

FIZLAS-2MI-SALIC

$I = R_1R_2I_0 = I_0e^{\gamma}; \gamma = -\ln\left(R_1R_2\right)$

$Q = \frac{4\pi v L}{\gamma c} = \frac{v}{\Delta v}$

$G\left(v\right)=R_1R_2e^{-2\alpha\left(v\right)c-\gamma};\,k=\frac{1}{2L}\left(\gamma+\ln\frac{1}{R_1R_2}\right)$

$n\left(v\right)dv=\frac{8\pi v^2}{c^3}dv$ broj modova u jedinici volumena

$\Delta v_D=\frac{2c}{\lambda}\sqrt{\frac{\ln 2}{a}};\,a=\frac{Mc^2}{2kT};$

$\Delta v=\frac{c}{2L}$ separacija modova;

$N=\frac{\Delta v_D}{\Delta v}$ broj longitudinalnih modova unutar dopplerove širine linije

$m\lambda=2L=>v=\frac{mc}{2L};\,\frac{\Delta v}{v}=\frac{\Delta L}{L}$

$L=I_0\left(1+\alpha\Delta T\right)=I_0+\Delta L$; Promjena duljine rezonatora s temperaturom

$\frac{\Delta\lambda}{\lambda}=\frac{\Delta L}{L}+\frac{\Delta n}{n}$ relativna promjena valne duljine

$L=\frac{c}{2n\Delta v};\,\frac{G\left(v\right)}{\Delta v}$ broj modova

$L_c=t_c c$ Koherentna duljina lasera; $t_c=\frac{1}{G\left(v\right)}$ vrijeme koherencije

$2L=\left(1-R\right)t*c$ Put fotona u jednom krugu rezonatora

Gustoća modova u šupljini
duljina stranice mora biti višekratnik od $\lambda/2$

$A=p\frac{\lambda}{2};k=\frac{2\pi}{\lambda};\lambda=\frac{2\pi}{k};A=p\frac{1}{2}\frac{2\pi}{k_z}$

pa je: $k_x=\frac{p\pi}{A};k_y=\frac{q\pi}{B};k_z=\frac{r\pi}{C}$

za valni vektor vrijedi:

$k^2=k_x^2+k_y^2+k_z^2=\pi^2\left(\frac{p^2}{A^2}+\frac{q^2}{B^2}+\frac{r^2}{C^2}\right)$

bilo koja to

$R^2=x^2+y^2+z^2=\left(\frac{p^2}{A^2}+\frac{q^2}{B^2}+\frac{r^2}{C^2}\right)^{\frac{1}{2}}$

broj modova: $N=2\frac{\frac{1}{8}\frac{4}{3}R^3\pi}{\frac{1}{ABC}};$ $R=\frac{k}{\pi};N=\frac{1}{3}\frac{k^3}{\pi^2};V=ABC$

množi se sa 2 jer svaki mod može imati dvije polarizacije

broj modova u jedinici volumena: $n=\frac{1}{3}\frac{k^3}{\pi^2};k=\frac{\omega}{c};n\left(\omega\right)=\frac{\omega^3}{3\pi^2c^3}$

broj modova u intervalu frekvencija: $n\left(\omega\right)d\omega=\frac{\omega^2}{\pi^2c^3}d\omega$

Dijelovi lasera: aktivni medij, mehanizam pobude, povratni mehanizam, izlazni mehanizam
Gaussov osnovni mod: Gaussov profil intenziteta laserske zrake odgovara teoretskom TEM₀₀ modu, te je najčešći kod većine lasera. Gaussov mod odlikuje se jednim središnjim maksimumom od kojeg se intenzitet svjetlosti rasipa po Gaussovoj razdiobi.
Fabry-Perot interferometar: najjednostavniji model laserske šupljine

nastaje stojni val ako: $2nl=m\lambda;$ $\frac{1}{\lambda}=\frac{m}{2l};\lambda v=c;v=\frac{mc}{2l}$

separacija modova: $\frac{dv}{dm}=\frac{c}{2l}$

Faktor dobrote

$Q=-2\pi v\frac{W}{dW};Q\frac{dW}{dt}=-2\pi vW;\frac{dW}{W}=\frac{-2\pi v}{Q}dt;\ln W=\frac{-2\pi v}{Q}t$

$W=W_0e^{\frac{-2\pi v}{Q}t};W=W_0e^{\frac{-2\pi v}{Q}\frac{2L}{c}}=W_0e^{-\gamma};Q=\frac{4\pi v L}{\gamma c}$

Fabry-Perot etalon:
za n>n' reflektirani val je za π pomaknut u odnosu na upadni val djelom prođe kroz etalon i reflektira se na drugoj plohi (na njoj nema promjene u fazi)
val reflektiran na drugoj plohi se razlikuje u fazi za π

$\Delta\Phi=k\Delta r=\frac{2\pi}{\lambda}\Delta r=2\pi\frac{2dn}{\lambda}=\frac{4\pi nd}{\lambda}=\frac{4\pi nd}{c}v$

prvi i drugi reflektirani val se razlikuju u fazi za π

$\Delta\Phi'=\frac{4\pi nd}{c}v-\pi=2\pi\left(\frac{2vnd}{c}-\frac{1}{2}\right)$

destruktivna interferencija $\Delta\Phi'=\left(2m+1\right)\pi$ za $v_m=m\frac{c}{2nd}$

višestruke refleksije $v_m=v_{m+1}-v_m=\frac{c}{2nd\cos\Theta}$

Transmisija u FP etalonu

$I=R_I;I_R=RI_0\frac{4\sin^2\frac{\Phi}{2}}{\left(1-R\right)^2+4R\sin^2\frac{\Phi}{2}};I_T=\frac{\left(1-R\right)^2}{\left(1-R\right)^2+4R\sin^2\frac{\Phi}{2}}$

$F=\frac{4R}{\left(1-R\right)^2}$ omjer raznaka između susjednih pruga i polusirine transmitiranog moda

Youngov pokus

Svaka točka na jednodimenzionalnom izvoru R_1R_2

emitira valove oni prolaze kroz pukotine i njihova superpozicija određuje raspodjelu intenziteta u ravnini B , u nekoj točki P te ravnine.
U proizvoljnoj točki P ravnine B rezultantni intenzitet će ovisiti o razlici faza $\Delta\varphi=\varphi(S_1)-\varphi(S_2)$ i o razlici

optičkih puteva S_1P-S_2P . b duljina izvora svjetlosti je

vrlo mala u usporedbi s njegovom udaljenosti od zastora f.

Razlika puteva $\Delta s=R_1S_2-R_1S_1\quad\Delta s=R_2S_1-R_1S_1$ jer je $R_1S_2=R_2S_1$.

0.) **Gaussov osnovni mod** - Gaussov profil intenziteta laserske zrake odgovara teoretskom TEM₀₀ modu, te je najčešći kod većine lasera. Gaussov mod odlikuje se jednim središnjim maksimumom od kojeg se intenzitet svjetlosti rasipa po Gaussovoj razdiobi.

1.) **Vrste rezonatora:** Optički, Nestabilni, Konfokalni. Laserski.

- Optički rezonator je općenito sastavljen od dva zakrivljena zrcala postavljena jedno nasuprot drugom.
- Nestabilni rezonatori se koriste kada se iz rezonatora žele ukloniti transverzalni modovi višeg reda.
- Pozitivna grana konfokalnog rezonatora ima osobinu da su oba parametra, g_1 i g_2 pozitivna; jedno zrcalo ima pozitivan olumjer zakrivljenosti, dok je drugo s negativnom zakrivljenosti. Negativna strana nestabilnog rezonatora ima oba zrcala pozitivne zakrivljenosti, a samo jedan od parametara g_1 i g_2 je negativan.

2.) **Spektralna karakteristika laserskog zračenja**

Spektr frekvencija lasera određen je spektralnom karakteristikom medija i rezonantnim modovima rezonatora. Svi modovi koji su iznad praga laserske akcije sudjeluju u laserskim oscilacijama. Može ih biti više.

3.) **Fabry-Perot interferometar:** Najjednostavniji model laserske šupljine.

Nastaje stoji val ako je: $\lambda \cdot m \cdot n! = 2 \cdot l$ $v = mc/2l$

Separacija modova: $dv/dm = c/2L$.

4.) **Rad lasera**

Kada snaga pumpanja dosegne vrijednost praga započinju laserske oscilacije tamo gdje je pojačanje najveće. Za vrijeme pumpanja pojačanje je veće od gubitaka i stimulirani val u rezonatoru se pojačava u svakom krugu. Pojačavaju se sve frekvencije koje su iznad praga.

5.) **Oblici rezonatora:**

- Rezonatori s ravnim zrcalima
- Rezonatori sa sfernim zrcalima

Prema stabilnosti:

- Stabilni rezonatori i Nestabilni rezonatori

Uobičajeni rezonatori:

- Konfokalni, Koncentrični, Simetrični, Simetrično konfokalni, Simetrični koncentrični, Semikonfokalni, Ravni.

6.) **Eksperimentalna realizacija jednomodnih lasera**

Laser može oscilirati istovremeno u više transverzalnih TEM_{0q} i longitudinalnih modova TEM_{00r}. Laseri nastoje raditi u najvišim mogućim modovima jer oni imaju veći promjer snopa što im omogućava da iz sredstva izvuku što više energije.

7.) **Fabry-Perot etalon**

FP etalon (planparalelni sloj od stakla ili kvarca) ili FP interferometar (dvije paralelne staklene ploče razmaknute za d)

- za $n > n'$ reflektirani val je za π pomaknut u odnosu na upadni
- val djelom prođe kroz etalon i reflektira se na drugoj plohi (na njoj nema promjene u fazi)
- val reflektiran na drugoj plohi se od upadnog razlikuje u fazi za: $\Delta\Phi = 4\pi n d \cos\theta$

8.) **Spektralna moć razlučivanja**

Definira se kao: $R = |\lambda/\Delta\lambda| = |v/\Delta v|$ [Rayleighjev kriterij]

$\Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda_2$ najmanja razlika dviju bliskih linija koje su razlučene kao dvije.

Linije su razlučene ako središte ogibnog maksimuma jedne linije pada u prvi minimum druge linije.

Za što bolje razlučivanje želimo da R bude što veći, tj.

$\Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda_2$ što manji.

9) **Koherencija**

Svjetlost je koherentna ako među fotonima postoji konstantan ili predvidiv fazni odnos, pri čemu se koherencija manifestira kao prostorna i vremenska. Kod prostorne koherencije promatra se fazni odnos valova na različitim mjestima u prostoru u isto vrijeme (Youngov eksperiment).

Kod vremenske koherencije promatra fazni odnos valova na istom mjestu u prostoru ali u različitim vremenima.

Vremenska koherencija se mjeri Michelsonovim interferometrom.

Ako je razlika faze valova koji stižu u točku P u vremenima t_1 i t_2 ista za sve valove: $\Delta\Phi = \Phi(P, t_1) - \Phi(P, t_2)$ val je vremenski koherentan.

10.) **Youngov pokus**

Svaka točka na jednodimenzionalnom izvoru R_1, R_2 emitira valove. Oni prolaze kroz pukotine i njihova superpozicija određuje raspodjelu intenziteta u ravnini B, u nekoj točki P te ravnine.

U proizvoljnoj točki P ravnine B rezultantni intenzitet će ovisiti o razlici faza $\Delta\varphi = \varphi(S_1) - \varphi(S_2)$ i o razlici optičkih puteva $S_1P - S_2P$. Duljina izvora svjetlosti je vrlo mala u usporedbi s njegovom udaljenošću od zastora r .

Razlika puteva $\Delta s = R_1S_2 - R_2S_1$ $\Delta s = R_2S_1 - R_1S_2$, jer je $R_1S_2 = R_2S_1$.

11.) **3 načina za dobivanje pulsa:** Gain-switching, Q-switching, Mode-locking

DODATAK

Faktor dobrote:

W - ukupna energija u rezonatoru

dW/dt - gubitak energije u jednom krugu u rezonatoru

Nakon jednog zatvorenog kruga u vremenu $t = 2L/c$

energija se smanji: $W = W_0 e^{-\gamma}$

Kazalo pojmova:

koeficijent gubitaka - γ

koeficijenti odbijanja zrcala - R_1 i R_2

intenzitet svjetlosti - I

faktor dobrote - Q

sirina emitirane linije ili promjena rezonantne frekv. - $\Delta\nu$

duljina rezonatora ili rezonantna frekvencija - ν

intenzitet elektromagnetskog vala - $I(\nu, 2L)$

koeficijent apsorpcije - α

faktor pojačanja elektromagnetskog vala - k

Faktor pojačanja elektromagnetskog vala pri prolazu

kroz sredstvo duljine L:

$I(\nu, L) = I(\nu, 0) e^{-2\alpha(\nu)L}$, gdje je $\alpha(\nu)$ koeficijent apsorpcije.

Ako u sredstvu postoji inverzija naseljenosti ($N_k > N_l$) i

ako je $E_k - E_l = h\nu$, koeficijent apsorpcije postaje negativan

i val se pojačava. Ako je aktivno sredstvo između zrcala

(koeficijent odbijanja je 1), krivulja pojačanja je:

$G(\nu) = I(\nu, 2L)/I(\nu, 0) = e^{-2\alpha(\nu)L}$

Dio izgubljenog vala opisuje koeficijent γ . Intenzitet je

$I = I_0 e^{-\gamma}$. Ukupni intenzitet je: $I(\nu, 2L) = I(\nu, 0) e^{-2\alpha(\nu)L - \gamma}$, $G(\nu) = e^{-2\alpha(\nu)L - \gamma}$.

Elektromagnetski val će biti pojačan ako je $G(\nu) > 1$.

Granični slučaj $G(\nu) = 1$ je prag laserske akcije; $e^{-2\alpha(\nu)L - \gamma} = 1$.

$\gamma = 1$, $-2\alpha(\nu)L = \gamma$. Faktor pojačanja $k(\nu) = -\alpha(\nu)/\nu(2L)$.

31. Zadatak: $P = I_0 e^{-2} w^2 P_l$