

TEORIJA:

- Prirodna širina linije emitirana prijelazom elektrona između dvije pobuđene energijske razine u atomu: DA: doprinosi joj samo neodređenost u energiji gornje energijske razine, NE: doprinose neodređenosti u energiji obje energijske razine, ne ovisi o tome da li je donja pobuđena ili osnovna
- Prijelazi u atomu DA mogu se odvijati samo ako je prijelazni dipolni moment različit od nule. NE mogu se odvijati između svih energijskih razina i NE mogu samo ako je prijelazni dipolni moment jednak nuli
- Koeficijent apsorpcije ovisi o imaginarnom dijelu indeksa loma.DA
- Prirodna širina linije je posljedica relacija neodređenosti.DA
- Disperziju elektromagnetskog vala opisuje imaginarni dio indeksa loma. NE
- Bohrov model atoma može se primijeniti na sve atome u periodnom sus.elem. NE
- Viši transverzalni modovi u rezonatoru mogu se ugušiti odgovarajućom geometrijom rezonatora. DA
- Razvoj lasera počeo je oko 1960. DA
- Mala vrijednost faktora dobrote laserskog rezonatora ima za posljedicu male gubitke snage. NE
- Raspodjela intenziteta TEM_{00} laserskog moda opisana je Gaussovom funkcijom. DA
- Razlika u frekvenciji između longitudinalnih modova u rezonatoru ne ovisi o duljini rezonatora. NE
- Umetanjem Fabry Perot eralona u rezonator laser može raditi u jednom modu. DA
- U laserima se koriste otvoreni optički rezonatori.DA
- Brusterovi prozori se u laseru postavljaju radi podešavanja frekvencije izlaznog zračenja.NE
- Vremensku koherenciju laserskog snopa možemo odrediti Michelsonovim interferometrom.DA
- Izborna pravila pri prijelazu elektrona u atomu posljedica su zakona sačuvanja energije. DA
- Kod atoma s LS vezanjem dozvoljeni su samo oni prijelazi kod kojih je promjena spinskog kvantnog broja jednaka nuli.DA
- U HeNe laseru laserski se prijelazi odvijaju u He, a Ne služi za pobudu.NE
- Dozvoljeni su samo oni prijelazi za koje je prijelazni dipolni moment jednak nuli. NE
- Raspodjela intenziteta TEM_{00} laserskog moda je opisana Gaussovom funkcijom.DA
- Broj longitudinalnih modova ovisi o duljini rezonatora.DA
- U Fabry Perot rezonatoru polumjeri zakrivljenosti zrcala moraju biti različiti.NE
- Poželjno je da optički elementi imaju veliku spektralnu moć razlučivanja.DA
- Inverzna naseljenost u sustavu može se postići optičkim pumpanjem. DA
- Izvod oblika linije za emisiju koristi model prigušenog har. oscilatora: kružno gibanje elektrona oko jezgre se može opisati kao oscilator i kod emisije je gubitak energije zračenjem sila otpora a vrijeme trajanja zračenja odgovara prigušenim titrajima; dok pri apsorpciji postoji električno polje koje prisiljava atom da apsorbira zračenje, tj. djeluje kao vanjska prisilna sila na oscilator.
- Stabilni rezonatori zadržavaju svu svjetlost u sebi, a kod nestabilnih svjetlost divergira.
- Karakteristike laserske svjetlosti kod jednomodnog načina rada : monokromatska, koherentna, usmjerena, velikog sjaja.
- Gaussov osnovni mod: Gaussov profil intenziteta laserske zrake odgovara teoretskom TEM_{00} modu, te je najčešći kod većine lasera. Gaussov mod odlikuje se jednim središnjim maksimumom od kojeg se intenzitet svjetlosti rasipa po Gaussovoj razdiobi.
- Što je Δt veći širina linije emitiranog vala $\Delta \nu$ je manja.
- Lorentzova širina je prirodna širina linije pri apsorpciji, a prirodna širina linije je pri emisiji...
- Fabry-Perot rezonator/interferometar** je najjednostavniji model otvorenog rezonatora, to je šupljina s planparalelnim zrcalima. U šupljini nastaju stojni valovi ako je: $2nl = m\lambda$, l -duljina rezonatora, n indeks loma sredstva u rezonatoru, m cijeli broj
- Frekvencije stojnih valova u rezonatoru (modova) su $\nu = \frac{mc}{2l}$, separacija modova je $\Delta \nu = \frac{c}{2l}$ (razlika u frekvenciji između dva susjedna moda)
- Rezonatori:
- parametre zakrivljenosti (i = 1,2): $g_i = 1 - \frac{d}{R_i}$, d- razmak između zrcala, R – polumjer zrcala
- Uvjet stabilnosti rezonatora: $0 < g_1 g_2 < 1$
- Nestabilan: $g_1 = 0$ ili $g_2 = 0$ ili $g_1 g_2 = 1$
- Longitudinalni modovi su u rezonatoru razmaknuti(širina linije) po frekvenciji za $\frac{c}{2l}$
- Zrake svjetlosti će biti pojačane (konstruktivna interferencija) ako je njihova razlika u hodu $\Delta s = m\lambda$, i ako je $2d \sin \alpha = m\lambda$, d - konstanta rešetke, m – red spektra

FORMULE

$$\Delta \lambda = \frac{\lambda^2 \Delta \nu}{c}, \nu = \frac{c}{\lambda}, \Delta \nu = \frac{1}{2\pi \Delta t}$$

Prirodna širina linije:

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{2\pi c \Delta t}$$

$$\text{Prirodna širina linije spektra: } |\Delta\lambda| [m] = \frac{\lambda^2}{2\pi c \Delta t} = \frac{\lambda^2 \Delta v}{c}, \Delta v [s^{-1}] = \frac{1}{2\pi \Delta t}, \Delta v = \frac{1}{2\pi \Delta t_1} + \frac{1}{2\pi \Delta t_2}$$

$$\text{Vidljivo : } \lambda = 589.1 nm, \Delta t = 16 ns, \text{ InfraCrveno : } \Delta t = 10^{-3} s, \text{ UltraViolet: } \Delta t = 8.23 s$$

Lorentzova širina linije:

$$\text{Prirodna širina Lorentzove linije: } \omega_{1,2} = \omega_0 \pm \frac{\gamma}{2}, \Delta\omega = \omega_1 - \omega_2 = \gamma$$

Dopplerova širina linije

$$\text{Dopplerova širina linije: } \Delta v_D = \frac{zc}{\lambda} \sqrt{\frac{\ln 2}{a}}$$

$$\text{Separacija modova : } \Delta v = \frac{c}{2L}$$

$$\text{Broj longitudinalnih/rezonantnih modova unutar Doppl širine: } N = \frac{\Delta v_D}{\Delta v}$$

$$\omega_{1,2} = \omega_0 \pm \omega_0 \sqrt{\frac{\ln 2}{a}}, \Delta\omega = \omega_1 - \omega_2 = 2\omega_0 \sqrt{\frac{\ln 2}{a}}, \omega_0 = 2\pi v = 2\pi \frac{c}{\lambda}, a = \frac{Mc^2}{2kT}$$

$$\text{Dopplerova širina linije: } \Delta\lambda_D = \frac{\lambda^2 \Delta v}{c}$$

$$\Delta v = \frac{\Delta\omega_D}{2\pi}, \Delta\omega_D = 2\omega_0 \sqrt{\frac{\ln 2}{a}}, \omega_0 = 2\pi v = 2\pi \frac{c}{\lambda}, a = \frac{Mc^2}{2kT}$$

$$\Delta\lambda = 2\lambda \sqrt{\frac{\ln 2}{a}}$$

Emisija i apsorpcija svjetlosti

Einsteinovi koeficijenti:

$$B_{12} [J^{-1} s^{-2} m^3]$$

$$B_{21} = \frac{1}{\tau} \frac{\lambda^3}{8\pi h}$$

$$\text{Gustoća toplinskog zračenja } \rho(v) : 1) \text{ stim i spont emisija : } B_{12} = B_{21}, A_{21} = \frac{8\pi h v^3}{c^3} B_{21}, 2) \text{ samo spontana: } B_{12} \rho(v) = A_{21} = e^{-\frac{h\nu}{kT}}$$

$$A_{21} = \frac{1}{\tau} = \frac{8\pi h v^3}{c^3} B_{21}, \frac{N_2}{N_1} = e^{-\frac{h\nu}{kT}}, \rho(v) = \frac{A_{21}}{\frac{B_{12} e^{\frac{h\nu}{kT}} - B_{21}}{c^3 (e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1)}} = \frac{8\pi h v^3}{c^3 (e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1)}$$

$$Q = \frac{W_{stim}}{W_{spon}} = \frac{B_{21} \rho(v)}{A_{21}} = \frac{1}{\frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}}, Q = 1 \rightarrow e^{\frac{h\nu}{kT}} = 2, \lambda = \frac{hc}{kT \ln 2}, W_{stim} - \text{vjerojatnost prijelaza/ broj stimuliranih prijelaza}$$

Laseri

$$\text{Koef. gubitaka: } \gamma = -\ln(R_1 R_2) = \frac{4\pi v L}{Q}$$

$$\text{Faktor dobrote/kvalitete laserskog rezonatora: } Q = \frac{4\pi v L}{\gamma c}, Q = \frac{v}{\Delta v}$$

$$\text{Intenzitet EM vala: } I(v, 2L) = R_1 R_2 I(v, 0) * e^{2k(v)L - \gamma}$$

$$\text{Uvjet laserske akcije: } G(v) = R_1 R_2 I(v, 0) * e^{-2\alpha(v)L - \gamma} = 1$$

$$\text{Faktor pojačanja rubin lasera: } k [m^{-1}] = \frac{1}{2L} (\gamma + \ln \frac{1}{R_1 R_2})$$

$$\text{Faktor pojačanja: } k = (N_2 - N_1) \frac{n h v B_{21}}{c}$$

Rezonatori:

$$v = \frac{mc}{2L}$$

$$\text{Promjena frekvencije uzrokovana promjenom duljine L je } |dv| = \Delta v = \frac{v}{L} \Delta L, \Delta v = v \frac{\Delta L}{L_0} = v \alpha \Delta T$$

$$\text{Promjena duljine s temperaturom: } L = L_0 (1 + \alpha \Delta T) = L_0 + \Delta L$$

$$\text{Promjena valne duljine s temperaturom: } \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta n}{n} = \alpha \Delta T + \frac{\Delta n}{n}$$

$$\text{Duljina rezonatora: } L = \frac{c}{2\pi \Delta v}$$

$$\text{Broj modova: } \frac{G(v)}{\Delta v}, G(v) - \text{poluširina linije}$$

$$\text{Koherentna duljina lasera: } L_c = t_c c, t_c = \frac{1}{G(v)}, t_c - \text{vrijeme koherencije}$$

$$\text{Srednje vrijeme zadržavanja fotona: } T = \frac{2L}{(1-R)c}, \text{ put fotona u jednom krugu } 2L = (1-R)T * c, \text{ koeficijent propusnosti zrcala } (1-R)$$

ZADACI:

$$\text{-Povećanje omjera vjerojatnosti stimul. i spont emisije: } Q = \frac{W_{stim}}{W_{spon}}, \text{ traži se } \frac{Q_2}{Q_1}$$

$$\text{-Broj rezonantnih/ longitudinalnih modova unutar Doppl širine: } N = \frac{\Delta v_D}{\Delta v}, \Delta v_D = \frac{zc}{\lambda} \sqrt{\frac{\ln 2}{a}}, \Delta v = \frac{c}{2L}$$

$$\text{-Promjena faktora dobrote: } Q_2 - Q_1, Q = \frac{4\pi v L}{\gamma c} = \frac{4\pi L}{-\lambda \ln(R_1 R_2)}$$

$$\text{-Fabry-perot rezonator: Separacija modova: } \Delta v = \frac{c}{2L}$$

$$P = I_0 e^{-2W^2 P I}$$

-Kazalo pojmova:

koeficijent gubitaka - γ

koeficijenti odbijanja zrcala - R1 i R2

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

IZVODI:

Einsteinove vjerojatnosti prijelaza- vjerojatnosti prijelaza atoma iz jednog u drugo stanje, $u(\nu)$ - gustoća energije, B_{12} - koef za apsorpciju, B_{21} - koef za stimuliranu emisiju, A_{21} - koef za spontanu emisiju

Ukupan broj prijelaza gore: $N_1 B_{12} u(\nu)$, Ukupan broj prijelaza dolje: $N_2 A_{21} + N_2 B_{21} u(\nu) = N_1 B_{12} u(\nu)$, $N_2 = N_1 e^{-\frac{h\nu}{kT}}$ - Boltzman,

$B_{12} u(\nu) = e^{-\frac{h\nu}{kT}} (A_{21} + B_{21} u(\nu))$, $u(\nu) = \frac{A_{21}}{B_{12} e^{\frac{h\nu}{kT}} - B_{21}}$, Planck: $u(\nu) = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} * \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \Rightarrow B_{12} = B_{21}$, Veza Einsteinovih koeficijenata:

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

Koeficijent apsorpcije EM zračenja - h - Planckova konstanta, $h\nu$ - energija jednog fotona

$$B_{12} = B_{21} = B$$

Apsorpcija energije: $h\nu N_1 B_{12} u(\nu)$

Energija dobivena stimuliranom energijom: $h\nu N_2 B_{21} u(\nu)$

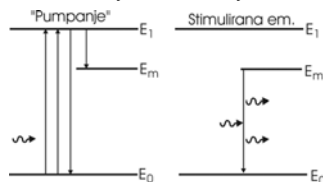
Promjena gustoće energije: $\frac{du(\nu)}{dt} = h\nu B u(\nu) (N_2 - N_1)$

$$\frac{d}{dt} = \frac{d}{dx} \frac{dx}{dt} = c \frac{d}{dx}, \frac{cd u(\nu)}{dx} = h\nu B u(\nu) (N_2 - N_1), \frac{du(\nu)}{u(\nu)} = \frac{1}{c} h\nu B (N_2 - N_1) dx = -\alpha dx, u(\nu) = u_0 e^{-\alpha dx},$$

$\alpha = \frac{h\nu}{c} B (N_1 - N_2)$, Za $N_1 > N_2$ koeficijent apsorpcije $\alpha > 0$ i gustoća energije opada s udaljenošću, Apsorpcija ide u zasićenje kada

N_2 postaje N_1 .

Inverzija naseljenosti + načini dobivanja- U uvjetima inverzije naseljenosti stimulirana emisija nadjača spontanu emisiju i pri tome dolazi do pojačanja intenziteta svjetlosti, odnosno laserske emisije. stanje u kojem je više atoma u stanju više energijske razine nego niže energijske razine, Prirodno : svi teže što nižem energetskom stanju, ako želimo dobiti inverznu naseljenost moramo dovesti energijom izvana. **Načini:** a) optičko pumpanje - izvor zračenja djeluje izvana i inducira prijelaze u najviše energijsko stanje. Metoda je pogodna kod lasera čvrstog stanja. ima 3 načina, sustav sa 2/3/4 razine, Prednosti dobivanja sa 4 energijska nivoa: Imamo jednu dodatnu razinu pa nema problema da ostaje određeni broj atoma u stanju niže energije i manja snaga je potrebna za postizanje inverzne naseljenosti.



b) pobuda elektronima ili sraz prvog reda - sudarimo atom i elektron, atom dobije dodatnu energiju i pređe u pobuđeno stanje.

c) sraz drugog reda - imamo 2 različita atoma sličnih energijskih razina (He i Ne npr). Elektron udari u atom A i on ode u pobuđeno stanje, zatim se A atom sudari sa B i sad A prestaje biti pobuđen, a B ode u pobuđeno stanje. Zbog B nastaju laserski prijelazi, A samo pomaže.

Oblik linije kod spontane emisije- kružno gibanje elektrona oko jezgre se može opisati jednadžbom prigušenog harmoničkog titranja jer titraji tijekom vremena postaju sve manji, tijekom vremena atomi spontano emitiraju fotone, tako da se energija atoma smanjuje. $m \cdot \frac{d^2x}{dt^2} + b \cdot \frac{dx}{dt} + kx = 0$ podijelimo sa m i zapišemo kao $\frac{d^2x}{dt^2} + \gamma \cdot \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 \cdot x = 0$, gdje je γ faktor prigušenja a ω_0 frekvencija neprigušenih titraja.

Osnovni dijelovi lasera i princip rada lasera

Osnovni dijelovi lasera 1. Optičko pojačalo, 2. Optički rezonator, 3. Energijska vanjska pobuda sustava. Princip: Vanjskom pobudom atome unutar optičkog pojačala tjeramo u stanje više energije dok ne dobijemo inverznu naseljenost, tjeramo ih na stimuliranu emisiju. Kod stimulirane emisije se dobije dodatni foton. Fotoni titraju unutar otvorenog rezonatora koji je sastavljen od 2 zrcala. Jedno od zrcala je polupropusno pa propušta svjetlost izvan lasera.

Faktor dobrote lasera: rezonatora- $Q = 2\pi\nu \frac{W}{\frac{dW}{dt}}$, W-ukupna energija u rezonatoru, $\frac{dW}{dt}$ - gubitak energije u jednom krugu u rezonatoru (na putu $2L$), $W = W_0 e^{-\frac{2\pi\nu}{Q}t}$, nakon jednog kruga u vremenu $t = \frac{2L}{c}$: $W = W_0 e^{-\gamma} = W_0 e^{-\frac{2\pi\nu}{Q} \cdot \frac{2L}{c}}$, $Q = \frac{4\pi\nu L}{\gamma c}$, nakon vremena t energija sadržana u modu padne na $\frac{1}{e}$ vrijednost

Načini eksperimentalne realizacije jednomodnih lasera- izdvajanjem jedne linije ili korištenjem optičkog elementa (npr. pomoću prizme), laser može oscilirati istovremeno u više transverzalnih TEM_{ppq} 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., **Longitudinalni modovi**: - su u rezonatoru razmaknuti za $c/2L$, **Broj longitudinalnih modova ovisi o**: 1. duljini rezonatora, 2. širini krivulje pojačanja sredstva mod koji oscilira najbliže maksimumu krivulje pojačanja izvlači najviše energije iz sredstva, **Izdvajanje jedne linije**: 1. ako je udaljenost modova veća od širine profila linije tada selektivna refleksivnost zrcala može izdvojiti jednu liniju -duljina rezonatora bi trebala biti prikladna, -mala dimenzija rezonatora nije pogodna jer se dobiva mala izlazna snaga, 2. ako su linije bliske za izdvajanje jedne koristi se neki optički element (prizma, rešetka i sl.) **Izdvajanje pomoću prizme**: prizma može biti unutar ili izvan rezonatora, - samo zraka koja iz prizme dolazi vertikalno na zrcalo M2 reflektira se sama u sebe i može doseći prag oscilacija, - ostale linije se izgube iz rezonatora, - zakretanjem zrcala M2 odabire se željena linija, - svjetlost bi na M2 trebala doći pod Brewsterovim kutom (polarizacija), - Littrov prizma - kombinacija prizme i zrcala (b)

Uvjet za prag laserske akcije

na ulazu u rezonator intenzitet vala I_0 , dio se izgubi $I = I_0 e^{-\gamma}$, γ -koef. gubitaka, prolaz kroz rezonator put $= 2l$ intenzitet je $I = I_0 e^{-2\alpha l - \gamma}$, rezonator je pojačan ako je $e^{-2\alpha l - \gamma} \geq 1$, a granični slučaj je prag laserske akcije $2\alpha l = \gamma$

Ako uvjet nije zadovoljen, neće biti pojačanja $\gamma = 2 \cdot (-\alpha) \cdot L$, α mora biti minus zbog inverzne naseljenosti, $I(a, b)$ znači da tražimo vrijednost intenziteta koji se kreće brzinom a , nakon što je prošlo udaljenost b , $I(v, 0)$ je intenzitet el. mag. vala na početku kad se još nije odbio od ničega tj. nije izgubio energiju, $I(v, 2l)$ je intenzitet nakon što je prošlo jedan krug kroz cijev sa plinom duljine l , $I(v, 2l) = I(v, 0) \cdot e^{-\alpha \cdot 2l}$, ali još moramo uračunati $e^{-\gamma}$ zbog gubitaka što daje omjer $G(v) = \frac{I(v, 2l)}{I(v, 0)} \cdot e^{(-\alpha \cdot 2l - \gamma)}$. Za $G(v) \geq 1$ će već biti pojačan. $e^0 = 1$, dakle $-\alpha \cdot 2l - \gamma \geq 0$, $G(v) = 1$ zovemo prag laserske akcije.

Postizanje visoke refleksivnosti zrcala (višeslojne dielektričke površine) - Refleksivnost $= \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2}\right)^2$, Za što veću apsorpciju treba staviti više slojeva izmjenično viših pa manjih indeksa loma, debljina svakog sloja mora biti takva da odgovara valnoj duljini vala. Zato te višeslojne površine funkcioniraju dobro za samo specifične valne duljine, dok imaju jako male koeficijente za ostale. Uz pomoć višeslojnih površina se može postići refleksivnost od primjerice 0.9995 dok polirana metalna površina ima 0.95.

Izborna pravila u atomskim spektrima-elektroni moraju slijediti određene putanje- orbitale -> dozvoljeni su samo prijelazi kod kojih $\Delta L = 0$, mora vrijediti: 1. promjena orbitalnog kvantnog broja $\Delta L = \pm 1$, 2. promjena spina $\Delta S = 0$ (za L-S vezanje), 3. promjena magnetskog kvantnog broja $\Delta M = 0$ za linearno polariziranu svjetlost i $\Delta M = \pm 1$ za kružno polariziranu svjetlost.

Prirodna širina linije (emisije)

određuje se pomoću relacija neodređenosti

$$\Delta E \cdot \Delta t = \hbar = \frac{h}{2\pi}, h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}, h\text{-Planckova, energija fotona } E = h\nu = h \frac{c}{\lambda}, \lambda = \frac{hc}{E}, d\lambda = -\frac{hc}{E^2} dE, \text{aprox. } d\lambda = \Delta\lambda, dE = \Delta E, \text{ slijedi } |\Delta\lambda| = \frac{hc}{\lambda^2} \Delta E = \frac{\lambda^2}{hc} \cdot \frac{\hbar}{\Delta t} = \frac{\lambda^2}{2\pi c \Delta t}, \Delta\nu = \frac{1}{2\pi \Delta t}, \Delta t \text{ odgovara vremenu života elektrona na pobuđenoj energijskoj razini.}$$

Lorentzova širina linije

$$I(\omega - \omega_0) = \frac{I_0}{2} \cdot \frac{I_0}{2} = I_0 \frac{\left(\frac{\gamma}{2}\right)^2}{(\omega - \omega_0)^2 + \left(\frac{\gamma}{2}\right)^2}, (\omega - \omega_0)^2 = \left(\frac{\gamma}{2}\right)^2, \omega_{1,2} = \omega_0 \pm \frac{\gamma}{2}, \Delta\omega = \omega_1 - \omega_2 = \gamma$$

$$\text{Intenzitet linije ima Lorentzov oblik: } I(\omega) = \frac{I_0 \frac{\gamma}{2\pi}}{(\omega - \omega_0)^2 + \left(\frac{\gamma}{2}\right)^2} = \frac{I_0 \left(\frac{\gamma}{2}\right)^2}{(\omega - \omega_0)^2 + \left(\frac{\gamma}{2}\right)^2}$$

γ -poluširina linije, ω_1 i ω_2 nam govore otkud do kud seže linija

Gustoća modova u šupljini: $E = \sum_p A_p e^{i(\omega_p t - K_p r)}$ - električno polje EM vala unutar šupljine, na zidu se svrtara stojni val $\rightarrow E = 0$, duljina stranice šupljine mora biti višekratnik broja $\frac{\lambda}{2}$, $A = p \frac{\lambda}{2}$, $p = \frac{\pi}{K_l}$, uzmemo kuglu volumena $V = \frac{4}{3} R^3 \pi$, razmatramo 1/8 volumena

Valni vektor $K^2 = K_x^2 + K_y^2 + K_z^2 = \pi^2 \left(\frac{p^2}{A^2} + \frac{q^2}{B^2} + \frac{r^2}{C^2} \right)$, U volumenu $V = ABC$, Broj modova u volumenu $\frac{1}{ABC} : N = \frac{2 \cdot \frac{4}{3} \pi^3 \pi}{\frac{1}{ABC}}$, Broj modova u

jedinici volumena je: $n = \frac{K^3}{3\pi^2} = \frac{\omega^3}{3\pi^2 c^3}$, $K = R\pi$, Broj modova u intervalu frekvencija $d\omega : n(\omega) d\omega = \frac{K^3}{3\pi^2} = \frac{\omega^2}{\pi^2 c^3} d\omega$, $n(v) dv = \frac{8\pi v^2}{c^3} dv$

TEM_{00r} raspodjela amplitude : $E(r, \varphi, z) = E_0 e^{-\left(\frac{r}{w}\right)^2}$, w je udaljenost na kojoj amplituda pada na vrijednost E_0/e

TEM_{00r} Intenzitet polja je $I = c \epsilon_0 E^2$, raspodjela intenziteta $I(r, z) = I_0 e^{-2\left(\frac{r}{w}\right)^2}$, z je smjer širenja vala

Prostorna i vremenska koherentnost - Koherentni izvori su izvori koji emitiraju jednake valove koji su upareni. **VREMENSKA koherencija** - 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.

PROSTORNA koherencija - ako je razlika u fazi dvaju valova u točki P konstantna u vremenu polje je prostorno koherentno.

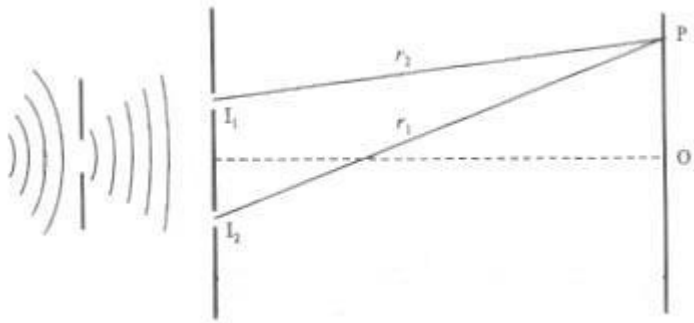
Doplerova širina linije

Do Dopplerovog sirenja spektralne linije dolazi u plinovima zbog temperaturnog gibanja atoma ili molekula. Oblik spektralne linije je Gaussov.

$$I(\omega) = I_0 e^{-a \frac{(\omega - \omega_0)^2}{\omega_0^2}}, a = \frac{Mc^2}{2kT}, M \text{ je relativna atomska masa molekula, } K \text{ Boltzmannova konstanta, } T \text{ temperatura plina, Sirina Gaussove}$$

$$\text{linije određuje se: } I(\omega) = \frac{I_0}{2} \cdot \frac{1}{2} = e^{-a \frac{(\omega - \omega_0)^2}{\omega_0^2}}, (\omega - \omega_0)^2 = \frac{\omega_0^2}{a} \ln 2, \omega_{1,2} = \omega_0 \pm \omega_0 \sqrt{\frac{\ln 2}{a}}, \Delta\omega = \omega_1 - \omega_2 = 2\omega_0 \sqrt{\frac{\ln 2}{a}}$$

Youngov pokus



Imamo točkasti izvor svjetlosti, i 2 uske pukotine koje su blizu jedna drugoj (ovo kraj I1 i I2). promatramo točku P na zastoru i vidimo interferenciju. ako svjetlost dolazi iz istog izvora, I1 i I2 na zastoru nisu u fazi, zato što udaljenost $r_1 \neq r_2$, i to stvara konstruktivnu i destruktivnu interferenciju odnosno svijetle i tamne pruge. S1 i S2 su udaljenosti od izvora do ovih I1 i I2. Rezultantni intenzitet će ovisiti o razlici faza $\Delta\varphi = \varphi(s_1) - \varphi(s_2)$ i o razlici optičkih puteva $S_1P - S_2P$. razlika puteva (koja nije isto što i optička razlika puteva) - $\Delta s = R_2S_1 - R_1S_1$, jer je $R_1S_2 = R_2S_1$