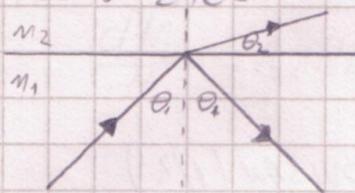


# 1. PRINCIP RADA SVJETLOVODA, VRSTE SVJETLOVODA

- SNEČCOV ZAKONI

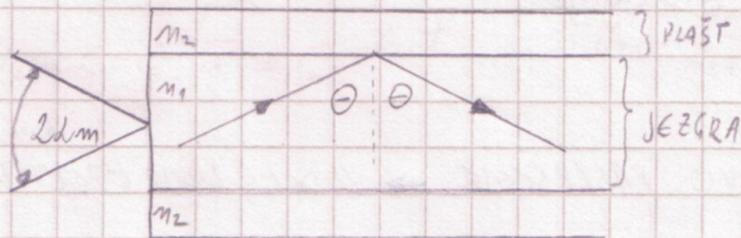


$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_r$$

kritični kut

$$\theta_c = \arcsin \left( \frac{n_2}{n_1} \right)$$

$$\theta_i \geq \theta_c$$

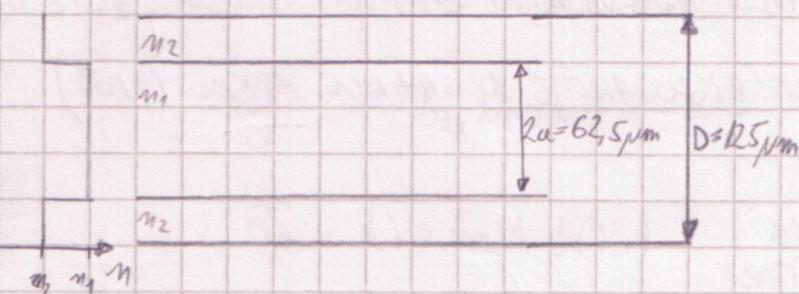


$$- NA = \sin \Delta m = \frac{(n_1 - n_2)}{\sqrt{\Delta m}} = \frac{2n_1 \cdot \Delta m}{\Delta m}$$

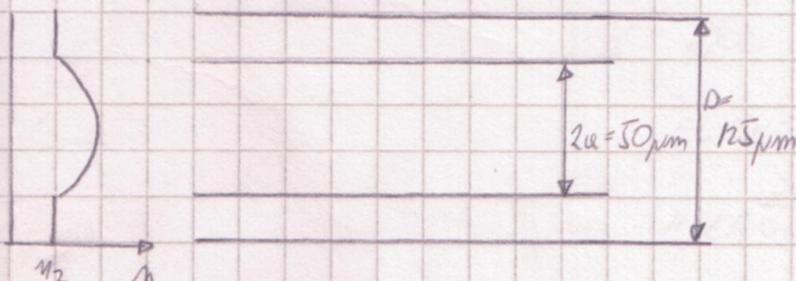
$$n_2 \cdot \sin \Delta m = n_1 \cos \theta_c$$

## • VRSTE SVJETLOVODA:

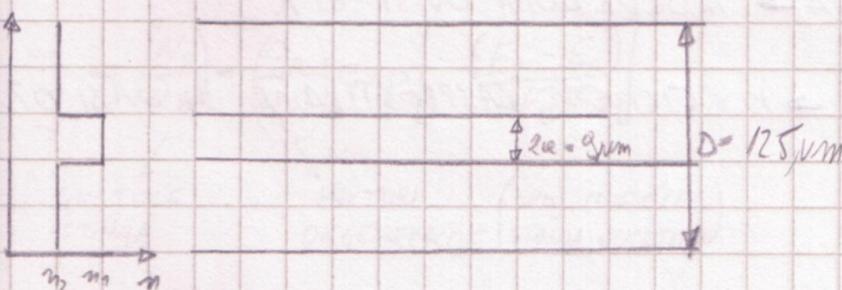
### 1. VISČMODNI STEPENIČASTI



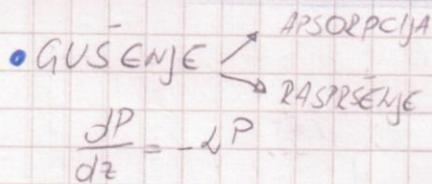
### 2. VISČMODNI GRADIJENTNI



### 3. JEDNOMODNI STEPENIČASTI



## 2. OGRANIČENJA U SVJETLOVODU: GUŠENJE I DISPERZIJA



- RAYLEIGHOVO RASPREDJENJE  $\rightarrow$  indeks loma člančenosti ovisan ( $1/\lambda^4$ )
  - $\rightarrow$  NECHOVOST GUSTOĆE  $\text{SiO}_2$  IZI PRIMJESA
  - $\rightarrow$  PRIMJER CRVENO NEBO U PREDVEĆER
- INFRARVENA APSORPCIJA  $\rightarrow$  INTERAKCIJA FOTON - FONON, VIBRACIJE  $\text{SiO}_2$ , RASTE DO  $8\text{ nm}$
- ULTRA LJUBICAŠTA APSORPCIJA  $\rightarrow$  INTERAKCIJA FOTON - ELEKTRON,  $\lambda < 0,4\mu\text{m}$
- TEHNOLOŠKO GUŠENJE  $\rightarrow$  OH- REZONANCIJE ( $0,95\text{ nm}, 1,25\text{ nm}, 1,4\mu\text{m}$ ) ZBOG VLAGE U STAKLU
  - $\rightarrow$  NESAVRŠENOSTI VALOVODA (ZLACNI MJEHURIĆI, NEPRAVILNA GEOMETRIJA)
  - $\rightarrow$  NEČISTOĆA METALIMA (REZONANCIJE ACOILIMA PREGO 1:10<sup>3</sup>)
- USLJED SAUJANJA  $\rightarrow \beta > 5\text{ cm}$
- GUŠENJE SPOJA  $\rightarrow$  VAPENI SPOJEVI, KONEKTORI
  - $\alpha_{\text{SUS}}^{0.05\text{ dB}}$
  - $\alpha_{\text{SUS}}^{0.3\text{ dB}}$

### • MEDUMODALNA DISPERZIJA

- RAZLIKOTO VRIJEME PROPAGACIJE MODOVA

$$\frac{\Delta T}{L} = \frac{n_1}{n_2} \cdot \frac{\Delta n}{c} = T^1 - T^2 = \frac{n_1^2 L}{n_2 c} - \frac{n_2 L}{c}$$

$$B_0 \leq \frac{1}{2 \Delta T}$$

### • KROHATSKA DISPERZIJA $\rightarrow$ MATERIJALNA $\rightarrow$ indeks loma ovisi o $\lambda$

$\rightarrow$  VALOVODNA  $\rightarrow$  KOEFICIJENT RASPROSTIRANJA BZ OVISI O  $\lambda$

$$- D = \frac{\Delta T}{L \cdot \Delta \lambda} = \frac{\text{ps}}{\text{km} \cdot \text{nm}}$$

### • POLARIZACIJSKA DISPERZIJA $\rightarrow$ RAZLIKA U BRZINI PROPAGACIJE ORTOGONALNIH MODEVA

$$- \langle \Delta T \rangle = D_{\text{PMO}} \cdot \Gamma_L$$

### • OGRANIČENJA BRZINE I UDALJENOSTI

$$- B_0 L \leq \frac{1}{2} \frac{L}{\Delta m} \Rightarrow \text{VIŠEMODNI STEP.} \quad - B_0 L \leq \frac{\lambda c}{m_1 m_2} \Rightarrow \text{VIŠEHODNI GRAD.} \quad - B_0 L \leq \frac{1}{2 \lambda_{\text{min}}} \Rightarrow \text{ZDUROMODNI}$$

### 3. ABSORPCIJA, SPONTANA I STIMULIRANA EMISIJA; BOLTZMANNOV ZAKON

- SPONTANA EMISIJA  $\rightarrow$  SPONTANI PRIJELAZ iz  $E_2$  u  $E_1$ , EMITIRA SE FOTON

$$\frac{dN_2}{dt} = -A_{21} N_2 \Rightarrow N_2 = C \cdot e^{-\frac{t}{\tau_{21}}} = C e^{-A_{21} t} \quad \tau_{21} = \frac{1}{A_{21}}$$

AKO NGMA  
DRUGOG PROCESA

$$P_{SPONT} = h\nu_{21} N_2 A_{21}$$

- STIMULIRANA EMISIJA  $\rightarrow$  ATOM DAJE ENERGIJU  $h\nu$  KOJA SE KOHERENTNO ZBRAJA S UPADNIJEM EM-VALOM

TE GA POJACAVA

$$\frac{dN_2}{dt} = -B_{21} N_2 S(\nu) = -\frac{dN_1}{dt}$$

$$P_{STIM} = h\nu_{21} N_2 B_{21} S(\nu_{21})$$

- APSORPCIJA  $\rightarrow$  ATOMAPSORBIRA FOTON I PRELAZI U VIŠE ENERGETSKO STAJE

$$\frac{dN_2}{dt} = +B_{12} N_1 S(\nu) = -\frac{dN_1}{dt}$$

$$P_{APPS} = h\nu_{21} B_{12} N_1 S(\nu_{21})$$

- BOLTZMANNOV ZAKON  $\rightarrow$  ELEKTRONI ŽELE DOĆI U NAJNIZI ENERGETSKI NIVO.

KOD NIŽIH ENERGETSKIH NIVOA IMPULS NOZE Izbaciti

ELEKTRON U ČIJUSKU VEĆEG ENERGETSKOG NIVOA, A NA  
NJEVOTO MJESTO ĆE DOĆI DRUGI

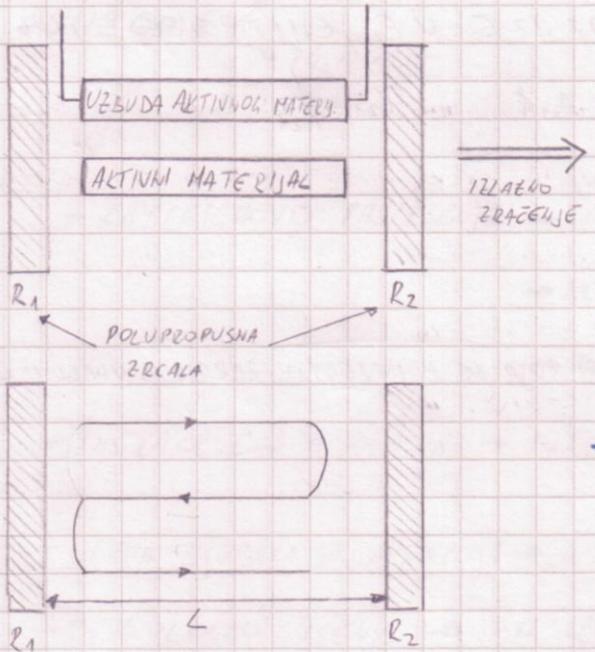
$\rightarrow$  Daje omjer broja atoma na pojedinim energetskim nivoima  
u stanju termodinamickog zavjedeteženja

$$-\frac{N_2}{N_1} = \frac{g_2}{g_1} \exp \left[ -\frac{(E_2 - E_1)}{k_B T} \right]$$

GUSTOCJE  
STAJA

FAKTORI  
DEGENERACIJE (Broj mogućih  
stajja elektrona)

#### 4. IZGLED LASERA, IZNOS MINIMALNOG POTREBNOG POJACANJA



- LASER = OSCILATOR, Povratna veza je  
REZONANTNA SUPLJINA

$L$  - duljina aktivnog materijala

$R_1, R_2$  - refleksivnosti zrcalne

$\gamma$  - pojaciensje po jedinici duljine

$I$  - intenzitet EM vala

$$- |I| \geq |I_0| e^{\gamma 2L} \cdot (R_1 R_2)$$

Pojaciensje na putu dužine  $2L$

GUBICI USLJED NEOPTIMNE REFLEKCIJE

$$- \gamma = \frac{1}{2L} \ln \left( \frac{|I|}{|I_0| R_1 R_2} \right)$$

$$- \beta \cdot 2L = q \cdot 2\pi$$

## 5. LASERSKA DIODA (IZGLLED, IZVEDBA S HETEROSTRUKTURAMA, P-I KARAKTERISTIKA)

- PRINCIJ P RADA SLIČAN LED

- PREDNOSTI LD U ODMOSU NA LED  $\rightarrow$  VELIKI IZLAZNA SNAGA ( $> 10 \text{ mW}$ )

$\rightarrow$  VISOK STUPAJ KOHERENCIJE (USKI SPECTRUM EMITIRANOG SIG)

$\rightarrow$  ŠIROK MODULACIJSKIH SPEKTAR ( $\sim 30 \text{ GHz}$ )

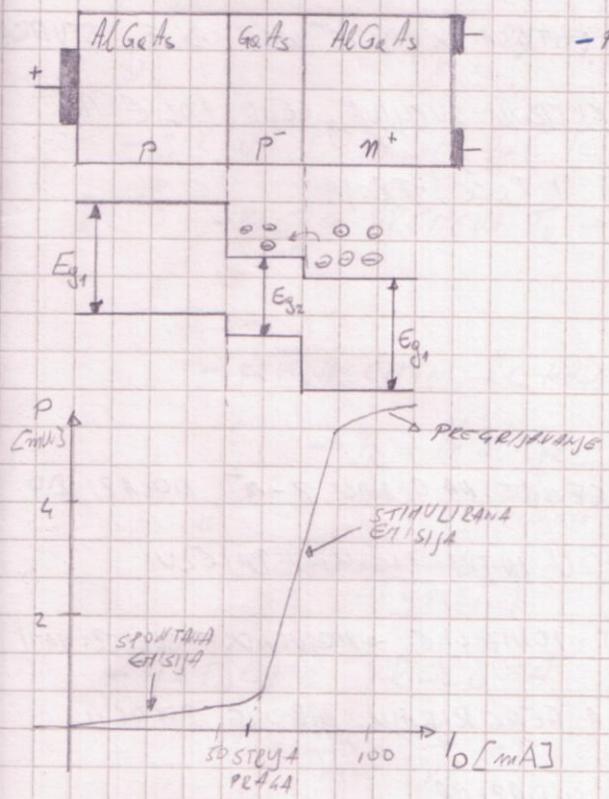
$\rightarrow$  VISOKA DJELOVORNOST ( $< 50\%$ )

- NEDOSTAO LD U ODMOSU NA LED  $\rightarrow$  P-I KARAKTERISTIKA NIJE LINEARNA

$\rightarrow$  VELIKI TEMPERATURNI OVISNOST

$\rightarrow$  VISOKA TEHNOLOGIJA (HETEROSTRUKTURA, BRAGGOVA ZBOČALA, ...)

$\rightarrow$  RELATIVNO VISOKA CIJENA



- PREDNOSTI - HETEROSTRUKTURE :

$\rightarrow$  DEBLJINA SLOJA U KOJI SU INJEKTIRANI ELEKTRONI DOBRO JE DEFINIRANA SREDnjIM SLOJEM

$\rightarrow$   $E_{g2} < E_g1 \rightarrow$  SMANJENA REAPSORPCIJA UNUTAR MATERIJALA

$\rightarrow$  TOGUĆE POSTICI VEĆE KONCENTRACIJE NOSIČA

$\rightarrow$  RAZLIKA U indeksu loma otogućuje fortiranje

PLANARNOG SVIJETROVODA

- VRSTE  $\rightarrow$  REZONATOR U RAVNINI ČIPI  $\rightarrow$  SKUPA IZVEDBA

$\rightarrow$  VCSEL (REZONATOR OKOMIT NA RAVNINU ČIPA)  $\rightarrow$  MAJKA OPTICKA SNAGA

- FABRY-PEROT  $\rightarrow$  SEDAN TRANSVERZALNI MOD, VIŠE LONGITUDINALNIH

- DBR  $\rightarrow$  ZRCALO POJACANJE ZRCALO

- DFB  $\rightarrow$  ZRCALO  $\frac{\lambda}{2}$

- PODJESIVI DBR  $\rightarrow$  ZRCALO AMPLIFIER FUNCTION ZRCALO

## 6. DETEKTORSKE DIODE (PRINCIJ PADA, VRSTE DETEKTORSKIH DIODA)

- FOTODETEKTOR → PRETVARA TOK FOTONA U TOK ELEKTRONA

- KVALITETAN PRIMJENIK → VELIKA OSJEĆJIVOST (EFIKASNA PRETVORBA, MALA STRUJA TAME)

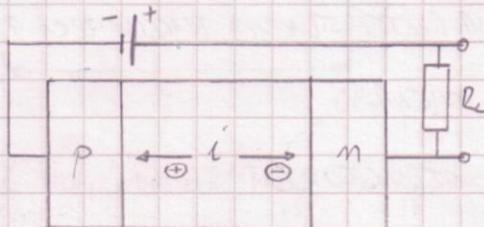
→ NISKA RAZINA VLASTI TOG ŠUMA

→ ŠIROK FREKVENCIJSKI POJAS DETEKCIJE SIGNALA

→ KRATKO VRIJEME ODZIVA

→ LINEARNOST

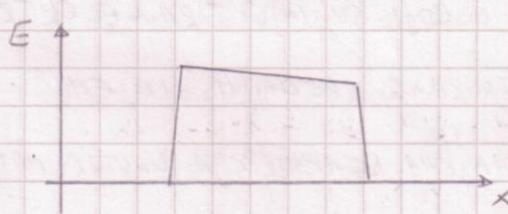
- PIN fotodioda



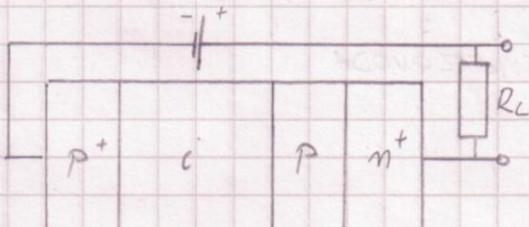
- INTRINZICNO PODRUČJE U POTPUNOSTI OČIŠĆENO

OD KOSTOCA POKOĆU VELIKOG REVERZNOG PREDNAPON

- DOLASKOM FOTONA ENERGIJE VEĆE OD  $E_g$  STVARA  
SE PAR ELEKTRON-ŠUPJINA, ELCK. POLJE IH  
RAZDVAJA I TEĆE STRUJA



- APD (LAVINSKA) fotodioda



- LAVINSKI EFekt NA GRANICI P-m+, DOLAZI DO  
POJAČANJA U INTRINZICINU DJELU

- KOEFICIENT IONIZACIJE → MOGUĆNOST ELEKTRONA I  
ŠUPJINA DA GENERIRAJU PAROVE POKOĆU  
IONIZACIJE SUDARIMA

$$- k = \frac{k_{BS}}{d_e} \rightarrow \text{POŽELJNO } k=0 \text{ I LIK } k=\infty$$

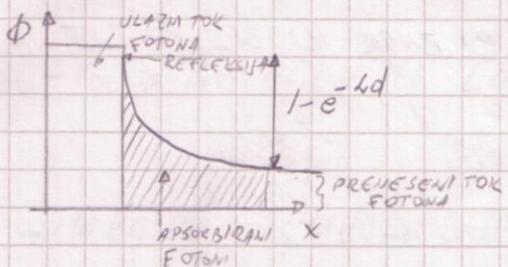
- FOTOVODIĆI

- USLJED PRISUTSTVA SVJETLOSTI POVEĆA SE VODljIVOST POLUVODIĆA,  
BEZ PN-SPOJA

# 7. PARAMETRI DETEKTORSKIH DIODA (KVANTNA DJELOTVORNOST, ODZIV, ŠIRINA POJASA)

## - KVANTNA DJELOTVORNOST

- VJEROJATNOST DA ULAZNI FOTON GENERIRA PAR ELEKTRON-SUPRINA



## - ODZIV $R$

- ODNOS STRUJE KROZ DETEKTOR / UPADNE OPTICKE SNAGE

$$- I_p = c \cdot \phi = \frac{c \cdot P_0}{h\nu} \rightarrow \text{IDEALNI UVJETI}$$

$$- R = \frac{ne}{h\nu} = n \cdot \frac{\lambda_0 [\mu\text{m}]}{1,24}$$

$$- PIN \rightarrow I_p = JR \cdot P_0$$

$$- APD \rightarrow I_p = JR \cdot P_0 \cdot (M)$$

↳ pojednostavljenje

## - ŠIRINA POJASA DETEKTORA

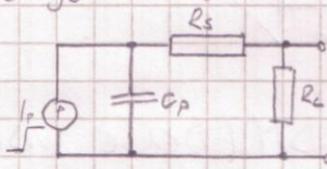
- PREKO VREMENA  $T_R$  → VRJEME POTREBNO DA STRUJA DODE OD 10% NA 90% UZ

SKOKOVITU PROMJENU POBUNE

- EKVIVALENTNI  $R_C$  NADOMJESU SKLOP

$$\rightarrow T_R = \ln 9 (\tau_{PR} + \tau_{RC})$$

↑  
vrjeme  
proleta



$$- \Delta f = \frac{1}{2\pi(\tau_{PR} + \tau_{RC})} = \frac{0.35}{T_R}$$

## - VRJEME PROLETA

$$- \tau = \frac{W_a}{V_e} + \frac{W_a}{V_s} + \tau_m$$

## - TERMIČKI ŠUM

$$- \sigma_n^2 = \frac{4k_B T \Delta f}{R_L}$$

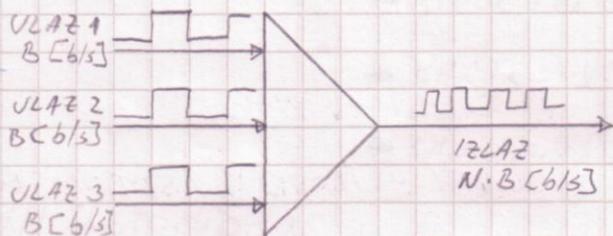
- MALI  $R_L$  → VELIKI  $\Delta f$ , MAKSIMALNA ULAZNA OPTICKA SNAGA

- VELIKI  $R_L$  → MALI TERMIČKI ŠUM, VELIKI IZLAZNI NAPON

## 8. MULTIPLEXIRANJE (TDM, WDM)

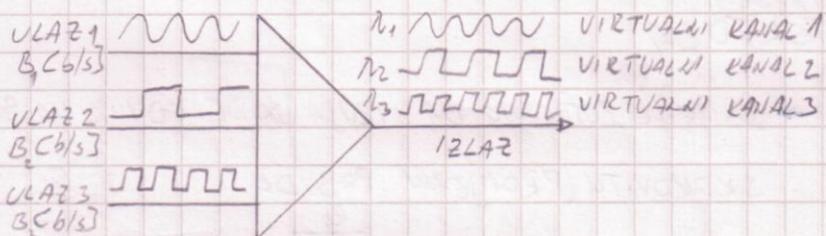
### - TDM (TIME DIVISION MULTIPLEXING)

- BRZINA PRIJENOSA I FORMAT ULAZNIH PODATAKA STROGO ODREĐENI
- MOGUĆE MULTIPLEXIRATI ZNAK PO ZNAK ICI BIT PO BIT



### - WDM (WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING)

- BRZINA PRIJENOSA I FORMAT ULAZNIH PODATAKA SU PROIZVODJENI
- POJEDINI SIGNALI NOGU BITI JOŠ MULTIPLEXIRANI POMOĆU TDM



### - DWDM (DENSE WDM)

- RAZMAK KANALA NIJE VEĆI OD PAR mm (0.8mm I/ 0.4mm)
- STROGI ZAHTJEVI NA OPREMU (TEMPEZATURNO STAB. LASERI, ...)
- MOGUĆNOST KORIŠTENJA EDFA POJACALA
- VISOKA CIJENA, POGODAN ZA VELIKE UDALJENOSTI

### - CWDM (COARSE WDM)

- RAZMAK KANALA 20 mm (DO 16 KANALA)
- POGODAN ZA REGIONALNE MREŽE (SKLAD, KOMPONCIJALNO - POJACANJE SIG.)

## 9. PROJEKTIRANJE OPTICKE VEZE - PRORACUN SNAGE

- PRORACUN SNAGE OPTICKOG SUSTAVA KAKO BI SE OSIGURALA POTREBNA RAZINA SNAGE NA ULAZU U OPTICKI Prijemnik

$$- \overline{P_{OD}} \geq \overline{P_{PR}} + C_L + M_S \quad [dB]$$

↓  
VEĆUPNI  
GUŠIČI

↓  
MARGINA  
SUSTAVA

- MARGINA SUSTAVA → 3dB ZBOG KRATKOROCNIH VARIJACIJA (TEMP. FLUKTUACIJE)  
→ 3dB ZBOG DUGOROCNIH PROMJENA (STARENJE KOMPONENTI)

$$- C_L = \underbrace{L \cdot L_s}_{SVJETLOVOD} + \underbrace{L_K \cdot N_K}_{KONKTOVI} + \underbrace{L_S \cdot N_S}_{VARENI SPOJEVI}$$

- OSJETLJIVOST Prijemnika ovisna o BREMI PRIJENOŠA

- RAČUNA SE SA SREDnjIM VRIJEDNOSTIMA SNAGE

## 10. PROJEKTIRANJE OPTIČKE VEZE - PRORACUN VREMENA ODZIVA

-  $T_e = \frac{0.35}{\Delta f} \rightarrow$  KONZERVATIVNA GRANICA

$$- T_e^2 = T_{e,00}^2 + T_{e,sv}^2 + T_{e,pr}^2$$

VRJECIĆE PORASTA  
VRJECIĆE PORASTA  
SVJETLOVODA

VRJECIĆE PORASTA  
UDARILJACA

PRJENIKA

$$- T_{e,sv}^2 = T_{e,mod}^2 + T_{e,krom}^2 \Rightarrow T_{e,sv} \approx \Delta T$$

MEDVIMODALNA  
DISPERZIJA

KROMATSKA  
DISPERZIJA

- VIŠENODNI STEPENICE

$$- T_{e,sv} \approx T_{e,mod} \approx \Delta \tau \approx \frac{m_1 \Delta}{c} \cdot L$$

- GRADIJENTNI

$$- T_{e,sv} \approx \frac{m_1 \Delta^2}{4c} L$$

- SEDNOVIMODNI SVJETLOVOD

$$- T_{e,sv} \approx T_{e,krom} \approx |D| \Delta \lambda L$$

$$- B_o \leq \frac{0.7}{T_e} \quad NRZ$$

$$- B_o \leq \frac{0.35}{T_e} \quad RZ$$

## 11. PLANARNI VAL

### - APROKSIMACIJA KUGLASTOG VALA

$$E(z, t) = \hat{x} E_0 \cos(2\pi v t - \beta z + \phi)$$

$$\beta = \frac{2\pi v}{c} = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$H(z, t) = \hat{y} H_0 \cos(2\pi v t - \beta z + \phi)$$

### - FAZORSKI PRIKAZ

$$E(z, t) = \hat{x} E_0 e^{j\phi} e^{-j\beta z} e^{j2\pi v t}$$

### - POLARIZACIJA

- LINEARNA  $\rightarrow$  VEKTOR ELEKTR. POLJA OPISUJE PRAVAC (VERT, HORE)

- KRVŽNA  $\rightarrow$  VEKTOR ELEKTR. POLJA OPISUJE KRVŽNICU (OKP, LKP)

- ELIPTIČNA  $\rightarrow$  VEKTOR ELEKTR. POLJA OPISUJE ELIPSU (LEP, DEP)

$\rightarrow$  AKSIJALNI ODNOŠ, KUT VEĆIKE POLUOSI, SIVJEĆ ROTACIJE

- ORTOGONALNE POLARIZACIJE SU MEDUSOBNO NEZAVISNE

### - RASTAVLJANJE POLARIZACIJE

## 12. PROSTORNA I VREMENSKA KOHERENCIJA

- DVA I LI VIŠE VALOVA SU KOHERENTNI AKO MEĐU NJIMA POSTUJI

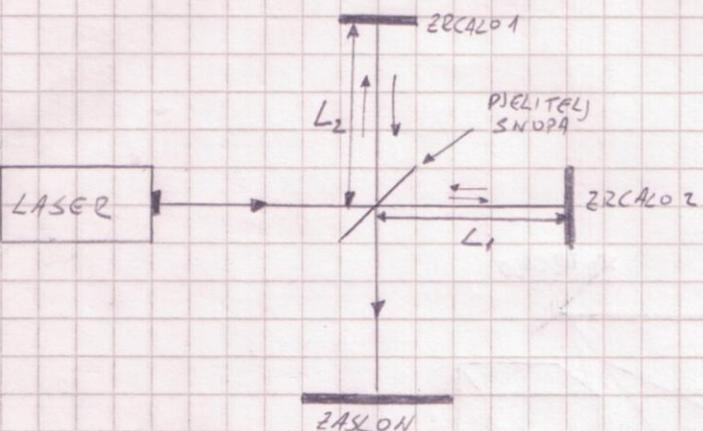
KONSTANTAN ILI PREDVIDIVI MEDUSOBNI FAZNI ODNOŠ

= VREMENSKA KOHERENCIJA - POKAZUJE KAKAV JE FAZNI ODNOŠ PROMATRANI VALOVA U ISTOJ TOČCI PREDMETA, ALI U RAZLIČITO VRIJEĐE  
PROMATRANJA (MICHELSONOV INTERFEROMETAR)

- PROSTORNA KOHERENCIJA - POKAZUJE FAZNI ODNOŠ PROMATRANIH VALOVA U ISTO VRIJEĐE U DVije TOČKE PROSTORA (YOUNGOV pok.

### 13. MICHELSONOV I MACH-ZEHNDEROV INTERFEROMETAR

#### MICHELSONOV INTERFEROMETAR



$$I = \frac{1}{2\eta} \langle |E_1 + E_2|^2 \rangle$$

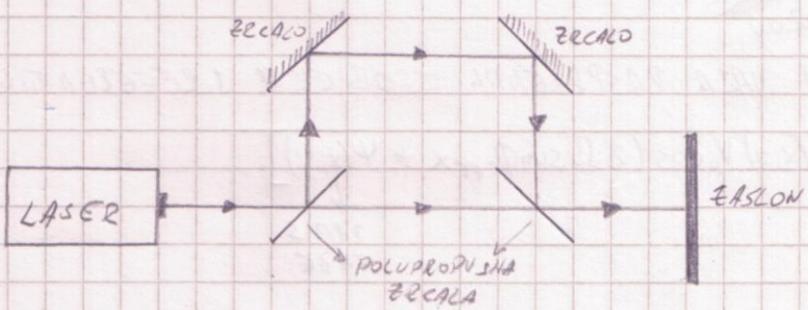
DUŽINA KOHERENCIJE -  $\lambda_c$

- MAX. DUŽINA PUTA DA IMAMO KOHE.

VRIJEME KOHERENCIJE -  $\Delta t$

- ODGOVARAJUĆE VREMETVSKO KASNJEVANJE

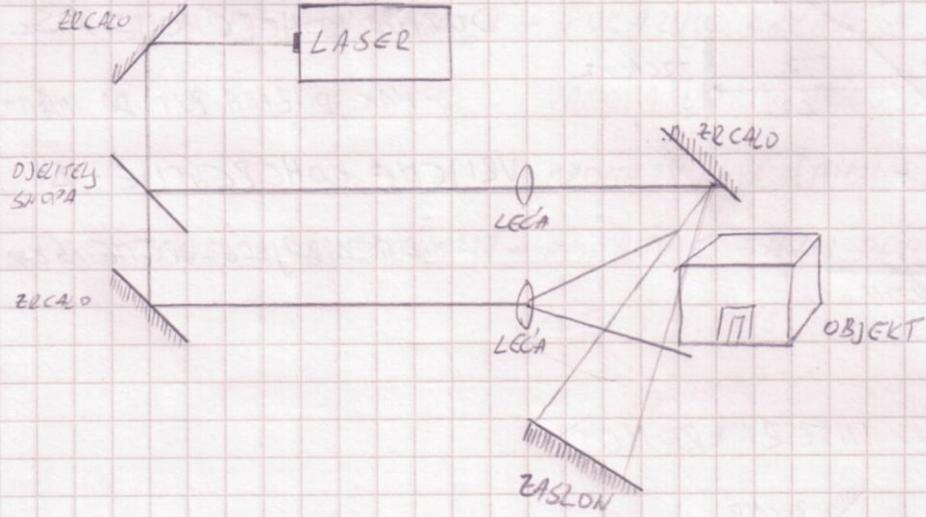
#### MACH-ZEHNDEROV INTERFEROMETAR



## 14. HOLOGRAFIJA - SNIMANJE I REPRODUKCIJA

- SACUVATI INTENZitet i fazu signala

- SNIMANJE



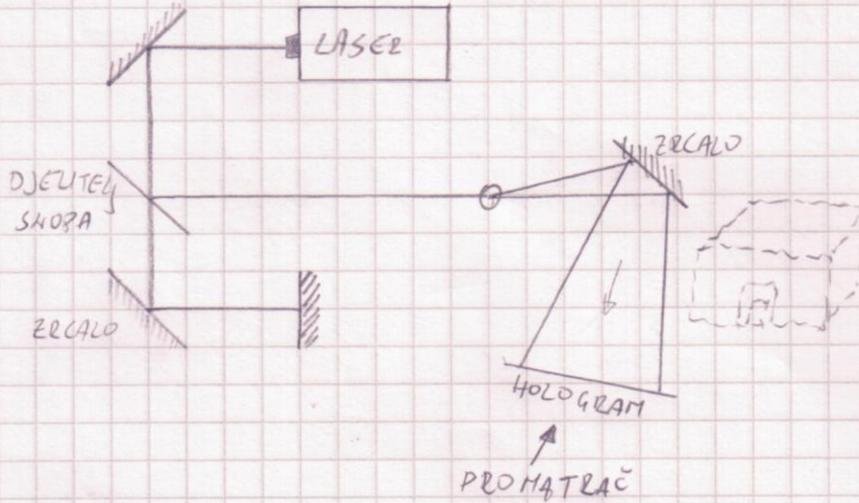
- SNIMA SE INTERFERENCIJA VALA RASPREDENOJ S OBJEKTA I REFERENTNOG VALA.

$$- |I| = \frac{1}{2\eta} \left[ U(x, y)^2 + V_0^2 + 2U(x, y)V_0 \cos(2\beta \sin \phi_{ref} x + \Psi(x, y)) \right]$$

↓  
ZAPIS  
AMPLITUDU

↓  
ZAPIS  
FAZE

- REPRODUKCIJA



- SLIKA OBJEKTA

- VAL OCITANJA

- KOMPLEKSNO-KONJUGIRANA SLIKA

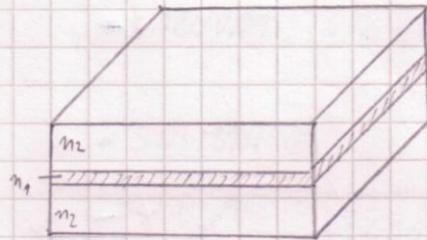
- VRSTE HOLOGRAMA → VOLUHNI

→ REFLEKSIJU

→ DUGIMIH BOJA

→ DIGITALNI

## 16. PLANARNI SVJETLOVODI (MODOVI)



- MODOVI

$$\begin{aligned} - \tan\left(\frac{\pi n_1 d \cos \theta}{\lambda_0} - \frac{m\pi}{2}\right) &= \sqrt{\frac{n_1^2 \sin^2 \theta - n_2^2}{n_1 \cos \theta}} \\ &= \sqrt{\frac{\cos^2 \theta_c}{\cos^2 \theta} - 1} \Rightarrow \text{GRAFIČKO ODREĐIVANJE MODOVA} \end{aligned}$$

$$- M_{TG} = 1 + \text{int} \left\{ 2 \frac{d}{\lambda_0} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \right\}$$

- UVJET JEDNOMODNOSTI

$$- \frac{d}{\lambda_0} < \frac{1}{2 \sqrt{n_1^2 - n_2^2}}$$

## 18. EINSTEINOVI KOEFICIJENTI; PROŠIRENJE SPEKTRALNE LINIJE

- EINSTEINOVI KOEFICIJENTI DAJU MATEMATIČKI OPIS

RAZLIČITIH VRSTA EMISSIJA

- VIDI 3.

$$- \frac{dN_2}{dt} = -A_{21}N_2 + B_{12}N_1 S(\nu_{21}) - B_{21}N_2 S(\nu_{12}) = -\frac{dN_1}{dt}$$

- U ZAVODEŽI OMJER PROMJENE JE NULA:  $\frac{dN_2}{dt} = 0$

$$- \frac{N_2}{N_1} = \frac{B_{12} P(\nu)}{A_{21} + B_{21} S(\nu)}$$

- PROŠIRENJE SPEKTRALNE LINIJE

- HOMOGENO  $\rightarrow$  PRIMJEŠUJUĆE SE NA SVE ATOMSKE ŠTERNA ENERGETIČKA STAKJA

- NEHOMOGENO  $\rightarrow$  NASTAJE ZBOG RAZLIKA POJEDINIH GRUPA ATOMA

$\rightarrow$  DOPPLEROV EFEKT (PLINSKI LASERI)

## 19. OSNOVNA LASERSKA JEDNADŽBA

ŠVM, ZA MJEJUJALNE OSCILACIJE

$$-\frac{\Delta l/v}{\Delta z} \approx \frac{d/l/v}{dz} = \left[ \frac{h\nu}{c/m} (B_{21}N_2 - B_{12}N_1) g(v) \right] l/v + \frac{1}{z} \left[ h\nu A_{21} N_2 g(v) \Delta v \frac{dR}{4\pi} \right]$$

- $\frac{B_{12}}{B_{21}} = \frac{g_2}{g_1}$
- $\frac{A_{21}}{B_{21}} = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3}$
- $\tau_{21} = \frac{1}{A_{21}}$

$$-\frac{d/l/v}{dz} = \left\{ \left[ \frac{1}{\tau_{21}} \frac{\lambda^2}{8\pi m^2} g(v) \right] \left[ N_2 - \frac{g_2}{g_1} N_1 \right] l/v \right\} = \gamma(v) l/v$$

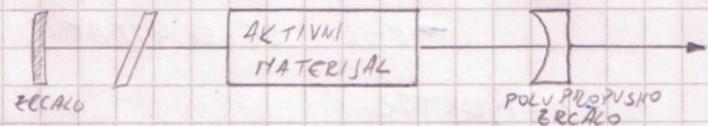
## 21. SELEKCIJA REZONANTNIH MODOVA

- POMOĆU OPTIČKE PRIZME

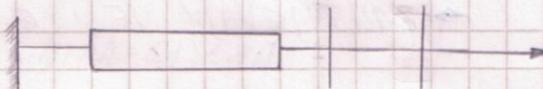
- PRIZMA JE FREKVENCIJSKI SELEKTIVNI ELEMENT

- UNETAJJEM ETALONA

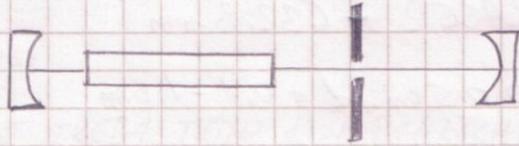
- FABRY-PEROT REZONATOR



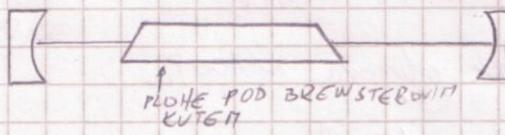
- REZONATORI S VIŠESTRUKIM ZRCALOM



- SELEKCIJA TRANSVERZALNIH MODOVA



- SELEKCIJA POLARIZACIJE



## 22. PLINSKI LASERI (HeNe, CO<sub>2</sub>)

### -- PREDNOSTI PLINSKIH LASERA

- PLIN SE VECOMA HOMOGEN
- RELATIVNO EFIKASNI
- MOGU SE SKALIRATI NA VELIKE SNAGE

### - NEDOSTACI

- ZAHTEVAVAJU VELIKE NAPONE UZBUDJE

### - HeNe LASER - 632,8 nm

- $\phi 0.5 \text{ cm}$ ,  $L = 0.1 - 1.8 \text{ m}$
- $P = 0.1 - 80 \text{ mW}$
- tlak plinova  $\sim 100 \text{ Pa}$
- uzbroj  $10 \text{ mA}$

### - CO<sub>2</sub> LASER - 10,6 μm

- ELEKTRONSKO, VIBRACIONO, ROTACIONO GIBANJE
- VAŽAN U INDUSTRIJI, VISOKA EFIKASNOST
- SHEMA PUMPAJU → ELEK. ENERGIJA SE PRENOSI ELEKTRONIMA (IZBOJ)
  - SUDAR ELEKTRONA I NEUTRALNIH ATOMA
  - ZAGRIJAVanje PLINA
  - VIBRACIONO POBLADIVANJE

## 23. LED DIODE

- PROPUŠNU POLARIZIRANI P-N SPOJ KOJI ZRAČI SVIJETLOST

$$-E_g = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

- KORISTE SE DIREKTNI POLUVODICI

- SPOJITANA EMISIJA

- PREDNOSTI LED DIODA

1. JEDNOSTAVNJA PROIZVODNJA, NIŽA CIJENA

2. VEĆA POUZDANOST U ODNOSU NA LD

3. MANJA TEMPERATURNAA OVISNOST

4. JEDNOSTAVNIJI SKLOPOVI, NE TREBA TEMP. KOMPENZACIJU

5. LINEARNA P-I KARAKTERISTIKE

- NEDOSTACI LED DIODA

1. EMISIJA SVIH VALNIH DULJINA UNUTAR SPEKTRALNOG OPSEGA

2. LED DAJE MANJE SNAGE

3. PUNO VEĆA SPEKTRALNA ŠIRINA OD LD (10 - 100x)

4. NIŽA MODULACIJSKA FREKVENCIJA (< 500 MHz)

$$\frac{I}{\gamma} = \frac{I}{\gamma_{NR}} \rightarrow \frac{1}{\gamma_e}$$

$$\eta_i = \frac{\text{SREDNJI BROJ EOTORA}}{\text{SREDNJI BROJ INJEKTIONIH NOSIOCA}} = \frac{\gamma}{\gamma_e}$$

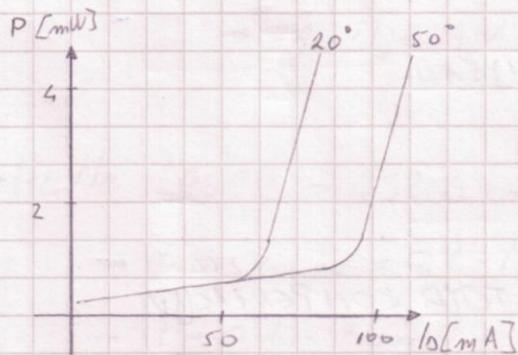
## 24. LASERSKA DIODA

- VIDI 5.

- LASERSKA SREDNADZBA

$$- \gamma(V) = \frac{\lambda^2}{\tau_e 8\pi n^2} S(V) [f(E_2) - f(E_1)]$$

- TEMPERATURNJA OVISNOST PI KARAKTERISTIKE



- ZA TIPIČNU FABRY-PEROV LASERSKU DIODU

STRUKA PRALA LASER 1,4x IZMENI 20 °C i 60 °C

- FREKVENCJSKA MODULACIJSKA KARAKTERISTIKA



$$- P(w) \propto \frac{i(w)}{w_e^2 - w^2 + 2jS w_e w}$$

DIFERENCIJALNO  
POJEDIČNO  
IZVOD  
FOTONA  
U VELIKOM TOLJU

$$- w_e = \frac{w \cdot V_g \cdot P}{\tilde{T} P}$$

VELEJUĆI  
IZVOD  
FOTONA

$$- 2S \approx \frac{1}{w_e^2} + w_e \tilde{T}$$

FAKTOR  
PRIGLJIVAJI

- IZVEDBA ZA POGON LD

- POTREBNA POVLATNA VEZA PONICOV DETEKCIJSKE DIODE

- REGULACIJA SREDNJE STRUJE KROZ DIODU PONOCU PREDSTUJE

- REGULACIJA AMPLITUDU MODULACIJSKOG SIGNALA

## 26. ELEKTROOPTICKI MODULATOR

- KRISTALI MIJENJAJU IZLOS INDEKSA LOMA U OVISNOSTI O NARAVNOSTI NAPONA
- UPADNA OPTICKA ZRAKA SE RASTAVLJA NA DVIJE ZRAKE, TE SVAKA PUTUJE RAZLICITOM BREZNOM ŠTO UZROCUJE EAZNU RAZLIKU NA IZLAZU.

- OVISNOST INDEKSA LOMA O NAPONU

$$-\frac{L}{n^2} = \frac{L}{n_0^2} + r \cdot E + R \cdot E^2$$

↓      ↓  
BEZ NARAVNOSTI NAPONA      ROCKELSOV ČLAN

KERROV ČLAN

- ANIZOTROPNI KRISTAL → INDEKS LOMA OVISAN O SMJERU  
→ FARNA PLOČA
- $\Gamma = \frac{2\pi}{\lambda_0} (n_x - n_y) \cdot L_z$

- IZVEDBA ELEKTROOPTICKOG MODULATORA

- POMOCU KUBIČNIH KRISTALA (KDP  $\rightarrow$   $KH_2PO_4$ , ADP  $\rightarrow$   $NH_4H_2PO_4$ )

- MACH-ZEHNDER INTERFEROMETAR

- U JEDNU GRANU SE STAVI KRISTAL SA PROJEKNIVIM FARNIM KASNIJENJEM

- POLUVODIČKA IZVEDBA POMOCU  $LiNbO_3$  → UNOS KASNIJENJE

- LONGITUDINALNI MODULATOR → ZAHITJAVA VISOKE NAPONE ( $\sim 5kV$ )

- TRANSVERZALNI MODULATOR → POGODNJI ZBOK NIŽIH NAPONA ( $\sim 3V$ )

## 27. MAGNETOOPTIČKI, ELEKTROAPSORPCIJSKI MODULATOR

### - MAGNETOOPTIČKI MODULATOR

- NEKI MATERIJALI DJELOVUJU KAO POLARIZACIJSKI ROTATORI

KADA SU STAVLJENI U MAGNETSKO POJE (FARADAYEV EFEKT)

$$-\phi = V \cdot B_0 \cdot L \rightarrow \text{DUŽINA ROTATORA}$$

VERSTROVA  
KONSTANTA

LONGITUDINALNA KOMPONENTA  
MAG. POLJA

- POGODNI MATERIJAL  $\rightarrow$  YIG  $\rightarrow$   $172^\circ/\text{cm}$  za  $1,52\mu\text{m}$

$\rightarrow$  MALA APSORPCIJA ( $0,3\text{dB}/\text{cm}$ )  $\lambda = 1,15 - 1,5\mu\text{m}$

### - ELEKTROAPSORPCIJSKI MODULATOR

- VELIČINA ZABRANJENOG POJASA  $E_g$  SE MIJENJA PROMJENOM NARINUTOG ELEKTRIČNOG POLJA (FRANZ-KELDYSH EFEKT)
- BEZ VANJSKOG POLJA  $E_g > h\nu \rightarrow$  NEMA APSORPCIJE
- UZ VANJSKO POJE  $E_g < h\nu \rightarrow$  APSORPCIJA OPTIČKOG SIGNALA
- POGODAN ZA INTEGRACIJU U OPTIČKI INTEGRIRANI KRUG SA CD
- POSTOJI MALO FREKVENCIJSKO TREPERENJE ZBOG REZIDUARNE FASENE MODULACIJE