legrövidebb impulzushossz ~ 2 ps. Folytonos teljesítménye maximum 100 kW nagyságrendű, impulzus üzemi esetén GW nagyságrendű.

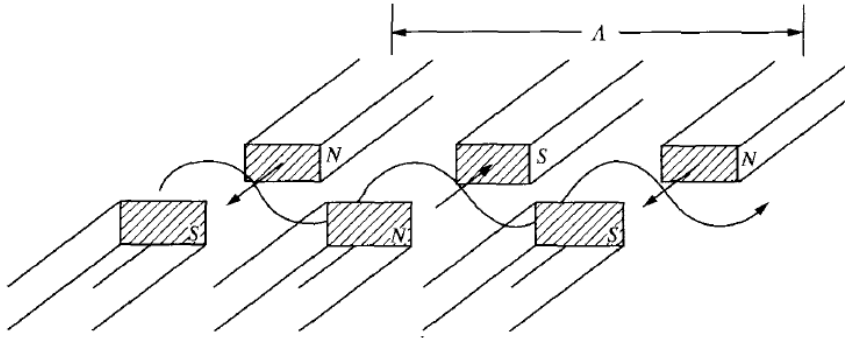
Szilárdtest lézerek:

1. Ti:Sapphire: hangolható 650- és 1100 nm között, általában 800 nm. Al₂O₃ Ti³⁺ ionokkal szennyezve. Legrövidebb impulzushossz ~ 10 fs. Folytonos teljesítménye max $\sim 2,5$ W.
2. Nd:YAG: anyaga: Nd:Y₃Al₅O₁₂. Frekvenciák 946-, 1120-, 1320-, 1440 nm. Leggyakrabban 1064 nm-es átenet van használatban. Impulzus és folytonos üzemi. Q-kapcsolással 10-25 ns ~ 250 MW pillanatnyi teljesítmény. Jó hatásfokkal többszörözhető frekvencia.

**18. Hogyan épül fel egy Szabad elektron Lézer (FEL)?
Milyen összefüggés van a FEL sugárzási hullámhossza (λ), az undulátor periodus hossza (Λ), a wiggler konstans (a_w) és a Lorentz Faktor (γ) között?**

A szabadelektron lézerek általában egy lineáris gyorsító szakaszból (több lineáris gyorsító egymás után) és egy undulátor szakaszból áll (szintén több darab van egymás után). A lineáris gyorsítóban az elektronokat relativisztikus sebességre ($v \sim c$) gyorsítják, amiket átvezetnek az undulátorba, ami egy periodikusan kialakított mágneses teret hoz létre, amiben az elektronok egy szinuszra emlékeztető pályán haladnak. Ennek következtében sugárzás keltődik a folyamatos gyorsulás miatt, ami az undulátorban való terjedés során folyamatosan erősödik. Pumpa lézert alkalmazva az elektronok makrocsomókba rendeződnek a pumpáló lézer térerősség térbeli lefutásának megfelelően és sugárzáskor azt fogják jelentősen erősíteni. A szabad elektron lézerek legnagyobb előnye, hogy az elektromágneses spektrum teljes szinte teljes egészében alkalmazható, hiszen a sugárzási hullámhossz az undulátor periódus hosszával egyenesen arányos.

$$\lambda = \frac{\Lambda}{2\gamma^2} (1 + a_w^2) \quad (22)$$



2. ábra. Relativisztikus elektronok trajektóriája az undulátorban.