

## 1. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 14.03.2013

1. Ko sta oddajnik in sprejemnik brezhibno prilagojena, da obstaja na izgubni prenosni poti samo napredujoči val, je slabljenje vrvične zveze v logaritemskih enotah dB (decibelih) povezano z dolžino zveze  $d$  na naslednji način ( $\alpha$  je konstanta):

- (A)  $\alpha \cdot \exp(d)$                       (B)  $\alpha \cdot d^{-2}$                       (C)  $\alpha \cdot d$                       (D)  $\alpha \cdot \ln(d)$

2. Če podvojimo pasovno širino terminalne opreme  $B$  [Hz] in ostanejo vsi ostali podatki zveze nespremenjeni (moč oddajnika, slabljenje prenosne poti, spektralna gostota šuma sprejemnika), se zmogljivost zveze  $C$  [bit/s] poveča:

- (A) manj kot 2-krat                      (B) točno 2-krat                      (C) točno 4-krat                      (D) ne spremeni

3. Koaksialni kabel ima žilo s premerom  $2r_z=1.5\text{mm}$  in oklop z notranjim premerom  $2r_o=5\text{mm}$ . Dielektrik je polietilen z  $\epsilon_r=2.3$ . Mejna frekvenca pojava višjih rodov v takšnem koaksialnem kablu znaša približno:

- (A) 29.4GHz                      (B) 19.4GHz                      (C) 14.7GHz                      (D) 9.7GHz

4. Fizikalne lastnosti steklenih vlaken in tehnološke omejitve terminalne opreme določajo uporabna telekomunikacijska okna valovnih dolžin. III okno pomeni naslednjo valovno dolžino (v praznem prostoru):

- (A) 850nm                      (B) 1310nm                      (C) 1490nm                      (D) 1550nm

5. V praznem prostoru izmerimo velikost magnetne poljske jakosti  $|\vec{H}|=1\mu\text{A}_{\text{eff}}/\text{m}$ . V primeru enega samega potujočega vala (žarek valovanja) znaša velikost pripadajoče električne poljske jakosti  $|\vec{E}|$ :

- (A)  $6.28\mu\text{A}_{\text{eff}}/\text{m}$                       (B)  $6.28\text{mV}_{\text{eff}}/\text{m}$                       (C)  $1\text{mV}_{\text{eff}}/\text{m}$                       (D)  $377\mu\text{V}_{\text{eff}}/\text{m}$

6. Lomni količnik čiste vode je frekvenčno odvisen in znaša za rumeno ( $\lambda=589\text{nm}$ ) vidno svetlobo  $n=1.333$ . Relativna dielektrična konstanta čiste vode ( $\epsilon_r$ ) znaša za valovanje iste frekvence:

- (A) 1.155                      (B) 1.333                      (C) 1.777                      (D) 2.666

7. Laserski žarek moči  $P_v=1\text{mW}$  vpada iz praznega prostora pod pravim kotom ( $\theta_v=0$ ) na ravno ploskvico diamanta z lomnim količnikom  $n=2.42$ . Moč odbitega žarka s ploskvice znaša  $P_o$ :

- (A)  $644\mu\text{W}$                       (B)  $172\mu\text{W}$                       (C)  $1\text{mW}$                       (D)  $415\mu\text{W}$

8. Svetloba vpada iz praznega prostora (zrak  $n \approx 1$ ) na steklo z lomnim količnikom  $n=1.5$ . Pri katerem vpadnem kotu  $\theta_v=?$  (Brewster) vsebuje odbiti žarek samo TE komponento, odboj TM polariziranega valovanja pa popolnoma izgine?

- (A)  $56.3^\circ$                       (B)  $45.0^\circ$                       (C)  $33.7^\circ$                       (D)  $0.0^\circ$

9. Žarek v gostejši snovi (večji  $n$ ) usmerimo proti ravni meji z redkejšo snovjo (manjši  $n$ ). Vpadni kot žarka  $\theta_v$  na mejno ploskev izberemo tako, da pride do popolnega odboja svetlobe. Za odbojnost  $\Gamma$  tedaj velja:

- (A)  $\Gamma < 0$                       (B)  $|\Gamma|=1$                       (C)  $\Gamma > 0$                       (D)  $\Gamma=0$

10. Kolikšen naj bo lomni količnik antirefleksnega sloja  $n_a=?$ , ki ga nanese na površino čipa fotodiode, da bo učinkovitost fotodiode največja? Lomni količnik polprevodnika znaša  $n_p=3.7$ , nad fotodiodo je zrak ( $n_z \approx 1$ ).

- (A) 1.92                      (B) 2.35                      (C) 2.70                      (D) 1.39

11. Pri popolnem odboju valovanja na (ravni) meji dveh različnih snovi velja za valovni vektor  $\vec{k}$  v redkejši snovi (snov z nižjim lomnim količnikom  $n$ ) naslednja lastnost:

- (A) realen                      (B) imaginaren                      (C) kompleksen                      (D) enak nič

12. Svetloba izstopa iz pravilno odrezanega konca optičnega vlakna. Na oddaljenosti  $d=10\text{cm}$  osvetli krog premera  $2r=5\text{cm}$  na zaslonu. Kolikšna je numerična apertura  $NA=?$  uporabljenega vlakna, če privzamemo lomni količnik zraka  $n_z \approx 1$ ?

- (A) 0.07                      (B) 0.12                      (C) 0.16                      (D) 0.24

Priimek in ime:

Elektronski naslov:

## 2. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 04.04.2013

1. Mnogorodovno svetlobno vlakno s stopničastim lomnim likom ima lomni količnik jedra  $n_1=1.47$  in lomni količnik obloge  $n_2=1.46$ . Kolikšna je časovna razlika  $\Delta t=?$  med prihodom najpočasnejšega in najhitrejšega rodu, če premer jedra omogoča veliko rodov? ( $l=1\text{km}$ )

- (A) 33.6 $\mu\text{s}$  (B) 4.9 $\mu\text{s}$  (C) 33.6ns (D) 4.9ns

2. Koliko različnih TEM in T<sub>mn</sub> rodov  $N=?$  se lahko širi v planarnem valovodu, ki ga tvori ravna steklena ploščica z  $n_1=1.5$ . Na obeh straneh ploščice je zrak z  $n_2\approx 1$ . Pri izbrani debelini ploščice znaša normirana frekvenca svetlobe  $v=1000$ .

- (A) 2 (B) 159 (C) 318 (D) 636

3. Glavna pomanjkljivost enorodovnega steklenega svetlobnega vlakna, ki ima numerično aperturo  $NA=0.03$  in standardiziran zunanje premer  $2r=125\mu\text{m}$ , je:

- (A) krivinsko slabljenje (B) težavno spajanje (C) zelo majhno jedro (D) težavna izdelava

4. Enorodovno telekomunikacijsko svetlobno vlakno ima mejno valovno dolžino pojava višjih rodov  $\lambda=1.25\mu\text{m}$  (v praznem prostoru). Kolikšna je normirana frekvenca  $V=?$  rdeče svetlobe HeNe laserja  $f=474\text{THz}$  v takšnem vlaknu? ( $c_0=3\cdot 10^8\text{m/s}$ )

- (A) 2.405 (B) 4.75 (C) 9.5 (D) 2405

5. Če višamo frekvenco valovanja  $f$  in pri tem vzbuja en sam, vedno isti rod valovanja v dielektričnem valovodu, se vpadni kot  $\theta$  na mejo dielektrikov spreminja na naslednji način:

- (A)  $\theta \rightarrow \pi/2$  (B)  $\theta \rightarrow \theta_m$  (C)  $\theta = \text{konst.}$  (D)  $\theta \rightarrow 0$

6. Osnovni rod v dielektričnem valovodu krožnega prereza (svetlobno vlakno) sicer nima spodnje frekvenčne meje, vendar je zaradi tuneliranja in pripadajočih izgub na krivinah vlakno praktično uporabno do naslednje normirane frekvence  $v$ :

- (A) 0.1 (B) 0.18 (C) 1.0 (D) 1.8

7. Enorodovno vlakno ima koeficient polarizacijske rodovne razpršitve (PMD)  $D=2\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$ . Pri kateri dolžini vlakna  $l=?$  doseže razlika zakasnitev za dve različni polarizaciji svetlobnega signala vrednost  $\Delta t=14\text{ps}$ ?

- (A) 7km (B) 14km (C) 49km (D) 98km

8. V področju valovnih dolžin vidne svetlobe je poglaviti izvor izgub v svetlobnem vlaknu na osnovi kremenovega stekla ( $\text{SiO}_2$ ):

- (A) UV rezonance  $\text{SiO}_2$  stekla (B) Rayleigh-ovo sipanje (C) IR rezonance  $\text{SiO}_2$  stekla (D) rezonance nečistoč

9. Razpoložljiva tehnologija nam omogoča izdelavo preforma dolžine  $l=2\text{m}$  z zunanjim premerom  $2r=50\text{mm}$ . Kolikšno dolžino standardnega ( $125\mu\text{m}$ ) svetlobnega vlakna  $l'=?$  lahko potegnemo iz takšnega surovca, če NE uporabimo tehnologije rod-in-tube?

- (A) 320km (B) 40km (C) 8km (D) 800m

10. Primarno akrilatno zaščito (običajno dvoslojno) oziroma silikonsko zaščito nanese na stekleno svetlobno vlakno z naslednjim namenom:

- (A) povečamo natezno trdnost (B) preprečimo razpoke stekla (C) obarvamo žile kabla (D) nanese tesno zaščito

11. Ohlapna (loose) sekundarna zaščita svetlobnih vlaken omogoča oziroma izboljšuje naslednjo lastnost optičnega kabla:

- (A) majhen krivinski polmer (B) preprosto spajanje kabla (C) najnižje izgube mikrokrivin (D) visoko natezno trdnost

12. V navodilih proizvajalca piše, da je terminalna naprava za analogni optični prenos opremljena z vlakenskimi priključki SC-APC. Na napravo lahko spojimo priključno vrvico, ki ima vtikač naslednje barve:

- (A) rdeča (B) rumena (C) modra (D) zelena

Priimek in ime:

Elektronski naslov:

### 3. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 25.04.2013

1. Tehnologija "rod-in-tube" vlečenja vlakna iz preforma ima v primerjavi z običajnim vlečenjem vlakna naslednjo prednost:

- (A) nižje slabljenje                      (B) večja dolžina vlečenega vlakna                      (C) nižja barvna razpršitev D                      (D) nižji PMD (dvolomnost)

2. Dobro izveden in pravilno zaščiten zvar med dvema popolnoma enakima enorodovnimi vlaknoma G.652 (istega proizvajalca) vnaša v optično zvezo naslednje dodatno vstavitevno slabljenje  $a$ ? [dB]:

- (A) 10dB                      (B) 1dB                      (C) 0.1dB                      (D) 0.01dB

3. Svetlobno vlakno vnaša vstavitevno slabljenje  $a/l=2.5$  dB/km pri valovni dolžini  $\lambda=850$  nm. Kolikšno je vstavitevno slabljenje  $a'$ ? [dB/km] istega vlakna pri valovni dolžini  $\lambda'=980$  nm, če je poglavitni vzrok slabljenja Rayleigh-jevo sipanje v steklu?

- (A) 4.42 dB/km                      (B) 1.88 dB/km                      (C) 1.42 dB/km                      (D) 0.80 dB/km

4. Skupinska zakasnitev  $t_g$  običajnega enorodovnega telekomunikacijskega vlakna G.652 je odvisna od frekvence. Najnižjo vrednost  $t_g$  dosežemo pri naslednji frekvenci  $f$ ? svetlobnega nosilca ( $c_0=3 \cdot 10^8$  m/s):

- (A) 230 THz                      (B) 194 THz                      (C) 474 THz                      (D) 300 THz

5. Računalničarji hočejo Ethernet z zmogljivostjo  $C=100$  Gbit/s ter preprostim oddajnikom z zunanjim modulatorjem in dvonivojsko modulacijo (vklop/izklop). Kolikšen bo domet  $d$ ? zveze po enorodovnem vlaknu z  $D=17$  ps/nm.km pri  $\lambda=1550$  nm? ( $c_0=3 \cdot 10^8$  m/s)

- (A) 0.73 km                      (B) 7.3 km                      (C) 23 km                      (D) 73 km

6. Zveza dolžine  $l=64$  km uporablja kabel z NZDSF vlaknom, ki ima koeficient barvne razpršitve  $D=5$  ps/nm.km. Barvno razpršitev odstranimo s kolutom DCF vlakna, ki ima barvno razpršitev  $D'=-80$  ps/nm.km. Kolikšno dolžino DCF vlakna  $l'$ ? potrebujemo?

- (A) 2 km                      (B) 4 km                      (C) 8 km                      (D) 16 km

7. Običajno enorodovno vlakno G.652 ima pri valovni dolžini  $\lambda=1550$  nm efektivno površino jedra  $A_{eff}$ , ki določa gostoto svetlobne moči  $S$  in električno poljsko jakost  $E$  v steklu, v velikostnem razredu:

- (A)  $4.5 \mu\text{m}^2$                       (B)  $30 \mu\text{m}^2$                       (C)  $70 \mu\text{m}^2$                       (D)  $150 \mu\text{m}^2$

8. Brillouin-ovo sipanje svetlobe je nelinearen pojav, ki je v zmogljivih številskih zvezah po enorodovnem vlaknu na osnovi kremenovega stekla ( $\text{SiO}_2$ ) nepomemben, ker:

- (A) se svetloba siplje nazaj                      (B) ima visoko pragovno moč                      (C) spreminja frekvenco                      (D) je izredno ozkopasovno

9. Lastna fazna modulacija v enorodovnem svetlobnem vlaknu znaša  $\Delta\phi=0.5$  rd. Kolikšna bo lastna fazna modulacija svetlobnega signala  $\Delta\phi'$ ?, če električno poljsko jakost  $E$  v jedru vlakna podvojimo? ( $n_2=3.2 \cdot 10^{-20}$  m<sup>2</sup>/W)

- (A) 0.25 rd                      (B) 0.5 rd                      (C) 1 rd                      (D) 2 rd

10. Fabry-Perot-ov polprevodniški laser za osrednjo valovno dolžino  $\lambda=1310$  nm ima širino spektra  $\Delta\lambda=10$  nm. Kolikšna je njegova vzdolžna koherentna dolžina  $d$ ? Laser niha na enem samem prečnem rodu. ( $c_0=3 \cdot 10^8$  m/s)

- (A) 10 nm                      (B) 1.75 THz                      (C) 172  $\mu\text{m}$                       (D)  $\infty$

11. Svetlobno zvezo gradimo z vlakni 50/125  $\mu\text{m}$ , ki jim zaradi toleranc proizvodnje numerična apertura niha med  $NA_{min}=0.18$  in  $NA_{max}=0.22$ . Kolikšno dodatno slabljenje  $a$ ? [dB] pričakujemo v zvezi iz različnih vlaken?

- (A) 0.87 dB                      (B) 1.74 dB                      (C) 3.49 dB                      (D) 6.97 dB

12. Iz enorodovnih vlaken G.652 izdelujemo delilnike 50/50 za pasivno optično omrežje. Zaradi tehnološke napake v proizvodnji se utripna dolžina razpolovi  $\Lambda'=\Lambda/2$ , vsi ostali parametri pa ostanejo enaki. Delilno razmerje nastalih sklopnikov bo:

- (A) 0/100                      (B) 100/100                      (C) 50/50                      (D) 30/70

Priimek in ime:

Elektronski naslov:

#### 4. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 15.05.2013

1. Ko svetleča dioda (LED) deluje z nazivnim delovnim tokom  $I=10\text{mA}$  v prevodni smeri in proizvaja rdečo svetlobo z osrednjo valovno dolžino  $\lambda=650\text{nm}$  (pri sobni temperaturi  $T=20^\circ\text{C}$ ), na priključkih diode izmerimo naslednji padec napetosti  $U$ :

- (A) 0.7V (B) 1.4V (C) 1.9V (D) 3.1V

2. Telekomunikacijski polprevodniški laser za valovno dolžino  $\lambda=1550\text{nm}$  uporablja heterostrukturo za izboljšanje delovanja: vodenje valovanja v jedru valovoda in večji prepovedani energijski pas obloge. Heterostruktura je narejena iz polprevodnikov:

- (A) GaAlAs:GaAs (B) InGaAsP:InP (C) GaN:SiC (D) SiGe:C

3. Argonski ionski ( $\text{Ar:Ar}^+$ ) laser za valovno dolžino  $\lambda=514\text{nm}$  (zelena svetloba) se odlikuje z naslednjo lastnostjo:

- (A) visoka prečna koherenca (B) visok izkoristek (C) možna hitra modulacija (D) deluje brez hlajenja

4. Telekomunikacijski polprevodniški laser ima pri sobni temperaturi  $T=20^\circ\text{C}$  pragovni tok  $I_{\text{th}}=15\text{mA}$ . Ko temperatura v notranjosti naprave naraste na  $T'=45^\circ\text{C}$  in laserja dodatno ne hladimo, bo pragovni tok laserja:

- (A) 5mA (B) 10mA (C) 15mA (D) 25mA

5. Za izdelavo laserja s porazdeljeno povratno vezavo (DFB) za valovno dolžino  $\lambda=1300\text{nm}$  potrebujemo fotolitografijo, ki omogoča izdelavo podrobnosti naslednje velikosti (pri povprečnem lomnem količniku valovoda  $n=3.7$ ):

- (A) 44nm (B) 88nm (C) 110nm (D) 325nm

6. Če polprevodniški laser s porazdeljeno povratno vezavo napajamo s konstantnim tokom  $I$  (nad pragom), bo spektralna širina izhodne svetlobe  $\Delta\lambda=?$  pri osrednji valovni dolžini  $\lambda=1550\text{nm}$  v velikostnem razredu:

- (A) 100nm (B) 1nm (C) 0.01nm (D) 0.0001nm

7. Elektro-optični modulator je izdelan kot Mach-Zehnder-jev interferometer na podlagi  $\text{LiNbO}_3$ . Če modulator dosega največjo občutljivost  $U_{\text{TMTE}}=5\text{V}$ , bo isti modulator izkazoval za pravokotno polarizacijo TM občutljivost  $U_{\text{TM}}$ :

- (A) 5V (B) 7V (C) 14V (D) 30V

8. Polprevodniški elektro-absorpcijski modulator za valovno dolžino  $\lambda=1550\text{nm}$  ima naslednjo slabo lastnost:

- (A) odvisen od valovne dolžine (B) nemogoča integracija (C) visoka moč krmiljenja (D) počasna modulacija

9. Enorodovno svetlobno vlakno ima efektivno površino jedra  $A_{\text{eff}}=70\mu\text{m}^2$  in prenaša svetlobno moč  $P=30\text{mW}$ . ( $Z_0=377\Omega$ ) Električna poljska jakost  $|E|$  v jedru z lomnim količnikom  $n_1=1.46$  dosega vrednost:

- (A) 235kV/m (B) 470kV/m (C) 940kV/m (D) 1880kV/m

10. Glavna naloga primarne akrilatne oziroma silikonske zaščite (premer  $250\mu$ ) steklenega telekomunikacijskega vlakna (premer stekla  $125\mu$ ) je:

- (A) preprečuje trganje vlakna (B) izboljšuje vodoodpornost (C) preprečuje tuneliranje (D) toplotna izolacija

11. V pasivnem optičnem omrežju razdelimo signal centrale na 16 uporabnikov z drevesom sklopnikov 50/50. Poleg deljenja moči vsak sklopnik 50/50 vstavlja še lastne izgube  $a=0.5\text{dB}$ . Kolikšno je celotno slabljenje signala od centrale do posameznega uporabnika?

- (A) 2dB (B) 5dB (C) 14dB (D) 18dB

12. Fotograf namesti na objektiv fotoaparata polarizator. Pri katerem prizoru bo polarizator popolnoma neučinkovit?

- (A) modro nebo nad pokrajino (B) odboj Sonca od vodne gladine (C) zrcaljenje v okenskih steklih (D) deževen dan brez Sonca

Priimek in ime:

Elektronski naslov:

## 5. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 30.05.2013

1. Germanijeva fotodioda doseže kvantni izkoristek  $\eta=60\%$  pri valovni dolžini  $\lambda=1310\text{nm}$ . Kolikšna je odzivnost  $I/P=?$  takšne fotodiode pri zaporni napetosti, kjer še ne pride do pojava plazovnega ojačanja? ( $h=6.625\text{E}-34\text{Js}$ ,  $c_0=3\text{E}+8\text{m/s}$ ,  $q_e=-1.6\text{E}-19\text{As}$ ).

- (A) 1.58A/W                      (B) 0.633A/W                      (C) 0.633W/A                      (D) 1.58W/A

2. Svetlobni sprejemnik (PIN-FET modul) ima električno pasovno širino  $B_e=10\text{GHz}$ . Kolikšna bo optična pasovna širina  $B_o=?$  istega svetlobnega sprejemnika pri isti valovni dolžini  $\lambda=1550\text{nm}$ ?

- (A) 8GHz                      (B) 10GHz                      (C) 13GHz                      (D) 4THz

3. Vlakno za erbijev laserski ojačevalnik mora biti enorodovno na valovni dolžini črpalke  $\lambda_c=980\text{nm}$  kot tudi na valovni dolžini signala  $\lambda=1550\text{nm}$ . Če ima vlakno premer jedra  $2a=3\mu\text{m}$ , kolikšna je njegova največja dopustna numerična apertura  $NA=?$

- (A) 0.10                      (B) 0.15                      (C) 0.20                      (D) 0.25

4. Polarizacijsko rodovno razpršitev (PMD) v enorodovnem steklenem vlaknu lahko bistveno zmanjšamo z naslednjim tehnološkim postopkom izdelave vlakna:

- (A) sukanje preforma med vlečenjem vlakna                      (B) eliptično jedro vlakna                      (C) trak (ribbon) s 4-24 vlakni                      (D) silikonsko primarno zaščito

5. Osnovna omejitev občutljivosti nekoherentnega svetlobnega sprejemnika z InGaAs PIN fotodiodo pri valovni dolžini  $\lambda=1550\text{nm}$  je:

- (A) kapacitivno breme PIN diode                      (B) kvantni izkoristek PIN                      (C) toplotni šum PIN diode                      (D) kvantni šum PIN diode

6. V nekoherentnem sprejemniku uporabimo plazovno fotodiodo s heterostrukturo InGaAs (detekcija) in InGaAsP (množenje). Faktor množenja  $M=?$  opisane plazovne fotodiode za valovno dolžino  $\lambda=1550\text{nm}$  znaša za optimalno razmerje signal/šum približno:

- (A)  $1.0\text{E}+6$                       (B) 100                      (C) 10                      (D) 20

7. PIN-FET modul vsebuje fotodiodo z odzivnostjo  $I/P=0.8\text{A/W}$  in transimpedanco  $R_t=1\text{k}\Omega$ . Kolikšno izhodno napetost  $U=?$  (vrh-vrh) dobimo s svetlobnim krmilnim signalom povprečne optične moči  $P_o=-10\text{dBm}$  (50%enic, 50%ničel in visoko ugasno razmerje)?

- (A) 80mV                      (B) 160mV                      (C) 320mV                      (D) 40mV

8. Infrardeča LED za  $\lambda=900\text{nm}$  uporablja heterostrukturo GaAlAs:GaAs. Zaradi napake pri epitaksiji so tehnologiji pozabili izdelati plast GaAlAs. Nastala PN dioda iz GaAs bo imela bistveno slabši izkoristek  $\eta$  pretvorbe električne energije v svetlobo in:

- (A)  $\lambda>900\text{nm}$                       (B)  $\lambda=900\text{nm}$                       (C)  $\lambda<900\text{nm}$                       (D)  $U=0.6\text{V}$

9. Fotoupor ima v temi upornost  $R_t=10\text{M}\Omega$ , pri pravokotnem vpadu sončne svetlobe pa  $R_1=100\Omega$ . Kolikšno upornost  $R_2=?$  pričakujemo pri vpadnem kotu sončne svetlobe  $\theta=60^\circ$ , če odboj svetlobe na površini fotoupora zanemarimo?

- (A) 50Ω                      (B) 100Ω                      (C) 200Ω                      (D) 5MΩ

10. Kolikšno ojačanje  $G=?$  (v dB) lahko doseže Er<sup>3+</sup> vlakenski ojačevalnik s črpalno moči  $P_c=100\text{mw}$  na  $\lambda_c=980\text{nm}$  ( $\mu=1$ ) in pasovno širino  $B=4\text{THz}$  pri osrednji frekvenci  $f=194\text{THz}$ , ko se skoraj vsa moč pretvori v spontano sevanje ASE? ( $h=6.625\text{E}-34\text{Js}$ ,  $c_0=3\text{E}+8\text{m/s}$ )

- (A) 60dB                      (B) 15dB                      (C) 30dB                      (D) 45dB

11. Koaksialni kabel ima žilo s premerom  $2r_z=3\text{mm}$  in oklop z notranjim premerom  $2r_o=11\text{mm}$ . Dielektrik je teflonska pena z  $\epsilon_r=1.5$ . Mejna frekvenca pojava višjih rodov v takšnem koaksialnem kablu znaša približno:

- (A) 6.82GHz                      (B) 11.1GHz                      (C) 13.6GHz                      (D) 5.57GHz

12. Erbijev laserski ojačevalnik za  $\lambda=1550\text{nm}$  lahko črpamo na različne načine. Katera je najpomembnejša prednost črpanja na  $\lambda=980\text{nm}$  v primerjavi s črpanjem na  $\lambda=1480\text{nm}$ ?

- (A) nižji šum ojačevalnika                      (B) večja izhodna moč                      (C) boljši kvantni izkoristek                      (D) večje jedro vlakna

Priimek in ime:

Elektronski naslov:

## 1. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 06.03.2014

1. Kolikšna je teoretska zmogljivost zveze po Shannonu, ki v pasovni širini  $B=1\text{GHz}$  dosega razmerje signal/šum  $S/N=12\text{dB}$ ? Presluh sosednjih kanalov, motnje in popačenje lastnega signala so zanemarljivo majhni.

- (A) 4.08Gbit/s                      (B) 3.59Gbit/s                      (C) 16.85Gbit/s                      (D) 2.82Gbit/s

2. Slabljenje radijske zveze v povsem praznem prostoru brez ovir in brez absorpcije izraženo v logaritemskih enotah dB (decibelih) je povezano z dometom zveze  $d$  (razdaljo med oddajnikom in sprejemnikom) na naslednji način ( $\alpha$  je konstanta):

- (A)  $\alpha \cdot \exp(d)$                       (B)  $\alpha \cdot d^{-2}$                       (C)  $\alpha \cdot d$                       (D)  $\alpha \cdot \ln(d)$

3. Koaksialni kabel ima žilo s premerom  $2r_z=3.3\text{mm}$  in oklop z notranjim premerom  $2r_o=12\text{mm}$ . Penasti dielektrik ima  $\epsilon_r=1.5$ . Mejna frekvenca pojava višjih rodov v takšnem koaksialnem kablu znaša približno:

- (A) 6.24GHz                      (B) 8.32GHz                      (C) 10.2GHz                      (D) 12.5GHz

4. Fizikalne lastnosti steklenih vlaken in tehnološke omejitve terminalne opreme določajo uporabna telekomunikacijska okna valovnih dolžin. II okno pomeni naslednjo valovno dolžino (v praznem prostoru):

- (A) 850nm                      (B) 1310nm                      (C) 1490nm                      (D) 1550nm

5. Z izbiro svetlobne hitrosti v praznem prostoru  $c_0=299792458\text{m/s}$  je določena velikost naslednje merske enote v mednarodnem sistemu merskih enot MKSA (meter, kilogram, sekunda, amper):

- (A) m (meter)                      (B) kg (kilogram)                      (C) s (sekunda)                      (D) A (amper)

6. Lomni količnik čiste vode je frekvenčno odvisen in znaša za rumeno ( $\lambda=589\text{nm}$ ) vidno svetlobo  $n=1.333$ . Feromagnetne lastnosti vode so zanemarljive  $\mu \approx \mu_0$ . Valovna impedanca čiste vode ( $Z$ ) znaša za valovanje iste frekvence:

- (A)  $377\Omega$                       (B)  $503\Omega$                       (C)  $283\Omega$                       (D)  $212\Omega$

7. Laserski žarek moči  $P_v=1\text{mW}$  vpada iz praznega prostora pod pravim kotom ( $\theta_v=0$ ) na ravno gladino vode z lomnim količnikom  $n=1.333$ . Moč odbitega žarka z vodne gladine znaša  $P_o$ :

- (A)  $143\mu\text{W}$                       (B)  $20\mu\text{W}$                       (C)  $1\text{mW}$                       (D)  $378\mu\text{W}$

8. Svetloba vpada iz praznega prostora (zrak  $n \approx 1$ ) na diamant z lomnim količnikom  $n=2.42$ . Pri katerem vpadnem kotu  $\theta_v$ ? (Brewster) vsebuje odbiti žarek samo TE komponento, odboj TM polariziranega valovanja pa popolnoma izgine?

- (A)  $22.5^\circ$                       (B)  $45.0^\circ$                       (C)  $57.3^\circ$                       (D)  $67.5^\circ$

9. Žarek v gostejši snovi (večji  $n$ ) usmerimo proti ravni meji z redkejšo snovjo (manjši  $n$ ). Vpadni kot žarka  $\theta_v$  na mejno ploskev izberemo tako, da ne pride do popolnega odboja svetlobe. Za odbojnost  $\Gamma$  tedaj velja:

- (A)  $|\Gamma| > 1$                       (B)  $|\Gamma| = 1$                       (C)  $\Gamma = 0$                       (D)  $|\Gamma| < 1$

10. Kolikšna naj bo debelina antirefleksnega sloja  $d$ ?, ki ga nanese na površino čipa fotodiode, da bo učinkovitost fotodiode največja pri valovni dolžini  $\lambda_0=1550\text{nm}$  v zraku? Lomni količnik polprevodnika znaša  $n_p=3.7$ , nad fotodiodo je zrak ( $n_z \approx 1$ ).

- (A) 775nm                      (B) 105nm                      (C) 202nm                      (D) 388nm

11. Pri popolnem odboju valovanja na (ravni) meji dveh različnih snovi velja za valovne vektorje  $\vec{k}$  v gostejši snovi (snov z višjim lomnim količnikom  $n$ ) naslednja lastnost:

- (A) realen                      (B) imaginaren                      (C) kompleksen                      (D) enak nič

12. Svetloba izstopa iz pravilno odrezanega konca optičnega vlakna z numerično aperturo  $NA=0.22$  v zrak. Na oddaljenosti  $d=20\text{cm}$  osvetli krog na belem zaslonu. Kolikšen je premer osvetljenega kroga  $2r$ ?

- (A) 4.4cm                      (B) 8.8cm                      (C) 17.6cm                      (D) 35.2cm

Priimek in ime:

Elektronski naslov:

## 2. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 27.03.2014

1. Kako obdelamo konec enorodovnega vlakna G.652, da doseže najnižjo vrednost odbojnosti  $|\Gamma|_{\text{MIN}}$  v področju valovnih dolžin III. komunikacijskega okna?

- (A) odrezan pod pravim kotom      (B) potopljen v vodo      (C) navit na premer 5mm      (D) naključno zlomljen

2. Zelo star medkrajevni kabel dolžine  $l=15\text{km}$  vsebuje gradientno vlakno 50/125 $\mu\text{m}$  z relativno razliko lomnih količnikov  $\Delta=0.01$  in povprečnim lomnim količnikom  $n\approx 1.46$ . Kolikšna je pričakovana zmogljivost zveze  $C=?$ , če dopustimo  $\Delta t=T_{\text{BIT}}/3$  ( $c_0=3\cdot 10^8\text{m/s}$ )

- (A) 4.5Gbit/s      (B) 45Mbit/s      (C) 450kbit/s      (D) 4.5kbit/s

3. Planarni dielektrični valovodu tvori ravna steklena ploščica z  $n_1=1.5$ . Na obeh straneh ploščice je zrak z  $n_2\approx 1$ . Kolikšna je normirana frekvenca svetlobe  $V=?$ , če se v valovodu lahko širi skupno  $N=2222$  različnih TEM in TMM rodov?

- (A) 3488      (B) 6976      (C) 13952      (D) 27904

4. Kolikšen je premer  $2a=?$  jedra steklenega vlakna z numerično aperturo  $NA=0.1$ ? Za vlakno želimo, da je enorodovno pri valovni dolžini  $\lambda_0=514\text{nm}$  zelene črte Ar/Ar+ laserja v praznem prostoru. ( $c_0=3\cdot 10^8\text{m/s}$ )

- (A) 1.9 $\mu\text{m}$       (B) 14.9 $\mu\text{m}$       (C) 7.7 $\mu\text{m}$       (D) 3.9 $\mu\text{m}$

5. Svetloba uhaja iz vlakna krožnega prereza zaradi pahljačastega odpiranja valovnih front na krivinah. Posledica je krivinsko slabljenje, ki je za različne rodove:

- (A) višje za višje rodove      (B) enako za vse rodove      (C) višje za nižje rodove      (D) ga ni za osnovni rod

6. Jedro v reformu telekomunikacijskega svetlobnega vlakna z nizkim slabljenjem izdelamo tako, da v osnovno plinsko zmes postopka MCVD oziroma VAD dodajamo naslednjo zelo čisto kemijsko spojino:

- (A)  $\text{SiCl}_4$       (B)  $\text{GeCl}_4$       (C)  $\text{F}_2$       (D)  $\text{POCl}_3$

7. PANDA vlakno dosega visoko dvolomnost, to je veliko razliko med faznima konstantama  $\beta_{\text{VP}}$  in  $\beta_{\text{HP}}$ , z naslednjim tehnološkim posegom pri izdelavi vlakna:

- (A) sukanjem preforma      (B) eliptičnim jedrom      (C) pritiskom na jedro      (D) eliptičnim preformom

8. V položenem kablju dolžine  $l=50\text{km}$  izmerimo povprečno vrednost polarizacijske rodovne razpršitve  $\Delta t=2.8\text{ps}$ . Kolikšen je koeficient polarizacijske rodovne razpršitve  $D_{\text{PMD}}=?$  za navedeni kabel?

- (A) 140ps/km      (B) 2.8ps/ $\sqrt{\text{km}}$       (C) 0.056ps/km      (D) 0.4ps/ $\sqrt{\text{km}}$

9. V področju valovnih dolžin med II. in III. komunikacijskim oknom je poglavitni izvor izgub v svetlobnem vlaknu na osnovi kremenovega stekla ( $\text{SiO}_2$ ):

- (A) UV rezonance  $\text{SiO}_2$  stekla      (B) Rayleigh-ovo sipanje      (C) IR rezonance  $\text{SiO}_2$  stekla      (D) rezonance nečistoč

10. Kolikšna je zmogljivost zveze  $C=?$  po vlaknu NZDSF s koeficientom barvne razpršitve  $D=7\text{ps/nm.km}$  pri valovni dolžini  $\lambda=1.55\mu\text{m}$ , če uporabimo kakovosten laser z ozko črto in zunanjim ON/OFF modulatorjem? Dolžina vlakna je  $l=35\text{km}$ , PMD zanemarimo. ( $c_0=3\cdot 10^8\text{m/s}$ )

- (A) 11.3Gbit/s      (B) 22.6Gbit/s      (C) 45Gbit/s      (D) 90Gbit/s

11. Medkrajevni kabel dolžine  $l=60\text{km}$  vsebuje vlakno G.652 s koeficientom barvne razpršitve  $D=17\text{ps/nm.km}$  pri  $\lambda=1.55\mu\text{m}$ . Kolikšno dolžino vlakna DCF s koeficientom barvne razpršitve  $D'=-80\text{ps/nm.km}$  potrebujemo za natančno kompenzacijo barvne razpršitve?

- (A) 12.75km      (B) 8.23km      (C) 19.76km      (D) 60.66km

12. Ethernet media converter iz UTP kabla na optično vlakno ima na optični strani dve vtlačnici SC-PC. Na napravo ne smemo spajati priključnih vrvic, ki imajo SC vtikače naslednje barve:

- (A) rdeča      (B) rumena      (C) zelena      (D) modra

Priimek in ime:

Elektronski naslov:

### 3. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 17.04.2014

1. Kot občutljiv detektor modre svetlobe  $\lambda=488\text{nm}$  uporabimo foto-pomnoževalko z alkalno foto-katodo. Za učinkovito delovanje foto-pomnoževalke mora razlika potencialov med dvema sosednjima množilnima elektrodama (dinodama) znašati:

- (A) 1kV (B) 1V (C) 10V (D) 100V

2. Spoj dveh pravilno brušenih in dobro očiščenih SC-FC vtikačev, v katera sta vgrajeni dve popolnoma enaki vlakni G.652 (istega proizvajalca), vnaša v optično zvezo naslednje dodatno vstavitevno slabljenje  $a=?$  [dB]:

- (A) 1dB (B) 0.1dB (C) 0.01dB (D) 0.001dB

3. Svetlobno zvezo gradimo z vlakni 50/125 $\mu\text{m}$ , ki jim zaradi toleranc proizvodnje niha premer jedra med  $2a_{\text{min}}=47\mu\text{m}$  in  $2a_{\text{max}}=53\mu\text{m}$ . Kolikšno dodatno slabljenje  $a=?$  [dB] pričakujemo v zvezi iz različnih vlaken, če se numerična apertura NA ne spreminja?

- (A) 0.26dB (B) 0.52dB (C) 1.04dB (D) 2.09dB

4. Modulacijska pasovna širina zveze po mnogorodovnem gradientnem vlaknu dolžine  $l=15\text{km}$  znaša  $B=77\text{MHz}$ . Če v istem vlaknu vzbudimo samo rodove nižjih redov tako, da oddajnik z enorodovnim repom spojimo neposredno na mnogorodovno vlakno, se pasovna širina  $B$ :

- (A) poveča (B) ne spremeni (C) zmanjša (D) gre proti 0

5. Zvezo skupne dolžine  $l_1+l_2=l=66\text{km}$  gradimo z običajnim vlaknom G.652 ( $D_1=17\text{ps/nm.km}$ ) v prvem delu in vlaknom -NZDSF ( $D_2=5\text{ps/nm.km}$ ) v drugem delu. Kolikšna naj bo dolžina prvega dela zveze  $l_1=?$ , če želimo najnižjo skupno barvno razpršitev?

- (A) 51km (B) 43km (C) 23km (D) 15km

6. IR svetleča dioda za osrednjo valovno dolžino  $\lambda=900\text{nm}$  ima širino spektra  $\Delta\lambda=50\text{nm}$ . Kolikšna je vzdolžna koherenčna dolžina  $d=?$  svetlobe, če plastično ohišje diode ne vpliva na spekter sevanja IR LED? ( $c_0=3\cdot 10^8\text{m/s}$ )

- (A) 16.2 $\mu\text{m}$  (B) 32.4 $\mu\text{m}$  (C) 64.8 $\mu\text{m}$  (D)  $\infty$

7. Disperzijsko-premaknjeno vlakno (DSF) G.653 ima pri valovni dolžini  $\lambda=1550\text{nm}$  efektivno površino jedra  $A_{\text{eff}}$ , ki določa gostoto svetlobne moči  $\bar{S}$  in električno poljsko jakost  $\bar{E}$  v steklu, v velikostnem razredu:

- (A) 4.5 $\mu\text{m}^2$  (B) 30 $\mu\text{m}^2$  (C) 70 $\mu\text{m}^2$  (D) 150 $\mu\text{m}^2$

8. Iz enorodovnih vlaken želimo izdelati sklopnik 99/1, kjer se samo 1% moči oddajnika sklaplja na dodatno vlakno za nadzorno fotodiodo. Kolikšna mora biti dolžina takšnega sklopnika  $l=?$ , če znaša utripna dolžina  $\Lambda=36\text{mm}$ ?

- (A) 0.58mm (B) 0.81mm (C) 1.15mm (D) 9mm

9. Po vlaknu DSF (G.653) peljemo dva močna signala na valovnih dolžinah  $\lambda_1=1554\text{nm}$  in  $\lambda_2=1556\text{nm}$ . Na kateri valovni dolžini  $\lambda_{\text{motnja}}=?$  pričakujemo produkt štiri-valovnega mešanja, ki moti ostale signale valovno-dolžinskega multipleksa (WDM)?

- (A) 1550nm (B) 1552nm (C) 1553nm (D) 1555nm

10. Na zaslonu merilnika OTDR vidimo dva odboja, ki sta med sabo oddaljena za  $\Delta t=10\mu\text{s}$  na časovni skali. Kolikšni razdalji  $\Delta l=?$  ustreza navedena razlika v času prihoda obeh odbojev od konektorskih spojev na steklenem vlaknu? ( $c_0=3\cdot 10^8\text{m/s}$ ,  $n\approx 1.5$ )

- (A) 1km (B) 2km (C) 1.5km (D) 3km

11. IR daljinec televizorja ( $\lambda=940\text{nm}$ ) moti svetloba drugih virov v prostoru. Od znanih virov svetlobe je za IR daljinec najbolj moteča naslednja vrsta svetlobe:

- (A) sončna svetloba (B) žarnica z nitko (C) bela LED GaN+fosfor (D) "varčna" svetilka

12. Daljinec z eno LED za  $\lambda=940\text{nm}$  doseže v praznem prostoru brez odbojev domet  $d=10\text{m}$ . Če v daljinec vgradimo  $N=6$  enakih svetlečih diod, ki so opremljene z enakimi lečami in krmiljene vsaka od njih z enakim tokom kot izvorna LED, se domet daljinca poveča na:

- (A) 360m (B) 60m (C) 24m (D) 15m

Priimek in ime:

Elektronski naslov:



#### 4. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 15.05.2014

1. Polprevodniški laser daje pri toku  $I_1=20\text{mA}$  izhodno moč  $P_1=1\text{mW}$ . Izhodna moč laserja se poveča na  $P_2=3\text{mW}$  pri toku  $I_2=30\text{mA}$ . Kolikšen je pragovni tok laserja  $I_{\text{TH}}=?$ , če Peltier-ova toplotna črpalka zadržuje temperaturo čipa laserja na  $T=25^\circ\text{C}$ ?

- (A) 10mA (B) 15mA (C) 20mA (D) 25mA

2. Ko svetleča dioda (LED) deluje z nazivnim delovnim tokom  $I=5\text{mA}$  v prevodni smeri in proizvaja vijolično svetlobo z osrednjo valovno dolžino  $\lambda=400\text{nm}$  (pri sobni temperaturi  $T=20^\circ\text{C}$ ), na priključkih diode izmerimo naslednji padec napetosti  $U$ :

- (A) 0.7V (B) 1.4V (C) 1.9V (D) 3.1V

3. Črpalni polprevodniški laser za erbijevo vlakno z  $\lambda=980\text{nm}$  uporablja heterostrukturo za izboljšanje delovanja: vodenje valovanja v jedru valovoda in večji prepovedani energijski pas obloge. Heterostruktura je narejena iz polprevodnikov:

- (A) GaAs:GaAs (B) InGaAsP:InP (C) GaIn:GaN (D) SiGe:C

4. Polprevodniški laser s Fabry-Perot-ovim rezonatorjem dolžine  $l=450\mu\text{m}$  niha na  $N=22$  rodovih okoli osrednje valovne dolžine  $\lambda=1310\text{nm}$ . Kolikšna je širina spektra  $\Delta\lambda=?$ , če znaša povprečni lomni količnik polprevodniške strukture  $n=3.7$ ? ( $c_0=3\cdot 10^8\text{m/s}$ )

- (A) 3nm (B) 6nm (C) 11nm (D) 22nm

5. Svetlobo toplotnega vira (žarnice z nitko) peljemo skozi monokromator (frekvenčno pasovno-prepustno sito) s pasovno širino  $\Delta\lambda=0.1\text{nm}$  pri osrednji valovni dolžini  $\lambda=1480\text{nm}$ . Kolikšna je vzdolžna koherenčna dolžina  $d=?$  takšnega svetlobnega izvora?

- (A) 0.1nm (B) 1.48 $\mu\text{m}$  (C) 21.9mm (D)  $\infty$

6. Helij-neonski (HeNe) laser za valovno dolžino  $\lambda=632.8\text{nm}$  (rdeča svetloba) in razdaljo med zrcali  $l=650\text{mm}$  se odlikuje z naslednjo lastnostjo:

- (A) visoka prečna koherenca (B) ima visok izkoristek (C) možna hitra modulacija (D) niha na enem rodu

7. Polprevodniški elektro-absorpcijski modulator (EAM) za valovno dolžino  $\lambda=1550\text{nm}$  s heterostrukturo MQW ima naslednjo dobro lastnost:

- (A) zelo visoko ugasno razmerje (B) možna integracija (C) preprost sklop na vlakno G.652 (D) linearna modulacija

8. Disperzijsko-premaknjeno vlakno DSF G.653 ima efektivno površino jedra  $A_{\text{eff}}=30\mu\text{m}^2$  in prenaša svetlobno moč  $P=60\text{mW}$ . ( $Z_0=377\Omega$ ) Gostota svetlobne moči  $|S|$  v jedru z lomnim količnikom  $n_1=1.46$  dosega vrednost:

- (A) 146MW/m<sup>2</sup> (B) 377MW/m<sup>2</sup> (C) 1GW/m<sup>2</sup> (D) 2GW/m<sup>2</sup>

9. Svetlobni modulator je izdelan kot Mach-Zehnder-jev interferometer na podlagi LiNbO<sub>3</sub>. Če modulator dosega občutljivost  $U_{\text{TE}}=5\text{V}$  in  $U_{\text{TM}}=14\text{V}$ . Pri kateri pritisnjeni napetosti  $U=?$  bo prepuščena moč najnižja, če uporabimo nepolariziran vir svetlobe?

- (A) 5V (B) 10V (C) 14.5V (D) 28V

10. Akusto-optični modulator izkorišča Raman-Nath-ov uklon svetlobe. Uklonjena žarka prvega reda se odklonita za kot  $\alpha=\pm 0.1^\circ$ . Kolikšna je valovna dolžina zvočnega valovanja  $\Lambda=?$  za zeleno svetlobo argonskega laserja  $\lambda=514\text{nm}$ ?

- (A) 147 $\mu\text{m}$  (B) 295 $\mu\text{m}$  (C) 589 $\mu\text{m}$  (D) 1.47mm

11. Enorodovno vlakno G.652 ima poleg primarne zaščite še sekundarno tesno zaščito (tight) premera  $2r=0.9\text{mm}$ . Takšno vlakno ni primerno za medkrajevni kabel zaradi:

- (A) izgub na mikrokrivinah (B) visoke PMD (C) težavnega spajanja (D) toplotne izolacije

12. V pasivnem optičnem omrežju razdelimo signal centrale na 64 uporabnikov z drevesom sklopnikov 50/50. Poleg deljenja moči vsak sklopnik 50/50 vstavlja še lastne izgube  $a=0.5\text{dB}$ . Kolikšna je celotno slabljenje signala od centrale do posameznega uporabnika?

- (A) 3.5dB (B) 7dB (C) 14dB (D) 21dB

Priimek in ime:

Elektronski naslov:

## 5. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 05.06.2014

1. InGaAs fotodioda doseže kvantni izkoristek  $\eta=70\%$  pri valovni dolžini  $\lambda=1550\text{nm}$ . Kolikšna je odzivnost  $I/P=?$  takšne fotodiode pri zaporni napetosti, kjer še ne pride do pojava plazovnega ojačanja? ( $h=6.626\cdot 10^{-34}\text{Js}$ ,  $c_0=3\cdot 10^8\text{m/s}$ ,  $Q_e=-1.6\cdot 10^{-19}\text{As}$ ).
- (A) 0.738A/W                      (B) 0.873A/W                      (C) 1.033A/W                      (D) 1.033W/A
2. v koherentnem svetlobnem sprejemniku uporabimo vlakenski sklopnik 50/50 in balančno vezavo dveh popolnoma enakih fotodiod z namenom, da:
- (A) znižamo šum LO                      (B) ni odvisen od polarizacije                      (C) popravimo napako  $\lambda$                       (D) znižamo ceno sprejemnika
3. APD-FET modul s transimpedanco  $R_t=1\text{k}\Omega$  vsebuje plazovno fotodiodo s kvantnim izkoristkom  $\eta=60\%$  ( $\lambda=1310\text{nm}$ ) in faktorjem množenja  $M=20$ . Kolikšno izhodno napetost  $U=?$  dobimo s  $P_0=-30\text{dBm}$  na vhodu ( $h=6.626\cdot 10^{-34}\text{Js}$ ,  $c_0=3\cdot 10^8\text{m/s}$ ,  $Q_e=-1.6\cdot 10^{-19}\text{As}$ )?
- (A) 633 $\mu\text{V}$                       (B) 1.05mV                      (C) 12.7mV                      (D) 21.1mV
4. svetlobni sprejemnik (PIN-FET modul) ima optično pasovno širino  $B_0=10\text{GHz}$ . Kolikšna bo električna pasovna širina  $B_e=?$  istega svetlobnega sprejemnika pri isti valovni dolžini  $\lambda=1550\text{nm}$ ?
- (A) 20GHz                      (B) 14GHz                      (C) 10GHz                      (D) 7GHz
5. koaksialni kabel ima žilo s premerom  $2r_z=2\text{mm}$  in oklop z notranjim premerom  $2r_o=7\text{mm}$ . Frekvenčni odziv kabla ima prvi globok minimum pri najnižji frekvenci  $f=14\text{GHz}$ . Kolikšna je dielektričnost izolacije kabla  $\epsilon_r=?$  ( $c_0=3\cdot 10^8\text{m/s}$ )
- (A) 1.23                      (B) 1.52                      (C) 2.30                      (D) 5.28
6. Erbijeve vlakenski ojačevalnik črpamo s  $P_c=60\text{mW}$  pri valovni dolžini  $\lambda_c=980\text{nm}$ . Ojačevalnik proizvaja signal jakosti  $P_s=20\text{mW}$  na valovni dolžini  $\lambda_s=1550\text{nm}$ . Kolikšen je kvantni izkoristek  $\eta=?$  ojačevalnika (razmerje števila fotonov signala/črpalka)?
- (A) 52.7%                      (B) 33.3%                      (C) 21.1%                      (D) 63.2%
7. Erbijeve ioni  $\text{Er}^{3+}$  imajo številne sevalne energijske prehode, nekatere tudi v področju vidne svetlobe. Če erbijevo vlakno vzbujamo s črpalko primerne valovne dolžine za ojačanje signalov z  $\lambda=1550\text{nm}$ , se z erbijem dopirano vlakno svetlika:
- (A) rdečkasto                      (B) zelenkasto                      (C) rumenkasto                      (D) modrikasto
8. Večslojno optično pasovno sito izdelamo iz številnih tankih plasti dielektrikov z nizkimi izgubami. Pri pravokotnem vpadu svetlobe za prepustni pas sita velja:
- (A) je neodvisen od vpadnega kota                      (B) premaknjen k najkrajšim  $\lambda$                       (C) sito postane nizkoprepustno                      (D) premaknjen k najdaljšim  $\lambda$
9. 100Mbit/s Ethernet po kablu UTP javlja prisotnost sogovornika s pomočjo FLP (Fast Link Pulse). Poleg prisotnosti sogovornika paket FLP prenaša podatke o sposobnosti sogovornika. Ta informacija vsebuje:
- (A) 1 bit                      (B) 16 bitov                      (C) 17 bitov                      (D) 33 bitov
10. 1Gbit/s Ethernet media-converter z enim samim priključkom SC-PC za enorodovno vlakno omogoča dvosmerni prenos z naslednjo vrsto multipleksiranja:
- (A) valvnodolžinski multipleks WDM                      (B) TDM časovni multipleks                      (C) napredujoči in odbiti val                      (D) omogoča samo half-duplex
11. Kolikšno šumno število  $F=?$  lahko doseže erbijeve ojačevalnik s črpalko na  $\lambda_c=1480\text{nm}$ . Črpalka uspe zagotoviti  $N_2=70\% \cdot N$  vseh erbijeve ionov v gornjem energijskem pasu  $w_2$ . Vse ostale izvore povečanja šuma (izgub) lahko zanemarimo. ( $h=6.626\cdot 10^{-34}\text{Js}$ ,  $c_0=3\cdot 10^8\text{m/s}$ ).
- (A) 1.4dB                      (B) 3.5dB                      (C) 5.4dB                      (D) 6.7dB
12. Ethernet standard IEEE 802.3x predpisuje nadzor pretoka (flow control) na naslednji način:
- (A) neizkoriščene parice UTP                      (B) pause frame na udeleženca                      (C) Ethernet nima nadzora pretoka                      (D) pause frame na skupinski

Priimek in ime:

Elektronski naslov:

## 1. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 12.03.2015

1. Zveza bi dosegla teoretsko zmogljivost po Shannonu  $C=10\text{Gbit/s}$  po prenosni poti, ki ima pasovno širino  $B=5\text{GHz}$ . Kolikšno razmerje signal/šum  $S/N=?$  mora zagotavljati prenosna pot, da zveza dosega zahtevano zmogljivost?

- (A) 3.0dB (B) 6.0dB (C) 3.00 (D) 6.00

2. Telefonski kabel ima konstanto slabljenja  $\alpha=2\text{Np/km}$  za VDSL modem. Kolikšno je slabljenje zveze  $a=?$  [dB], ki premošča razdaljo  $l=1.5\text{km}$ ? Oddajnik in sprejemnik sta prilagojena na karakteristično impedanco, da ni dodatnih izgub zaradi odbojev.

- (A) 8.7dB (B) 13.0dB (C) 17.3dB (D) 26.1dB

3. Periodična vgradnja Pupinovih tuljav na enakomernih presledkih vzdolž obstoječega telefonskega voda (govor v osnovnem pasu) znižuje slabljenje voda na naslednji način:

- (A) zvišuje navidezni  $Z_k$  (B) preprečuje višje rodove (C) znižuje upornost voda (D) omejuje kožni pojav

4. V telekomunikacijskem I oknu  $\lambda=850\text{nm}$  je pglavitni izvor slabljenja sodobnega optičnega vlakna, izdelanega z najboljšo tehnologijo, naslednji fizikalni pojav:

- (A) IR rezonance molekule  $\text{SiO}_2$  (B) Rayleighovo sipanje svetlobe (C) UV rezonance molekule  $\text{SiO}_2$  (D) rezonance  $\text{OH}^-$  ionov

5. Z izbiro magnetne permeabilnosti praznega prostora  $\mu_0=4\pi\cdot 10^{-7}\text{Vs/Am}$  je določena velikost naslednje merske enote v mednarodnem sistemu merskih enot MKSA (meter, kilogram, sekunda, amper):

- (A) m (meter) (B) kg (kilogram) (C) s (sekunda) (D) A (amper)

6. Prebojna trdnost zraka znaša  $E_{\text{MAX}}=2.1\cdot 10^6\text{V/m}$ . Kolikšna je največja dopustna gostota moči elektromagnetnega valovanja  $S=?$ , da ne pride do preboja v zraku? Lomni količnik zraka je praktično enak enoti  $n\approx 1$ , valovna impedanca zraka znaša  $Z_0=377\Omega$ .

- (A)  $5.85\text{GW/m}^2$  (B)  $11.7\text{GW/m}^2$  (C)  $5.85\text{MW/m}^2$  (D)  $11.7\text{MW/m}^2$

7. Laserski žarek moči  $P_v=1\text{mW}$  vpada iz praznega prostora pod pravim kotom ( $\theta_v=0$ ) na kocko kristalnega stekla z lomnim količnikom  $n=1.8$ . Moč odbitega žarka od gladke površine kristalnega stekla znaša  $P_o$ :

- (A)  $40\mu\text{W}$  (B)  $82\mu\text{W}$  (C)  $200\mu\text{W}$  (D)  $268\mu\text{W}$

8. Ne-polarizirana sončna svetloba vpada iz praznega prostora (zrak  $n\approx 1$ ) na gladko površino neznane snovi. Pri vpadnem kotu  $\theta_v=60^\circ$  je odbiti žarek linearno polariziran. Kolikšen je lomni količnik  $n=?$  neznane snovi, ki preverjeno ni feromagnetik  $\mu_r=1$ ?

- (A) 1.463 (B) 2.000 (C) 1.732 (D) 3.000

9. Žarek podvodne svetilke ( $n_{\text{voda}}=1.333$ ) usmerimo od spodaj proti ravni gladini vode. Pri katerem vpadnem kotu  $\theta_v=?$  bo lomljeni žarek v zraku ( $n_{\text{zrak}}=1$ ) natančno vzporeden z vodno gladino?

- (A)  $41.4^\circ$  (B)  $48.6^\circ$  (C)  $53.1^\circ$  (D)  $60.0^\circ$

10. Žarek v gostejši snovi (večji  $n_1$ ) usmerimo proti ravni meji z redkejšo snovjo (manjši  $n_2$ ). Vpadni kot žarka  $\theta_v$  na mejno ploskev izberemo tako, da pride do popolnega odboja svetlobe. Za fazni konstanti  $\beta_1$  oziroma  $\beta_2$  tedaj velja:

- (A)  $\beta_1=\beta_2$  (B)  $\beta_1>\beta_2$  (C)  $\beta_1<\beta_2$  (D)  $\beta_2=j|\beta_2|$

11. Zaščitni pokrov za satelitsko anteno, ki sprejema na frekvenci  $f=12\text{GHz}$ , izdelamo iz teflona, ki ima dielektrično konstanto  $\epsilon_r=2.1$ . Kolikšna naj bo debelina pokrova  $d=?$ , da pokrov ne moti sprejema?

- (A) 4.31mm (B) 6.25mm (C) 8.63mm (D) 12.5mm

12. Šibko-lomno svetlobno vlakno na osnovi kremenovega stekla (lomni količnik  $\text{SiO}_2$  je v velikostnem razredu  $n\approx 1.46$ ) dosega numerično aperturo  $NA=0.1$ . Kolikšna je relativna razlika lomnih količnikov  $\Delta=?$  šibko-lomnega vlakna?

- (A) 0.1000 (B) 0.0685 (C) 0.0047 (D) 0.0023

Priimek in ime:

Elektronski naslov:

## 2. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 02.04.2015

1. Planarni dielektrični valovodu tvori ravna steklena ploščica z  $n_1=1.5$ . Na obeh straneh ploščice je zrak z  $n_2 \approx 1$ . Kolikšna je debelina ploščice, če se v valovodu širijo različni TEM in TM rodovi vse do indeksa  $m=1000$ ? Uporabimo HeNe laser  $f=474\text{THz}$ .
- (A)  $283\mu\text{m}$  (B)  $566\mu\text{m}$  (C)  $1.13\text{mm}$  (D)  $2.3\text{mm}$
2. Glavna pomanjkljivost enorodovnega svetlobnega vlakna na osnovi kremenovega stekla, ki ima numerično aperturo  $NA=0.2$  in standardiziran zunanje premer  $2r=125\mu\text{m}$ , je:
- (A) krivinsko slabljenje (B) neizvedljivo s postopkom MCVD (C) zelo majhno jedro (D) zelo drage surovine
3. Kolikšen naj bo premer  $2a=?$  z  $\text{Er}^{3+}$  dopiranega jedra steklenega vlakna za laserski svetlobni ojačevalnik, ki mora biti enorodovno na valovnih dolžinah črpalke  $\lambda_c=980\text{nm}$  in signala  $\lambda_s=1550\text{nm}$  (v praznem prostoru) z numerično aperturo  $NA=0.2$ ? ( $c_0=3 \cdot 10^8\text{m/s}$ )
- (A)  $1.9\mu\text{m}$  (B)  $3.8\mu\text{m}$  (C)  $7.5\mu\text{m}$  (D)  $15\mu\text{m}$
4. Plastično svetlobno vlakno ima stopničast lomni lik z jedrom premera  $2a=2\text{mm}$  z lomnim količnikom  $n_1=1.59$  ter oblogo z lomnim količnikom  $n_2=1.52$ . Koliko se razširi  $\Delta t=?$  impulz svetlobe z valovno dolžino  $\lambda_0=650\text{nm}$  v  $l=10\text{m}$  takšnega vlakna?
- (A)  $24\text{s}$  (B)  $14\text{ns}$  (C)  $4.8\text{ns}$  (D)  $2.4\text{ns}$
5. Katere od navedenih snovi NE uporabljamo kot primarno zaščito steklenega svetlobnega vlakna. Naloga primarne zaščite je preprečevanje širjenja razpok v steklu, kar mehanske sile ob ohlajanju izdelka iz različnih vrst stekla še pospešujejo.
- (A) akrilat (B) kovina (C) silikon (D) steklo
6. Pri postopku rod-in-tube vstavimo preform premera  $2r=25\text{mm}$  v kvarčno cev z notranjim premerom  $2r_1=30\text{mm}$  in zunanjim premerom  $2r_2=40\text{mm}$ . Kolikšen mora biti premer dopiranega jedra  $2r'=?$  v preformi, da pri vlečenju iz obeh dobimo vlakno  $9/125$ ?
- (A)  $1.8\text{mm}$  (B)  $2.6\text{mm}$  (C)  $2.9\text{mm}$  (D)  $5.8\text{mm}$
7. Koeficient polarizacijske rodovne razpršitve  $D_{\text{PMD}}$  [ $\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$ ] lahko znižamo z naslednjim tehnološkim ukrepom pri izdelavi svetlobnih vlaken iz kremenovega stekla:
- (A) sukanjem med vlečenjem vlakna (B) tanjšim jedrom vlakna (C) dopiranjem s fluorom (D) eliptičnim jedrom vlakna
8. Kolikšno vstavitveno slabljenje  $a=?$  pričakujemo za pravilen spoj dveh FC-PC konektorjev med dvema povsem enakima enorodovnim vlaknoma G.652, če privzamemo, da so spojka in oba konektorja nepoškodovani in skrbno očiščeni.
- (A)  $0.5\text{dB}$  (B)  $2\text{dB}$  (C)  $0.1\text{dB}$  (D)  $10\text{dB}$
9. V prvem oknu pri  $\lambda_0=850\text{nm}$  ima vlakno slabljenje  $a/l=2.5\text{dB/km}$ . Kolikšno slabljenje  $a'/l=?$  pričakujemo v istem vlaknu za svetlobo HeNe laserja  $\lambda_0'=633\text{nm}$ , če je poglavitni izvor slabljenja Rayleighovo sipanje in vlakno ostaja enorodovno?
- (A)  $3.4\text{dB/km}$  (B)  $4.5\text{dB/km}$  (C)  $6.1\text{dB/km}$  (D)  $8.1\text{dB/km}$
10. V dielektričnem valovodu izračunamo oziroma izmerimo povezavo med fazno konstanto  $\beta$  [ $\text{rd/m}$ ] in krožno frekvenco  $\omega$  [ $\text{rd/s}$ ] v širšem območju frekvenc oziroma valovnih dolžin. Kako v valovodu določimo skupinsko hitrost  $v_g=?$
- (A)  $v_g=\beta/\omega$  (B)  $v_g=d^2\omega/d\beta^2$  (C)  $v_g=d\omega/d\beta$  (D)  $v_g=\omega/\beta$
11. Medkrajevni kabel dolžine  $l=75\text{km}$  vsebuje vlakno G.652 s koeficientom barvne razpršitve  $D=+17\text{ps/nm.km}$  pri osrednji  $\lambda_0=1.55\mu\text{m}$ . Koliko se spreminja skupinska zakasnitev  $\Delta t_g=?$ , če uporabljamo frekvenčni pas širine  $\Delta f=100\text{GHz}$ ? ( $c_0=3 \cdot 10^8\text{m/s}$ )
- (A)  $1.02\text{ns}$  (B)  $13.6\text{ps}$  (C)  $60.1\text{ps}$  (D)  $128\text{ns}$
12. Svetlobna vlakna na osnovi kremenovega stekla spajamo z varjenjem z električnim lokom. Pri spajanju enorodovnih vlaken nastavimo čas trajanja  $t=?$  električnega loka na naslednjo okvirno vrednost:
- (A)  $3\text{min}$  (B)  $2\text{s}$  (C)  $0.1\text{s}$  (D)  $3\text{ms}$

Priimek in ime:

Elektronski naslov:

### 3. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 23.04.2015

1. Prekooceansko zvezo gradimo z izmeničnimi odseki vlaken +NZDSF in -NZDSF ter vmesnimi erbijevimi svetlobnimi ojačevalniki na valovni dolžini  $\lambda=1550\text{nm}$ . Uporabljena vlakna imajo koeficient barvne razpršitve  $D=?$  ( $c_0=3\cdot 10^8\text{m/s}$ )

- (A)  $\pm 17\text{ps/nm.km}$  (B)  $\pm 80\text{ps/nm.km}$  (C)  $\pm 1\text{ps/nm.km}$  (D)  $\pm 5\text{ps/nm.km}$

2. Izračunajte zmogljivost zveze  $C=?$ , ki uporablja kakovosten oddajnik z ozkopasovnim virom na valovni dolžini  $\lambda=1550\text{nm}$  in zunanjim modulatorjem. Razdaljo  $l=10\text{km}$  premošča enorodovno vlakno z  $D=7\text{ps/nm.km}$  brez kompenzacije barvne razpršitve. ( $c_0=3\cdot 10^8\text{m/s}$ )

- (A) 12.1Gbit/s (B) 21.1Gbit/s (C) 42.2Gbit/s (D) 84.4Gbit/s

3. Kolikšna je največja dopustna svetlobna moč  $P=?$  v enorodovnem vlaknu z efektivno površino jedra  $A_{\text{eff}}=75\mu\text{m}^2$ ? v jedru vlakna z lomnim količnikom  $n=1.463$  dopuščamo največjo vršno vrednost električne poljske jakosti  $E_{\text{MAX}}=10^6\text{V/m}$ . ( $Z_0=377\Omega$ )

- (A) 73mW (B) 146mW (C) 291mW (D) 582mW

4. Ozkopasovni ( $\Delta f=3\text{MHz}$ ) vir svetlobe moči  $P=10\text{mW}$  na valovni dolžini  $\lambda=1310\text{nm}$  sklopimo v enorodovno vlakno G.652, kjer opazimo naslednjo vrsto nelinearnega sipanja svetlobe:

- (A) Brillouin v smeri nazaj (B) Brillouin v smeri naprej (C) Raman v smeri nazaj (D) Raman v smeri naprej

5. Enorodovno vlakno ima pri valovni dolžini  $\lambda=1310\text{nm}$  slabljenje  $a/l=0.35\text{dB/km}$  in zelo majhno barvno razpršitev  $|D|=1\text{ps/nm.km}$ . Kolikšna je efektivna dolžina vlakna  $l_{\text{eff}}=?$  za lastno fazno modulacijo, če je vlakno zelo dolgo  $l \gg l_{\text{eff}}$ ?

- (A) 43.4km (B) 7.34km (C) 12.4km (D) 21.7km

6. Po vlaknu DSF (G.653) peljemo dva močna signala na frekvencah  $f_1=194.3\text{THz}$  in  $f_2=194.5\text{THz}$ . Na kateri frekvenci  $f_{\text{motnja}}=?$  pričakujemo intermodulacijski produkt štiri-valovnega mešanja, ki moti ostale signale valovno-dolžinskega multipleksa (WDM)?

- (A) 194.1THz (B) 194.2THz (C) 194.4THz (D) 194.6THz

7. WDM sistem uporablja kanalski razmak  $\Delta f=100\text{GHz}$ , kjer barvna razpršitev vlakna NZDSF zagotavlja fazno neuskklajenost  $\Delta\beta=-2.5\text{rd/km}$ . Kolikšno fazno neuskklajenost  $\Delta\beta'=?$  prinese posodobitev sistema, ko kanalski razmak zmanjšamo na tretjino  $\Delta f'=33.3\text{GHz}$ ?

- (A)  $-7.50\text{rd/km}$  (B)  $-0.833\text{rd/km}$  (C)  $-22.5\text{rd/km}$  (D)  $-0.278\text{rd/km}$

8. Fabry-Perot-ov polprevodniški laser za osrednjo valovno dolžino  $\lambda=1310\text{nm}$  ima širino spektra  $\Delta\lambda=3\text{nm}$ . Kolikšna je njegova vzdolžna koherenčna dolžina  $d=?$  Laser niha na enem samem prečnem rodu. ( $c_0=3\cdot 10^8\text{m/s}$ )

- (A)  $172\mu\text{m}$  (B)  $572\mu\text{m}$  (C) 3nm (D) 524GHz

9. Iz enorodovnih vlaken G.652 izdelujemo delilnike 50/50 za pasivno optično omrežje. Zaradi tehnološke napake v proizvodnji se utripna dolžina podvoji  $\Lambda'=2\Lambda$ , vsi ostali parametri pa ostanejo enaki. Delilno razmerje nastalih sklopnikov bo:

- (A) 0/100 (B) 15/85 (C) 8/92 (D) 29/71

10. Z merilnikom OTDR za ustrezno vrsto vlakna in uporabljeno valovno dolžino lahko merimo naslednjo lastnost medkrajevnega optičnega kabla:

- (A) dolžino  $l$  in slabljenje  $a$  (B) barvno razpršitev  $D$  (C) mejno frekvenco  $v$  (D) samo dolžino kabla  $l$

11. Svetleča dioda ima spektralno svetlost  $B_f=220\text{nW/Hz.srd.m}^2$  pri osrednji valovni dolžini  $\lambda=1310\text{nm}$  in pasovni širini  $\Delta\lambda=65\text{nm}$ . Kolikšna moč  $P=?$  se sklaplja iz takšnega vira v enorodovno svetlobno vlakno, če je vir večji od jedra vlakna? ( $c_0=3\cdot 10^8\text{m/s}$ )

- (A) 4.3mW (B) 220nW (C)  $4.3\mu\text{W}$  (D)  $220\mu\text{W}$

12. Žarek nepolarizirane sončne svetlobe vpada na vodno gladino natančno pod Brewsterjevim kotom  $\theta_B$ . Kakšno polarizacijo ima odbiti žarek od vodne gladine?

- (A) pokončno polarizacijo (B) ni odboja od gladine (C) krožno polarizacijo (D) vodoravno polarizacijo

Priimek in ime:

Elektronski naslov:

#### 4. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 21.05.2015

1. Nepolarizirana HeNe laserska cev je dovolj dolga, da niha na dveh vzdolžnih rodovih, ki imata oba enako prečno sliko polja. Za polarizaciji obeh rodov velja:

- (A) ortogonalni RHCP in LHCP      (B) enaki RHCP ali LHCP      (C) ortogonalni linearni      (D) enaki linearni

2. Fotopomnoževalka je vakuumška cev, ki vsebuje fotokatodo, 10 množilnih elektrod in anodo. Učinkovito množenje elektronov dobimo v primeru, ko potencialna razlika dveh sosednjih elektrod doseže vrednost:

- (A) 1000V      (B) 100V      (C) 10V      (D) 1V

3. Pri merjenju mejne valovne dolžine posameznih rodov v svetlobnem vlaknu moramo vlakno oblikovati na naslednji način, da dobimo ponovljiv rezultat:

- (A) v zanko točnega premera      (B) napeti čimbolj ravno      (C) v vijačnico točnega koraka      (D) v cikcak ostrih vogalov

4. Spekter svetlobe infrardeče svetleče diode doseže maksimum pri valovni dolžini  $\lambda_0=1310\text{nm}$  v praznem prostoru. Kolikšen padec napetosti pričakujemo na svetleči diodi, ko ta oddaja navedeno svetlobo? ( $c_0=3\cdot 10^8\text{m/s}$ ,  $h=6.626\cdot 10^{-34}\text{Js}$ ,  $q_e=-1.6\cdot 10^{-19}\text{As}$ )

- (A) 1.7V      (B) 2.7V      (C) 0.3V      (D) 0.8V

5. Ojačanje vzbujene HeNe plinske zmesi znaša  $G/l=0.7\text{dB/m}$  v notranjosti ozke kapilare laserske cevi. Kolikšna mora biti dolžina kapilare  $l=?$ , da laser zaniha, če znašata odbojnosti zrcal na koncih cevi  $|\Gamma_1|=0.98$  in  $|\Gamma_2|=1$ ? ( $c_0=3\cdot 10^8\text{m/s}$ )

- (A) 6.25cm      (B) 12.5cm      (C) 25cm      (D) 50cm

6. FP polprevodniški laser za  $\lambda_0=850\text{nm}$  vsebuje pravokoten (aktivni) valovod. Ko laser niha na enem samem (osnovnem) prečnem rodu, ima smerni diagram laserja obliko:

- (A) pahljača v ravnini E      (B) simetrična polkrogla      (C) pahljača v ravnini H      (D) kolimiran ozek žarek

7. Svetleča dioda za valovno dolžino  $\lambda_0=1310\text{nm}$  je sklopljena na enorodovno vlakno G.652 s premerom jedra  $2a=10\mu\text{m}$ . Kakšno PREČNO koherenčno dolžino  $d_{\text{PREČNA}}=?$  dosega svetloba, ki izstopa iz FC/PC konektorja na drugem koncu vlakna v prazen prostor? ( $c_0=3\cdot 10^8\text{m/s}$ )

- (A)  $1.3\mu\text{m}$       (B)  $10\mu\text{m}$       (C)  $77\mu\text{m}$       (D)  $\infty$

8. Fabry-Perot-ov polprevodniški laser za  $\lambda_0=1310\text{nm}$  dosega pragovni tok  $I_{\text{TH}}=15\text{mA}$  pri temperaturi čipa laserja  $T=+25^\circ\text{C}$ . Kolikšen pragovni tok  $I_{\text{TH}}'=?$  doseže isti laser, ko se v delujoči napravi čip ogreje na  $T=+75^\circ\text{C}$ ?

- (A) 35mA      (B) 15mA      (C) 7mA      (D) 0mA

9. Polprevodniški elektro-absorpcijski modulator (EAM) za valovno dolžino  $\lambda=1550\text{nm}$  s heterostrukturo MQW (InGaAsP) ima naslednjo SLABO lastnost:

- (A) samo ena polarizacija      (B) integracija na čip ni možna      (C) odvisnost od valovne dolžine      (D) zelo počasen odziv

10. Svetlobni modulator je izdelan kot Mach-Zehnder-jev interferometer na podlagi  $\text{LiNbO}_3$  in dosega občutljivost  $U_{\text{ITE}}=6\text{V}$  pri  $\lambda=1.55\mu\text{m}$ . Pri kateri krmilni napetosti  $U=?$  upade izhodna svetlobna moč (TE) na 10% maksimalne vrednosti  $P=0.1\cdot P_{\text{MAX}}$ ?

- (A) 1.23V      (B) 4.77V      (C) 6.00V      (D) 7.23V

11. Akusto-optični modulator izkorišča Bragg-ov odboj svetlobe. Za kolikšen kot  $2\alpha=?$  se odkloni žarke svetlobe HeNe laserja z valovno dolžino  $\lambda=633\text{nm}$ , če znaša perioda zvočnega valovanja v steklu  $\Lambda=100\mu\text{m}$ ? ( $c_0=3\cdot 10^8\text{m/s}$ )

- (A)  $0.363^\circ$       (B)  $3.63^\circ$       (C)  $36.3^\circ$       (D)  $0.363\text{rd}$

12. Argonski ionski  $\text{Ar}/\text{Ar}^+$  laser proizvaja zeleno svetlobno z valovno dolžino  $\lambda_0=514\text{nm}$  v praznem prostoru. Kolikšna je energija  $w=?$  posameznega fotona opisane zelene svetlobe? ( $c_0=3\cdot 10^8\text{m/s}$ ,  $h=6.626\cdot 10^{-34}\text{Js}$ ,  $q_e=-1.6\cdot 10^{-19}\text{As}$ )

- (A)  $3.87\cdot 10^{-19}\text{eV}$       (B)  $3.87\cdot 10^{19}\text{J}$       (C)  $3.87\cdot 10^{-19}\text{W}$       (D)  $3.87\cdot 10^{-19}\text{J}$

Priimek in ime:

Elektronski naslov:

## 5. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 11.06.2015

1. Silicijeva PIN fotodioda doseže kvantni izkoristek  $\eta=80\%$  pri valovni dolžini  $\lambda=900\text{nm}$ . Kolikšna je odzivnost  $I/P=?$  takšne fotodiode pri zaporni napetosti, kjer še ne pride do pojava plazovnega ojačanja? ( $h=6.626\cdot 10^{-34}\text{Js}$ ,  $c_0=3\cdot 10^8\text{m/s}$ ,  $q_e=-1.6\cdot 10^{-19}\text{As}$ ).

- (A) 1.248A/W                      (B) 0.998A/W                      (C) 0.724A/W                      (D) 0.580A/W

2. V koherentnem svetlobnem sprejemniku uporabimo kvadraturno vezavo dveh enakih balančnih sprejemnikov z namenom, da v primerjavi z enim takšim balančnim sprejemnikom:

- (A) znižamo vpliv šuma LO                      (B) ni odvisen od polarizacije                      (C) popravimo odstopanje  $\lambda$                       (D) znižamo ceno sprejemnika

3. Infrardeči daljinec vsebuje neusmerjeno svetlečo diodo moči  $P_{\text{Tx}}=10\text{mW}$  na valovni dolžini  $\lambda=900\text{nm}$ . Kolikšno moč prejme sprejemna PIN fotodioda s površino  $A=1\text{mm}^2$  na razdalji  $r=3\text{m}$ , če odboje od sten sobe in slabljenje ozračja zanemarimo?

- (A) -70.5dBm                      (B) -40.5dBm                      (C) -100.5dBm                      (D) 3.16pW

4. Faktor množenja  $M$  plazovne fotodiode z aktivno plastjo iz InGaAs omejuje navzgor naslednja fizikalna veličina oziroma pojav:

- (A) kapacitivnost spoja APD                      (B) šum plazovnega preboja APD                      (C) zrnati šum ojačevalnika                      (D) kvantni izkoristek APD

5. PIN-FET modul vsebuje fotodiodo z odzivnostjo  $I/P=0.8\text{A/W}$  pri valovni dolžini  $\lambda=1550\text{nm}$ . Kolikšna je transimpedanca modula  $R_t=?$ , če vhodna nemodulirana svetloba moči  $P_0=-20\text{dBm}$  nazivne valovne dolžine daje na izhodu modula napetost  $U_{\text{izh}}=100\text{mV}$ ?

- (A) 1k $\Omega$                       (B) 12.5k $\Omega$                       (C) 80k $\Omega$                       (D) 80 $\Omega$

6. Brillouinovo sipanje svetlobe opazimo v enorodovnem svetlobnem vlaknu kot dodatno svetlobo, ki se siplje v naslednji smeri glede na signal, ki potuje po vlaknu:

- (A) samo v smeri nazaj                      (B) naprej in nazaj po vlaknu                      (C) bočno na smer vlakna                      (D) samo v smeri naprej

7. Erbijeve laserske ojačevalnike za signal  $\lambda_s=1550\text{nm}$  lahko črpamo na različne načine. Kater je glavna prednost črpanja z  $\lambda_c=1480\text{nm}$  v primerjavi s črpanjem z  $\lambda_c=980\text{nm}$ ?

- (A) manjše jedro aktivnega vlakna                      (B) nižji šum ojačevalnika                      (C) višja izhodna moč ojačevalnika                      (D) večja pasovna širina

8. Električni TEM vod z bakrenimi vodniki in majhne izgube dielektrika. Pri enaki količini bakra na enoto dolžine dosega najnižje slabljenje naslednji (skoraj) TEM vod:

- (A) mikrostrip  $Z_k=50\Omega$  na FR4                      (B) koaksialni kabel  $Z_k=75\Omega$                       (C) ploščati kabel 34 žic                      (D) sim.parica UTP  $Z_k=100\Omega$

9. Kolikšno je ojačanje  $G[\text{dB}]=?$   $\text{Er}^{3+}$  vlakenskega ojačevalnika pri zelo majhnem vhodnem signalu? Skoraj vsa moč črpalke se pretvori v  $P_{\text{ASE}}=5\text{mW}$  šuma pasovne širine  $B=4\text{THz}$  na obeh polarizacijah na izhodu ojačevalnika? ( $f_0=194\text{THz}$ ,  $\mu=1$ ,  $h=6.626\cdot 10^{-34}\text{Js}$ )

- (A) 36.9dB                      (B) 46.9dB                      (C) 25.3dB                      (D) 17.5dB

10. 1Gbit/s Ethernet media converter ima dva priključka: RJ45 za UTP kabel ter SC/PC za WDM dupleks 1310nm/1550nm po enorodovnem vlaknu. Pred uporabo moramo nastaviti:

- (A) Ethernet MAC naslov                      (B) ničesar (nima naslova)                      (C) IPv4 naslov naprave                      (D) privzeti prehod in masko

11. Pogostnost napak v optični zvezi najbolj verodostojno in ponovljivo izmerimo z naslednjo vrsto preizkusnega sporočila:

- (A) veriga samih enic 1111111111                      (B) katerikoli veljavni okvirji                      (C) izmenična veriga 01010101010101010101                      (D) maksimalno zaporedje  $2^N-1$

12. Ethernet okvir vsebuje na začetku MAC naslov prejemnika in nato še MAC naslov pošiljatelja. Ethernet MAC naslov poljubne naprave, kar običajno določi in vpiše proizvajalec, ima naslednjo dolžino:

- (A) 32 bit                      (B) 64 bit                      (C) 48 bit                      (D) 128 bit

Priimek in ime:

Elektronski naslov:

## 1. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 10.03.2016

1. Če podvojimo moč oddajnika  $P$  [W] in ostanejo vsi ostali podatki zveze nespremenjeni (pasovna širina  $B$  [Hz], slabljenje prenosne poti  $a$  [dB], spektralna gostota šuma in motenj sprejemnika  $N_0$  [W/Hz]), se zmogljivost zveze  $C$  [bit/s] poveča:

- (A) točno 2-krat                      (B) točno 4-krat                      (C) manj kot 2-krat                      (D) ne spremeni

2. Slabljenje radijske zveze v povsem praznem prostoru brez ovir in brez absorpcije izraženo kot neimenovano razmerje moči  $P_{RX}/P_{TX}$  je povezano z dometom zveze  $d$  (razdaljo med oddajnikom in sprejemnikom) na naslednji način ( $\alpha$  je konstanta):

- (A)  $\alpha \cdot \exp(d)$                       (B)  $\alpha \cdot d^{-2}$                       (C)  $\alpha \cdot d$                       (D)  $\alpha \cdot \ln(d)$

3. Koaksialni kabel vnaša slabljenje  $a/l=25\text{dB/km}$  pri frekvenci  $f=100\text{MHz}$ . Moč oddajnika znaša  $P_{TX}=100\text{mW}$ . Kolikšno moč dobimo na vходу sprejemnika  $P_{RX}=?$ , ki se nahaja na razdalji  $d=2\text{km}$  od oddajnika? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 \text{m/s}$ )

- (A)  $316\mu\text{W}$                       (B)  $10\text{pW}$                       (C)  $31.6\text{mW}$                       (D)  $1\mu\text{W}$

4. Koaksialni kabel ima žilo s premerom  $2r_z=3\text{mm}$  in oklop z notranjim premerom  $2r_o=10\text{mm}$ . Dielektrik je polietilen z  $\epsilon_r=2.3$ . ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 \text{m/s}$ ) Mejna frekvenca pojava višjih rodov v takšnem koaksialnem kablu znaša približno:

- (A)  $9.7\text{GHz}$                       (B)  $14.7\text{GHz}$                       (C)  $19.4\text{GHz}$                       (D)  $29.4\text{GHz}$

5. V telekomunikacijskih svetlobnih vlaknih iz kremenovega stekla  $\text{SiO}_2$  se pas valovnih dolžin v okolici  $\lambda_0=1.4\mu\text{m}$  običajno ne uporablja zaradi naslednjega fizikalnega pojava:

- A) IR rezonance molekule  $\text{SiO}_2$                       (B) Rayleighovo sipanje svetlobe                      (C) UV rezonance molekule  $\text{SiO}_2$                       (D) rezonance  $\text{OH}^-$  ionov

6. Evropska zakonodaja omejuje električno poljsko jakost neionizirajočega sevanja na vrednost  $|\vec{E}_{\text{MAX}}|=6\text{veff/m}$ . Kolikšni gostoti pretoka moči  $|\vec{S}_{\text{MAX}}|=?$  ustreza navedena električna poljska jakost v praznem prostoru? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 \text{m/s}$ ,  $Z_0 \approx 377\Omega$ )

- (A)  $10\text{mW/m}^2$                       (B)  $0.1\text{W/m}^2$                       (C)  $1\text{W/m}^2$                       (D)  $10\text{W/m}^2$

7. Lomni količnik kremenovega stekla  $\text{SiO}_2$  je frekvenčno odvisen in znaša za bližnjo infrardečo svetlobo  $n=1.463$ . Relativna dielektrična konstanta  $\epsilon_r=?$  čistega kremenovega stekla  $\text{SiO}_2$ , ki ni feromagnetik ( $\mu=\mu_0$ ), znaša za valovanje iste frekvence:

- (A) 2.140                      (B) 1.463                      (C) 1.210                      (D) 2.926

8. Nepolarizirana sončna svetloba vpada iz zraka ( $n_{\text{ZRAK}} \approx 1$ ) na vodno gladino ( $n_{\text{VODA}} \approx 1.333$ ). Pri katerem vpadnem kotu  $\theta_B=?$  (Brewster) bo odbiti žarek popolnoma polariziran (TE oziroma HP), saj TM oziroma VP polarizacija takrat popolnoma izgine?

- (A)  $67.5^\circ$                       (B)  $60.9^\circ$                       (C)  $53.1^\circ$                       (D)  $56.3^\circ$

9. Zbiralna leča je izdelana iz stekla z lomnim količnikom  $n_{\text{STEKLO}}=1.5$ . Koliko naj bo debel  $d=?$  antirefleksni sloj z optimalnim lomnim količnikom  $n_{\text{AR}}$ , če lečo uporabimo v DVD čitalniku, ki deluje z valovno dolžino  $\lambda_0=650\text{nm}$  in je okolica zrak ( $n_{\text{ZRAK}} \approx 1$ )?

- (A)  $d=133\text{nm}$                       (B)  $d=163\text{nm}$                       (C)  $d=265\text{nm}$                       (D)  $d=325\text{nm}$

10. Pri prestopu svetlobnega žarka iz gostejše snovi z lomnim količnikom  $n_1$  v redkejšo snov z lomnim količnikom  $n_2$  velja  $n_1 > n_2$ . V tem primeru velja naslednja trditev za Brewsterjev kot  $\theta_B$  vpadnega žarka:

- (A)  $\theta_B > \pi/4$                       (B)  $\theta_B < \pi/4$                       (C)  $\theta_B$  ne obstaja                      (D)  $\theta_B > \pi/2$

11. Šibko-lomno svetlobno vlakno ima jedro premera  $2a=50\mu\text{m}$  z lomnim količnikom  $n_1=1.47$  in oblogo zunanjega premera  $2b=125\mu\text{m}$  z lomnim količnikom  $n_2=1.46$ . Kolikšna je numerična apertura  $NA=?$  opisanega svetlobnega vlakna?

- (A) 0.029                      (B) 0.414                      (C) 5.842                      (D) 0.171

12. Izračunajte čas razširitve svetlobnega impulza  $\Delta t=?$ , ki potuje po  $l=10\text{km}$  dolgem svetlobnem vlakno s stopničastim lomnim likom in razmeroma debelim jedrom  $2a \gg \lambda$ , če znaša lomni količnik jedra  $n_1=1.47$  in lomni količnik obloge  $n_2=1.46$ ? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 \text{m/s}$ )

- (A)  $1.6\text{ns}$                       (B)  $228\text{ns}$                       (C)  $336\text{ns}$                       (D)  $2.28\text{ns}$

Priimek in ime:

Elektronski naslov:



## 2. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 31.03.2016

1. Šibko-lomno svetlobno vlakno iz kremenovega stekla s stopničastim lomnim likom ter povprečnim lomnim količnikom  $n=1.46$  dosega numerično aperturo  $NA=0.2$ . Kolikšna je relativna razlika lomnih količnikov jedra in obloge  $\Delta$ ?

- (A) 0.137 (B) 0.068 (C) 0.019 (D) 0.009

2. Teflonska plošča debeline  $d=1\text{cm}$  ima dielektrično konstanto  $\epsilon_r=2.2$  in zelo majhne izgube tudi pri zelo visokih frekvencah. Na obeh straneh plošče je zrak  $n_z=1$ . Pri kateri frekvenci  $f$ ? postane opisana naprava mnogorodovni valovod? ( $c_0=3\cdot 10^8\text{m/s}$ )

- (A) 13.7GHz (B) 48.1GHz (C) 7.66GHz (D) 86GHz

3. Če znižujemo frekvenco valovanja  $f$  in pri tem vzbuja en sam, vedno isti rod valovanja v dielektričnem valovodu, se vpadni kot  $\theta$  na mejo dielektrikov spreminja na naslednji način:

- (A)  $\theta \rightarrow \pi/2$  (B)  $\theta \rightarrow \theta_m$  (C)  $\theta = \text{konst.}$  (D)  $\theta \rightarrow 0$

4. Krivinsko slabljenje svetlobnega vlakna je posledica tuneliranja valovanja na krivinah dielektričnega valovoda. Svetloba tedaj uhaja iz vlakna:

- (A) v vse smeri (B) bočno na krivino (C) na zunanji strani krivine (D) na notranji strani krivine

5. Lomni količnik kremenovega stekla, ki bo tvorilo oblogo bodočega svetlobnega vlakna znižujemo tako, da v osnovno plinsko zmes postopka MCVD oziroma VAD dodajamo naslednjo zelo čisto kemijsko spojino:

- (A)  $\text{SiCl}_4$  (B)  $\text{GeCl}_4$  (C)  $\text{F}_2$  (D)  $\text{POCl}_3$

6. Razpoložljiva tehnologija nam omogoča izdelavo surovca (preforma) premera  $2r=50\text{mm}$  in dolžine  $l=2\text{m}$ . Kolikšen naj bo premer jedra surovca  $2r'=?$ , če želimo povleči enorodovno telekomunikacijsko vlakno 9/125 brez uporabe tehnologije rod-in-tube?

- (A)  $36\mu\text{m}$  (B)  $3.6\text{mm}$  (C)  $9\mu\text{m}$  (D)  $9\text{mm}$

7. Hitrost vlečenja vlakna iz surovca (preforma) omejuje naslednji tehnološki parameter postopka izdelave vlakna oziroma razpoložljive opreme:

- (A) višina stolpa za vlečenje (B) dopiranje stekla s  $\text{POCl}_3$  (C) temperatura grafitne peči (D) sekundarna zaščita vlakna

8. Kolikšno slabljenje  $a=?$  neželjenega odbitega vala pričakujemo za pravilen spoj dveh FC-PC konektorjev med dvema povsem enakima enorodovnima vlaknoma G.652, če privzamemo, da so spojka in oba konektorja nepoškodovani in skrbno očiščeni.

- (A) 80dB (B) 20dB (C) 10dB (D) 40dB

9. V položenem kablju dolžine  $l=50\text{km}$  izmerimo povprečno vrednost polarizacijske rodovne razpršitve  $\Delta t=20\text{ps}$ . Kolikšen je koeficient polarizacijske rodovne razpršitve  $D_{\text{PMD}}=?$  za navedeni kabl?

- (A)  $140\text{ps/km}$  (B)  $2.8\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$  (C)  $0.056\text{ps/km}$  (D)  $0.4\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$

10. V dielektričnem valovodu izračunamo oziroma izmerimo povezavo med fazno konstanto  $\beta$  [rd/m] in krožno frekvenco  $\omega$  [rd/s] v širšem območju frekvenc oziroma valovnih dolžin. Kako v valovodu določimo fazno hitrost  $v_f=?$

- (A)  $v_f = \beta/\omega$  (B)  $v_f = d^2\omega/d\beta^2$  (C)  $v_f = d\omega/d\beta$  (D)  $v_f = \omega/\beta$

11. V primerjavi z običajnim enorodovnim vlaknom G.652 ima disperzijsko-premaknjeno vlakno (DSF) G.653 naslednjo značilnost:

- (A) tanjše jedro (manjši polmer  $a$ ) (B) nižjo numerično aperturo NA (C) nižje slabljenje pri  $\lambda=1.55\mu\text{m}$  (D) stopničast lomni lik

12. Zveza dolžine  $l=32\text{km}$  uporablja kabl z NZDSF vlaknom, ki ima koeficient barvne razpršitve  $D=5\text{ps/nm.km}$ . Barvno razpršitev odstranimo s kolutom DCF vlakna, ki ima barvno razpršitev  $D'=-80\text{ps/nm.km}$ . Kolikšno dolžino DCF vlakna  $l'=?$  potrebujemo?

- (A) 4km (B) 16km (C) 2km (D) 8km

Priimek in ime:

Elektronski naslov:

### 3. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 21.04.2016

1. Kolikšna je najvišja električna poljska jakost  $E_{MAX}=?$  v jedru enorodovnega vlakna G.652 z efektivno površino  $A_{eff}=70\mu m^2$  in lomnim količnikom  $n_1=1.463$ ? Vlakno napajamo s svetlobnim virom, ki v jedro pošilja moč  $P=25mW$  pri valovni dolžini  $\lambda_0=1550nm$ .

- (A) 215kV/m (B) 607kV/m (C) 429kV/m (D) 858kV/m

2. V amorfnem dielektriku (steklu) brez vgrajenega enosmernega električnega polja najprej opazimo naslednjega od navedenih fizikalnih nelinearnih pojavov:

- (A) Kerrov pojav  $n=\alpha E^2$  (B) Pockelsov pojav  $n=\alpha E$  (C) kubni pojav  $n=\alpha E^3$  (D) konstantni  $n=konst.$

3. Izračunajte zmogljivost zveze  $C=?$ , ki uporablja oddajnik z ozkopasovnim virom na valovni dolžini  $\lambda=1550nm$  in zunanji ON/OFF modulatorjem. Razdaljo  $l=40km$  premošča enorodovno vlakno z  $D=7ps/nm.km$  brez kompenzacije barvne razpršitve. ( $c_0=3\cdot 10^8m/s$ )

- (A) 12.1Gbit/s (B) 21.1Gbit/s (C) 42.2Gbit/s (D) 84.4Gbit/s

4. Optično pasovno-prepustno frekvenčno sito izdelamo kot večslojno strukturo tankih plasti različnih dielektrikov. Sito je načrtovano za nazivno frekvenco pri pravokotnem vpadu svetlobe  $\theta=0$ . Pri poševnem vpadu svetlobe  $\theta>0$  se frekvenca prepustnega pasu:

- (A) zniža (B) ne spremeni (C) izgine (D) zviša

5. Kolikšna je moč presečne točke intermodulacijskega popačenja  $P_{IP3}=?$  vlakna dolžine  $l=1km$  z jedrom efektivne površine  $A_{eff}=70\mu m^2$  in nelinearnostjo  $n_2=2.5\cdot 10^{-20}m^2/W$ , če zanemarimo barvno razpršitev in slabljenje vlakna pri  $\lambda_0=1550nm$ ?

- (A) 31.8mW (B) 13.6mW (C) 296mW (D) 691mW

6. V visokozmogljivi zvezi z valovno-dolžinskim multipleksom (WDM) najdemo motnjo na valovni dolžini  $\lambda_m=1556nm$ . Na kateri valovni dolžini  $\lambda_1=?$  je prisoten eden do dveh močnih signalov, če je valovna dolžina drugega močnega signala  $\lambda_2=1555nm$ ? ( $c_0=3\cdot 10^8m/s$ )

- (A) 1558nm (B) 1553nm (C) 1554nm (D) 1557nm

7. Kolikšna je spektralna svetlost  $B_f=?$  [W/Hz.srd.m<sup>2</sup>] svetleče diode, ki sklaplja svetlobno moč  $P=10\mu W$  v jedro enorodovnega vlakna pri valovni dolžini  $\lambda_0=1310nm$ . Svetleča površina diode je večja od jedra vlakna in sveti v pasovni širini  $\Delta f=15THz$ .

- (A) 3.89mW/Hz.srd.m<sup>2</sup> (B) 389nW/Hz.srd.m<sup>2</sup> (C) 389 $\mu$ W/Hz.srd.m<sup>2</sup> (D) 4W/Hz.srd.m<sup>2</sup>

8. Iz linearno polariziranega laserja želimo dobiti krožno polarizirano svetlobo s pomočjo  $\lambda/4$  ploščice. Slednje NE MOREMO izdelati iz naslednje snovi:

- (A) tanka ravna plošča stekla (B) ostra zanka vlakna G.652 (C) tanek listek dvolomne sljude (D) kos ravnega PANDA vlakna

9. Če v mnogorodovnem gradientnem vlaknu G.651 50/125 vzbujamo samo rodove nižjih redov, na primer s sklopom na vir z enorodovnim vlaknom, bo izmerjena modulacijska pasovna širina  $B'$  [MHz] v primerjavi z dejansko modulacijsko pasovno širino  $B$ :

- (A)  $B'<B$  (B)  $B'\approx B$  (C)  $B'>B$  (D)  $B'\rightarrow 0$

10. Optični reflektometer v časovnem prostoru (OTDR) je silno uporaben merilnik, ki v svoji notranjosti izkorišča naslednjo vrsto vlakenskega sklopnika v vseh različicah, z enorodovnimi vlakni in z mnogorodovnimi vlakni:

- (A) 50/50 (B) 10/90 (C) WDM sklopnik (D) 1/99

11. Kakovosten laser za analogno kabelsko TV ima vzdolžno koherentno dolžino  $l=100m$  ter niha na enem samem rodu z valovno dolžino  $\lambda_0=1310nm$  v praznem prostoru ( $c_0=3\cdot 10^8m/s$ ). Kolikšna je frekvenčna pasovna širina  $\Delta f=?$  Opisanega laserja?

- (A) 30THz (B) 30kHz (C) 3.0GHz (D) 3.0MHz

12. Za izdelavo tiskanih vezij iščemo jedkalo, ki natančno jedka baker ter hkrati ne poškoduje izolirne podlage tiskanega vezja niti zaščitnega premaza (fotolak ali toner). Za jedkanje tiskanih vezij je NEUPORABNA naslednja kemikalija, raztopljena v vodi:

- (A)  $Fe_2O_3$  (B)  $(CH_3)_2CO$  (C)  $Na_2S_2O_8$  (D)  $H_2O_2+HCl$

Priimek in ime:

Elektronski naslov:

#### 4. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 19.05.2016

1. Star računalniški monitor uporablja barvno katodno cev s pospeševalno napetostjo  $U_{\text{MAX}}=20\text{kV}$ . Kolikšna je valovna dolžina  $\lambda=?$  nevidne, ampak škodljive rentgenske svetlobe, ki jo seva takšna cev v hekerja? ( $c_0=3\cdot 10^8\text{m/s}$ ,  $h=6.626\cdot 10^{-34}\text{Js}$ ,  $Q_e=-1.6\cdot 10^{-19}\text{As}$ )

- (A) 62nm (B)  $4.83\cdot 10^{18}\text{Hz}$  (C) 4.83Å (D) 62pm

2. Katera od navedenih kemikalij je NEUPORABNA kot fluks (čistilno sredstvo za odstranjevanje oksidov s površine kovin) pri mehkem spajkanju barvnih kovin z evtektično zlitino 63% kositra in 37% svinca?

- (A) stearin (B) solna kislina (C) parafin (D) kolofonija

3. S Fabry-Perot-ovim optičnim spektralnim analizatorjem, ki ima  $\text{FSR}=100\text{GHz}$ , NE MOREMO (smiselno) opazovati spektra naslednjega svetlobnega izvora:

- (A) LED svetleča dioda (B) rdeč HeNe laser 632.8nm (C) nemoduliran DFB laser (D) nemoduliran EC laser

4. Polprevodniški laser s Fabry-Perot-ovim rezonatorjem dolžine  $l=300\mu\text{m}$  niha na  $N=30$  rodovih okoli osrednje valovne dolžine  $\lambda=1310\text{nm}$ . Kolikšna je širina spektra  $\Delta\lambda=?$ , če znaša povprečni lomni količnik polprevodniške strukture  $n=3.7$ ? ( $c_0=3\cdot 10^8\text{m/s}$ )

- (A) 11nm (B) 23nm (C) 6nm (D) 46nm

5. Kolikšna je vzdolžna koherenčna dolžina  $d=?$  polprevodniškega DFB laserja, ki niha na osrednji valovni dolžini  $\lambda_0=1550\text{nm}$ . Širina spektralne črte nemoduliranega DFB laserja znaša  $\Delta\lambda=0.00003\text{nm}$ . ( $c_0=3\cdot 10^8\text{m/s}$ )

- (A) 80nm (B)  $80\mu\text{m}$  (C) 80mm (D) 80m

6. Motnjam dnevne svetlobe in drugih neželjenih virov se sprejemni modul infra-rdečega daljinca izogiblje tako, da je vgrajen v ohišje iz temne plastike. Slednje se obnaša kot pasovno prepustno optično sito za naslednjo valovno dolžino:

- (A)  $1.55\mu\text{m}$  (B) 900nm (C)  $1.31\mu\text{m}$  (D) 750nm

7. Elektro-optični modulator je izdelan kot Mach-Zehnder-jev interferometer na podlagi  $\text{LiNbO}_3$ . Če modulator dosega na neugodni polarizaciji  $\text{TM}$  občutljivost  $U_{\text{TM}}=10.5\text{V}$ , bo isti modulator izkazoval za pravokotno polarizacijo  $\text{TE}$  boljšo občutljivost  $U_{\text{TE}}$ :

- (A) 3.8V (B) 5.9V (C) 14.0V (D) 29.4V

8. Kolikšno mora biti ojačanje na enoto dolžine  $G/l=?$  v valovodu dolžine  $l=400\mu\text{m}$  Fabry-Perot polprevodniškega laserja, če za odboj na koncih valovoda poskrbi kar meja polprevodnik/zrak? Lomni količnik sredice valovoda znaša  $n_1=3.8$ , zraka  $n_2=1$ .

- (A) 2.92dB/mm (B) 5.85dB/mm (C) 11.7dB/mm (D) 23.4dB/mm

9. Polprevodniški elektro-absorpcijski modulator (EAM) za valovno dolžino  $\lambda=1550\text{nm}$  s heterostrukturo MQW (InGaAsP) potrebuje naslednjo krmilno napetost (merjeno vrh-vrh) za doseganje ugasnega razmerja  $10\log(P_1/P_0)=20\text{dB}$ :

- (A) 50V (B) 5V (C) 500mV (D) 50mV

10. Kolikšen je kot uklonjenih žarkov prvega reda  $\alpha_1=?$  pri Raman-Nath-ovem uklonu svetlobe HeNe laserja  $\lambda=633\text{nm}$  na zvočnem valovanju frekvence  $f=11\text{MHz}$  v sladki vodi. Hitrost zvoka v čisti vodi znaša  $v=1481\text{m/s}$  pri temperaturi  $T=20^\circ\text{C}$ .

- (A) 4.7mrd (B) 9.4mrd (C)  $0.47^\circ$  (D)  $0.94^\circ$

11. Polprevodniški laser s pokončnim votlinskim rezonatorjem VCSEL ima naslednjo dobro lastnost v primerjavi z drugimi vrstami polprevodniških laserjev:

- (A) deluje pri višji temperaturi (B) izredno ozka spektralna črta (C) deluje pri dolgih  $\lambda>1550\text{nm}$  (D) preprost sklop na vlakno

12. Disperzijsko-premaknjeno vlakno DSF G.653 ima efektivno površino jedra  $A_{\text{eff}}=30\mu\text{m}^2$  in prenaša svetlobno moč  $P=30\text{mW}$ . ( $Z_0=377\Omega$ ) Gostota svetlobne moči  $|S|$  v jedru z lomnim količnikom  $n_1=1.46$  dosega vrednost:

- (A)  $146\text{MW/m}^2$  (B)  $377\text{MW/m}^2$  (C)  $1\text{GW/m}^2$  (D)  $2\text{GW/m}^2$

Priimek in ime:

Elektronski naslov:

## 5. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 09.06.2016

1. Silicijeva PIN fotodioda doseže kvantni izkoristek  $\eta=80\%$  pri valovni dolžini  $\lambda=900\text{nm}$ . Kolikšen kvantni izkoristek iste fotodiode  $\eta'=?$  pričakujemo pri valovni dolžini  $\lambda'=1550\text{nm}$ ? ( $h=6.626\cdot 10^{-34}\text{Js}$ ,  $c_0=3\cdot 10^8\text{m/s}$ ,  $q_e=-1.6\cdot 10^{-19}\text{As}$ ,  $\Delta W_{\text{Si}}=1.11\text{eV}$ ).

- (A) 0% (B) 50% (C) 80% (D) 95%

2. PIN-FET modul dosega občutljivost  $N_f/\text{bit}=2000\text{fotonov/bit}$  pri vsoti kapacitivnosti fotodiode, ojačevalnika in povezav na vhodu  $\Sigma C=3\text{pF}$ . Pri kateri vsoti kapacitivnosti  $\Sigma C'=?$  bi dosegli  $N_f/\text{bit}'=1000\text{fotonov/bit}$ , če se ostale veličine ne spremenijo?

- (A) 12pF (B) 6pF (C) 1.5pF (D) 0.75pF

3. V koherentnem svetlobnem sprejemniku z mešanjem znižamo prispevek amplitudnega šuma DFB laserja, ki ga uporabimo kot lokalni oscilator, na naslednji način:

- (A) dva mešalnika vezana v kvadraturi (B) balančna vezava dveh fotodiod (C) znižanje šuma DFB laserja ni možno (D) sprejemamo obe polarizaciji

4. Amplitudni svetlobni modulator uporabimo v preprosti ON/OFF dvojiški zvezi in pri tem dosežemo ugasno razmerje  $ER=25\text{dB}$ . Kolikšno moč dobimo na izhodu modulatorja v ugasnjem stanju  $P_{\text{OFF}}=?$ , če znaša izhodna moč v vključenem stanju  $P_{\text{ON}}=10\text{mW}$ ?

- (A) 400 $\mu\text{W}$  (B) 100nW (C) 31.6 $\mu\text{W}$  (D) 1.00mW

5. Lokalni oscilator koherentnega sprejemnika uglašujemo v pasu  $\lambda_0\approx 1.55\mu\text{m}$ . Z nastavljanjem temperature čipa DFB laserja dosežemo premik valovne dolžine  $\Delta\lambda=4\text{nm}$ . V kolikšnem frekvenčnem pasu  $\Delta f=?$  lahko uglašujemo sprejemnik? ( $c_0=3\cdot 10^8\text{m/s}$ )

- (A) 5THZ (B) 60GHZ (C) 6GHZ (D) 500GHZ

6. Z osciloskopom izmerimo na izhodu APD-FET modula povprečni napetosti enice  $\langle U_1 \rangle = 200\text{mV}$  in ničle  $\langle U_0 \rangle = 50\text{mV}$ . Zrnati šum opazimo kot povečani šum enice  $\sigma_1=20\text{mV}_{\text{eff}}$  v primerjavi s šumom ničle  $\sigma_0=10\text{mV}_{\text{eff}}$ . Kolikšno je razmerje signal/šum  $Q=?$

- (A) 25.0 (B) 8.33 (C) 5.00 (D) 15.0

7. Ojačevalno vlakno za  $\lambda_0\approx 1.55\mu\text{m}$  izdelamo tako, da sredico vlakna, pretežno iz kremenovega stekla  $\text{SiO}_2$  dopiramo z erbijem v obliki ionov  $\text{Er}^{3+}$ . Ker je erbijevih ionov razmeroma malo, lomni količnik sredice ojačevalnega vlakna povečamo z dodatkom:

- (A)  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (B)  $\text{P}_2\text{O}_5$  (C)  $\text{GeO}_2$  (D)  $\text{B}_2\text{O}_3$

8. Erbijeve laserski ojačevalnik uporablja črpalni laser moči  $P_c=80\text{mW}$  na valovni dolžini  $\lambda_c=980\text{nm}$ . Kolikšna je največja moč signala  $P_s=?$  na izhodu ojačevalnika na valovni dolžini  $\lambda_s=1550\text{nm}$ , če ojačevalnik uspe izkoristiti  $\eta=80\%$  fotonov črpalke?

- (A) 101mW (B) 40.5mW (C) 50.5mW (D) 64mW

9. Dvojiško (0 in 1) zaporedje maksimalne dolžine  $2^n-1$ , ki ga uporabljamo za preizkus optične zveze, ima naslednje matematične lastnosti (obkrožite NAPAČEN odgovor):

- (A) enako število enic in ničel (B) dvonivojsko avtokorelacijo (C) spekter  $2^n-1$  črt do  $f_{\text{takta}}$  (D) dobro premešane 1 in 0

10. Oprema Ethernet omrežja 100Mbps po kablu UTP je zaščitena pred prenapetostmi in drugimi škodljivimi zunanji električnimi vplivi na naslednji način:

- (A) s talilnimi varovalkami (B) s sklopnimi kondenzatorji (C) s plinskimi odvodniki (D) z ločilnimi transformatorji

11. Ethernet okvir vsebuje IPv4 okvir dolžine 1500byte in dodatno VLAN glavo. Skupna dolžina opisanega Ethernet okvirja vključno s sinhronizacijsko glavo v tem primeru znaša:

- (A) 1522byte (B) 1514byte (C) 1530byte (D) 1518byte

12. Ethernet okvir vsebuje na začetku 48-bitni MAC naslov prejemnika in nato 48-bitni MAC naslov pošiljatelja. Ethernet MAC naslov poljubne naprave običajno:

- (A) določi naključni algoritem v napravi (B) določi proizvajalec naprave (C) samodejno izbere DHCP (D) vpiše uporabnik

Priimek in ime:

Elektronski naslov:

## 1. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 9.03.2017

1. Radijska zveza s plovila na Marsu dosega zmogljivost  $C=1.0\text{Mbit/s}$  v neskončno veliki pasovni širini  $B\rightarrow\infty$ . Kolikšna bo zmogljivost zveze  $C'=?$ , če pasovno širino modulacije omejimo na  $B'=1\text{MHz}$  in ostanejo vsi ostali podatki zveze enaki?

- (A) 0.5Mbit/s                      (B) 0.693Mbit/s                      (C) 0.76Mbit/s                      (D) 1.0Mbit/s

2. Če iz zračnega telefonskega dvovoda odstranimo Pupinove tuljave, se pasovna širina zveze  $B[\text{kHz}]$  in slabljenje zveze  $a[\text{Np}]$  spremenita na naslednji način:

- (A)  $B$  poveča in  $a$  naraste                      (B)  $B$  poveča in  $a$  upade                      (C)  $B$  zmanjša in  $a$  naraste                      (D)  $B$  zmanjša in  $a$  upade

3. Kolikšna je valovna dolžina  $\lambda=?$  TEM rodu frekvence  $f=250\text{MHz}$  v koaksialnem kablu? Izolacija kabla ima relativno dielektričnost  $\epsilon_r=2.25$  in ni feromagnetik ( $\mu=\mu_0$ ). Učinek kožnega pojava na valovno dolžino je zanemarljiv. ( $c_0\approx 3\cdot 10^8\text{m/s}$ )

- (A) 0.533m                      (B) 0.8m                      (C) 1.2m                      (D) 1.8m

4. Nečistoče v optičnem vlaknu na osnovi kremenovega stekla ( $\text{SiO}_2$ ) povečujejo slabljenje zveze na povsem določenih valovnih dolžinah na naslednji način:

- (A) UV rezonance  $\text{SiO}_2$  stekla                      (B) Rayleigh-ovo sipanje                      (C) IR rezonance  $\text{SiO}_2$  stekla                      (D) rezonance  $\text{OH}^-$  ionov

5. Kolikšna je valovna impedanca  $Z=?$  feritnega materiala, ki ima relativno permeabilnost  $\mu_r=160$  in relativno dielektričnost  $\epsilon_r=10$  pri frekvenci  $f=1\text{MHz}$ , kjer smemo zanemariti izgube? ( $c_0\approx 3\cdot 10^8\text{m/s}$ ,  $Z_0\approx 377\Omega$ )

- (A) 23.5 $\Omega$                       (B) 94.3 $\Omega$                       (C) 1508 $\Omega$                       (D) 6032 $\Omega$

6. Nepolarizirana svetloba frekvence  $f=474\text{THz}$  vpada iz zraka ( $n_{\text{ZRAK}}\approx 1$ ) na vodno gladino ( $n_{\text{VODA}}\approx 1.333$ ). Pri katerem vpadnem kotu  $\theta_v=?$  bosta odbiti žarek in lomljeni žarek med sabo pravokotna? ( $c_0\approx 3\cdot 10^8\text{m/s}$ )

- (A) 53.1 $^\circ$                       (B) 56.3 $^\circ$                       (C) 60.9 $^\circ$                       (D) 67.5 $^\circ$

7. HeNe laser oddaja svetlobo z valovno dolžino  $\lambda_0=633\text{nm}$  v praznem prostoru. Kolikšno je valovno število  $k=?$  HeNe svetlobe v steklu z lomnim količnikom  $n=1.5$ ? ( $c_0\approx 3\cdot 10^8\text{m/s}$ ,  $Z_0\approx 377\Omega$ )

- (A)  $4.41\cdot 10^6\text{rd}$                       (B)  $6.62\cdot 10^6\text{rd/m}$                       (C)  $9.93\cdot 10^6\text{rd}$                       (D)  $1.49\cdot 10^7\text{rd/m}$

8. Svetlobni signal  $P_{\text{ZRAK}}=1\text{mW}$  vpada pod pravim kotom ( $\theta=0$ ) iz zraka ( $n_{\text{ZRAK}}\approx 1$ ) na površino čipa fotodiode ( $n_{\text{POLPREVODNIK}}\approx 3.7$ ). Kolikšna moč signala  $P_{\text{POLPREVODNIK}}=?$  prispe v notranjost čipa, če površina čipa ni prekrita z antirefleksnim slojem? ( $c_0\approx 3\cdot 10^8\text{m/s}$ )

- (A) 0.43mW                      (B) 0.67mW                      (C) 0.57mW                      (D) 0.33mW

9. Zaščitno kupolo za radarsko anteno, ki deluje na frekvenci  $f=9.375\text{GHz}$ , izdelamo iz smole, ojačane s steklenimi vlakni z relativno dielektričnostjo  $\epsilon_r=4.5$ . Kolikšna naj bo debelina kupole  $d=?$ , da je neželjen odboj radarskih valov najmanjši? ( $c_0\approx 3\cdot 10^8\text{m/s}$ )

- (A) 1.7mm                      (B) 3.6mm                      (C) 7.5mm                      (D) 16mm

10. Valovanje prehaja iz gostejše snovi  $n_1$  v redkejšo snov  $n_2$ . Izgube v obeh snoveh so zanemarljivo majhne in velja  $n_1>n_2$ . Za poljuben vpadni kot valovanja  $0\leq\theta_v\leq\pi/2$  tedaj vedno velja naslednja povezava med odbojnostima  $\Gamma_{\text{TE}}$  in  $\Gamma_{\text{TM}}$ :

- (A)  $|\Gamma_{\text{TE}}|\leq|\Gamma_{\text{TM}}|$                       (B)  $|\Gamma_{\text{TE}}|\neq|\Gamma_{\text{TM}}|$                       (C)  $|\Gamma_{\text{TE}}|\approx|\Gamma_{\text{TM}}|$                       (D)  $|\Gamma_{\text{TE}}|\geq|\Gamma_{\text{TM}}|$

11. Kolikšen delež svetlobe  $\eta=?$  rdeče svetleče diode  $\lambda_0=650\text{nm}$  se sklopi v jedro plastičnega optičnega vlakna z numerično aperturo  $\text{NA}=0.47$ ? Čip svetleče diode je dosti manjši od premera jedra vlakna in seva v vse smeri enako. Odboje prepreči AR sloj.

- (A) 12%                      (B) 6%                      (C) 23%                      (D) 3%

12. Valovni vektor  $\vec{k}$  ima v oblogi svetlobnega vlakna, ki vodi valovanje preko popolnega odboja na meji jedro/obloga, naslednje komponente:

- (A)  $\text{Im}$  prečno in  $\text{Re}$  vzdolžno                      (B)  $\text{Im}$  prečno in  $\text{Im}$  vzdolžno                      (C)  $\text{Re}$  prečno in  $\text{Re}$  vzdolžno                      (D)  $\text{Re}$  prečno in  $\text{Im}$  vzdolžno

## 2. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 30.03.2017

1. Plastično optično vlakno s stopničastim lomnim likom ter povprečnim lomnim količnikom  $n=1.55$  dosega numerično aperturo  $NA=0.47$ . Kolikšna je relativna razlika lomnih količnikov jedra in obloge  $\Delta$ ?
- (A) 0.137 (B) 0.068 (C) 0.046 (D) 0.009
2. Planarni dielektrični valovod ima jedro z lomnim količnikom  $n_1$  in dve enaki oblogi z lomnim količnikom  $n_2$ . Velja  $n_1 > n_2$  in  $k_0 = 2\pi/\lambda_0$ . Med vpadnim kotom žarka  $\theta$  v jedru valovoda in fazno konstanto pripadajočega rodu  $\beta$  velja naslednja povezava:
- (A)  $\beta = n_2 \cdot k_0 \cdot \sin\theta$  (B)  $\beta = n_2 \cdot k_0 \cdot \cos\theta$  (C)  $\beta = n_1 \cdot k_0 \cdot \cos\theta$  (D)  $\beta = n_1 \cdot k_0 \cdot \sin\theta$
3. Kako obdelamo konec enorodovnega vlakna G.652, da doseže najvišjo vrednost odbojnosti  $|\Gamma|_{MAX}$  v področju valovnih dolžin III. komunikacijskega okna?
- (A) odrezan pod pravim kotom (B) potopljen v vodo (C) navit na premer 5mm (D) naključno zlomljen
4. Svetlobno vlakno krožnega prereza s stopničastim lomnim likom, numerično aperturo NA in jedrom polmera  $a$  je uporabno v enorodovnem načinu delovanja (samo osnovni rod  $HE_{11}$  obeh polarizacij) v naslednjem območju normiranih frekvenc  $v = (2\pi/\lambda_0) \cdot a \cdot NA$ :
- (A) 0-1.8 (B) 1.8-2.405 (C) 1.8-3.83 (D) 2.405-3.83
5. Mejno valovno dolžino  $\lambda_m$  pojava višjih rodov v svetlobnem vlaknu izmerimo tako, da vlakno navijemo na tulec predpisanega premera  $2r$ . Če je premer tulca večji  $2r' > 2r$  od predpisanega premera, bo izmerjena mejna valovna dolžina  $\lambda_m'$ :
- (A)  $\lambda_m' > \lambda_m$  (B)  $\lambda_m' \rightarrow \infty$  (C)  $\lambda_m' = \lambda_m$  (D)  $\lambda_m' < \lambda_m$
6. Dodatek plina fluora ( $F_2$ ) v postopku izdelave zelo čistega stekla za svetlobna vlakna povzroči naslednjo spremembo lastnosti kremenovega stekla (glavnina  $SiO_2$ ):
- (A) zvišanje lomnega količnika (B) znižanje temperature postopka (C) znižanje lomnega količnika (D) znižanje slabljenja
7. Kolikšno dolžino vlakna G.652  $l$ ? lahko povlečemo iz surovca (preforma) dolžine  $l_p = 2m$  in premera  $2r_p = 25mm$ ? Uporabimo tehnologijo "rod-in-tube": surovec vstavimo v zunanjo kvarčno cev notranjega premera  $2r_1 = 28mm$  in zunanjega premera  $2r_2 = 40mm$ .
- (A) 80km (B) 104km (C) 209km (D) 184km
8. S sukanjem surovca (preforma) med vlečenjem optičnega vlakna iz kremenovega stekla dosežemo naslednjo tehnološko izboljšavo končnega izdelka:
- (A) boljši oprijem primarne zaščite (B) znižamo koeficient PMD (C) preprečimo trganje vlakna (D) omogočimo vijačne robove
9. Polariziran HeNe laser zasukamo za pokončno polarizacijo, kjer oddaja moč  $P_{TM} = 5mW$ . Kolikšno moč lahko dobimo na vodoravni polarizaciji  $P_{TE} = ?$ , če med laser in merjenec vstavimo idealen absorpcijski polarizator in ga zasukamo tako, da je  $P_{TE}$  največja?
- (A) 5mW (B) 2.5mW (C) 1.25mW (D) 0.31mW
10. kateri od navedenih fizikalnih pojavov NIMA večjega učinka na barvno razpršitev enorodovnega vlakna G.652 na osnovi kremenovega stekla?
- (A) IR rezonance stekla  $SiO_2$  (B) Rayleigh-ovo sipanje v steklu (C) UV rezonance stekla  $SiO_2$  (D) valovodni rod  $HE_{11}$
11. Zveza dolžine  $l = 40km$  uporablja kabel z NZDSF vlaknom, ki ima koeficient barvne razpršitve  $D = 6ps/nm.km$ . Barvno razpršitev odstranimo s kolutom DCF vlakna, ki ima barvno razpršitev  $D' = -80ps/nm.km$ . Kolikšno dolžino DCF vlakna  $l' = ?$  potrebujemo?
- (A) 3km (B) 4km (C) 6km (D) 8km
12. Alkalna fotokatoda infrardečega slikovnega pretvornika NE VIDI naslednje vrste svetlobe, opisane z valovno dolžino v praznem prostoru:
- (A) zelena  $\lambda_0 = 500nm$  (B) rdeča  $\lambda_0 = 650nm$  (C) bližnja IR  $\lambda_0 = 850nm$  (D) daljna IR  $\lambda_0 = 10\mu m$

Priimek in ime:

Elektronski naslov:

### 3. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 20.04.2017

1. V zvezi z enorodovnim svetlobnim vlaknom G.652 optični reflektometer v časovnem prostoru (OTDR) NE zazna odbite svetlobe od naslednjega gradnika/pojava:

- (A) spoj dveh FC-PC konektorjev (B) Rayleighovo sipanje svetlobe (C) dober zvar dveh vlaken (D) odboj na koncu zveze

2. Pri kateri svetlobni moči  $P=?$  doseže vršna vrednost električnega polja  $E_{MAX}=2.1MV/m$  v enorodovnem svetlobnem vlaknu G.652 z efektivno površino  $A_{eff}=70\mu m^2$  in lomnim količnikom  $n_1=1.463$ ? Vir je linearno-polariziran laser z valovno dolžino  $\lambda_0=1550nm$ . ( $Z_0=377\Omega$ )

- (A) 1W (B) 0.5W (C) 0.25W (D) 124mW

3. Nelinearni lomni količnik stekla (brez vgrajenega enosmernega električnega) polja razvijemo v potenčno vrsto  $n=n_0+n_1\cdot E+n_2\cdot E^2+n_3\cdot E^3+\dots$ . Največji člen vrste je:

- (A) Kerrov pojav  $n_2\cdot E^2$  (B) Pockelsov pojav  $n_1\cdot E$  (C) kubni pojav  $n_3\cdot E^3$  (D) konstantni člen  $n_0$

4. Disperzijsko premaknjeno vlakno (DSF) G.653 ima slabljenje  $\alpha/l=0.5dB/km$  in efektivno površino jedra  $A_{eff}=30\mu m^2$ . Kolikšna je efektivna dolžina  $l_{eff}=?$  zelo dolgega vlakna  $l \gg l_{eff}$  za nelinearne pojave, če smemo zanemariti učinek barvne razpršitve?

- (A) 8.7km (B) 15.3km (C) 21.7km (D) 54.3km

5. Po svetlobnem vlaknu peljemo dva močna signala z valovnimi dolžinama  $\lambda_1=1550.3nm$  in  $\lambda_2=1550.6nm$  v praznem prostoru. Motnje zaradi nelinearnosti pričakujemo na:

- (A) 1550.0nm in 1550.9nm (B) 1550.4nm in 1550.5nm (C) 1550.2nm in 1550.4nm (D) samo na 1550.45nm

6. Pretrgano plastično vlakno s stopničastim lomnim likom in premerom jedra  $2a=2mm$  skušamo pokrpati s kosom podobnega plastičnega vlakna z enako numerično aperturo  $NA=0.47$  ampak manjšim premerom jedra  $2a'=1mm$ . Kolikšno dodatno slabljenje pričakujemo?

- (A) 2dB (B) 3dB (C) 4dB (D) 6dB

7. Dogajanje v svetlobnem vlaknu z dvema enakima jedroma opišemo s sodim (sofaznim) rodrom in lihim (protifaznim) rodrom valovanja. Če osamljeno jedro omogoča razširjanje samo osnovnega rodu  $HE_{11}$ , za fazni konstanti rodov sklopljenih jeder velja:

- (A)  $\beta_{SODI} < \beta_{LIHI}$  (B)  $\beta_{SODI} = \beta_{LIHI}$  (C)  $\beta_{SODI} > \beta_{LIHI}$  (D)  $\beta_{SODI} = -\beta_{LIHI}$

8. Sklopnik iz enorodovnih vlaken dolžine  $l=20mm$  deli vpadno moč svetlobe z valovno dolžino  $\lambda_0=1310nm$  v razmerju 25/75. Kolikšna je utripna dolžina  $\Lambda=?$  opisanega sklopnika pri nazivni valovni dolžini?

- (A) 4cm (B) 12cm (C) 8cm (D) 20cm

9. Kolikšna je vzdolžna koherenčna dolžina  $d=?$  polprevodniškega DFB laserja, ki deluje na osrednji valovni dolžini  $\lambda_0=1560nm$  v praznem prostoru? Širina spektralne črte znaša  $\Delta f=14MHz$  v frekvenčnem prostoru. ( $c_0=3\cdot 10^8m/s$ )

- (A) 3m (B) 7m (C) 14m (D) 21m

10. Konec enorodovnega vlakna G.652 s premerom jedra  $2a=9\mu m$  pravilno odrežemo pod pravim kotom. Kolikšna je prečna koherenčna dolžina  $d=?$  svetlobe, ki izhaja iz odrezanega konca vlakna, če v vlaknu vzbujamo samo osnovni rod  $HE_{11}$  frekvenca  $f=230THz$ ?

- (A)  $\infty$  (B)  $9\mu m$  (C)  $1.3\mu m$  (D) 0

11. Listek sljude ima lomna količnika  $n_x=1.596$  za linearno polarizacijo v smeri  $\vec{E}=\vec{I}_x\cdot E_x$  in  $n_y=1.601$  za linearno polarizacijo v smeri  $\vec{E}=\vec{I}_y\cdot E_y$ . Kolikšna mora biti debelina listka  $d=?$ , da se obnaša kot četrtvalovna ploščica za žarek HeNe laserja  $\lambda_0=633nm$ ? ( $\vec{k}=\vec{I}_z\cdot k$ )

- (A) 99nm (B)  $32\mu m$  (C) 1.6mm (D)  $4.2\mu m$

12. Valovno dolžino ničelne barvne razpršitve  $D(\lambda)=0ps/nm.km$  pomaknemo proti daljšim dolžinam z naslednjim postopkom pri načrtovanju in izdelavi svetlobnega vlakna:

- (A) eliptičnim jedrom (B) manjšo NA (C) tanjšim jedrom (D) sukanjem preforma

Priimek in ime:

Elektronski naslov:

#### 4. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 18.05.2017

1. Radioteleskop sprejema na frekvenci atomarnega vodika  $f=1420.406\text{MHz}$ . Kolikšna je energija fotona  $w=?$ , ki jo pri pripadajočem energijskem prehodu izseva atom vodika? ( $c_0=3\cdot 10^8\text{m/s}$ ,  $h=6.626\cdot 10^{-34}\text{Js}$ ,  $q_e=-1.6\cdot 10^{-19}\text{As}$ )

- (A) 21.1cm (B) 21.1keV (C) 9.41pJ (D) 5.88 $\mu\text{eV}$

2. Fotopomnoževalka je vakuumna cev, ki vsebuje fotokatodo, 8 množilnih elektrod in anodo. Učinkovito množenje elektronov dobimo v primeru, ko uporabni delilnik za napajanje cevi priključimo na vir napetosti:

- (A) 1000V (B) 100V (C) 10V (D) 1V

3. Z optičnim spektralnim analizatorjem, ki vsebuje uklonsko mrežico velikosti  $d=1\text{cm}$ , NE MOREMO razločiti vzdolžnih rodov nihanja naslednjega svetlobnega izvora:

- (A) nemoduliran FP laser 1.3 $\mu\text{m}$  (B) rdeč HeNe laser 632.8nm (C) nemoduliran DFB laser 1.55 $\mu\text{m}$  (D) nemoduliran FP laser 980nm

4. Polprevodniški laser ima pragovni tok  $I_{\text{TH}}=15\text{mA}$ . Pri toku  $I_1=20\text{mA}$  dobimo izhodno moč  $P_1=1.5\text{mW}$  sklopljeno v jedro enorodovnega vlakna. Kolikšno izhodno moč  $P_2=?$  pričakujemo pri toku  $I_2=30\text{mA}$ , če zadržujemo čip laserja na konstantni temperaturi  $T=30^\circ\text{C}$ ?

- (A) 1.5mW (B) 3.0mW (C) 4.5mW (D) 6mW

5. Kolikšna je dolžina čipa polprevodniškega FP laserja, ki izkorišča odboja na mejah polprevodnik  $n_1=3.7$  / zrak  $n_0=1$ ? Ojačanje na enoto dolžine vgrajenega valovoda v čipu laserja znaša  $G/l=10^4\text{dB/m}$  pri nazivnem delovnem toku  $I=30\text{mA}$  skozi PN spoj.

- (A) 241 $\mu\text{m}$  (B) 481 $\mu\text{m}$  (C) 963 $\mu\text{m}$  (D) 1.93mm

6. Z ohlajevanjem čipa polprevodniškega laserja s porazdeljeno povratno vezavo DFB lahko frekvenco izhodnega signala v pasu  $f_0=194\text{THz}$  spremenimo:

- (A) zvišamo za  $\Delta f=3\text{THz}$  (B) znižamo za  $\Delta f=5\text{THz}$  (C) zvišamo za  $\Delta f=200\text{GHz}$  (D) znižamo za  $\Delta f=400\text{GHz}$

7. Polprevodniški laser s Fabry-Perot-ovim rezonatorjem nima višjih prečnih rodov. Vzdolžna koherenčna dolžina proizvedene svetlobe znaša  $d=100\mu\text{m}$  pri osrednji valovni dolžini  $\lambda=1310\text{nm}$ . Kolikšna je širina spektra  $\Delta\lambda=?$  izhodne laserske svetlobe?

- (A) 17nm (B) 23nm (C) 6.7 $\mu\text{m}$  (D) 46nm

8. Kolikšna je največja amplituda električne poljske jakosti  $E=?$  v valovodu polprevodniškega optičnega ojačevalnika širine  $w=5\mu\text{m}$  in višine  $h=1\mu\text{m}$  pri izhodni moči  $P=+13\text{dBm}$ ? Lomni količnik sredice valovoda znaša  $n=3.7$ . ( $c_0=3\cdot 10^8\text{m/s}$ ,  $Z_0=377\Omega$ )

- (A) 1.74MV/m (B) 3.47MV/m (C) 451kV/m (D) 903kV/m

9. Polprevodniški elektro-absorpcijski modulator (EAM) za valovno dolžino  $\lambda=1550\text{nm}$  s heterostrukturo MQW (InGaAsP) ima naslednje slabe lastnosti (obkrožite NAPAČNO!):

- (A) počasen odziv  $\tau\sim 10\text{ns}$  (B) odvisnost od valovne dolžine  $\lambda$  (C) nelinearen odziv modulacije (D) odvisnost od temperature

10. Akustooptična celica odklanja žarek argonskega laserja  $\lambda=514\text{nm}$  s pomočjo Braggovega odboja. Hitrost zvočnega valovanja v steklu znaša  $v=4.5\text{km/s}$ . Kolikšna je frekvenca krmiljenja modulatorja  $f=?$  za odklon žarka  $\alpha=0.7^\circ$ ?

- (A) 11GHz (B) 3.4MHz (C) 17MHz (D) 107MHz

11. V pasivnem optičnem omrežju razdelimo signal na  $N=128$  uporabnikov z drevesom vlakenskih sklopnikov 50/50 in pri tem izgubimo  $a=-23\text{dB}$  signala. Kolikšno je vstavitevno slabljenje posameznega delilnika 50/50  $a_0=?$  vključno z zvari?

- (A) 3.01dB (B) 3.29dB (C) 3.50dB (D) 3.92dB

12. Svetlobni modulator je izdelan kot Mach-Zehnder-jev interferometer na podlagi  $\text{LiNbO}_3$  in dosega občutljivost  $U_{\text{MTE}}=6\text{V}$  pri  $\lambda=1.55\mu\text{m}$ . Pri kateri krmilni napetosti  $U=?$  upade izhodna svetlobna moč (TE) na 25% maksimalne vrednosti  $P=0.25\cdot P_{\text{MAX}}$ ?

- (A) 2.0V (B) 3.0V (C) 4.0V (D) 5.0V

Priimek in ime:

Elektronski naslov:



## 5. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 08.06.2017

1. Heterostrukturna InGaAs/InP fotodioda doseže kvantni izkoristek  $\eta=80\%$  pri valovni dolžini  $\lambda=1550\text{nm}$ . Kolikšen kvantni izkoristek iste fotodiode  $\eta'=?$  pričakujemo pri valovni dolžini  $\lambda'=550\text{nm}$ ? ( $h=6.626\cdot 10^{-34}\text{Js}$ ,  $c_0=3\cdot 10^8\text{m/s}$ ,  $Q_e=-1.6\cdot 10^{-19}\text{As}$ ,  $\Delta W_{\text{InP}}=1.34\text{eV}$ )

- (A) 0% (B) 28% (C) 48% (D) 80%

2. PIN-FET modul ima fotodiodo z odzivnostjo  $I/P=0.7\text{A/W}$  in transimpedanco  $R_t=2.85\text{k}\Omega$ . Kolikšna je povprečna optična moč  $P_o=?$  (50%enica, 50%ničel in visoko ugasno razmerje), da ojačevalnik modula pride v nasičenje pri izhodni napetosti  $U_{\text{VRH-VRH}}=500\text{mV}$ ?

- (A) -12dBm (B) -9dBm (C) -6dBm (D) -3dBm

3. Kolikšna je odzivnost  $I/P=?$  InGaAs/InGaAsP plazovne fotodiode, ki ima kvantni izkoristek  $\eta=60\%$  pri valovni dolžini  $\lambda=1480\text{nm}$  in doseže najboljše razmerje signal/šum pri faktorju množenja  $M=20$ ? ( $h=6.626\cdot 10^{-34}\text{Js}$ ,  $c_0=3\cdot 10^8\text{m/s}$ ,  $Q_e=-1.6\cdot 10^{-19}\text{As}$ )

- (A) 0.72A/W (B) 23.8A/W (C) 1.2A/W (D) 14.3A/W

4. kateri od navedenih pogojev NI potreben, da interferenco signala in lokalnega oscilatorja zaznamo kot električni signal na priključkih fotodiode?

- (A) majhna razlika svetlobnih frekvenc (B) isti rod valovanja (C) majhna razlika svetlobnih moči (D) ista polarizacija

5. Lokalni oscilator koherentnega sprejemnika uglašujemo v pasu  $\lambda_0\approx 1.55\mu\text{m}$ . Z nastavljanjem toka skozi DFB laser dosežemo premik valovne dolžine  $\Delta\lambda=0.5\text{nm}$ . v kolikšnem frekvenčnem pasu  $\Delta f=?$  lahko uglašujemo sprejemnik? ( $c_0=3\cdot 10^8\text{m/s}$ )

- (A) 5THz (B) 62GHz (C) 6GHz (D) 500GHz

6. Ramanovo sipanje svetlobe opazimo v enorodovnem svetlobnem vlakno kot dodatno svetlobo, ki se siplje v naslednji smeri glede na signal, ki potuje po vlaknu:

- (A) samo v smeri nazaj (B) naprej in nazaj po vlaknu (C) bočno na smer vlakna (D) samo v smeri naprej

7. Optično zvezo preizkušamo z zaporedjem maksimalne dolžine, ki ga proizvajajo dvojiški pomikalni register z linearno povratno vezavo. Pomikalni register ima 20 celic D-flip-flop. Povratna vezava gre iz 3. in 20. celice EXOR na vhod. Dolžina zaporedja je:

- (A) 19 (B) 1023 (C) 131071 (D) 1048575

8. v laserjih na osnovi trdnih snovi (oksidna in fluoridna stekla, različni kristali) imajo zelo ugodne lastnosti, dolgo življenjsko dobo vzbujenega stanja, 3+ ioni naslednje skupine elementov v periodičnem sistemu:

- (A) alkalije (B) aktinidi (C) halogeni (D) lantanidi

9. sodobni svetlobni  $\text{Er}^{3+}$  ojačevalnik vsebuje aktivno vlakno, ki ima sredico dodatno dopirano z  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Slednja omogoča večjo gostoto aktivnih  $\text{Er}^{3+}$  ionov. Dolžina aktivnega vlakna v takšnem ojačevalniku znaša:

- (A) 400 $\mu\text{m}$  (B) 30cm (C) 20m (D) 10km

10. UTP kabel za Ethernet vsebuje štiri parice. Če sta v kablju prekinjeni obe žici parice, ki naj bi bili povezani na priključka 7 in 8 vtikača RJ45, s takšnim kabljom ne bo delovalo naslednje:

- (A) 100Mbps in 1Gbps (B) kakršnakoli zveza (C) 1Gbps in PoE (D) samo 10Mbps

11. Ethernet zveza po UTP kablju se po izvedbi postopkov auto-MDIX in auto-negotiation nastavi na hitrost 100Mbps v načinu full-duplex. Ko po takšnem kablju ni aktivnega prometa podatkovnih okvirjev, je na kablju prisoten naslednji signal:

- (A) znaki idle (B) samo FLP (C) okvirji pause (D) brez signala

12. Ethernet stikalo je opremljeno z vtičnicami RJ45 in SFP modulom za 1Gbps full-duplex oddajo in sprejem po dveh vlaknih. Modulacija optike je preprosta ON/OFF. Očesni vzorec optičnega signala ima periodo:

- (A) 800ps (B) 1000ps (C) 1250ps (D) 500ps

Priimek in ime:

Elektronski naslov:

# 1. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 08.03.2018

1. Zaradi staranja gradnikov upade moč oddajnika na polovico  $P'=P/2$ . Vsi ostali podatki zveze ostanejo nespremenjeni: pasovna širina, slabljenje prenosne poti, spektralna gostota šuma sprejemnika. Zmogljivost zveze  $C'$  [bit/s] upade na:

- (A)  $C'=C/2$  (B)  $C'>C/2$  (C)  $C'<C/2$  (D)  $C'=C$

2. Ar/Ar+ laser oddaja žarek zelene svetlobe, ki ga v praznem prostoru opisuje valovni vektor  $\vec{k}=(\vec{I}_x+\vec{I}_y+\vec{I}_z)\cdot 7.06\cdot 10^6$ rd/m. Kolikšna je valovna dolžina laserske svetlobe  $\lambda=?$  v praznem prostoru  $c_0\approx 3\cdot 10^8$ m/s,  $Z_0\approx 377\Omega$ ?

- (A) 890nm (B) 629nm (C) 514nm (D) 297nm

3. Z izbiro svetlobne hitrosti  $c_0=299792458$ m/s v praznem prostoru ( $\epsilon_0$  in  $\mu_0$ ) je določena velikost naslednje merske enote v mednarodnem sistemu merskih enot MKSA (meter, kilogram, sekunda, amper):

- (A) m (meter) (B) kg (kilogram) (C) s (sekunda) (D) A (amper)

4. Za komunikacijo na velike razdalje uporabimo kovinski valovod krožnega prereza, bakreno cev iz katere izčrpamo zrak za čim nižje slabljenje zraka. V valovodu krožnega prereza ima pri dovolj visoki frekvenci najnižje slabljenje naslednji valovodni rod:

- (A)  $TE_{11}$  (B)  $TM_{01}$  (C)  $TM_{11}$  (D)  $TE_{01}$

5. kateri fizikalni pojav ima največji doprinos slabljenju svetlobnega vlakna iz kremenovega stekla pri frekvenci  $f=170$ THz? ( $c_0\approx 3\cdot 10^8$ m/s)

- (A) UV rezonance  $SiO_2$  stekla (B) Rayleigh-ovo sipanje (C) IR rezonance  $SiO_2$  stekla (D) rezonance nečistoč

6. Čip polprevodniškega laserja ima lomni količnik  $n=3.7$  za svetlobo laserja frekvence  $f=230$ THz. Pod kakšnim kotom  $\theta=?$  mora vpadati žarek na stranico čipa, da ne pride do odboja polarizirane svetlobe laserja pri izhodu iz čipa v zrak?

- (A)  $15.1^\circ$  (B)  $4.2^\circ$  (C)  $27.5^\circ$  (D)  $30.0^\circ$

7. Okrasni bazenček globine  $h=0.5$ m ima na dnu podvodno svetilko. Kolikšna je površina osvetljenega kroga  $A=?$  na vodni gladini, kjer svetilko vidimo iz zraka  $n_{zrak}=1$ ? Lomni količnik vode znaša približno  $n_{voda}=1.333$  za vidno svetlobo.

- (A)  $0.444m^2$  (B)  $2.02m^2$  (C)  $0.888m^2$  (D)  $1.01m^2$

8. Zaščitno kupolo za satelitsko anteno, ki deluje na frekvenci  $f=19.6$ GHz, izdelamo iz smole, ojačane s steklenimi vlakni z relativno dielektričnostjo  $\epsilon_r=4.5$ . Kolikšna naj bo debelina kupole  $d=?$ , da je neželjen odboj satelitskega signala najmanjši? ( $c_0\approx 3\cdot 10^8$ m/s)

- (A) 1.7mm (B) 3.6mm (C) 7.5mm (D) 16mm

9. Šibko-lomno svetlobno vlakno na osnovi kremenovega stekla (lomni količnik  $SiO_2$  je v velikostnem razredu  $n\approx 1.46$ ) dosega numerično aperturo  $NA=0.2$ . Kolikšna je relativna razlika lomnih količnikov  $\Delta=?$  šibko-lomnega vlakna?

- (A) 0.0094 (B) 0.0685 (C) 0.0047 (D) 0.0343

10. Kolikšen delež svetlobe  $\eta=?$  zelene svetleče diode  $\lambda_0=550$ nm se sklopi v jedro plastičnega optičnega vlakna z numerično aperturo  $NA=0.47$ ? Čip svetleče diode je dosti manjši od premera jedra vlakna in seva v vse smeri enako. Odboje prepreči AR sloj.

- (A) 12% (B) 6% (C) 23% (D) 3%

11. Pri iskanju Brewsterjevega kota ne dobimo ostre ničle na površini trdne snovi, pač pa samo minimum odboja polarizirane svetlobe nazaj v zrak. Kaj NI vzrok tega pojava?

- (A) vir ni TM (HP) polariziran (B) površina snovi ni vzporedna  $\vec{E}$  (C) snov ima  $n_{snov}<n_{zrak}$  (D) snov ima izgube  $\gamma\neq 0$

12. Sevanje Sonca dosega na površju Zemlje električno poljsko jakost  $|\vec{E}_{eff}|=614V_{eff}/m$ . Kolikšni gostoti pretoka moči  $|S|=?$  ustreza navedena električna poljska jakost v praznem prostoru? ( $c_0\approx 3\cdot 10^8$ m/s,  $Z_0\approx 377\Omega$ )

- (A)  $10kw/m^2$  (B)  $0.1kw/m^2$  (C)  $10W/m^2$  (D)  $1kw/m^2$

Priimek in ime:

Elektronski naslov:

## 2. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 29.03.2018

1. Svetloba izstopa iz pravilno odrezanega konca optičnega vlakna. Na oddaljenosti  $d=10\text{cm}$  osvetli krog premera  $2r=2.4\text{cm}$  na zaslonu. Kolikšna je numerična apertura  $NA=?$  uporabljenega vlakna, če privzamemo lomni količnik zraka  $n_z \approx 1$ ?

- (A) 0.07 (B) 0.12 (C) 0.16 (D) 0.24

2. Kolikšna sme biti največja debelina  $d=?$  steklene opne z lomnim količnikom  $n=1.5$ , da se skupaj z okoliškim zrakom ( $\mu_0, \epsilon_0$ ) obnaša kot enorodovni planarni valovod za rdečo svetlobo HeNe laserja  $f=474\text{THz}$ ? ( $c_0=3 \cdot 10^8\text{m/s}$ )

- (A) 283nm (B) 566nm (C) 1.13 $\mu\text{m}$  (D) 2.26 $\mu\text{m}$

3. Tehnologija "rod-in-tube" vlečenja vlakna iz preforma ima v primerjavi z običajnim vlečenjem vlakna naslednjo prednost:

- (A) nižje slabljenje (B) večja dolžina vlečenega vlakna (C) nižja barvna razpršitev D (D) nižji PMD (dvošlomnost)

4. Mnogorodovno svetlobno vlakno s stopničastim lomnim likom ima lomni količnik jedra  $n_1=1.47$  in lomni količnik obloge  $n_2=1.46$ . Kolikšna je zmogljivost zveze  $C=?$  pri dolžini  $l=6.8\text{km}$ , če premer jedra omogoča veliko rodov in zahtevamo razširitev  $\Delta t < T/3$ ?

- (A) 1.5Mbit/s (B) 5Mbit/s (C) 15Mbit/s (D) 50Mbit/s

5. Kolikšen premer  $2a=?$  naj ima svetlobno vlakno z numerično odprtino  $NA=0.2$ , ki naj bo enorodovno za zeleno svetlobo Ar/Ar+ laserja  $\lambda=514\text{nm}$ ? Premer jedra izberemo tik ob meji pojava višjih rodov, da je krivinsko slabljenje najmanjše.

- (A) 1 $\mu\text{m}$  (B) 2 $\mu\text{m}$  (C) 4 $\mu\text{m}$  (D) 8 $\mu\text{m}$

6. Sodobna enorodovna svetlobna vlakna, izdelana danes po standardu ITU G.652, se bistveno razlikujejo od vlaken, izdelanih pred tremi desetletji po istem okvirnem standardu v naslednji lastnosti:

- (A) nižji koeficient PMD (B) nižje slabljenje (C) nižja raven nečistoč v jedru (D) večje jedro vlakna

7. Svetlobna vlakna na osnovi kremenovega stekla spajamo z varjenjem z električnim lokom. Pri spajanju enorodovnih vlaken nastavimo čas trajanja  $t=?$  električnega loka na naslednjo okvirno vrednost:

- (A) 3min (B) 3ms (C) 0.1s (D) 2s

8. Kolikšno vstavitevno slabljenje  $a=?$  pričakujemo za pravilen spoj dveh FC-PC konektorjev med dvema povsem enakima enorodovnima vlaknoma G.652, če privzamemo, da so spojka in oba konektorja nepoškodovani in skrbno očiščeni.

- (A) 0.5dB (B) 2dB (C) 0.1dB (D) 10dB

9. V položenem kablju dolžine  $l=50\text{km}$  izmerimo povprečno vrednost polarizacijske rodovne razpršitve  $\Delta t=20\text{ps}$ . Kolikšen je koeficient polarizacijske rodovne razpršitve  $D_{\text{PMD}}=?$  za navedeni kabl?

- (A) 0.4ps/ $\sqrt{\text{km}}$  (B) 2.8ps/km (C) 0.4ps/km (D) 2.8ps/ $\sqrt{\text{km}}$

10. Kateri od navedenih fizikalnih pojavov ima največji učinek na barvno razpršitev enorodovnega vlakna G.652 na osnovi kremenovega stekla pri  $f=200\text{THz}$ ? ( $c_0=3 \cdot 10^8\text{m/s}$ )

- (A) IR rezonance stekla  $\text{SiO}_2$  (B) Rayleigh-ovo sipanje v steklu (C) UV rezonance stekla  $\text{SiO}_2$  (D) valovodni rod  $\text{HE}_{11}$

11. Zveza dolžine  $l=40\text{km}$  uporablja kabl z enorodovnim SI vlaknom, ki ima koeficient barvne razpršitve  $D=16\text{ps/nm.km}$ . Barvno razpršitev odstranimo s kolutom DCF vlakna, ki ima barvno razpršitev  $D'=-80\text{ps/nm.km}$ . Kolikšno dolžino DCF vlakna  $l'=?$  potrebujemo?

- (A) 3km (B) 4km (C) 6km (D) 8km

12. Vlakno G.652 dolžine  $l=60\text{km}$  uporabljamo pri frekvenci  $f=230\text{THz}$ , kjer je koeficient barvne razpršitve enak nič  $D(\lambda)=0\text{ps/nm.km}$ . Kakšno vrednost doseže skupinska zakasnitev  $t_g=?$  pri navedeni frekvenci?

- (A)  $t_g=0$  (B)  $t_g \rightarrow \infty$  (C)  $t_g=t_{g\text{MIN}}$  (D)  $t_g=t_{g\text{MAX}}$

Priimek in ime:

Elektronski naslov:

### 3. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 19.04.2018

1. Disperzijsko premaknjeno vlakno (DSF) G.653 doseže ničelno barvno razpršitev  $D=0$  ps/nm.km okoli valovne dolžine  $\lambda_0=1550$  nm. Kolikšna je površina jedra vlakna G.653 v primerjavi s površino jedra običajnega enorodovnega vlakna G.652?

- (A)  $A_{653} < A_{652}$  (B)  $A_{653} \approx A_{652}$  (C)  $A_{653} > A_{652}$  (D)  $A_{653} \rightarrow 0$

2. V zvezi z enorodovnim svetlobnim vlaknom G.652 optični reflektometer v časovnem prostoru (OTDR) zazna najmočnejši odboj svetlobe od naslednjega gradnika/pojava:

- (A) spoj dveh FC-PC konektorjev (B) Rayleighovo sipanje svetlobe (C) dober zvar dveh vlaken (D) odboj na odprtem koncu

3. Standardno enorodovno vlakno G.652 ima slabljenje  $\alpha/l=0.35$  dB/km pri valovni dolžini  $\lambda_0=1310$  nm. Kolikšna je efektivna dolžina  $l_{eff}=?$  zelo dolgega vlakna  $l \gg l_{eff}$  za nelinearne pojave, če smemo zanemariti učinek barvne razpršitve  $D \rightarrow 0$  pri  $\lambda_0=1310$  nm?

- (A) 3.5 km (B) 12.4 km (C) 21.7 km (D) 38.0 km

4. Območje valovnih dolžin, ki jih zazna vakuumna cev infrardečega slikovnega pretvornika, je odvisno od naslednje lastnosti oziroma veličine:

- (A) fosforja zaslona anode (B) napetosti med elektrodama  $U_{AK}$  (C) snovi foto-katode (D) anodnega toka  $I_A$

5. Kolikšna je valovno-dolžinska pasovna širina  $\Delta\lambda=?$  (v praznem prostoru) enorodovnega polprevodniškega DFB laserja, ki ima pri osrednji frekvenci  $f=194$  THz frekvenčno pasovno širino  $\Delta f=20$  MHz? ( $c_0=3 \cdot 10^8$  m/s)

- (A) 1.6 nm (B) 0.16 nm (C) 1.6 pm (D) 0.16 pm

6. v WDM sistemu s kanalskim razmakom  $\Delta f=100$  GHz barvna razpršitev +NZDSF vlakna daje efektivno dolžino  $l_{eff}=400$  m za pojav štiri-valovnega mešanja dveh sosednjih kanalov. Kolikšna bi bila efektivna dolžina  $l_{eff}'=?$  pri polovičnem razmaku  $\Delta f=50$  GHz?

- (A) 1.6 km (B) 800 m (C) 200 m (D) 100 m

7. Na zaslonu merilnika OTDR vidimo dva odboja, ki sta med sabo oddaljena za  $\Delta t=20$   $\mu$ s na časovni skali. Kolikšni razdalji  $\Delta l=?$  ustreza navedena razlika v času prihoda obeh odbojev od dveh konektorskih spojev na steklenem vlaknu? ( $c_0=3 \cdot 10^8$  m/s,  $n \approx 1.5$ )

- (A) 1 km (B) 2 km (C) 1.5 km (D) 3 km

8. Pred varjenjem moramo oba konca enorodovnega steklenega vlakna G.652 pravilno odrezati. Kakovost reza ocenimo oziroma izmerimo z naslednjim pripomočkom:

- (A) vlakenskim merilnikom OTDR (B) vlakenskim merilnikom OFDR (C) optičnim mikroskopom (D) elektronskim mikroskopom

9. Barvna razpršitev vlakna G.652 omejuje domet zveze zmogljivosti  $C=10$  Gbit/s na  $l=64$  km s kakovostnim oddajnikom z zunanjim ON/OFF modulatorjem. Kolikšen je domet  $l'=?$  zveze zmogljivosti  $C'=40$  Gbit/s z istim oddajnikom po enakem vlaknu?

- (A) 32 km (B) 16 km (C) 4 km (D) 1 km

10. Konec enorodovnega vlakna G.652 s premerom jedra  $2a=9$   $\mu$ m pravilno odrežemo pod pravim kotom. Kolikšna je prečna koherenčna dolžina  $d=?$  svetlobe, ki izhaja iz odrezanega konca vlakna, če v vlaknu vzbujamo samo osnovni rod  $HE_{11}$  frekvence  $f=194$  THz?

- (A)  $\infty$  (B)  $9 \mu$ m (C)  $1.55 \mu$ m (D) 0

11. Brillouinovo sipanje svetlobe je nelinearen pojav v enorodovnem vlaknu na osnovi kremenovega stekla ( $SiO_2$ ) z naslednjimi lastnostmi (obkrožite NAPAČEN odgovor):

- (A) se svetloba siplje samo nazaj (B) ima visoko pragovno moč  $>1$  W (C) spreminja frekvenco (D) je izredno ozkopasovno

12. Žarek nepolarizirane sončne svetlobe vpada na steklo pokončnega okna natančno pod Brewsterjevim kotom  $\theta_B$ . Kakšno polarizacijo ima odbiti žarek od okenskega stekla?

- (A) pokončno polarizacijo (B) ni odboja od okna (C) krožno polarizacijo (D) vodoravno polarizacijo

Priimek in ime:

Elektronski naslov:

#### 4. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 17.05.2018

1. Polprevodniški laser daje pri toku  $I_1=15\text{mA}$  izhodno moč  $P_1=1\text{mW}$ . Izhodna moč laserja se poveča na  $P_2=3\text{mW}$  pri toku  $I_2=25\text{mA}$ . Kolikšen je pragovni tok laserja  $I_{\text{TH}}=?$ , če Peltier-ova toplotna črpalka zadržuje temperaturo čipa laserja na  $T=25^\circ\text{C}$ ?

- (A) 10mA (B) 15mA (C) 20mA (D) 25mA

2. Polprevodniški laser niha na osrednji valovni dolžini  $\lambda_0=1.31\mu\text{m}$  brez višjih prečnih rodov. Širina spektra znaša  $\Delta\lambda=3\text{nm}$ . Kolikšna je prečna koherenčna dolžina svetlobe  $d_{\text{prečna}}=?$ , ki izstopa iz odprtine laserja  $h=2\mu\text{m}$  in  $w=10\mu\text{m}$ ? ( $c_0=3\cdot 10^8\text{m/s}$ )

- (A) 3nm (B)  $10\mu\text{m}$  (C)  $572\mu\text{m}$  (D)  $\infty$

3. Svetleča dioda proizvaja modro svetlobno z valovno dolžino  $\lambda_0=450\text{nm}$  v praznem prostoru. Kolikšna je energija  $w=?$  posameznega fotona opisane modre svetlobe? ( $c_0=3\cdot 10^8\text{m/s}$ ,  $h=6.626\cdot 10^{-34}\text{Js}$ ,  $q_e=-1.6\cdot 10^{-19}\text{As}$ )

- (A) 3.40eV (B) 2.76eV (C)  $3.87\cdot 10^{-19}\text{J}$  (D)  $4.41\cdot 10^{-19}\text{W}$

4. Z optičnim spektralnim analizatorjem s Fabry-Perot-ovim rezonatorjem s  $\text{FSR}=10\text{GHz}$  lahko izmerimo spekter naslednjega vira svetlobe:

- (A) polprevodniški FP laser (B) naravna svetloba Sonca (C) polprevodniški DFB laser (D) svetleča dioda LED

5. Plinski laserji z razredčenimi plini  $p\ll 1\text{bar}$  imajo naslednje električne oziroma optične lastnosti (obkrožite NAPAČEN odgovor):

- (A) slab energijski izkoristek (B) majhno vzdolžno koherenčno dolžino (C) nizko ojačanje aktivne snovi (D) napajanje visoka napetost

6. Akusto-optični modulator izkorišča Raman-Nath-ov uklon svetlobe. Uklonjena žarka prvega reda se odklonita za kot  $\alpha=\pm 0.2^\circ$ . Kolikšna je valovna dolžina zvočnega valovanja  $\Lambda=?$  za zeleno svetlobo argonskega laserja  $\lambda=514\text{nm}$ ?

- (A)  $147\mu\text{m}$  (B)  $295\mu\text{m}$  (C)  $589\mu\text{m}$  (D)  $1.47\text{mm}$

7. Optično vlakno dolžine  $l=50\text{km}$  krmilimo z dvema črtama na razdalji  $\Delta f=100\text{GHz}$ . Koefficient barvne razpršitve vlakna znaša  $D=17\text{ps/nm.km}$  pri osrednji frekvenci. Za koliko  $\Delta a[\text{dB}]=?$  narastejo produkti FWM (IMD), če razmak črt razpolovimo na  $\Delta f'=50\text{GHz}$ ?

- (A) +3dB (B) +6dB (C) +12dB (D) +24dB

8. Optična zveza ima zmogljivost  $10\text{Gbit/s}$  s preprosto ON/OFF modulacijo brez vnaprejšnjega popraviljanja napak FEC. Uporabnik zahteva pogostnost napak nižjo od  $\text{BER}<10^{-14}$ . Koliko časa potrebujemo za meritev BER, da zaznamo vsaj eno napako?

- (A) 10s (B) 2min (C) 17min (D) 2.8h

9. Svetlobni modulator je izdelan kot Mach-Zehnder-jev interferometer na podlagi  $\text{LiNbO}_3$  in dosega občutljivost  $U_{\text{rTE}}=6\text{V}$  pri  $\lambda=1.55\mu\text{m}$ . Pri kateri krmilni napetosti  $U=?$  upade izhodna svetlobna moč (TE) na 90% maksimalne vrednosti  $P=0.9\cdot P_{\text{MAX}}$ ?

- (A) 1.23V (B) 4.77V (C) 6.00V (D) 7.23V

10. Polprevodniški laser s Fabry-Perot-ovim rezonatorjem je izdelan za osrednjo valovno dolžino  $\lambda=1310\text{nm}$ . Pragovni tok laserja znaša  $I_{\text{TH}}=3\text{mA}$  na sobni temperaturi. Kolikšen je padec napetosti  $U=?$  na laserski diodi pri krmiljenju s pragovnim tokom?

- (A) 0.2V (B) 0.5V (C) 1.2V (D) 2.3V

11. V pasivnem optičnem omrežju razdelimo signal na  $N=64$  uporabnikov z drevesom vlakenskih sklopnikov 50/50 in pri tem izgubimo  $a=-23\text{dB}$  signala. Kolikšno je vstavitevno slabljenje posameznega delilnika 50/50  $a_0=?$  vključno z zvari?

- (A) 3.01dB (B) 3.29dB (C) 3.50dB (D) 3.83dB

12. Barvna razpršitev in PMD omejujeta hitrost prenosa po svetlobnem vlaknu na  $R=15\cdot 10^9$  znakov/s. Kolikšna je skupna zmogljivost zveze  $C=?$ , ki uporablja znake iz nabora QAM16 na obeh med sabo neodvisnih polarizacijah?

- (A) 30Gbit/s (B) 60Gbit/s (C) 120Gbit/s (D) 240Gbit/s

Priimek in ime:

Elektronski naslov:

## 5. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 07.06.2018

1. Brillouinovo sipanje proizvaja signal in ojačanje v smeri nazaj v enorodovnem vlaknu, ki ima v primeru ozkopasovnega izvornega signal premaknjeno frekvenco v naslednji smeri:

- (A) -13THz dol (B) -10GHz dol (C) +10GHz gor (D) +13THz gor

2. Heterostrukturna InGaAs/InP fotodiode doseže kvantni izkoristek  $\eta=80\%$  pri valovni dolžini  $\lambda=1550\text{nm}$ . Kolikšen kvantni izkoristek iste fotodiode  $\eta'=?$  pričakujemo pri valovni dolžini  $\lambda'=1310\text{nm}$ ? ( $h=6.626\cdot 10^{-34}\text{Js}$ ,  $c_0=3\cdot 10^8\text{m/s}$ ,  $Q_e=-1.6\cdot 10^{-19}\text{As}$ ,  $\Delta W_{\text{InP}}=1.34\text{eV}$ )

- (A) 0% (B) 20% (C) 75% (D) 95%

3. Ethernet okvirji imajo pri prenosu s hitrostjo  $C=100\text{Mbit/s}$  po prepleteni parici (kablju UTP) vgrajeno naslednjo zaščito prenosa podatkov:

- (A) Reed-Solomon dvostopenjski FEC (B) ARQ ponavljanje izgubljenih okvirjev (C) nobene zaščite podatkov (D) 32-bitni CRC (4byte)

4. Polprevodnik selen ima prepovedan energijski pas  $\Delta W_{\text{Se}}=1.95\text{eV}$ . Kolikšna je največja valovna dolžina  $\lambda_{\text{MAX}}=?$  svetlobe, ki lahko vpliva na upornost palice selena? ( $h=6.626\cdot 10^{-34}\text{Js}$ ,  $c_0=3\cdot 10^8\text{m/s}$ ,  $Q_e=-1.6\cdot 10^{-19}\text{As}$ )

- (A) 636nm (B) 1120nm (C) 1310nm (D) 1573nm

5. PIN-FET modul dosega občutljivost  $N_f=1000$  fotonov/bit za  $\text{BER}=10^{-9}$  pri kapacitivnosti fotodiode  $C_d=0.3\text{pF}$  in kapacitivnosti ojačevalnika  $C_0=0.2\text{pF}$ . Kolikšno občutljivost  $N_f'=?$  bi dosegel modul z boljšo fotodiode  $C_d'=0.1\text{pF}$ ? Vsi ostali podatki ostanejo enaki.

- (A) 600 fotonov/bit (B) 775 fotonov/bit (C) 880 fotonov/bit (D) ni sprememb

6. Optično zvezo preizkušamo z zaporedjem maksimalne dolžine, ki ga proizvaja dvojiški pomikalni register z linearno povratno vezavo. Pomikalni register ima 31 celic D-flip-flop. Povratna vezava gre iz 28. in 31. celice EXOR na vhod. Dolžina zaporedja je:

- (A) 2147483647 (B) 268435455 (C) 131071 (D) 1048575

7. Kolikšen je kvantni izkoristek  $\eta=N_e/N_f=?$  PIN fotodiode pri valovni dolžini  $\lambda=1310\text{nm}$ , če znaša njena odzivnost  $I/P=0.5\text{A/W}$  pri isti valovni dolžini? ( $h=6.626\cdot 10^{-34}\text{Js}$ ,  $c_0=3\cdot 10^8\text{m/s}$ ,  $Q_e=-1.6\cdot 10^{-19}\text{As}$ )

- (A) 95% (B) 33% (C) 68% (D) 47%

8. Enorodovno ojačevalno vlakno ima jedro premera komaj  $2a=3\mu\text{m}$  dopirano z erbijevimi ioni  $\text{Er}^{3+}$ . Obloga ojačevalnega vlakna je iz čistega kremenovega stekla  $\text{SiO}_2$ . Za najboljše lastnosti ojačevalnika lomni količnik jedra povečuje naslednji dodatek:

- (A)  $\text{GeO}_2$  (B)  $\text{B}_2\text{O}_3$  (C)  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (D)  $\text{P}_2\text{O}_5$

9. Kaj omejuje porabo energije naprave, ki jo napajamo preko PoE po UTP kablju z vtičnicami RJ45? Obkrožite NAPAČNI odgovor!

- (A) dopustni tok v žicah UTP kabla (B) hitrost prenosa podatkov v Ethernetu (C) enosmerna napetost na RJ45 (D) upornost žic UTP kabla

10. Več radijskih oddajnikov, ki delajo na različnih kanalih v skupnem frekvenčnem pasu, želimo povezati na eno samo skupno anteno na stolpu. Najučinkovitejša rešitev je:

- (A) kretnica s frekvenčnimi siti (B) vezje smernih sklopnikov (C) uporovni združevalnik signalov (D) vezava ni izvedljiva

11. Ethernet zveza po UTP kablju se po izvedbi postopkov auto-MDIX in auto-negotiation nastavi na hitrost  $C=10\text{Mbps}$  v načinu full-duplex. Ko po takšnem kablju ni aktivnega prometa podatkovnih okvirjev, je na kablju prisoten naslednji signal:

- (A) znaki idle (B) brez signala (C) okvirji pause (D) link pulzi

12. Erbijev optični ojačevalnik z dvosmernim črpanjem  $980\text{nm}+1480\text{nm}$  vsebuje izravnalno sito v sredini, ki daje konstantno ojačanje v celotnem pasu  $\lambda_0=1530\text{nm}\dots 1565\text{nm}$ . Kolikšna je frekvenčna pasovna širina  $B=?$  opisanega ojačevalnika? ( $c_0=3\cdot 10^8\text{m/s}$ )

- (A) 35.0THz (B) 125GHz (C) 4.4THz (D) 35.0GHz

Priimek in ime:

Elektronski naslov:

# \*1. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 07.03.2019

?Če povečujemo pasovno širino zveze  $B[Hz] \rightarrow \infty$  preko vsake meje in ostanejo vsi ostali podatki zveze nespremenjeni: moč oddajnika  $P[W]$ , slabljenje prenosne poti  $a[dB]$  in spektralna gostota šuma sprejemnika  $N_0[J]$ , gre zmogljivost zveze  $C[bit/s]$  proti: ?Če znižujemo pasovno širino zveze  $B[Hz] \rightarrow 0$  proti nič in ostanejo vsi ostali podatki zveze nespremenjeni: moč oddajnika  $P[W]$ , slabljenje prenosne poti  $a[dB]$  in spektralna gostota šuma sprejemnika  $N_0[J]$ , gre zmogljivost zveze  $C[bit/s]$  proti:  $C \rightarrow \infty$  !  $C \rightarrow P \cdot 10^{-a/10} / (N_0 \cdot \ln 2)$  !  $C \rightarrow 0$  !  $C \rightarrow P \cdot 10^{-a/10} / (B \cdot N_0)$

?Plinski laser oddaja kolimiran žarek, ki ga v praznem prostoru opisuje valovni vektor  $\vec{k} = (\vec{i}_x - \vec{i}_y + \vec{i}_z) \cdot 7.06 \cdot 10^6 \text{rd/m}$ . Kolikšna je valovna dolžina laserske svetlobe  $\lambda_0 = ?$  v praznem prostoru  $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 \text{m/s}$ ,  $Z_0 \approx 377\Omega$ ? ?Plinski laser oddaja kolimiran žarek, ki ga v praznem prostoru opisuje valovni vektor  $\vec{k} = (\vec{i}_x + \vec{i}_y) \cdot 7.02 \cdot 10^6 \text{rd/m}$ . Kolikšna je valovna dolžina laserske svetlobe  $\lambda_0 = ?$  v praznem prostoru  $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 \text{m/s}$ ,  $Z_0 \approx 377\Omega$ ? !850nm !633nm !514nm !405nm

?Z izbiro svetlobne hitrosti  $c_0 = 299792458 \text{m/s}$  v praznem prostoru ( $\epsilon_0$  in  $\mu_0$ ) je določena velikost naslednje merske enote v mednarodnem sistemu merskih enot MKSA (meter, kilogram, sekunda, amper): ?Z izbiro frekvence  $f = 9.192631770 \text{GHz}$  hiperfinega prehoda atoma cezijevega izotopa  $^{133}\text{Cs}$  v osnovnem stanju je določena velikost naslednje merske enote v mednarodnem sistemu merskih enot MKSA (meter, kilogram, sekunda, amper): !m(meter) !kg(kilogram) !s(sekunda) !A(ampere)

?Za komunikacijo na velike razdalje uporabimo kovinski valovod krožnega prereza, bakreno cev iz katere izčrpamo zrak za čim nižje slabljenje. V valovodu krožnega prereza ima pri dovolj visoki frekvenci najnižje slabljenje naslednji valovodni rod: ?Za komunikacijo na velike razdalje uporabimo kovinski valovod krožnega prereza, bakreno cev iz katere izčrpamo zrak za čim nižje slabljenje. V valovodu krožnega prereza ima najnižjo mejno frekvenco naslednji valovodni rod: !TE<sub>11</sub> !TM<sub>01</sub> !TM<sub>11</sub> !TE<sub>01</sub>

?Kateri fizikalni pojav daje največji doprinos k slabljenju kakovostnega svetlobnega vlakna na osnovi kremenovega stekla  $\text{SiO}_2$  pri frekvenci signala  $f = 160 \text{THz}$ ? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 \text{m/s}$ ) ?Kateri fizikalni pojav daje največji doprinos k slabljenju kakovostnega svetlobnega vlakna na osnovi kremenovega stekla  $\text{SiO}_2$  pri frekvenci signala  $f = 360 \text{THz}$ ? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 \text{m/s}$ ) !UV rezonance  $\text{SiO}_2$  ! Rayleighjevo sipanje ! IR rezonance  $\text{SiO}_2$  !rezonance nečistoč

?Čip polprevodniškega laserja ima lomni količnik  $n = 3.7$  za svetlobo laserja frekvence  $f = 194 \text{THz}$ . Pod kakšnim kotom  $\Theta = ?$  mora vpadati žarek na stranico čipa, da ne pride do odboja TM polarizirane svetlobe laserja pri izhodu iz čipa v zrak? ?Čip  $\text{Er}^{3+}$  laserja na podlagi  $\text{LiNbO}_3$  ima lomni količnik  $n = 2.2$  za svetlobo laserja frekvence  $f = 194 \text{THz}$ . Pod kakšnim kotom  $\Theta = ?$  mora vpadati žarek na stranico čipa, da ne pride do odboja TM polarizirane svetlobe laserja pri izhodu iz čipa v zrak? !15.1° !7.2° !24.4° !35.0°

?Okrasni bazenček globine  $h = 0.35 \text{m}$  ima na dnu podvodno svetilko. Kolikšna je površina osvetljenega kroga  $A = ?$  na vodni gladini, kjer svetilko vidimo iz zraka  $n_{\text{zrak}} = 1$ ? Lomni količnik vode znaša približno  $n_{\text{voda}} \approx 1.333$  za vidno svetlobo. ?Okrasni bazenček globine  $h = 0.7 \text{m}$  ima na dnu podvodno svetilko. Kolikšna je površina osvetljenega kroga  $A = ?$  na vodni gladini, kjer svetilko vidimo iz zraka  $n_{\text{zrak}} = 1$ ? Lomni količnik vode znaša približno  $n_{\text{voda}} \approx 1.333$  za vidno svetlobo. !1m<sup>2</sup> !2m<sup>2</sup> !1.5m<sup>2</sup> !0.5m<sup>2</sup>

?Zaščitno kupolo za satelitsko anteno, ki deluje na frekvenci  $f = 19.6 \text{GHz}$ , izdelamo iz smole, ojačane s steklenimi vlakni z relativno dielektričnostjo  $\epsilon_r = 4.5$ . Kolikšna naj bo debelina kupole  $d = ?$ , da je neželjen odboj satelitskega signala najmanjši? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 \text{m/s}$ ) ?Zaščitno kupolo za satelitsko anteno, ki deluje na frekvenci  $f = 9.42 \text{GHz}$ , izdelamo iz smole, ojačane s steklenimi vlakni z relativno dielektričnostjo  $\epsilon_r = 4.5$ . Kolikšna naj bo debelina kupole  $d = ?$ , da je neželjen odboj satelitskega signala najmanjši? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 \text{m/s}$ ) !1.7mm !3.6mm !7.5mm !16mm

?Šibko-lomno svetlobno vlakno na osnovi kremenovega stekla (lomni količnik  $\text{SiO}_2$  je v velikostnem razredu  $n \approx 1.46$ ) dosega numerično aperturo  $NA = 0.2$ . Kolikšna je relativna razlika lomnih količnikov  $\Delta = ?$  šibko-lomnega vlakna? ?Šibko-lomno svetlobno vlakno na osnovi kremenovega stekla (lomni količnik  $\text{SiO}_2$  je v velikostnem razredu  $n \approx 1.46$ ) dosega numerično aperturo  $NA = 0.1$ . Kolikšna je relativna razlika lomnih količnikov  $\Delta = ?$  šibko-lomnega vlakna? !0.0094 !0.0024 !0.0047 !0.0187

?Kolikšen delež svetlobe  $\eta = ?$  zelene svetleče diode  $\lambda_0 = 550 \text{nm}$  se sklopi v jedro plastičnega optičnega vlakna z numerično aperturo  $NA = 0.47$ ? ?Čip svetleče diode je dosti manjši od premera jedra vlakna in seva v vse smeri enako. Odboje prepreči AR sloj. ?Kolikšen delež svetlobe  $\eta = ?$  infrardeče svetleče diode  $\lambda_0 = 850 \text{nm}$  se sklopi v jedro steklenega optičnega vlakna z numerično aperturo  $NA = 0.2$ ? ?Čip svetleče diode je dosti manjši od premera jedra vlakna in seva v vse smeri enako. Odboje prepreči AR sloj. !1% !6% !2% !3%

?Pri iskanju Brewsterjevega kota iz snovi 1 v snov 2 ne dobimo ostre ničle, pač pa samo minimum odboja TM (VP) polarizirane svetlobe nazaj v snov 1. Kaj je vzrok tega pojava? ?Pri iskanju Brewsterjevega kota iz snovi 1 v snov 2 dobimo globok minimum odboja TM (VP) polarizirane svetlobe nazaj v snov 1 pri  $\theta_B < \pi/4$ . Kaj je vzrok tega pojava? ! $\theta_L = \theta_V$  ! $n_2 > n_1$  ! $n_2 < n_1$  ! $\gamma_2 \neq 0$

?Najvišja človeku varna električna poljska jakost neionizirajočega sevanja znaša  $|\vec{E}_{eff}| = 60 \text{V}_{eff}/\text{m}$ . Kolikšni gostoti pretoka moči  $|\vec{S}| = ?$  ustreza navedena električna poljska jakost v praznem prostoru? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 \text{m/s}$ ,  $Z_0 \approx 377\Omega$ ) ?Največja zakonsko dovoljena električna poljska jakost neionizirajočega sevanja znaša  $|\vec{E}_{eff}| = 6 \text{V}_{eff}/\text{m}$ . Kolikšni gostoti pretoka moči  $|\vec{S}| = ?$  ustreza navedena električna poljska jakost v praznem prostoru? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 \text{m/s}$ ,  $Z_0 \approx 377\Omega$ ) !1W/m<sup>2</sup> !0.1W/m<sup>2</sup> !100W/m<sup>2</sup> !10W/m<sup>2</sup>

# \*1. midterm exam OPTICAL COMMUNICATIONS - 25.04.2019

If the bandwidth of a communication link is increased  $B[Hz] \rightarrow \infty$  towards infinity and all other link parameters remain unchanged: transmitter power  $P[W]$ , path attenuation  $a[dB]$  and noise spectral density of the receiver  $N_0[J]$ , the link capacity  $C[bit/s]$  converges to: ? If the bandwidth of a communication link is decreased  $B[Hz] \rightarrow 0$  towards zero proti nič and all other link parameters remain unchanged: transmitter power  $P[W]$ , path attenuation  $a[dB]$  and noise spectral density of the receiver  $N_0[J]$ , the link capacity  $C[bit/s]$  converges to:  $C \rightarrow \infty$  !  $C \rightarrow P \cdot 10^{-a/10}/(N_0 \cdot \ln 2)$  !  $C \rightarrow 0$  !  $C \rightarrow P \cdot 10^{-a/10}/(B \cdot N_0)$

?A gas laser emits a collimated beam described with the wave vector  $\vec{k} = (\vec{i}_x - \vec{i}_y + \vec{i}_z) \cdot 7.06 \cdot 10^6 \text{rd/m}$  in free space. What is the wavelength of the laser light  $\lambda_0 = ?$  in free space  $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 \text{m/s}$ ,  $Z_0 \approx 377\Omega$ ? ?A gas laser emits a collimated beam described with the wave vector  $\vec{k} = (\vec{i}_x + \vec{i}_y) \cdot 7.02 \cdot 10^6 \text{rd/m}$  in free space. What is the wavelength of the laser light  $\lambda_0 = ?$  in free space  $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 \text{m/s}$ ,  $Z_0 \approx 377\Omega$ ? !  $850\text{nm}$  !  $633\text{nm}$  !  $514\text{nm}$  !  $405\text{nm}$

?Choosing the speed of light  $c_0 = 299792458 \text{m/s}$  in free space ( $\epsilon_0$  in  $\mu_0$ ) the following unit of the international MKSA system of units (meter, kilogram, second, ampere) is defined: ?Choosing the frequency  $f = 9.192631770 \text{GHz}$  of the hyperfine transition of the caesium isotope  $^{133}\text{Cs}$  in fundamental state the following unit of the international MKSA system of units (meter, kilogram, second, ampere) is defined: !  $m(\text{meter})$  !  $kg(\text{kilogram})$  !  $s(\text{second})$  !  $A(\text{ampere})$

?A circular metallic waveguide used for long-distance communication is a copper tube with vacuum inside to reduce losses. In a metal waveguide of circular cross-section the following waveguide mode achieves the lowest attenuation: ?A circular metallic waveguide used for long-distance communication is a copper tube with vacuum inside to reduce losses. In a metal waveguide of circular cross-section the following waveguide mode achieves the lowest cutoff frequency: !  $TE_{11}$  !  $TM_{01}$  !  $TM_{11}$  !  $TE_{01}$

?Which physical effect gives the highest contribution to the loss of quality optical fiber based on silica glass  $\text{SiO}_2$  at a signal frequency of  $f = 160 \text{THz}$ ? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 \text{m/s}$ ) ?Which physical effect gives the highest contribution to the loss of quality optical fiber based on silica glass  $\text{SiO}_2$  at a signal frequency of  $f = 360 \text{THz}$ ? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 \text{m/s}$ ) ! UV resonances of  $\text{SiO}_2$  ! Rayleigh scattering ! IR resonances of  $\text{SiO}_2$  ! resonances of impurities

?The chip of a semiconductor laser has a refraction index  $n = 3.7$  for the laser light of a frequency  $f = 194 \text{THz}$ . At what incidence angle  $\Theta = ?$  the reflection of TM polarized light vanishes while exiting from the chip into free space? ?The chip of a  $\text{Er}^{3+}$  laser on a  $\text{LiNbO}_3$  substrate has a refraction index  $n = 2.2$  for the laser light of a frequency  $f = 194 \text{THz}$ . At what incidence angle  $\Theta = ?$  the reflection of TM polarized light vanishes while exiting from the chip into free space? !  $15.1^\circ$  !  $7.2^\circ$  !  $24.4^\circ$  !  $35.5^\circ$

?A small garden pool has an underwater light on the bottom  $h = 0.35 \text{m}$  deep. What is the area of the illuminated circle  $A = ?$  on the surface, where we can see the light from the air  $n_{\text{air}} = 1$  above? The refraction index of water is approximately  $n_{\text{water}} \approx 1.333$  for visible light. ?A small garden pool has an underwater light on the bottom  $h = 0.7 \text{m}$  deep. What is the area of the illuminated circle  $A = ?$  on the surface, where we can see the light from the air  $n_{\text{air}} = 1$  above? The refraction index of water is approximately  $n_{\text{water}} \approx 1.333$  for visible light. !  $1\text{m}^2$  !  $2\text{m}^2$  !  $1.5\text{m}^2$  !  $0.5\text{m}^2$

?The radome of a satellite antenna operating at  $f = 19.6 \text{GHz}$  is made form glass-fiber reinforced composite with a relative dielectric constant  $\epsilon_r = 4.5$ . What should be the radome thickness  $d = ?$  to avoid unwanted signal reflections? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 \text{m/s}$ ) ?The radome of a satellite antenna operating at  $f = 9.42 \text{GHz}$  is made form glass-fiber reinforced composite with a relative dielectric constant  $\epsilon_r = 4.5$ . What should be the radome thickness  $d = ?$  to avoid unwanted signal reflections? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 \text{m/s}$ ) !  $1.7\text{mm}$  !  $3.6\text{mm}$  !  $7.5\text{mm}$  !  $16\text{mm}$

?A weakly-guiding optical fiber made form silica glass (refraction index of  $\text{SiO}_2$  is in the range  $n \approx 1.46$ ) achieves a numerical aperture  $NA = 0.2$ . What is the relative difference of the core/cladding refraction indices  $\Delta = ?$  of the weakly-guiding fiber? ?A weakly-guiding optical fiber made form silica glass (refraction index of  $\text{SiO}_2$  is in the range  $n \approx 1.46$ ) achieves a numerical aperture  $NA = 0.1$ . What is the relative difference of the core/cladding refraction indices  $\Delta = ?$  of the weakly-guiding fiber? !  $0.0094$  !  $0.0024$  !  $0.0047$  !  $0.0187$

?What percentage  $\eta = ?$  of the light of a green LED  $\lambda_0 = 550 \text{nm}$  is coupled into the core of a plastic optical fiber with a numerical aperture  $NA = 0.47$ ? The LED chip is much smaller than the fiber core cross-section and emits light omnidirectionally. Reflections are suppressed with an antireflection coating. ?What percentage  $\eta = ?$  of the light of an infrared LED  $\lambda_0 = 850 \text{nm}$  is coupled into the core of a silica optical fiber with a numerical aperture  $NA = 0.2$ ? The LED chip is much smaller than the fiber core cross-section and emits light omnidirectionally. Reflections are suppressed with an antireflection coating. !  $1\%$  !  $6\%$  !  $2\%$  !  $3\%$

?Searching for the Brewster angle from matter 1 into matter 2 no deep zero is obtained but just a shallow minimum of the reflection of TM polarized light back into matter 1. What is the cause of this effect? ?Searching for the Brewster angle from matter 1 into matter 2 a deep minimum (zero) of the reflection of TM polarized light is obtained at  $\theta_B < \pi/4$ . What is the cause of this effect? !  $\Theta_L = \Theta_V$  !  $n_2 > n_1$  !  $n_2 < n_1$  !  $\gamma_2 \neq 0$

?The highest safe electrical-field strenght of non-ionizing radiation for human exposure is  $|\vec{E}_{\text{eff}}| = 60 \text{V}_{\text{eff}}/\text{m}$ . What power density  $|\vec{S}| = ?$  corresponds to this electrical-field strength in free space? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 \text{m/s}$ ,  $Z_0 \approx 377\Omega$ ) ?The highest electrical-field strength of non-ionizing radiation allowed by law for human exposure is  $|\vec{E}_{\text{eff}}| = 6 \text{V}_{\text{eff}}/\text{m}$ . What power density  $|\vec{S}| = ?$  corresponds to this electrical-field strength in free space? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 \text{m/s}$ ,  $Z_0 \approx 377\Omega$ ) !  $1 \text{W}/\text{m}^2$  !  $0.1 \text{W}/\text{m}^2$  !  $100 \text{W}/\text{m}^2$  !  $10 \text{W}/\text{m}^2$



## \*2. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 28.03.2019

?Mnogorodovno svetlobno vlakno dolžine  $l = 1km$  s stopničastim lomnim likom ima lomna količnika jedra  $n_1 = 1.48$  in obloge  $n_2 = 1.46$ . Kolikšna je časovna razlika  $\Delta t = ?$  med prihodom najpočasnejšega in najhitrejšega rodu, če premer jedra omogoča veliko rodov? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ) ?Mnogorodovno svetlobno vlakno dolžine  $l = 7km$  s stopničastim lomnim likom ima lomna količnika jedra  $n_1 = 1.48$  in obloge  $n_2 = 1.46$ . Kolikšna je časovna razlika  $\Delta t = ?$  med prihodom najpočasnejšega in najhitrejšega rodu, če premer jedra omogoča veliko rodov? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ) ! $9.7ns$  !  $68ns$  !  $0.47\mu s$  ! $3.3\mu s$

?Kako obdelamo konec enorodovnega vlakna 9/125 na osnovi kremenovega stekla  $SiO_2$ , da doseže najnižjo velikost odbojnosti  $|\Gamma|_{MIN}$  v področju valovnih dolžin III. komunikacijskega okna? ?Kako obdelamo konec enorodovnega vlakna 9/125 na osnovi kremenovega stekla  $SiO_2$ , da doseže najvišjo velikost odbojnosti  $|\Gamma|_{MAX}$  v področju valovnih dolžin II. komunikacijskega okna? ! navit na premer  $5mm$  !potopljen v vodo  $n = 1.33$  ! odrezan pod pravim kotom !naključno zlomljen

?Kolikšen naj bo premer  $2a = ?$  jedra steklenega vlakna z numerično aperturo  $NA = 0.2$ , ki mora biti enorodovno na valovnih dolžinah  $Ar/Ar^+$  laserja  $\lambda_A = 514nm$  in  $HeNe$  laserja  $\lambda_B = 633nm$  (v praznem prostoru)? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ) ?Kolikšen naj bo premer  $2a = ?$  jedra steklenega vlakna z numerično aperturo  $NA = 0.1$ , ki mora biti hkrati enorodovno na valovnih dolžinah  $Ar/Ar^+$  laserja  $\lambda_A = 514nm$  in  $HeNe$  laserja  $\lambda_B = 633nm$  (v praznem prostoru)? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ) ! $1.0\mu m$  !  $2.0\mu m$  ! $2.9\mu m$  !  $3.9\mu m$

?V dielektričnem valovodu izračunamo oziroma izmerimo povezavo med fazno konstanto  $\beta[rd/m]$  in krožno frekvenco  $\omega[rd/s]$  v širšem območju frekvenc oziroma valovnih dolžin. Kako v valovodu določimo skupinsko hitrost  $v_g = ?$  ?V dielektričnem valovodu izračunamo oziroma izmerimo povezavo med fazno konstanto  $\beta[rd/m]$  in krožno frekvenco  $\omega[rd/s]$  v širšem območju frekvenc oziroma valovnih dolžin. Kako v valovodu določimo fazno hitrost  $v_f = ?$  !  $\frac{d\beta}{d\omega}$  !  $\frac{\omega}{\beta}$  !  $\frac{d\omega}{d\beta}$  !  $\frac{d^2\beta}{d\omega^2}$

?V položenem kablu dolžine  $l = 64km$  izmerimo povprečno vrednost polarizacijske rodovne razpršitve  $\Delta t = 20ps$ . Kolikšen je koeficient polarizacijske rodovne razpršitve  $D_{PMD} = ?$  za navedeni kabel? ?V položenem kablu dolžine  $l = 16km$  izmerimo povprečno vrednost polarizacijske rodovne razpršitve  $\Delta t = 20ps$ . Kolikšen je koeficient polarizacijske rodovne razpršitve  $D_{PMD} = ?$  za navedeni kabel? !  $2.5ps/\sqrt{km}$  ! $1.25ps/km$  !  $5ps/\sqrt{km}$  ! $0.31ps/km$

?Zveza dolžine  $l = 60km$  uporablja kabel z NZDSF vlaknom, ki ima koeficient barvne razpršitve  $D = 6ps/(nm \cdot km)$ . Barvno razpršitev odstranimo s kolutom DCF vlakna, ki ima barvno razpršitev  $D' = -80ps/(nm \cdot km)$ . Kolikšno dolžino DCF vlakna  $l' = ?$  potrebujemo? ?Zveza dolžine  $l = 60km$  uporablja kabel z NZDSF vlaknom, ki ima koeficient barvne razpršitve  $D = 4ps/(nm \cdot km)$ . Barvno razpršitev odstranimo s kolutom DCF vlakna, ki ima barvno razpršitev  $D' = -80ps/(nm \cdot km)$ . Kolikšno dolžino DCF vlakna  $l' = ?$  potrebujemo? !  $4.5km$  ! $1.5km$  !  $3.0km$  ! $9.0km$

?Kateri od navedenih fizikalnih pojavov ima največji učinek na barvno razpršitev enorodovnega vlakna G.652 na osnovi kremenovega stekla pri  $f = 190THz$ ? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ) ?Kateri od navedenih fizikalnih pojavov ima največji učinek na barvno razpršitev enorodovnega vlakna G.652 na osnovi kremenovega stekla pri  $f = 240THz$ ? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ) !IR rezonance  $SiO_2$  !Rayleigh-jevo sipanje !UV rezonance  $SiO_2$  !valovodni rod  $HE_{11}$

?Pri postopku rod-in-tube vstavimo preform premera  $2r_p = 25mm$  v kvarčno cev z notranjim premerom  $2r_n = 30mm$  in zunanjim premerom  $2r_z = 40mm$ . Kolikšno dolžino  $l_v = ?$  vlakna 9/125 dobimo iz preforma dolžine  $l_p = 1m$ ? ?Pri postopku rod-in-tube vstavimo preform premera  $2r_p = 25mm$  v kvarčno cev z notranjim premerom  $2r_n = 30mm$  in zunanjim premerom  $2r_z = 35mm$ . Kolikšno dolžino  $l_v = ?$  vlakna 9/125 dobimo iz preforma dolžine  $l_p = 1m$ ? ! $40.0km$  !  $84.8km$  ! $120.8km$  !  $60.8km$

?Frekvenca  $f$  prepustnega pasu večslojnega optičnega pasovnega sita je pri pravokotnem vpadu svetlobe  $\Theta = 0$ : ? Valovna dolžina  $\lambda$  prepustnega pasu večslojnega optičnega pasovnega sita je pri pravokotnem vpadu svetlobe  $\Theta = 0$ : !neodvisna od  $\Theta$  ! najnižja (MIN) !pri  $\theta = 0$  ni prepusta ! najvišja (MAX)

?Ravna stranica čipa polprevodniškega laserja, ki niha na enem samem prečnem rodu, seva snop svetlobe, ki je najširši  $\Theta_{MAX}$  v naslednji ravnini: ?Ravna stranica čipa polprevodniškega laserja, ki niha na enem samem prečnem rodu, seva snop svetlobe, ki je najožji  $\Theta_{MIN}$  v naslednji ravnini: !rotacijsko simetričen stožec ! v ravnini H !pod  $45^0$  glede na stranice čipa ! v ravnini E

?Katera od navedenih optičnih konektorjev omogočata najnižje vstavitveno slabljenje na spoju dveh vlaken? ?Katera od navedenih optičnih konektorjev omogočata najvišje slabljenje neželenega odboja na spoju dveh vlaken? !ravno brušena SC ! SC-PC (modra) !konektorja z lečami ! SC-APC (zelena)

?Oddajnik brezvrvičnega infrardečega daljinca na valovni dolžini  $\lambda \approx 900nm$  se izogiblje motnjam drugih virov infrardeče svetlobe s frekvenco ponavljanja svetlobnih impulzov  $f_{pulz} = ?$  v območju: ?Oddajnik brezvrvičnega infrardečega daljinca na valovni dolžini  $\lambda \approx 900nm$  odda vsak bit informacije kot paket svetlobnih impulzov. Frekvenca prenosa bitov informacije  $f_{bit} = ?$  je v območju: ! $500kHz \dots 1MHz$  !  $30kHz \dots 60kHz$  ! $30MHz \dots 60MHz$  !  $500Hz \dots 1kHz$

## \*2. midterm exam OPTICAL COMMUNICATIONS - 28.03.2019

?A  $l = 1\text{km}$  long multimode optical fiber has a step-index profile with a core index of  $n_1 = 1.48$  and cladding index of  $n_2 = 1.46$ . What is the time difference  $\Delta t = ?$  between the slowest and fastest modes, if the core size allows many modes? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 \text{m/s}$ ) ?A  $l = 7\text{km}$  long multimode optical fiber has a step-index profile with a core index of  $n_1 = 1.48$  and cladding index of  $n_2 = 1.46$ . What is the time difference  $\Delta t = ?$  between the slowest and fastest modes, if the core size allows many modes? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 \text{m/s}$ ) ! $9.7\text{ns}$  ! $68\text{ns}$  ! $0.47\mu\text{s}$  ! $3.3\mu\text{s}$

?How should an open end of a 9/125 single mode optical fiber based on silica glass  $\text{SiO}_2$  be prepared to achieve the **smallest** magnitude of the reflection coefficient  $|\Gamma|_{\text{MIN}}$  in the wavelength range of the III. communication window? ?How should an open end of a 9/125 single mode optical fiber based on silica glass  $\text{SiO}_2$  be prepared to achieve the **largest** magnitude of the reflection coefficient  $|\Gamma|_{\text{MAX}}$  in the wavelength range of the II. communication window? !wound on a  $5\text{mm}$  diameter !immersed in water  $n = 1.33$  !cut at right angle !randomly broken

?What should be the core diameter  $2a = ?$  of a glass fiber with a numerical aperture of  $\text{NA} = 0.2$  that must support single-mode operation at both the wavelength  $\lambda_A = 514\text{nm}$  of an  $\text{Ar}/\text{Ar}^+$  laser as well as at  $\lambda_B = 633\text{nm}$  of a  $\text{HeNe}$  laser (in free space)? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 \text{m/s}$ ) ?What should be the core diameter  $2a = ?$  of a glass fiber with a numerical aperture of  $\text{NA} = 0.1$  that must support single-mode operation at both the wavelength  $\lambda_A = 514\text{nm}$  of an  $\text{Ar}/\text{Ar}^+$  laser as well as at  $\lambda_B = 633\text{nm}$  of a  $\text{HeNe}$  laser (in free space)? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 \text{m/s}$ ) ! $1.0\mu\text{m}$  ! $2.0\mu\text{m}$  ! $2.9\mu\text{m}$  ! $3.9\mu\text{m}$

?In a dielectric waveguide we compute and/or measure the relationship between the phase constant  $\beta[\text{rd/m}]$  and angular frequency  $\omega[\text{rd/s}]$  in a broad range of frequencies and/or wavelengths. How do we find the **group** velocity  $v_g = ?$  ?In a dielectric waveguide we compute and/or measure the relationship between the phase constant  $\beta[\text{rd/m}]$  and angular frequency  $\omega[\text{rd/s}]$  in a broad range of frequencies and/or wavelengths. How do we find the **phase** velocity  $v_f = ?$  ! $\frac{d\beta}{d\omega}$  ! $\frac{\omega}{\beta}$  ! $\frac{d\omega}{d\beta}$  ! $\frac{d^2\beta}{d\omega^2}$

?An installed cable  $l = 64\text{km}$  long achieves a polarization-mode dispersion of  $\Delta t = 20\text{ps}$ . What is the coefficient of the polarization-mode dispersion  $D_{\text{PMD}} = ?$  in the given cable? ?An installed cable  $l = 16\text{km}$  long achieves a polarization-mode dispersion of  $\Delta t = 20\text{ps}$ . What is the coefficient of the polarization-mode dispersion  $D_{\text{PMD}} = ?$  in the given cable? ! $2.5\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$  ! $1.25\text{ps}/\text{km}$  ! $5\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$  ! $0.31\text{ps}/\text{km}$

?A  $l = 60\text{km}$  long link uses a cable with a NZDSF fiber with a chromatic dispersion coefficient of  $D = 6\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$ . The chromatic dispersion is compensated with a spool of DCF fiber with a chromatic dispersion coefficient of  $D' = -80\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$ . What is the required DCF length  $l' = ?$  ?A  $l = 60\text{km}$  long link uses a cable with a NZDSF fiber with a chromatic dispersion coefficient of  $D = 4\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$ . The chromatic dispersion is compensated with a spool of DCF fiber with a chromatic dispersion coefficient of  $D' = -80\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$ . What is the required DCF length  $l' = ?$  ! $4.5\text{km}$  ! $1.5\text{km}$  ! $3.0\text{km}$  ! $9.0\text{km}$

?Which of the following effects has the largest impact on the chromatic dispersion of a single-mode fiber G.652 based on silica glass at  $f = 190\text{THz}$ ? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 \text{m/s}$ ) ?Which of the following effects has the largest impact on the chromatic dispersion of a single-mode fiber G.652 based on silica glass at  $f = 240\text{THz}$ ? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 \text{m/s}$ ) !IR resonances of  $\text{SiO}_2$  !Rayleigh scattering !UV resonances of  $\text{SiO}_2$  !waveguide mode  $\text{HE}_{11}$

?Using the rod-in-tube technology a  $2r_p = 25\text{mm}$  diameter preform is inserted in a silica glass tube with an inner diameter of  $2r_{\text{in}} = 30\text{mm}$  and outer diameter of  $2r_{\text{out}} = 40\text{mm}$ . What length  $l_v = ?$  of 9/125 fiber is obtained from a  $l_p = 1\text{m}$  long preform? ?Using the rod-in-tube technology a  $2r_p = 25\text{mm}$  diameter preform is inserted in a silica glass tube with an inner diameter of  $2r_{\text{in}} = 30\text{mm}$  and outer diameter of  $2r_{\text{out}} = 35\text{mm}$ . What length  $l_v = ?$  of 9/125 fiber is obtained from a  $l_p = 1\text{m}$  long preform? ! $40.0\text{km}$  ! $84.8\text{km}$  ! $120.8\text{km}$  ! $60.8\text{km}$

?The passband **frequency**  $f$  of a multilayer optical bandpass filter is at normal incidence  $\Theta = 0$ : ?The passband **wavelength**  $\lambda$  of a multilayer optical bandpass filter is at normal incidence  $\Theta = 0$ : !independent of  $\Theta$  !**smallest (MIN)** !no passband at  $\theta = 0$  !largest (MAX)

?A semiconductor laser is oscillating on a single transversal mode. The flat side of the laser chip is radiating a beam of light that is the **broadest**  $\Theta_{\text{MAX}}$  in the following plane: ?A semiconductor laser is oscillating on a single transversal mode. The flat side of the laser chip is radiating a beam of light that is the **narrowest**  $\Theta_{\text{MIN}}$  in the following plane: !rotationally-symmetrical cone !H plane !at  $45^\circ$  to the chip sides !E plane

?Which pair of identical optical connectors offers the **lowest insertion loss** while connecting two fibers? ?Which pair of identical optical connectors offers the **highest unwanted reflection attenuation** while connecting two fibers? !flat-lapped SC !SC-PC (blue) !connectors with lenses !SC-APC (green)

?The transmitter of an infrared remote control operating at a wavelength of  $\lambda \approx 900\text{nm}$  avoids interference from other sources of infrared light using a pulsed transmission with a **pulse-repetition frequency**  $f_{\text{pulse}} = ?$  in the range: ?The transmitter of an infrared remote control operating at a wavelength of  $\lambda \approx 900\text{nm}$  sends each bit of information as a packet of light pulses. The bit transmission frequency  $f_{\text{bit}} = ?$  is in the range: ! $500\text{kHz} \dots 1\text{MHz}$  ! $30\text{kHz} \dots 60\text{kHz}$  ! $30\text{MHz} \dots 60\text{MHz}$  ! $500\text{Hz} \dots 1\text{kHz}$

### \*3. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 18.04.2019

?Lastna fazna modulacija v enorodovnem svetlobnem vlaknu znaša  $\Delta\phi = 2.4rd$ . Kolikšna bo lastna fazna modulacija svetlobnega signala  $\Delta\phi' = ?$ , če **električno poljsko jakost  $\vec{E}$**  v jedru vlakna razpolovimo? ( $n_2 = 3.2 \cdot 10^{-20} m^2/W$ ) ?Lastna fazna modulacija v enorodovnem svetlobnem vlaknu znaša  $\Delta\phi = 2.4rd$ . Kolikšna bo lastna fazna modulacija svetlobnega signala  $\Delta\phi' = ?$ , če **gostoto moči  $\vec{S}$**  v jedru vlakna razpolovimo? ( $n_2 = 3.2 \cdot 10^{-20} m^2/W$ ) !0.3rd ! **0.6rd** ! **1.2rd** !4.8rd

?Fabry-Perot-ov polprevodniški laser za osrednjo valovno dolžino  $\lambda = 1310nm$  ima širino spektra  $\Delta\lambda = 3nm$ . Kolikšna je njegova **vzdolžna** koherenčna dolžina  $d = ?$  Laser niha na enem samem prečnem rodu. ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ) ?Fabry-Perot-ov polprevodniški laser za osrednjo valovno dolžino  $\lambda = 1310nm$  ima širino spektra  $\Delta\lambda = 3nm$ . Kolikšna je njegova **prečna** koherenčna dolžina  $d = ?$  Laser niha na enem samem prečnem rodu. ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ) !33nm ! **572 $\mu m$**  !  $\infty m$  !172 $\mu m$

?Modulacijska pasovna širina zveze po mnogorodovnem gradientnem vlaknu dolžine  $l = 8km$  znaša  $B = 220MHz$ . Če v istem vlaknu vzbudimo samo rodove nižjih redov tako, da oddajnik z enorodovnim repom spojimo neposredno na mnogorodovno vlakno, se **pasovna širina  $B[MHz]$**  : ?Modulacijska pasovna širina zveze po mnogorodovnem gradientnem vlaknu dolžine  $l = 8km$  znaša  $B = 220MHz$ . Če v istem vlaknu vzbudimo samo rodove nižjih redov tako, da oddajnik z enorodovnim repom spojimo neposredno na mnogorodovno vlakno, se **razširitev impulzov  $\Delta t[ns]$**  : ! **poveča** !ne spremeni ! **zmanjša** !gre proti nič

?Na zaslonu merilnika OTDR vidimo dva odboja, ki sta med sabo oddaljena za  **$\Delta t = 50\mu s$**  na časovni skali. Kolikšni razdalji  $\Delta l = ?$  ustreza navedena razlika v času prihoda obeh odbojev od konektorskih spojev na steklenem vlaknu? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s, n \approx 1.5$ ) ?Na zaslonu merilnika OTDR vidimo dva odboja, ki sta med sabo oddaljena za  **$\Delta t = 150\mu s$**  na časovni skali. Kolikšni razdalji  $\Delta l = ?$  ustreza navedena razlika v času prihoda obeh odbojev od konektorskih spojev na steklenem vlaknu? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s, n \approx 1.5$ ) ! **5km** !10km ! **15km** !20km

? **Disperzijsko-premaknjeno vlakno (DSF) G.653** ima pri valovni dolžini  $\lambda_0 = 1550nm$  efektivno površino jedra  $A_{eff} = ?[\mu m^2]$ , ki določa gostoto svetlobne moči  $\vec{S}[W/m^2]$  in električno poljsko jakost  $\vec{E}[V/m]$  v steklu, v velikostnem razredu: ? **Standardno enorodovno vlakno (SMF) G.652** ima pri valovni dolžini  $\lambda_0 = 1550nm$  efektivno površino jedra  $A_{eff} = ?[\mu m^2]$ , ki določa gostoto svetlobne moči  $\vec{S}[W/m^2]$  in električno poljsko jakost  $\vec{E}[V/m]$  v steklu, v velikostnem razredu: !9 $\mu m^2$  ! **30 $\mu m^2$**  ! **70 $\mu m^2$**  !150 $\mu m^2$

?Daljinec z eno LED za  $\lambda_0 = 940nm$  doseže v praznem prostoru brez odbojev do met  $d = 10m$ . Če v daljinec vgradimo  **$N = 8$**  enakih svetlečih diod, ki so opremljene z enakimi lečami in krmiljene vsaka od njih z enakim tokom kot izvorna LED, se do met daljinca  $d' = ?$  poveča na: ?Daljinec z eno LED za  $\lambda_0 = 940nm$  doseže v praznem prostoru brez odbojev do met  $d = 10m$ . Če v daljinec vgradimo  **$N = 16$**  enakih svetlečih diod, ki so opremljene z enakimi lečami in krmiljene vsaka od njih z enakim tokom kot izvorna LED, se do met daljinca  $d' = ?$  poveča na: ! **28m** !80m ! **40m** !16m

?Po vlaknu DSF (G.653) peljemo dva močna signala na valovnih dolžinah  **$\lambda_1 = 1553nm$  in  $\lambda_2 = 1556nm$** . Na kateri valovni dolžini  $\lambda_{motnja} = ?$  pričakujemo produkt štiri-valovnega mešanja, ki moti ostale signale valovno-dolžinskega multipleksa? ?Po vlaknu DSF (G.653) peljemo dva močna signala na valovnih dolžinah  **$\lambda_1 = 1551nm$  in  $\lambda_2 = 1553nm$** . Na kateri valovni dolžini  $\lambda_{motnja} = ?$  pričakujemo produkt štiri-valovnega mešanja, ki moti ostale signale valovno-dolžinskega multipleksa? ! **1550nm** !1552nm ! **1555nm** !1554nm

?WDM sistem uporablja kanalski razmak  $\Delta f = 100GHz$ , kjer barvna razpršitev vlakna zagotavlja fazno neuskkljenost  **$\Delta\beta = -2.5rd/km$** . Kolikšno fazno neuskkljenost  $\Delta\beta' = ?$  prinese posodobitev sistema, ko kanalski razmak razpolovimo na  $\Delta f' = 50GHz$ ? ?WDM sistem uporablja kanalski razmak  $\Delta f = 100GHz$ , kjer barvna razpršitev vlakna zagotavlja fazno neuskkljenost  **$\Delta\beta = -8.5rd/km$** . Kolikšno fazno neuskkljenost  $\Delta\beta' = ?$  prinese posodobitev sistema, ko kanalski razmak razpolovimo na  $\Delta f' = 50GHz$ ? ! **-0.625rd/km** !-1.25rd/km ! **-2.125rd/km** !-4.25rd/km

? **Brillouin-ovo** sipanje svetlobe je nelinearen pojav v enorodovnem vlaknu na osnovi kremenovega stekla ( $SiO_2$ ) z naslednjimi lastnostmi (obkrožite NAPAČEN odgovor): ? **Raman-ovo** sipanje svetlobe je nelinearen pojav v enorodovnem vlaknu na osnovi kremenovega stekla ( $SiO_2$ ) z naslednjimi lastnostmi (obkrožite NAPAČEN odgovor): ! **zahteva moč  $P > 100mW$**  !omogoča ojačevanje ! **ozkopasovno  $B \approx 10MHz$**  !spreminja frekvenco

?Kolikšna mora biti (najdaljša) utripna dolžina  $\Lambda = ?$  sklopnika iz enorodovnih vlaken dolžine  $l = 15mm$ , da sklopnik deli vhodno svetlobno moč v razmerju **1/99**? ?Kolikšna mora biti (najdaljša) utripna dolžina  $\Lambda = ?$  sklopnika iz enorodovnih vlaken dolžine  $l = 15mm$ , da sklopnik deli vhodno svetlobno moč v razmerju **25/75**? ! **470mm** !220mm ! **90mm** !60mm

?V zvezi z enorodovnim svetlobnim vlaknom G.652 optični reflektometer v časovnem prostoru (OTDR) **NE zazna odboja od** : ?V zvezi z enorodovnim svetlobnim vlaknom G.652 optični reflektometer v časovnem prostoru (OTDR) **zazna največji odboj od** : Ispoj FC-PC konektorjev ! **zvar dveh vlaken** !Rayleigh-jevo sipanje ! **odprt konec zveze**

?Pri večanju razlike dolžin poti v interferometru  $\Delta l = l_1 - l_2$  interferenca **periodično izginja in se spet prikaže**. Frekvenčni spekter svetlobnega vira vsebuje: ?Pri večanju razlike dolžin poti v interferometru  $\Delta l = l_1 - l_2$  interferenca **izgine z večanjem  $\Delta l$** . Frekvenčni spekter svetlobnega vira vsebuje: ! **dve ozki spektralni črti** !eno samo ozko spektralno črto ! **zvezen spekter omejene širine** !ozko črto sredi zveznega spektra

### \*3. midterm exam OPTICAL COMMUNICATIONS - 18.04.2019

?The self phase modulation in a single-mode optical fiber amounts to  $\Delta\phi = 2.4rd$ . What is the self phase modulation  $\Delta\phi' = ?$  if the electrical field strength  $\vec{E}$  in the fiber core is halved? ( $n_2 = 3.2 \cdot 10^{-20} m^2/W$ ) ?The self phase modulation in a single-mode optical fiber amounts to  $\Delta\phi = 2.4rd$ . What is the self phase modulation  $\Delta\phi' = ?$  if the power density  $\vec{S}$  in the fiber core is halved? ( $n_2 = 3.2 \cdot 10^{-20} m^2/W$ ) !0.3rd ! 0.6rd ! 1.2rd !4.8rd

?A Fabry-Perot semiconductor laser for a center wavelength  $\lambda = 1310nm$  has a spectral line width  $\Delta\lambda = 3nm$ . What is its longitudinal coherence length  $d = ?$  The laser oscillates on a single transversal mode. ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ) ?A Fabry-Perot semiconductor laser for a center wavelength  $\lambda = 1310nm$  has a spectral line width  $\Delta\lambda = 3nm$ . What is its transversal coherence length  $d = ?$  The laser oscillates on a single transversal mode. ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ) !33nm ! 572 $\mu m$  !  $\infty m$  !172 $\mu m$

?The modulation bandwidth of a  $l = 8km$  multimode-fiber link reaches  $B = 220MHz$ . If only low-order modes are excited in the same fiber from a single-mode transmitter pigtail, the link modulation bandwidth  $B[MHz]$ : ?The modulation bandwidth of a  $l = 8km$  multimode-fiber link reaches  $B = 220MHz$ . If only low-order modes are excited in the same fiber from a single-mode transmitter pigtail, the pulse broadening  $\Delta t[ns]$ : ! increases !does not change ! decreases !goes to zero

?An OTDR shows two discrete reflections spaced by  $\Delta t = 50\mu s$  on the time scale on its screen. What distance  $\Delta l = ?$  corresponds to the given time difference of the times of arrival of both reflections from optical-fiber connector joints? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s, n \approx 1.5$ ) ?An OTDR shows two discrete reflections spaced by  $\Delta t = 150\mu s$  on the time scale on its screen. What distance  $\Delta l = ?$  corresponds to the given time difference of the times of arrival of both reflections from optical-fiber connector joints? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s, n \approx 1.5$ ) ! 5km !10km ! 15km !20km

?What is the effective core area  $A_{eff} = ?[\mu m^2]$  of a dispersion-shifted fiber G.653 at  $\lambda_0 = 1550nm$  that defines the power density  $\vec{S}[W/m^2]$  and electrical field strength  $\vec{E}[V/m]$  in glass: ?What is the effective core area  $A_{eff} = ?[\mu m^2]$  of a standard single-mode fiber G.652 at  $\lambda_0 = 1550nm$  that defines the power density  $\vec{S}[W/m^2]$  and electrical field strength  $\vec{E}[V/m]$  in glass: !9 $\mu m^2$  ! 30 $\mu m^2$  ! 70 $\mu m^2$  !150 $\mu m^2$

?A remote control with a single LED at  $\lambda_0 = 940nm$  achieves a range of  $d = 10m$  in free space. If  $N = 8$  identical LEDs are built into the remote-control transmitter, equipped with identical lenses and operated at the same current as the original LED, the range  $d' = ?$  increases to: ?A remote control with a single LED at  $\lambda_0 = 940nm$  achieves a range of  $d = 10m$  in free space. If  $N = 16$  identical LEDs are built into the remote-control transmitter, equipped with identical lenses and operated at the same current as the original LED, the range  $d' = ?$  increases to: ! 28m !80m ! 40m !16m

?A G.653 dispersion-shifted fiber carries two strong signals at  $\lambda_1 = 1553nm$  in  $\lambda_2 = 1556nm$ . At which wavelength  $\lambda_{interference} = ?$  a four-wave mixing product is expected causing interference to other signals in a wavelength-division multiplex? ?A G.653 dispersion-shifted fiber carries two strong signals at  $\lambda_1 = 1551nm$  in  $\lambda_2 = 1553nm$ . At which wavelength  $\lambda_{interference} = ?$  a four-wave mixing product is expected causing interference to other signals in a wavelength-division multiplex? ! 1550nm !1552nm ! 1555nm !1554nm

?A WDM system uses a  $\Delta f = 100GHz$  channel spacing allowing the chromatic dispersion to cause a phase mismatch of  $\Delta\beta = -2.5rd/km$ . What phase mismatch  $\Delta\beta' = ?$  is obtained after a system upgrade to  $\Delta f' = 50GHz$  channel spacing? ?A WDM system uses a  $\Delta f = 100GHz$  channel spacing allowing the chromatic dispersion to cause a phase mismatch of  $\Delta\beta = -8.5rd/km$ . What phase mismatch  $\Delta\beta' = ?$  is obtained after a system upgrade to  $\Delta f' = 50GHz$  channel spacing? ! -0.625rd/km !-1.25rd/km ! -2.125rd/km !-4.25rd/km

? Brillouin scattering is a non-linear effect in a single-mode fiber based on silica glass ( $SiO_2$ ) with the following properties (circle the WRONG answer): ? Raman scattering is a non-linear effect in a single-mode fiber based on silica glass ( $SiO_2$ ) with the following properties (circle the WRONG answer): ! requires a power  $P > 100mW$  !allows amplification ! is narrowband  $B \approx 10MHz$  !changes the frequency

?What should be the (longest) beat length  $\Lambda = ?$  of a single-mode fiber coupler  $l = 15mm$  long for a power splitting ratio of 1/99 ? ?What should be the (longest) beat length  $\Lambda = ?$  of a single-mode fiber coupler  $l = 15mm$  long for a power splitting ratio of 25/75 ? ! 470mm !220mm ! 90mm !60mm

?In a G.652 single-mode fiber link an optical time-domain reflectometer (OTDR) does NOT detect: ?In a G.652 single-mode fiber link an optical time-domain reflectometer (OTDR) detects the strongest reflection from: !FC-PC connector joint ! fused fiber splice !Rayleigh scattering ! open fiber end

?While increasing the path-length difference  $\Delta l = l_1 - l_2$  in an interferometer, the interference periodically vanishes and reappears. The spectrum of the source includes: ?While increasing the path-length difference  $\Delta l = l_1 - l_2$  in an interferometer, the interference vanishes with increasing  $\Delta l$ . The spectrum of the source includes: ! two narrow lines !a single narrow line ! a continuous spectrum of limited width !a narrow line in a continuous spectrum



## \*4. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 16.05.2019

?Polprevodniški laser daje pri toku  $I_1 = 20mA$  izhodno moč  $P_1 = 1mW$ . Izhodna moč laserja se poveča na  $P_2 = 3mW$  pri toku  $I_2 = 30mA$ . Kolikšen je pragovni tok laserja  $I_{TH} = ?$ , če Peltier-ova toplotna črpalka zadržuje temperaturo čipa laserja na  $T = 25^{\circ}C$ ?  
?Polprevodniški laser daje pri toku  $I_1 = 20mA$  izhodno moč  $P_1 = 1.5mW$ . Izhodna moč laserja se poveča na  $P_2 = 3mW$  pri toku  $I_2 = 30mA$ . Kolikšen je pragovni tok laserja  $I_{TH} = ?$ , če Peltier-ova toplotna črpalka zadržuje temperaturo čipa laserja na  $T = 25^{\circ}C$ ?  
!5mA ! 10mA ! 15mA ! 20mA

?Svetlobo toplotnega vira (žarnice z nitko) peljemo skozi monokromator (frekvenčno pasovno-prepustno sito) s pasovno širino  $\Delta\lambda = 0.3nm$  pri osrednji valovni dolžini  $\lambda = 1480nm$ . Kolikšna je vzdolžna koherenčna dolžina  $d = ?$  takšnega svetlobnega izvora?  
?Svetlobo toplotnega vira (žarnice z nitko) peljemo skozi monokromator (frekvenčno pasovno-prepustno sito) s pasovno širino  $\Delta\lambda = 0.4nm$  pri osrednji valovni dolžini  $\lambda = 1480nm$ . Kolikšna je vzdolžna koherenčna dolžina  $d = ?$  takšnega svetlobnega izvora?  
!7.3nm ! 7.3mm ! 5.5mm ! 5.5nm

?Svetlobni modulator je izdelan kot Mach-Zehnder-jev interferometer na podlagi  $LiNbO_3$  in dosega občutljivosti  $U_{\pi TE} = 5V$  in  $U_{\pi TM} = 14V$ . Pri kateri pritisnjeni napetosti  $U = ?$  bo prepuščena moč najnižja, če uporabimo nepolariziran vir svetlobe? ?Svetlobni modulator je izdelan kot Mach-Zehnder-jev interferometer na podlagi  $LiNbO_3$  in dosega občutljivosti  $U_{\pi TE} = 5V$  in  $U_{\pi TM} = 14V$ . Pri kateri pritisnjeni napetosti  $U = ?$  bo prepuščena moč najvišja, če uporabimo nepolariziran vir svetlobe? !5.0V ! 14.5V ! 0.0V ! 9.5V

?Akusto-optični modulator izkorišča Raman-Nath-ov uklon zelene svetlobe argonskega laserja  $\lambda = 514nm$ . Uklonjena žarka prvega reda se odklonita za kot  $\alpha = +/- 7mrd$ . Kolikšna je valovna dolžina zvočnega valovanja  $\Lambda = ?$ ? Akusto-optični modulator izkorišča Raman-Nath-ov uklon rdeče svetlobe HeNe laserja  $\lambda = 633nm$ . Uklonjena žarka prvega reda se odklonita za kot  $\alpha = +/- 7mrd$ . Kolikšna je valovna dolžina zvočnega valovanja  $\Lambda = ?$  !147 $\mu m$  ! 73.4 $\mu m$  ! 90.4 $\mu m$  ! 295 $\mu m$

?Star računalniški monitor uporablja barvno katodno cev s pospeševalno napetostjo  $U_{MAX} = 25kV$ . Kolikšna je valovna dolžina  $\lambda = ?$  nevidne, ampak škodljive rentgenske svetlobe, ki jo seva takšna cev v hekerja? ( $c_0 = 3 \cdot 10^8 m/s$ ,  $h = 6.626 \cdot 10^{-34} Js$ ,  $Q_e = -1.6 \cdot 10^{-19} As$ ) ?Star osciloskop uporablja katodno cev z elektrostatskim odklonom in pospeševalno napetostjo  $U_{MAX} = 2kV$ . Kolikšna je valovna dolžina  $\lambda = ?$  nevidne, ampak škodljive rentgenske svetlobe, ki jo seva takšna cev v inženirja? ( $c_0 = 3 \cdot 10^8 m/s$ ,  $h = 6.626 \cdot 10^{-34} Js$ ,  $Q_e = -1.6 \cdot 10^{-19} As$ ) !497pm ! 49.7pm ! 621pm ! 62.1pm

?Polprevodniški laser s porazdeljeno povratno vezavo (DFB) ima naslednjo pomanjkljivost pri uporabi v analogni kabelski televiziji po svetlobnem vlaknu: ?Polprevodniški laser s Fabry-Perot-ovim rezonatorjem (FP) ima naslednjo pomanjkljivost pri uporabi v analogni kabelski televiziji po svetlobnem vlaknu: !nezmožnost neposredne modulacije ! vzbuja Brillouin-ovo sipanje ! visok jakostni šum ! nizko izhodno moč

?Polprevodniški elektro-absorpcijski modulator (EAM) s heterostrukturo MQW ( $InGaAsP$ ) za valovno dolžino  $\lambda = 1550nm$  ima naslednjo slabo lastnost: ? Mach-Zehnder-jev elektro-optični modulator (MZM) na podlagi iz  $LiNbO_3$  za valovno dolžino  $\lambda = 1550nm$  ima naslednjo slabo lastnost: !počasen odziv  $\tau \approx 1\mu s$  ! odvisnost od  $\lambda$  ! odvisnost od polarizacije !visoka krmilna moč  $P_e \approx 100W$

?V pasivnem optičnem omrežju razdelimo signal na  $N = 64$  uporabnikov z drevesom vlakenskih sklopnikov 50/50 in pri tem izgubimo  $a = -21dB$  signala. Kolikšno je vstavitevno slabljenje posameznega delilnika 50/50  $a_0 = ?$  vključno s pripadajočimi zvari? ?V pasivnem optičnem omrežju razdelimo signal na  $N = 16$  uporabnikov z drevesom vlakenskih sklopnikov 50/50 in pri tem izgubimo  $a = -16dB$  signala. Kolikšno je vstavitevno slabljenje posameznega delilnika 50/50  $a_0 = ?$  vključno s pripadajočimi zvari? !-3.01dB ! -3.50dB ! -4.00dB ! -4.52dB

?Optični reflektometer v časovnem prostoru (OTDR) ne more opazovati naslednjega pojava: ?Optični reflektometer v frekvenčnem prostoru modulacije ne more opazovati naslednjega pojava: !odboj od konektorja ! ločiti dva odboja na  $d = 30cm$  ! Rayleigh-jevo sipanje !odboj od konca vlakna

?Optična zveza ima zmogljivost  $C = 10Gbit/s$  s preprosto ON/OFF modulacijo brez vnaprejšnjega popravljanja napak (FEC). Uporabnik zahteva pogostnost napak nižjo od  $BER < 10^{-13}$ . Koliko časa  $t = ?$  potrebujemo za meritev BER, da zaznamo vsaj eno napako? ?Optična zveza ima zmogljivost  $C = 10Gbit/s$  s preprosto ON/OFF modulacijo brez vnaprejšnjega popravljanja napak (FEC). Uporabnik zahteva pogostnost napak nižjo od  $BER < 10^{-11}$ . Koliko časa  $t = ?$  potrebujemo za meritev BER, da zaznamo vsaj eno napako? !2min ! 17min ! 10s ! 2.8h

?Telekomunikacijski polprevodniški laser za valovno dolžino  $\lambda = 1310nm$  uporablja heterostrukturo za izboljšanje delovanja: vodenje valovanja v jedru valovoda in večji prepovedani energijski pas obloge. Heterostruktura je narejena iz polprevodnikov: ?Telekomunikacijski polprevodniški laser za valovno dolžino  $\lambda = 850nm$  uporablja heterostrukturo za izboljšanje delovanja: vodenje valovanja v jedru valovoda in večji prepovedani energijski pas obloge. Heterostruktura je narejena iz polprevodnikov: !GaAlN : GaN ! InGaAsP : InP ! GaAlAs : GaAs ! SiGe : C

?Nepolarizirana HeNe laserska cev je dovolj dolga, da niha na dveh vzdolžnih rodovih, ki imata oba enako prečno sliko polja. Za polarizaciji obeh rodov velja: ? Polarizirana HeNe laserska cev je dovolj dolga, da niha na dveh vzdolžnih rodovih, ki imata oba enako prečno sliko polja. Za polarizaciji obeh rodov velja: !ortogonalni linearni ! vzporedni linearni !enaki LHCP ali RHCP

## \*4. midterm exam OPTICAL COMMUNICATIONS - 16.05.2019

?A semiconductor laser provides an optical output  $P_1 = 1mW$  when driven with an electric current  $I_1 = 20mA$ . The output increases to  $P_2 = 3mW$  at  $I_2 = 30mA$ . What is the laser threshold current  $I_{TH} = ?$  if the Pletier cooler keeps the laser chip at  $T = 25^{\circ}C$ ?  
?A semiconductor laser provides an optical output  $P_1 = 1.5mW$  when driven with an electric current  $I_1 = 20mA$ . The output increases to  $P_2 = 3mW$  at  $I_2 = 30mA$ . What is the laser threshold current  $I_{TH} = ?$  if the Pletier cooler keeps the laser chip at  $T = 25^{\circ}C$ ?  
!5mA ! 10mA ! 15mA !20mA

?The light from a thermal source (filament bulb) is fed through a monochromator (frequency band-pass filter) with a bandwidth  $\Delta\lambda = 0.3nm$  around a central wavelength  $\lambda = 1480nm$ . What is the longitudinal coherence length  $d = ?$  of the described light source?  
?The light from a thermal source (filament bulb) is fed through a monochromator (frequency band-pass filter) with a bandwidth  $\Delta\lambda = 0.4nm$  around a central wavelength  $\lambda = 1480nm$ . What is the longitudinal coherence length  $d = ?$  of the described light source?  
!7.3nm ! 7.3mm ! 5.5mm !5.5nm

?A light modulator is built as a Mach-Zehnder interferometer on a  $LiNbO_3$  substrate and achieves sensitivities  $U_{\pi TE} = 5V$  in  $U_{\pi TM}$ . Which drive voltage gives the lowest transmitted power from an unpolarized light source?  
?A light modulator is built as a Mach-Zehnder interferometer on a  $LiNbO_3$  substrate and achieves sensitivities  $U_{\pi TE} = 5V$  in  $U_{\pi TM}$ . Which drive voltage gives the highest transmitted power from an unpolarized light source?  
!5.0V ! 14.5V ! 0.0V !9.5V

?An acousto-optic modulator uses the Raman-Nath diffraction of green argon-laser light  $\lambda = 514nm$ . The first-order diffracted waves are deflected by  $\alpha = +/ - 7mrd$ . What is the acoustic wavelength  $\Lambda = ?$ ?  
?An acousto-optic modulator uses the Raman-Nath diffraction of red HeNe-laser light  $\lambda = 633nm$ . The first-order diffracted waves are deflected by  $\alpha = +/ - 7mrd$ . What is the acoustic wavelength  $\Lambda = ?$ ?  
!147 $\mu m$  ! 73.4 $\mu m$  ! 90.4 $\mu m$  !295 $\mu m$

?An old computer monitor uses a color cathode-ray tube with an acceleration voltage  $U_{MAX} = 25kV$ . What is the wavelength  $\lambda = ?$  of the invisible, but harmful X-rays emitted towards the hacker? ( $c_0 = 3 \cdot 10^8 m/s$ ,  $h = 6.626 \cdot 10^{-34} Js$ ,  $Q_e = -1.6 \cdot 10^{-19} As$ )  
?An old oscilloscope uses an electrostatic-deflection cathode-ray tube with an acceleration voltage  $U_{MAX} = 2kV$ . What is the wavelength  $\lambda = ?$  of the invisible, but harmful X-rays emitted towards the engineer? ( $c_0 = 3 \cdot 10^8 m/s$ ,  $h = 6.626 \cdot 10^{-34} Js$ ,  $Q_e = -1.6 \cdot 10^{-19} As$ )  
!497pm ! 49.7pm ! 621pm !62.1pm

?A semiconductor laser with a distributed feed-back (DFB) has the following drawback when used for analog television transmission over optical fiber:  
?A semiconductor laser with a Fabry-Perot resonator (FP) has the following drawback when used for analog television transmission over optical fiber:  
!no direct modulation ! stimulates Brillouin scattering ! high intensity noise !low output power

? A semiconductor electro-absorption modulator (EAM) with a  $InGaAsP$  MWQ heterostructure for  $\lambda = 1550nm$  has the following drawback:  
? A Mach-Zehnder electro-optic modulator (MZM) on a  $LiNbO_3$  substrate for  $\lambda = 1550nm$  has the following drawback:  
!slow response  $\tau \approx 1\mu s$  ! dependent on  $\lambda$  ! dependent on polarization !high drive power  $P_e \approx 100W$

?In a passive optical network the signal is split to  $N = 64$  customers using a tree of 50/50 fiber couplers. The total splitting loss amounts to  $a = -21dB$ . What is the insertion loss of a single 50/50 splitter  $a_0 = ?$  including the corresponding splice losses?  
?In a passive optical network the signal is split to  $N = 16$  customers using a tree of 50/50 fiber couplers. The total splitting loss amounts to  $a = -16dB$ . What is the insertion loss of a single 50/50 splitter  $a_0 = ?$  including the corresponding splice losses?  
!-3.50dB ! -4.00dB !-4.52dB

?An optical reflectometer in time domain (OTDR) is unable to observe the following effect:  
?An optical reflectometer in modulation-frequency domain is unable to observe the following effect:  
!connector reflection ! separate two reflections at  $d = 30cm$   
! Rayleigh scattering !open-end reflection

?A  $C = 10Gbit/s$  optical link uses simple ON/OFF modulation without forward-error correction (FEC). The user requires a bit-error rate below  $BER < 10^{-13}$ . How much time is needed  $t = ?$  for the BER measurement to detect at least one error?  
?A  $C = 10Gbit/s$  optical link uses simple ON/OFF modulation without forward-error correction (FEC). The user requires a bit-error rate below  $BER < 10^{-11}$ . How much time is needed  $t = ?$  for the BER measurement to detect at least one error?  
!2min ! 17min ! 10s !2.8h

?A telecommunication semiconductor laser for  $\lambda = 1310nm$  uses a heterostructure to improve its performances: light guiding in the waveguide core and a larger energy bandgap of the cladding. The heterostructure is made from:  
?A telecommunication semiconductor laser for  $\lambda = 850nm$  uses a heterostructure to improve its performances: light guiding in the waveguide core and a larger energy bandgap of the cladding. The heterostructure is made from:  
! $GaAlN : GaN$  !  $InGaAsP : InP$  !  $GaAlAs : GaAs$  ! $SiGe : C$

? An unpolarized HeNe laser tube is long enough to support two longitudinal modes, both having the same transversal field distribution. The two modes are polarized:  
? A polarized HeNe laser tube is long enough to support two longitudinal modes, both having the same transversal field distribution. The two modes are polarized:  
!orthogonal RHCP/LHCP ! orthogonal linear  
! parallel linear !both LHCP or both RHCP

## \*5. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 30.05.2019

?Germanijeva fotodioda doseže kvantni izkoristek  $\eta = 70\%$  pri valovni dolžini  $\lambda = 1310nm$ . Kolikšna je odzivnost  $I/P = ?$  takšne fotodiode pri zaporni napetosti, kjer še ne pride do pojava plazovnega ojačanja? ( $h = 6.626 \cdot 10^{-34}Js$ ,  $c_0 = 3 \cdot 10^8m/s$ ,  $Q_e = -1.6 \cdot 10^{-19}As$ ). ?Germanijeva fotodioda doseže kvantni izkoristek  $\eta = 40\%$  pri valovni dolžini  $\lambda = 1550nm$ . Kolikšna je odzivnost  $I/P = ?$  takšne fotodiode pri zaporni napetosti, kjer še ne pride do pojava plazovnega ojačanja? ( $h = 6.626 \cdot 10^{-34}Js$ ,  $c_0 = 3 \cdot 10^8m/s$ ,  $Q_e = -1.6 \cdot 10^{-19}As$ ). !0.633A/W ! 0.499A/W ! 0.738A/W !0.873A/W

?PIN-FET modul vsebuje fotodiodo z odzivnostjo  $I/P = 0.6A/W$  in ojačevalnik s transimpedanco  $R_t = 1k\Omega$ . Kolikšno izhodno napetost  $U = ?$  (vrh-vrh) dobimo s svetlobnim krmilnim signalom povprečne optične moči  $\langle P_O \rangle = -10dBm$  (50% enic, 50% ničel in visoko ugasno razmerje)? ?PIN-FET modul vsebuje fotodiodo z odzivnostjo  $I/P = 0.6A/W$  in ojačevalnik s transimpedanco  $R_t = 667\Omega$ . Kolikšno izhodno napetost  $U = ?$  (vrh-vrh) dobimo s svetlobnim krmilnim signalom povprečne optične moči  $\langle P_O \rangle = -10dBm$  (50% enic, 50% ničel in visoko ugasno razmerje)? !60mV ! 80mV ! 120mV !160mV

?Erbijev vlakenski laserski ojačevalnik za signal  $\lambda_s = 1550nm$  lahko črpamo na različne načine. Katera je najpomembnejša prednost črpanja na  $\lambda_p = 980nm$  v primerjavi s črpanjem na  $\lambda_p = 1480nm$ ? ?Erbijev vlakenski laserski ojačevalnik za signal  $\lambda_s = 1550nm$  lahko črpamo na različne načine. Katera je najpomembnejša prednost črpanja na  $\lambda_p = 1480nm$  v primerjavi s črpanjem na  $\lambda_p = 980nm$ ? !višje ojačanje ! višja izhodna moč ! nižji šum !krajše aktivno vlakno

?PIN-FET modul ima optično pasovno širino  $B_o = 7GHz$ . Kolikšna je lahko električna pasovna širina  $B_e = ?$  istega svetlobnega sprejemnika pri isti valovni dolžini  $\lambda = 1550nm$ ? ?PIN-FET modul ima električno pasovno širino  $B_e = 7GHz$ . Kolikšna je lahko optična pasovna širina  $B_o = ?$  istega svetlobnega sprejemnika pri isti valovni dolžini  $\lambda = 1550nm$ ? !4GHz !7GHz ! 11GHz !4THz

?Ethernet okvir vsebuje na začetku MAC naslov prejemnika in nato še MAC naslov pošiljatelja.

Ethernet MAC naslov poljubne naprave, kar običajno določi in vpiše proizvajalec, ima naslednjo dolžino: ?Ethernet okvir vsebuje na začetku MAC naslov prejemnika in nato še MAC naslov pošiljatelja.

Naslovoma sledi polje, ki določa vrsto tovora (DIX) ali pa dolžino tovora (IEEE), dolžine: ! 16bit !32bit ! 48bit !128bit

?1Gbit/s Ethernet media-converter z enim samim priključkom SC-PC za enorodovno vlakno omogoča dvosmerni prenos z naslednjo vrsto multipleksiranja: ?1Gbit/s Ethernet media-converter z dvema priključkoma SC-PC za enorodovno vlakno omogoča dvosmerni prenos z naslednjo vrsto multipleksiranja: !TDM ! WDM !half-duplex ! brez multipleksiranja

? 100Mbit/s (100 BASE-TX) Ethernet po UTP kablu lahko uporablja naslednjo vrsto nadzora pretoka (flow control):

? 10Mbit/s (10 BASE-T) Ethernet po UTP kablu lahko uporablja naslednjo vrsto nadzora pretoka (flow control): !signal RTS/CTS

! pause frame (okvirji) !VLAN polje ! namerno motenje (jabber)

?Ethernet stikalo (switch) z nekaterimi računalniki deluje brezhibno, z drugimi ne dela, ne glede na vtičnico RJ45 na stikalu.

Najverjetnejši vzrok opisane napake je: ?Ethernet stikalo (switch)

v zvezi z istim računalnikom na nekaterih vtičnicah RJ45 deluje brezhibno, na drugih ne. Najverjetnejši vzrok opisane napake je:

!stikalo ne pozna IPv6 ! frekvenca ure stikala odstopa !uporaba kablov CAT6 ! poškodovane vtičnice stikala

?Infrardeči daljinec vsebuje neusmerjeno svetlečo diodo moči  $P_{TX} = 20mW$  na valovni dolžini  $\lambda = 900nm$ . Kolikšno moč prejme sprejemna PIN fotodioda s površino  $A = 1mm^2$  na razdalji  $r = 5m$ , če odboje od sten sobe in slabljenje ozračja zanemarimo?

?Infrardeči daljinec vsebuje neusmerjeno svetlečo diodo moči  $P_{TX} = 20mW$  na valovni dolžini  $\lambda = 900nm$ . Kolikšno moč prejme sprejemna PIN fotodioda s površino  $A = 1mm^2$  na razdalji  $r = 1.5m$ , če odboje od sten sobe in slabljenje ozračja zanemarimo?

!-70.5dBm ! 64pW !316pW !-61.5dBm

?Z osciloskopom izmerimo na izhodu APD-FET modula povprečni napetosti enice  $\langle U_1 \rangle = 200mV$  in ničle  $\langle U_0 \rangle = 20mV$ . Zrnati šum opazimo kot povečani šum enice  $\sigma_1 = 20mV_{eff}$  v primerjavi s šumom ničle  $\sigma_0 = 10mV_{eff}$ . Kolikšno je razmerje signal/šum  $Q = ?$  ?Z osciloskopom izmerimo na izhodu APD-FET modula povprečni napetosti enice  $\langle U_1 \rangle = 200mV$  in ničle  $\langle U_0 \rangle = 20mV$ .

Zrnati šum opazimo kot povečani šum enice  $\sigma_1 = 15mV_{eff}$  v primerjavi s šumom ničle  $\sigma_0 = 10mV_{eff}$ . Kolikšno je razmerje signal/šum  $Q = ?$  !5.00 ! 6.00 !8.33 ! 7.20

? Pogostnost napak v optični zvezi najbolj verodostojno in ponovljivo izmerimo z naslednjo vrsto preizkusnega sporočila:

? 100Mbit/s Ethernet uporablja kot mašilo (idle) med posameznimi podatkovnimi okvirji: !okvirji z veljavnim CRC

! maksimalno zaporedje  $2^N - 1$  !izmenična veriga 01010101 ! veriga samih enic 11111111

?Sprejemnik s plazovno fotodiodo iz germanija (Ge) doseže najboljše razmerje signal šum pri zaporni napetosti približno: ?Sprejemnik

s plazovno fotodiodo iz InGaAs doseže najboljše razmerje signal šum pri zaporni napetosti približno: !10V ! 30V ! 70V !150V

## \*5. midterm exam OPTICAL COMMUNICATIONS - 30.05.2019

?A germanium photodiode achieves a quantum efficiency  $\eta = 70\%$  at a wavelength  $\lambda = 1310nm$ . What is the responsivity  $I/P = ?$  of this photodiode at a reverse voltage that does not trigger avalanche multiplication yet? ( $h = 6.626 \cdot 10^{-34} Js$ ,  $c_0 = 3 \cdot 10^8 m/s$ ,  $Q_e = -1.6 \cdot 10^{-19} As$ ). ?A germanium photodiode achieves a quantum efficiency  $\eta = 40\%$  at a wavelength  $\lambda = 1550nm$ . What is the responsivity  $I/P = ?$  of this photodiode at a reverse voltage that does not trigger avalanche multiplication yet? ( $h = 6.626 \cdot 10^{-34} Js$ ,  $c_0 = 3 \cdot 10^8 m/s$ ,  $Q_e = -1.6 \cdot 10^{-19} As$ ). !0.633A/W ! 0.499A/W ! 0.738A/W !0.873A/W

?A PIN-FET module includes a photodiode with a responsivity  $I/P = 0.6A/W$  and an amplifier with a transimpedance  $R_t = 1k\Omega$ . What is the output voltage  $U = ?$  (peak-to-peak) obtained with an optical drive signal of an average optical power  $\langle P_O \rangle = -10dBm$  (50% ones, 50% zeros and high extinction ratio)? ?A PIN-FET module includes a photodiode with a responsivity  $I/P = 0.6A/W$  and an amplifier with a transimpedance  $R_t = 667\Omega$ . What is the output voltage  $U = ?$  (peak-to-peak) obtained with an optical drive signal of an average optical power  $\langle P_O \rangle = -10dBm$  (50% ones, 50% zeros and high extinction ratio)? !60mV ! 80mV ! 120mV !160mV

?An erbium fiber laser amplifier for  $\lambda_s = 1550nm$  signals can be pumped in different ways. Which is the most important advantage of  $\lambda_p = 980nm$  pumping compared to  $\lambda_p = 1480nm$  pumping? ?An erbium fiber laser amplifier for  $\lambda_s = 1550nm$  signals can be pumped in different ways. Which is the most important advantage of  $\lambda_p = 1480nm$  pumping compared to  $\lambda_p = 980nm$  pumping? !higher gain ! higher output power ! lower noise !shorter active fiber

?A PIN-FET module achieves an optical bandwidth  $B_o = 7GHz$ . What may be the electrical bandwidth  $B_e = ?$  of the same lightwave receiver at the same wavelength  $\lambda = 1550nm$ ? ?A PIN-FET module achieves an electrical bandwidth  $B_e = 7GHz$ . What may be the optical bandwidth  $B_o = ?$  of the same lightwave receiver at the same wavelength  $\lambda = 1550nm$ ? !4GHz !7GHz !11GHz !4THz

?An Ethernet frame includes the destination MAC address at the beginning followed by the source MAC address. The Ethernet MAC address of arbitrary hardware, usually defined by the manufacturer, has the following length: ?An Ethernet frame includes the destination MAC address at the beginning followed by the source MAC address. Both addresses are followed by a type field (DIX) or length field (IEEE), with a length of: ! 16bits !32bits ! 48bits !128bits

?A 1Gbit/s Ethernet media-converter with a single SC-PC connector for single-mode fiber allows a bidirectional transmission using the following form of multiplexing: ?A 1Gbit/s Ethernet media-converter with two SC-PC connectors for single-mode fiber allows a bidirectional transmission using the following form of multiplexing: !TDM ! WDM !half-duplex ! without any multiplexing

? 100Mbit/s (100 BASE-TX) Ethernet over UTP cable may use the following flow control: ? 10Mbit/s (10 BASE-T) Ethernet over UTP cable may use the following flow control: !RTS/CTS signal ! pause frames !VLAN field ! intentional jamming (jabber)

?An Ethernet switch works flawlessly with some computers while does not work with other computers, regardless of the RJ45 port used. The most likely cause of the described problem is: ?An Ethernet switch works flawlessly on some RJ45 ports and does not work on other RJ45 ports with the same computer. The most likely cause of the described problem is: !switch incompatible with IPv6 ! switch clock inaccurate !use of CAT6 cables ! damaged RJ45 ports

?An infrared remote control includes an omnidirectional LED with  $P_{TX} = 20mW$  output power on  $\lambda = 900nm$  wavelength. What power is received by a PIN photodiode with a  $A = 1mm^2$  are at the distance of  $r = 5m$  if room-wall reflections and atmospheric absorption can be neglected? ?An infrared remote control includes an omnidirectional LED with  $P_{TX} = 20mW$  output power on  $\lambda = 900nm$  wavelength. What power is received by a PIN photodiode with a  $A = 1mm^2$  are at the distance of  $r = 1.5m$  if room-wall reflections and atmospheric absorption can be neglected? !-70.5dBm ! 64pW !316pW !-61.5dBm

?An oscilloscope is used to measure the average values of logical ones  $\langle U_1 \rangle = 200mV$  and zeroes  $\langle U_0 \rangle = 20mV$  at the output of an APD-FET module. The quantum noise is observed as an increase of the  $\sigma_1 = 20mV_{eff}$  logical one noise compared to the  $\sigma_0 = 10mV_{eff}$  logical zero noise. What is the signal-to-noise ratio  $Q = ?$  ?An oscilloscope is used to measure the average values of logical ones  $\langle U_1 \rangle = 200mV$  and zeroes  $\langle U_0 \rangle = 20mV$  at the output of an APD-FET module. The quantum noise is observed as an increase of the  $\sigma_1 = 15mV_{eff}$  logical one noise compared to the  $\sigma_0 = 10mV_{eff}$  logical zero noise. What is the signal-to-noise ratio  $Q = ?$  !5.00 ! 6.00 !8.33 ! 7.20

? The bit-error rate of an optical link is measured reliably with the following test message:

? 100Mbit/s Ethernet uses the following idle signal between valid data frames: !frames with valid CRC ! maximum sequence  $2^N - 1$  !alternating 01010101 ! logical ones 11111111

?A receiver with a germanium (Ge) avalanche photodiode achieves the best signal-to-noise ratio at an approximate reverse voltage: ?A receiver with an InGaAs avalanche photodiode achieves the best signal-to-noise ratio at an approximate reverse voltage: !10V ! 30V ! 70V !150V



# \*1. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 05.03.2020

?Ko v **vrvični** zvezi ni neželenih odbojev, je slabljenje zveze v logaritemskih enotah  $a[dB]$  naslednja funkcija dolžine zveze  $r[km]$ , kjer je  $C$  konstanta z merskimi enotami: ?Ko v **brezvrvični** zvezi ni neželenih odbojev, je slabljenje zveze v logaritemskih enotah  $a[dB]$  naslednja funkcija dolžine zveze  $r[km]$ , kjer je  $C$  konstanta z merskimi enotami:  $a = C \cdot r^{-2}$  !  $a = C \cdot r$  !  $a = 20 \cdot \log_{10}(C/r)$   
 $a = 10^{-(r/C)}$

?Če podvojimo pasovno širino zveze  $B$  in ostanejo vsi ostali podatki zveze nespremenjeni: moč oddajnika  $P[W]$ , slabljenje prenosne poti  $a[dB]$  in spektralna gostota šuma sprejemnika  $N_0[J]$ , **zmogljivost  $C[bit/s]$** : ?Če podvojimo pasovno širino zveze  $B$  in ostanejo vsi ostali podatki zveze nespremenjeni: moč oddajnika  $P[W]$ , slabljenje prenosne poti  $a[dB]$  in spektralna gostota šuma sprejemnika  $N_0[J]$ , **spektralna učinkovitost  $C/B[bit]$** : !gre proti nič ! **se poveča** ! **se zmanjša** !ostane nespremenjena

?S periodičnim vstavljanjem koncentriranih Pupinovih tuljav v žični dvovod **jakost sprejema  $P_{RX}[W]$** : ?S periodičnim vstavljanjem koncentriranih Pupinovih tuljav v žični dvovod **pasovna širina  $B[Hz]$** : !gre proti nič ! **se poveča** ! **se zmanjša** !ostane nespremenjena

?Z izbiro **Planckove konstante  $h = 6.62607015 \cdot 10^{-34} Js$**  je določena velikost naslednje merske enote v mednarodnem sistemu merskih enot: ?Z izbiro **Boltzmannove konstante  $k_B = 1.380649 \cdot 10^{-23} J/K$**  je določena velikost naslednje merske enote v mednarodnem sistemu merskih enot: !**m(meter)** ! **kg(kilogram)** ! **K(kelvin)** !**A(ampere)**

?Kakovostno svetlobno vlakno na osnovi kremenovega stekla  $SiO_2$  in jedrom z dodatkom  $GeO_2$  dosega v **I oknu  $\lambda_0 \approx 850nm$**  naslednje slabljenje na enoto dolžine  $a/l$ : ?Kakovostno svetlobno vlakno na osnovi kremenovega stekla  $SiO_2$  in jedrom z dodatkom  $GeO_2$  dosega v **II oknu  $\lambda_0 \approx 1310nm$**  naslednje slabljenje na enoto dolžine  $a/l$ : !**-0.2dB/km** ! **-0.4dB/km** ! **-3dB/km** !**-20dB/km**

?Svetloba vpada iz praznega prostora (zrak  $n_1 \approx 1$ ) na površino **polprevodnika  $n_2 \approx 3.7$** . Pri katerem vpadnem kotu  $\Theta_B = ?$  (Brewster) vsebuje odbiti žarek samo komponento TE, komponenta TM pa popolnoma izgine? ?Svetloba vpada iz praznega prostora (zrak  $n_1 \approx 1$ ) na površino **kristala  $n_2 \approx 2.2$** . Pri katerem vpadnem kotu  $\Theta_B = ?$  (Brewster) vsebuje odbiti žarek samo komponento TE, komponenta TM pa popolnoma izgine? ! **74.9°** !**56.3°** ! **65.6°** !**53.1°**

?Laserski žarek moči  $P_V = 20mW$  vpada iz praznega prostora (zrak  $n_1 \approx 1$ ) pravokotno na površino **kristala YAG  $n_2 \approx 1.833$** . Kolikšna je moč  $P_O = ?$  odbitega žarka? ?Laserski žarek moči  $P_V = 20mW$  vpada iz praznega prostora (zrak  $n_1 \approx 1$ ) pravokotno na površino **diamanta  $n_2 \approx 2.418$** . Kolikšna je moč  $P_O = ?$  odbitega žarka? ! **1.73mW** !**5.9mW** ! **3.44mW** !**8.3mW**

?Kolikšna naj bo debelina antirefleksnega sloja  $d = ?$ , ki ga nanese na izstopno ploskev kristala **laserja Nd:YAG  $n_1 \approx 1.833$** , da vsa svetloba z valovno dolžino  $\lambda_0 = 1064nm$  izstopi v okoliški zrak ( $n_2 \approx 1$ )? ?Kolikšna naj bo debelina antirefleksnega sloja  $d = ?$ , ki ga nanese na izstopno ploskev kristala **polprevodniškega laserja  $n_1 \approx 3.7$** , da vsa svetloba z valovno dolžino  $\lambda_0 = 1064nm$  izstopi v okoliški zrak ( $n_2 \approx 1$ )? ! **197nm** !**266nm** ! **138nm** !**72nm**

?Pri tuneliranju valovanja je valovni vektor  $\vec{k}$  v **vmesni redkejši** snovi: ?Pri tuneliranju valovanja je valovni vektor  $\vec{k}$  v **izstopni gostejši** snovi: ! **kompleksen** !čisto imaginaren ! **čisto realen** !enak nič

?Svetloba izstopa iz pravilno odrezanega konca optičnega vlakna z numerično aperturo  **$NA = 0.47$**  v zrak. Kolikšen je premer  $2r = ?$  osvetljenega kroga na belem zaslonu na oddaljenosti  $d = 15cm$  od konca vlakna? ?Svetloba izstopa iz pravilno odrezanega konca optičnega vlakna z numerično aperturo  **$NA = 0.22$**  v zrak. Kolikšen je premer  $2r = ?$  osvetljenega kroga na belem zaslonu na oddaljenosti  $d = 15cm$  od konca vlakna? ! **14cm** !**11cm** ! **6.6cm** !**8.8cm**

?Kolikšna je numerična apertura  $NA = ?$  šibkolomnega svetlobnega vlakna na osnovi kremenovega stekla (lomni količnik  $SiO_2$  je v velikostnem razredu  $n \approx 1.46$ ), če relativna razlika lomnih količnikov dosega  **$\Delta = 0.01$** ? ?Kolikšna je numerična apertura  $NA = ?$  šibkolomnega svetlobnega vlakna na osnovi kremenovega stekla (lomni količnik  $SiO_2$  je v velikostnem razredu  $n \approx 1.46$ ), če relativna razlika lomnih količnikov dosega  **$\Delta = 0.003$** ? ! **0.21** !**0.47** ! **0.11** !**0.16**

?Koliko se razširi  $\Delta t = ?$  svetlobni impulz v  $l = 1km$  šibkolomnega svetlobnega vlakna na osnovi kremenovega stekla (lomni količnik  $SiO_2$  je v velikostnem razredu  $n \approx 1.46$ ), če relativna razlika lomnih količnikov dosega  **$\Delta = 0.015$** ? ?Koliko se razširi  $\Delta t = ?$  svetlobni impulz v  $l = 1km$  šibkolomnega svetlobnega vlakna na osnovi kremenovega stekla (lomni količnik  $SiO_2$  je v velikostnem razredu  $n \approx 1.46$ ), če relativna razlika lomnih količnikov dosega  **$\Delta = 0.005$** ? !**8ns** ! **24ns** !**220ns** ! **73ns**

## \*2. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 26.03.2020

?Mnogorodovno svetlobno vlakno dolžine  $l = 3km$  s stopničastim lomnim likom ima lomna količnika jedra  $n_1 = 1.47$  in obloge  $n_2 = 1.46$ . Kolikšna je časovna razlika  $\Delta t = ?$  med prihodom najpočasnejšega in najhitrejšega rodu, če premer jedra omogoča veliko rodov? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ) ?Mnogorodovno svetlobno vlakno dolžine  $l = 3km$  s stopničastim lomnim likom ima lomna količnika jedra  $n_1 = 1.48$  in obloge  $n_2 = 1.46$ . Kolikšna je časovna razlika  $\Delta t = ?$  med prihodom najpočasnejšega in najhitrejšega rodu, če premer jedra omogoča veliko rodov? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ) !68ns !100ns !200ns !0.47 $\mu s$

?Glavna pomanjkljivost enorodovnega vlakna na osnovi kremenovega stekla  $SiO_2$ , ki ima numerično aperturo  $NA = 0.03$  in standardiziran zunanji premer  $2r = 125\mu m$ , je: ?Glavna pomanjkljivost enorodovnega vlakna na osnovi kremenovega stekla  $SiO_2$ , ki ima numerično aperturo  $NA = 0.3$  in standardiziran zunanji premer  $2r = 125\mu m$ , je: !krivinsko slabljenje !majhna pasovna širina !zelo majhno jedro !težavna izdelava

?Stekleno ploščico debeline  $d = 0.8mm$  uporabljamo kot enodimenzijski valovod za zeleno svetlobo  $Ar/Ar^+$  laserja z valovno dolžino  $\lambda_0 = 514nm$ . Kolikšna je normirana frekvenca v valovodu  $V = ?$ , če stekleno ploščico  $n_1 \approx 1.5$  obdaja zrak  $n_2 \approx 1$ ? ?Stekleno ploščico debeline  $d = 0.5mm$  uporabljamo kot enodimenzijski valovod za zeleno svetlobo  $Ar/Ar^+$  laserja z valovno dolžino  $\lambda_0 = 514nm$ . Kolikšna je normirana frekvenca v valovodu  $V = ?$ , če stekleno ploščico  $n_1 \approx 1.5$  obdaja zrak  $n_2 \approx 1$ ? !13667 !10934 !5467 !6833

?Ko se v triplastnem  $n_2, n_1, n_2$  enodimenzijskem valovodu fazna konstanta približuje valovnemu številu v jedru  $\beta \rightarrow k_1$ , se vpadni kot  $\Theta$  na mejo dielektrikov približuje vrednosti: ?Ko se v triplastnem  $n_2, n_1, n_2$  enodimenzijskem valovodu fazna konstanta približuje valovnemu številu v oblogi  $\beta \rightarrow k_2$ , se vpadni kot  $\Theta$  na mejo dielektrikov približuje vrednosti: ! $\Theta \rightarrow \pi/2$  ! $\Theta \rightarrow 0$  ! $\Theta \rightarrow \arcsin(n_2/n_1)$  ! $\Theta \rightarrow \arctan(n_1/n_2)$

?Lomni količnik nanešene čiste plasti v postopku MCVD zvišujemo tako, da v plinsko zmes dodajamo naslednjo zelo čisto kemijsko spojino: ?Lomni količnik nanešene čiste plasti v postopku MCVD znižujemo tako, da v plinsko zmes dodajamo naslednjo zelo čisto kemijsko spojino: !hlape tekočine  $SiCl_4$  !hlape tekočine  $GeCl_4$  !plin  $O_2$  !plin  $F_2$

?Kateri fizikalni pojav daje največje slabljenje v vlaknu na osnovi kremenovega stekla  $SiO_2$  pri valovi dolžini  $\lambda_0 = 1.4\mu m$ ? ?Kateri fizikalni pojav daje največje slabljenje v vlaknu na osnovi kremenovega stekla  $SiO_2$  pri valovi dolžini  $\lambda_0 = 0.7\mu m$ ? !UV rezonance  $SiO_2$  !rezonance nečistoč  $OH^-$  !IR rezonance  $SiO_2$  !Rayleighjevo sipanje

?Kateri razstavljeni (konektorski) spoj dveh enorodovnih svetlobnih vlaken daje najboljšo vstavitevno slabljenje? ?Kateri razstavljeni (konektorski) spoj dveh enorodovnih svetlobnih vlaken daje najboljšo odbojno slabljenje? !FC ravno brušen !FC-PC krivinsko brušen !FC-APC kotno brušen !neodvisno od vrste brušenja

?V položenem kablu dolžine  $l = 64km$  izmerimo povprečno vrednost polarizacijske rodovne razpršitve  $\Delta t_{PMD} = 4ps$ . Kolikšen je koeficient polarizacijske rodovne razpršitve  $D_{PMD} = ?$  za navedeni kabel? ?V položenem kablu dolžine  $l = 16km$  izmerimo povprečno vrednost polarizacijske rodovne razpršitve  $\Delta t_{PMD} = 4ps$ . Kolikšen je koeficient polarizacijske rodovne razpršitve  $D_{PMD} = ?$  za navedeni kabel? !0.5ps/ $\sqrt{km}$  !0.25ps/ $\sqrt{km}$  !1.0ps/ $\sqrt{km}$  !2.0ps/ $\sqrt{km}$

?Kolikšen je doseg  $l = ?$  zveze zmogljivosti  $C = 20Gbit/s$  s kakovostnim oddajnikom z ozkopasovnim laserjem in preprosto modulacijo ON/OFF po vlaknu NZDSF s koeficientom barvne razpršitve  $D = +6ps/(nm \cdot km)$  pri valovni dolžini  $\lambda_0 = 1.55\mu m$ ? ?Kolikšen je doseg  $l = ?$  zveze zmogljivosti  $C = 40Gbit/s$  s kakovostnim oddajnikom z ozkopasovnim laserjem in preprosto modulacijo ON/OFF po vlaknu NZDSF s koeficientom barvne razpršitve  $D = +6ps/(nm \cdot km)$  pri valovni dolžini  $\lambda_0 = 1.55\mu m$ ? !52km !26km !13km !4.5km

?Zveza dolžine  $l = 40km$  uporablja kabel z NZDSF vlaknom, ki ima koeficient barvne razpršitve  $D = +7ps/(nm \cdot km)$ . Barvno razpršitev odstranimo s kolutom DCF vlakna, ki ima barvno razpršitev  $D' = -80ps/(nm \cdot km)$ . Kolikšno dolžino DCF vlakna  $l' = ?$  potrebujemo? ?Zveza dolžine  $l = 40km$  uporablja kabel z NZDSF vlaknom, ki ima koeficient barvne razpršitve  $D = +5ps/(nm \cdot km)$ . Barvno razpršitev odstranimo s kolutom DCF vlakna, ki ima barvno razpršitev  $D' = -80ps/(nm \cdot km)$ . Kolikšno dolžino DCF vlakna  $l' = ?$  potrebujemo? !3.5km !3.0km !2.5km !4.5km

?Kolikšno dolžino vlakna  $l_v = ?$  zunanjskega premera  $2r_v = 125\mu m$  dobimo iz preforma premera  $2r_p = 10mm$  in dolžine  $l_p = 40cm$  brez postopka rod-in-tube? ?Kolikšno dolžino vlakna  $l_v = ?$  zunanjskega premera  $2r_v = 125\mu m$  dobimo iz preforma premera  $2r_p = 15mm$  in dolžine  $l_p = 40cm$  brez postopka rod-in-tube? !1280m !2560m !5760m !11520m

?V dielektričnem valovodu izračunamo oziroma izmerimo povezavo med fazno konstanto  $\beta[rd/m]$  in krožno frekvenco  $\omega[rd/s]$  v širšem področju frekvenc oziroma valovnih dolžin. Kako v valovodu določimo fazno hitrost  $v_f = ?$ ? ?V dielektričnem valovodu izračunamo oziroma izmerimo povezavo med fazno konstanto  $\beta[rd/m]$  in krožno frekvenco  $\omega[rd/s]$  v širšem področju frekvenc oziroma valovnih dolžin. Kako v valovodu določimo skupinsko hitrost  $v_g = ?$  ! $\omega/\beta$  ! $d^2\beta/d\omega^2$  ! $d\omega/d\beta$  ! $d\beta/d\omega$

### \*3. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 16.04.2020

?Standardno vlakno G.652 ima valovno dolžino ničelne barvne razpršitve  $\lambda(D=0) = 1310nm$ . Njegova barvna razpršitev doseže  $D = +17ps/(nm.km)$  na valovni dolžini  $\lambda_0 = 1550nm$ . Kolikšno barvno razpršitev pričakujemo na valovni dolžini PON omrežja  $\lambda = 1490nm$ ? ?Standardno vlakno G.652 ima valovno dolžino ničelne barvne razpršitve  $\lambda(D=0) = 1310nm$ . Njegova barvna razpršitev doseže  $D = +17ps/(nm.km)$  na valovni dolžini  $\lambda_0 = 1550nm$ . Kolikšno barvno razpršitev pričakujemo na valovni dolžini PON omrežja  $\lambda = 1620nm$ ?  $+17ps/(nm.km)$  !  $+13ps/(nm.km)$  !  $+22ps/(nm.km)$  !  $-80ps/(nm.km)$

?Mnogorodovno gradientno vlakno ima produkt modulacijske pasovne širine in dolžine  $B.l = 330MHz.km$ . Kolikšen domet  $l = ?$  doseže prenos analognega signala pasovne širine  $B = 30MHz$ ? ?Mnogorodovno gradientno vlakno ima produkt modulacijske pasovne širine in dolžine  $B.l = 330MHz.km$ . Kolikšen domet  $l = ?$  doseže prenos analognega signala pasovne širine  $B = 60MHz$ ?  $!44km$  !  $11km$  !  $5.5km$  !  $22km$

?Pri kateri moči svetlobnega signala  $P = ?$  doseže električna poljska jakost v jedru vlakna z efektivno površino  $A_{eff} = 30\mu m^2$  vrednost  $E = 100kV/m$ ? Lomni količnik jedra dosega  $n_1 = 1.47$ , polje je linearno polarizirano. ( $Z_0 \approx 377\Omega$ ) ?Pri kateri moči svetlobnega signala  $P = ?$  doseže električna poljska jakost v jedru vlakna z efektivno površino  $A_{eff} = 80\mu m^2$  vrednost  $E = 100kV/m$ ? Lomni količnik jedra dosega  $n_1 = 1.47$ , polje je linearno polarizirano. ( $Z_0 \approx 377\Omega$ )  $!6mW$  !  $0.6mW$  !  $1.6mW$  !  $16mW$

?Po vlaknu NZDSF peljemo dva močna signala na valovnih dolžinah  $\lambda_1 = 1553.8nm$  in  $\lambda_2 = 1554.2nm$ . Na kateri valovni dolžini  $\lambda_{motnja} = ?$  pričakujemo produkt štiri-valovnega mešanja, ki moti ostale signale valovno-dolžinskega multipleksa? ?Po vlaknu NZDSF peljemo dva močna signala na valovnih dolžinah  $\lambda_1 = 1552.8nm$  in  $\lambda_2 = 1553.2nm$ . Na kateri valovni dolžini  $\lambda_{motnja} = ?$  pričakujemo produkt štiri-valovnega mešanja, ki moti ostale signale valovno-dolžinskega multipleksa?  $!1553.4nm$  !  $1553.1nm$  !  $1553.6nm$  !  $1554.7nm$

?Štirivalovno mešanje omejuje barvna razpršitev vlakna, ki povzroča fazno neuskkljenost  $\Delta\beta = -4.5rd/km$ . Kolikšna je efektivna dolžina vlakna  $l_{eff} = ?$  za štirivalovno mešanje, če slabljenje vlakna smemo zanemariti? ?Štirivalovno mešanje omejuje barvna razpršitev vlakna, ki povzroča fazno neuskkljenost  $\Delta\beta = -1.5rd/km$ . Kolikšna je efektivna dolžina vlakna  $l_{eff} = ?$  za štirivalovno mešanje, če slabljenje vlakna smemo zanemariti?  $!222m$  !  $1444m$  !  $667m$  !  $1110m$

?Kateri od navedenih sklopov svetlobe ima najboljši izkoristek pri  $\lambda_0 = 1310nm$ ? ?Kateri od navedenih sklopov svetlobe ima najslabši izkoristek pri  $\lambda_0 = 1310nm$ ?  $!vlakno G.651 \rightarrow fotodioda$  !  $LASER \rightarrow vlakno G.652$  !  $LED \rightarrow vlakno G.652$  !  $LED \rightarrow vlakno G.651$

?Kolikšna je valvnodolžinska širina  $\Delta\lambda = ?$  polprevodniškega laserja, ki niha na osrednji frekvenci  $f_0 = 230THz$  s spektralno črto širine  $\Delta f = 1THz$ ? ?Kolikšna je vzdolžna koherenčna dolžina  $d = ?$  polprevodniškega laserja, ki niha na osrednji frekvenci  $f_0 = 230THz$  s spektralno črto širine  $\Delta f = 1THz$ ?  $!1.3\mu m$  !  $6nm$  !  $0.3mm$  !  $3cm$

?Kolikšen je domet  $d = ?$  merilnika OTDR, ki oddaja impulze  $t_p = 1\mu s$  moči  $P_{TX} = +20dBm$  ter sprejemnikom občutljivosti  $P_{RX} = -40dBm$ ? Rayleighjevo sipanje v vlaknu s slabljenjem  $a/l = -0.35dB/km$  ima odbojnost  $\Gamma_{1ns} = -76dB$ . Upoštevajte slabljenje dvojne poti od oddajnika do mesta odboja in nazaj v sprejemnik. ?Kolikšen je domet  $d = ?$  merilnika OTDR, ki oddaja impulze  $t_p = 5\mu s$  moči  $P_{TX} = +20dBm$  ter sprejemnikom občutljivosti  $P_{RX} = -40dBm$ ? Rayleighjevo sipanje v vlaknu s slabljenjem  $a/l = -0.35dB/km$  ima odbojnost  $\Gamma_{1ns} = -76dB$ . Upoštevajte slabljenje dvojne poti od oddajnika do mesta odboja in nazaj v sprejemnik.  $!10km$  !  $30km$  !  $15km$  !  $20km$

?WDM sistem uporablja kanalski razmak  $\Delta f = 100GHz$ , kjer barvna razpršitev vlakna zagotavlja fazno neuskkljenost  $\Delta\beta = -2.5rd/km$ . Kolikšno fazno neuskkljenost  $\Delta\beta' = ?$  prinese posodobitev sistema, ko kanalski razmak znižamo na  $\Delta f' = 33GHz$ ? ?WDM sistem uporablja kanalski razmak  $\Delta f = 100GHz$ , kjer barvna razpršitev vlakna zagotavlja fazno neuskkljenost  $\Delta\beta = -8.5rd/km$ . Kolikšno fazno neuskkljenost  $\Delta\beta' = ?$  prinese posodobitev sistema, ko kanalski razmak znižamo na  $\Delta f' = 33GHz$ ?  $!-0.272rd/km$  !  $-0.625rd/km$  !  $-0.926rd/km$  !  $-2.125rd/km$

?Kolikšna je najmanjša dolžina  $l = ?$  enorodovnega sklopnika  $50/50$  za  $\lambda_0 = 1550nm$ , če znaša utripna dolžina v dvojedrnem vlaknu  $\Lambda = 60mm$ ? ?Kolikšna je najmanjša dolžina  $l = ?$  enorodovnega sklopnika  $75/25$  za  $\lambda_0 = 1550nm$ , če znaša utripna dolžina v dvojedrnem vlaknu  $\Lambda = 60mm$ ?  $!15mm$  !  $25mm$  !  $10mm$  !  $5mm$

?Kolikšna je efektivna dolžina  $l_{eff} = ?$  za lastno fazno modulacijo v zelo dolgem vlaknu s slabljenjem  $a/l = -0.25dB/km$  pri  $\lambda_0 = 1550nm$ ? ?Kolikšna je efektivna dolžina  $l_{eff} = ?$  za lastno fazno modulacijo v zelo dolgem vlaknu s slabljenjem  $a/l = -0.17dB/km$  pri  $\lambda_0 = 1550nm$ ?  $!21.7km$  !  $17.4km$  !  $25.6km$  !  $12.4km$

?Vodoravno polarizirano svetlobo HP bi radi pretvorili v krožno RHCP. Kakšne vrste dvolomno ploščico potrebujemo? ?Vodoravno polarizirano svetlobo HP bi radi pretvorili v pokončno VP. Kakšne vrste dvolomno ploščico potrebujemo?  $!\lambda/4$  !  $\lambda/8$  !  $\lambda/2$  !  $\lambda$

## \*4. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 07.05.2020

?Ko svetleča dioda deluje na sobni temperaturi z nazivnim tokom  $I = 10mA$  v prevodni smeri, seva rdečo svetlobo pri  $\lambda_0 = 650nm$ . Kolikšen je padec napetosti na svetleči diodi? ?Ko svetleča dioda deluje na sobni temperaturi z nazivnim tokom  $I = 10mA$  v prevodni smeri, seva infrardečo svetlobo pri  $\lambda_0 = 900nm$ . Kolikšen je padec napetosti na svetleči diodi? !0.7V !1.8V !1.1V !2.7V

?Svetlobo toplotnega vira (žarnice z nitko) peljemo skozi monokromator (frekvenčno pasovno-prepustno sito) s pasovno širino  $\Delta\lambda = 3nm$  pri osrednji valovni dolžini  $\lambda = 1480nm$ . Kolikšna je vzdolžna koherenčna dolžina  $d = ?$  takšnega svetlobnega izvora? ?Svetlobo toplotnega vira (žarnice z nitko) peljemo skozi monokromator (frekvenčno pasovno-prepustno sito) s pasovno širino  $\Delta\lambda = 4nm$  pri osrednji valovni dolžini  $\lambda = 1480nm$ . Kolikšna je vzdolžna koherenčna dolžina  $d = ?$  takšnega svetlobnega izvora? !7.3mm !0.73mm !0.55mm !5.5mm

?Polprevodniški laser s FP rezonatorjem dolžine  $l = 450\mu m$  niha na  $N = 7$  vzdolžnih rodovih okoli osrednje valovne dolžine  $\lambda_0 = 1310nm$ . Kolikšna je širina spektra  $\Delta\lambda = ?$ , če znaša povprečni lomni količnik polprevodniške strukture  $n = 3.7$  ( $c_0 = 3 \cdot 10^8 m/s$ ) ?Polprevodniški laser s FP rezonatorjem dolžine  $l = 450\mu m$  niha na  $N = 5$  vzdolžnih rodovih okoli osrednje valovne dolžine  $\lambda_0 = 1310nm$ . Kolikšna je širina spektra  $\Delta\lambda = ?$ , če znaša povprečni lomni količnik polprevodniške strukture  $n = 3.7$  ( $c_0 = 3 \cdot 10^8 m/s$ ) !11nm !3.6nm !2.6nm !5.5nm

?Enorodovno svetlobno vlakno ima odbojnost Rayleighjevega sipanja  $\Gamma_{1ns} = -77dB$  in lomni količnik jedra  $n_1 = 1.47$  pri valovni dolžini  $\lambda_0 = 1310nm$ . Za koliko  $\Delta P[dB] = ?$  je odboj steklo/zrak na koncu vlakna močnejši od Rayleighjevega sipanja, če širino impulza OTDR nastavimo na  $t = 5\mu s$ ? ?Enorodovno svetlobno vlakno ima odbojnost Rayleighjevega sipanja  $\Gamma_{1ns} = -77dB$  in lomni količnik jedra  $n_1 = 1.47$  pri valovni dolžini  $\lambda_0 = 1310nm$ . Za koliko  $\Delta P[dB] = ?$  je odboj steklo/zrak na koncu vlakna močnejši od Rayleighjevega sipanja, če širino impulza OTDR nastavimo na  $t = 200ns$ ? !14.4dB !25.6dB !39.6dB !62.6dB

?Pasivno optično omrežje ima zmogljivost navzdol  $C = 2.5Gbit/s$  s preprosto ON/OFF modulacijo brez vnaprejšnjega popravljanja napak (FEC). Uporabnik zahteva pogostnost napak nižjo od  $BER < 10^{-10}$ . Koliko časa  $t = ?$  potrebujemo za meritev BER, da zaznamo vsaj eno napako? ?Pasivno optično omrežje ima zmogljivost navzdol  $C = 2.5Gbit/s$  s preprosto ON/OFF modulacijo brez vnaprejšnjega popravljanja napak (FEC). Uporabnik zahteva pogostnost napak nižjo od  $BER < 10^{-12}$ . Koliko časa  $t = ?$  potrebujemo za meritev BER, da zaznamo vsaj eno napako? !40s !4s !6.7min !1.1h

?Stikalo v optičnem omrežju z  $LiNbO_3$  MZM ima naslednjo pomanjkljivost: ?Stikalo v optičnem omrežju z Braggovim odbojem ima naslednjo pomanjkljivost: !štirivalovno mešanje !odvisnost od polarizacije !počasno delovanje !visok šum

?Raman-Nathov uklon svetlobe odkloni žarka prvega reda za kot  $\alpha = +/ - 0.2^\circ$ . Kolikšna je valovna dolžina zvočnega valovanja  $\Lambda = ?$  za rdečo svetlobo HeNe laserja  $\lambda = 633nm$ ? ?Raman-Nathov uklon svetlobe odkloni žarka prvega reda za kot  $\alpha = +/ - 0.3^\circ$ . Kolikšna je valovna dolžina zvočnega valovanja  $\Lambda = ?$  za rdečo svetlobo HeNe laserja  $\lambda = 633nm$ ? !83 $\mu m$  !181 $\mu m$  !121 $\mu m$  !242 $\mu m$

?Mach-Zehnderjev elektrooptični modulator dosega  $U_{\pi TE} = 5.1V$  pri valovni dolžini svetlobe v praznem prostoru  $\lambda_0 = 1550nm$ . Kolikšna je  $U'_{\pi TE} = ?$  za svetlobo  $\lambda'_0 = 1310nm$ , če zanemarimo odvisnost lomnega količnika  $LiNbO_3$  od valovne dolžine? ?Mach-Zehnderjev elektrooptični modulator dosega  $U_{\pi TE} = 7.1V$  pri valovni dolžini svetlobe v praznem prostoru  $\lambda_0 = 1550nm$ . Kolikšna je  $U'_{\pi TE} = ?$  za svetlobo  $\lambda'_0 = 1310nm$ , če zanemarimo odvisnost lomnega količnika  $LiNbO_3$  od valovne dolžine? !7.1V !4.3V !6.0V !5.1V

?Kolikšno moč ojačanega spontanega sevanja  $P_{ASE} = ?$  dosega na svojem izhodu na obeh polarizacijah erbijev vlakenski ojačevalnik z ojačanjem  $G = 30dB$  na osrednji frekvenci  $f = 194THz$  v pasovni širini  $\Delta f = 4THz$ ? ( $\mu \approx 1$ ,  $h = 6.626 \cdot 10^{-34} Js$ ,  $c_0 = 3 \cdot 10^8 m/s$ ) ?Kolikšno moč ojačanega spontanega sevanja  $P_{ASE} = ?$  dosega na svojem izhodu na obeh polarizacijah erbijev vlakenski ojačevalnik z ojačanjem  $G = 33dB$  na osrednji frekvenci  $f = 194THz$  v pasovni širini  $\Delta f = 4THz$ ? ( $\mu \approx 1$ ,  $h = 6.626 \cdot 10^{-34} Js$ ,  $c_0 = 3 \cdot 10^8 m/s$ ) !0.51mW !1.03mW !2.05mW !4.1mW

?Enorodovno vlakno ima slabljenje na enoto dolžine  $a/l = -0.2dB/km$ . Kolikšna je odbojnost  $\Gamma_{dB} = ?$  na vhodu vlakna dolžine  $l = 10km$ , če smemo Rayleighjevo sipanje zanemariti in povzroča odboj meja steklo( $n = 1.47$ )/zrak na drugem koncu vlakna? ?Enorodovno vlakno ima slabljenje na enoto dolžine  $a/l = -0.4dB/km$ . Kolikšna je odbojnost  $\Gamma_{dB} = ?$  na vhodu vlakna dolžine  $l = 10km$ , če smemo Rayleighjevo sipanje zanemariti in povzroča odboj meja steklo( $n = 1.47$ )/zrak na drugem koncu vlakna? !-14.4dB !-18.4dB !-22.4dB !-16.4dB

?Kolikšno mora biti ojačanje na enoto dolžine  $G/l = ?$  v valovodu dolžine  $l = 300\mu m$  polprevodniškega FP laserja, če za odboj na konceh valovoda poskrbi kar meja polprevodnik/zrak? Lomni količnik sredice valovoda znaša  $n_1 = 3.8$ . ?Kolikšno mora biti ojačanje na enoto dolžine  $G/l = ?$  v valovodu dolžine  $l = 500\mu m$  polprevodniškega FP laserja, če za odboj na konceh valovoda poskrbi kar meja polprevodnik/zrak? Lomni količnik sredice valovoda znaša  $n_1 = 3.8$ . !1.17  $\cdot 10^4 dB/m$  !1.56  $\cdot 10^4 dB/m$  !9.4  $\cdot 10^3 dB/m$  !18.7  $\cdot 10^4 dB/m$

?Kolikšna mora biti perioda ponavljanja  $d = ?$  uklonske mrežice (porazdeljenega zrcala) znotraj čipa DFB laserja, če znaša lomni količnik MQW valovoda  $n_1 = 3.8$  in laser niha na eni sami spektralni črti z valovno dolžino  $\lambda_0 = 1540nm$  v praznem prostoru? ?Kolikšna mora biti perioda ponavljanja  $d = ?$  uklonske mrežice (porazdeljenega zrcala) znotraj čipa DFB laserja, če znaša lomni količnik MQW valovoda  $n_1 = 3.8$  in laser niha na eni sami spektralni črti z valovno dolžino  $\lambda_0 = 1320nm$  v praznem prostoru? !770nm !203nm !174nm !660nm



## \*5. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 28.05.2020

?Fotodioda doseže kvantni izkoristek  $\eta = 60\%$  pri valovni dolžini  $\lambda = 1310nm$ . Kolikšna je odzivnost  $I/P = ?$  takšne fotodiode pri zaporni napetosti, kjer še ne pride do pojava plazovnega ojačanja? ( $h = 6.626 \cdot 10^{-34}Js$ ,  $c_0 = 3 \cdot 10^8m/s$ ,  $Q_e = -1.6 \cdot 10^{-19}As$ ).  
?Fotodioda doseže kvantni izkoristek  $\eta = 70\%$  pri valovni dolžini  $\lambda = 1550nm$ . Kolikšna je odzivnost  $I/P = ?$  takšne fotodiode pri zaporni napetosti, kjer še ne pride do pojava plazovnega ojačanja? ( $h = 6.626 \cdot 10^{-34}Js$ ,  $c_0 = 3 \cdot 10^8m/s$ ,  $Q_e = -1.6 \cdot 10^{-19}As$ ).  
!0.499A/W ! 0.633A/W !0.738A/W ! 0.873A/W

?PIN-FET modul vsebuje fotodiodo z odzivnostjo  $I/P = 0.6A/W$  in ojačevalnik s transimpedanco  $R_t = 1k\Omega$ . Kolikšno izhodno napetost  $U = ?$  (vrh-vrh) dobimo s svetlobnim krmilnim signalom povprečne optične moči  $\langle P_O \rangle = -13dBm$  (50% enic, 50% ničel in visoko ugasno razmerje)?  
?PIN-FET modul vsebuje fotodiodo z odzivnostjo  $I/P = 0.6A/W$  in ojačevalnik s transimpedanco  $R_t = 2k\Omega$ . Kolikšno izhodno napetost  $U = ?$  (vrh-vrh) dobimo s svetlobnim krmilnim signalom povprečne optične moči  $\langle P_O \rangle = -13dBm$  (50% enic, 50% ničel in visoko ugasno razmerje)? ! 60mV !80mV ! 120mV !160mV

?Kolikšna je največja valovna dolžina svetlobe  $\lambda = ?$ , ki jo še zazna fotupor iz selena (Se) z bandgap  $\Delta W = 1.95eV$ ? ( $h = 6.626 \cdot 10^{-34}Js$ ,  $c_0 = 3 \cdot 10^8m/s$ ,  $Q_e = -1.6 \cdot 10^{-19}As$ )  
?Kolikšna je največja valovna dolžina svetlobe  $\lambda = ?$ , ki jo še zazna fotupor iz silicija (Si) z bandgap  $\Delta W = 1.11eV$ ? ( $h = 6.626 \cdot 10^{-34}Js$ ,  $c_0 = 3 \cdot 10^8m/s$ ,  $Q_e = -1.6 \cdot 10^{-19}As$ ) !488nm ! 637nm !914nm ! 1119nm

?Sprejemnik s plazovno fotodiodo iz germanija (Ge) pri  $\lambda = 1.31\mu m$  doseže najboljše razmerje signal/šum pri faktorju plazovnega ojačanja  $M$  približno: ?Sprejemnik s plazovno fotodiodo iz InGaAsP pri  $\lambda = 1.55\mu m$  doseže najboljše razmerje signal/šum pri faktorju plazovnega ojačanja  $M$  približno: !3 ! 10 ! 20 !50

?Umazan konektor FC-PC vnaša dodatno slabljenje svetlobe  $a_O = -1.1dB$  na vhodu PIN-FET modula. Kolikšen je upad električnega signala  $a_E = ?$  na izhodu PIN-FET modula?  
?Umazan konektor FC-PC vnaša dodatno slabljenje svetlobe  $a_O = -2.2dB$  na vhodu PIN-FET modula. Kolikšen je upad električnega signala  $a_E = ?$  na izhodu PIN-FET modula? !-1.1dB ! -2.2dB ! -4.4dB !-8.8dB

?Z osciloskopom izmerimo na izhodu APD-FET modula povprečni napetosti enice  $\langle U_1 \rangle = 180mV$  in ničle  $\langle U_0 \rangle = 30mV$ . Zrnati šum opazimo kot povečani šum enice  $\sigma_1 = 20mV_{eff}$  v primerjavi s šumom ničle  $\sigma_0 = 10mV_{eff}$ . Kolikšno je razmerje signal/šum  $Q = ?$   
?Z osciloskopom izmerimo na izhodu APD-FET modula povprečni napetosti enice  $\langle U_1 \rangle = 280mV$  in ničle  $\langle U_0 \rangle = 30mV$ . Zrnati šum opazimo kot povečani šum enice  $\sigma_1 = 20mV_{eff}$  v primerjavi s šumom ničle  $\sigma_0 = 10mV_{eff}$ . Kolikšno je razmerje signal/šum  $Q = ?$   
! 5.00 !6.00 !7.20 ! 8.33

?UTP kabel s štirimi paricami Cat5 vsebuje v primerjavi s Cat3 naslednjo izboljšavo, ki povečuje domet in zmogljivost: ?UTP kabel s štirimi paricami Cat6 vsebuje v primerjavi s Cat5 naslednjo izboljšavo, ki povečuje domet in zmogljivost: !zaščito pred glodalci ! dielektrik z manj izgubami !elektromagnetni oklop ! vodnike večjega preseka

?Polje VLAN podaljšuje Ethernet okvir DIX za: ?Polje SYNC podaljšuje Ethernet okvir DIX za: !16bit ! 32bit !48bit ! 64bit

?Pogostnost napak BER v optični zvezi se bistveno ne spreminja z naraščanjem jakosti sprejema  $P_S$ . Vzrok napak je najverjetneje: ?Pogostnost napak BER v optični zvezi hitro upada z naraščanjem jakosti sprejema  $P_S$ . Vzrok napak je najverjetneje: !prekratko preizkusno zaporedje !  $D_{barvni}$  in PMD !nelinearno popačenje in FWM ! toplotni in zrnati šum

?Modulacija QAM16 lahko doseže na eni sami polarizaciji osnovnega rodu  $HE_{11}$  spektralno učinkovitost  $C/B = ?$  ?Modulacija QAM16 lahko doseže na dveh pravokotnih polarizacijah osnovnega rodu  $HE_{11}$  spektralno učinkovitost  $C/B = ?$  !2bit ! 4bit ! 8bit !16bit

?PIN-FET modul dosega razmerje signal/šum  $Q = 15$  pri vsoti kapacitivnosti fotodiode, vhoda ojačevalnika in povezav  $\Sigma C = 0.4pF$ . Kolikšen  $Q' = ?$  pričakujemo pri slabši izvedbi modula, ki skupno kapacitivnost poveča na  $\Sigma C' = 0.9pF$  in ostanejo vse ostale veličine nespremenjene?  
?PIN-FET modul dosega razmerje signal/šum  $Q = 10$  pri vsoti kapacitivnosti fotodiode, vhoda ojačevalnika in povezav  $\Sigma C = 0.4pF$ . Kolikšen  $Q' = ?$  pričakujemo pri slabši izvedbi modula, ki skupno kapacitivnost poveča na  $\Sigma C' = 0.9pF$  in ostanejo vse ostale veličine nespremenjene? !15 ! 10 ! 6.7 !22.5

?Kakšno modulacijo in multipleksiranje običajno uporablja visokozmogljivi optični Ethernet  $C = 100Gbit/s$  na razdaljah  $l < 100m$ ?  
?Kakšno modulacijo in multipleksiranje običajno uporablja visokozmogljivi optični Ethernet  $C = 100Gbit/s$  na razdaljah  $l \approx 10km$ ?  
!QAM16 x2 polarizaciji ! ASK trak več vlaken !BPSK eno vlakno TDM ! ASK eno vlakno CWDM

# \*1. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 20.10.2020

?Pri katerem razmerju signal/šum  $P_S/P_N = ?$  doseže teoretska zmogljivost zveze  $C = 1\text{Mbit/s}$  v razpoložljivi pasovni širini  $B = 1\text{MHz}$ ? ?Pri katerem razmerju signal/šum  $P_S/P_N = ?$  doseže teoretska zmogljivost zveze  $C = 2\text{Mbit/s}$  v razpoložljivi pasovni širini  $B = 1\text{MHz}$ ? ! $P_S/P_N = 1.5$  !  $P_S/P_N = 1.0$  !  $P_S/P_N = 3.0$  ! $P_S/P_N = 4.0$

?Ko v **vrvični** zvezi ni neželenih odbojev, je slabljenje zveze zapisano kot linearno razmerje moči  $a = P_{RX}/P_{TX}$  naslednja funkcija dolžine zveze  $r[\text{km}]$ , kjer je  $C$  konstanta z merskimi enotami: ?Ko v **brezvrvični** zvezi ni neželenih odbojev, je slabljenje zveze zapisano kot linearno razmerje moči  $a = P_{RX}/P_{TX}$  naslednja funkcija dolžine zveze  $r[\text{km}]$ , kjer je  $C$  konstanta z merskimi enotami: !  $a = C \cdot r^{-2}$  !  $a = C \cdot r$  !  $a = 20 \cdot \log_{10}(C/r)$  !  $a = 10^{-(r/C)}$

?Z izbiro **hitrosti svetlobe**  $c_0 = 299792458\text{m/s}$  je določena velikost naslednje merske enote v mednarodnem sistemu merskih enot: ?Z izbiro **naboja elektrona**  $Q_e = -1.602176634 \cdot 10^{-19}\text{As}$  je določena velikost naslednje merske enote v mednarodnem sistemu merskih enot: ! **m(meter)** ! **kg(kilogram)** ! **K(kelvin)** ! **A(amper)**

?Kolikšna je spektralna gostota naravnega šuma  $N_0 = ?[\text{J}]$  pri frekvenci  **$f = 500\text{MHz}$**  in sobni temperaturi  $T = 290\text{K}$ ? ( $h = 6.62607015 \cdot 10^{-34}\text{Js}$ ,  $k_B = 1.380649 \cdot 10^{-23}\text{J/K}$ ) ?Kolikšna je spektralna gostota naravnega šuma  $N_0 = ?[\text{J}]$  pri frekvenci  **$f = 500\text{THz}$**  in sobni temperaturi  $T = 290\text{K}$ ? ( $h = 6.62607015 \cdot 10^{-34}\text{Js}$ ,  $k_B = 1.380649 \cdot 10^{-23}\text{J/K}$ ) !  $1.4 \cdot 10^{-23}\text{J}$  !  $4.0 \cdot 10^{-21}\text{J}$  !  $3.3 \cdot 10^{-19}\text{J}$  !  $8.4 \cdot 10^{-17}\text{J}$

?Kateri fizikalni pojav je najbolj zanemarljiv pri slabljenju svetlobnega vlakna na osnovi kremenovega stekla  $\text{SiO}_2$  pri frekvenci signala  **$f = 160\text{THz}$** ? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8\text{m/s}$ ) ?Kateri fizikalni pojav je najbolj zanemarljiv pri slabljenju svetlobnega vlakna na osnovi kremenovega stekla  $\text{SiO}_2$  pri frekvenci signala  **$f = 360\text{THz}$** ? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8\text{m/s}$ ) ! **UV rezonance  $\text{SiO}_2$**  ! Rayleighjevo sipanje ! **IR rezonance  $\text{SiO}_2$**  ! rezonance raznih nečistoč

?Laser oddaja kolimiran žarek, ki ga v praznem prostoru opisuje valovni vektor  **$\vec{k} = (\vec{i}_x + \vec{i}_y) \cdot 3.31 \cdot 10^6\text{rd/m}$** . Kolikšna je valovna dolžina laserske svetlobe  $\lambda_0 = ?$  v praznem prostoru  $c_0 \approx 3 \cdot 10^8\text{m/s}$ ,  $Z_0 \approx 377\Omega$ ? ?Laser oddaja kolimiran žarek, ki ga v praznem prostoru opisuje valovni vektor  **$\vec{k} = (\vec{i}_x 3 - \vec{i}_y 2 + \vec{i}_z) \cdot 4.15 \cdot 10^6\text{rd/m}$** . Kolikšna je valovna dolžina laserske svetlobe  $\lambda_0 = ?$  v praznem prostoru  $c_0 \approx 3 \cdot 10^8\text{m/s}$ ,  $Z_0 \approx 377\Omega$ ? ! **849nm** ! 633nm ! 514nm ! 405nm

?Svetloba vpada iz praznega prostora (zrak  $n_1 \approx 1$ ) na površino **vode  $n_2 \approx 1.33$** . Kolikšen je kot lomljenega žarka  $\Theta_L = ?$  pri vpadnem kotu  $\Theta_V = 60^\circ$ ? ?Svetloba vpada iz praznega prostora (zrak  $n_1 \approx 1$ ) na površino **kristala  $n_2 \approx 1.83$** . Kolikšen je kot lomljenega žarka  $\Theta_L = ?$  pri vpadnem kotu  $\Theta_V = 60^\circ$ ? ! **40.6°** ! 56.3° ! 28.3° ! 17.6°

?Pri katerem vpadnem kotu nepolarizirane sončne svetlobe  $\Theta_V = ?$  iz praznega prostora (zrak  $n_1 \approx 1$ ) na površino **stekla  $n_2 \approx 1.51$**  je odbiti žarek popolnoma polariziran? ?Pri katerem vpadnem kotu nepolarizirane sončne svetlobe  $\Theta_V = ?$  iz praznega prostora (zrak  $n_1 \approx 1$ ) na površino **diamanta  $n_2 \approx 2.42$**  je odbiti žarek popolnoma polariziran? ! 22.5° ! 33.5° ! **56.5°** ! 67.5°

?Pri popolnem odboju valovanja na ravni meni dveh snovi je valovni vektor  $\vec{k}$  žarka v **redkejši** snovi: ?Pri popolnem odboju valovanja na ravni meni dveh snovi je valovni vektor  $\vec{k}$  žarka v **gostejši** snovi: ! **kompleksen** ! čisto imaginaren ! čisto realen ! enak nič

?Zaščitni pokrov za satelitsko anteno, ki sprejema na frekvenci  **$f = 12\text{GHz}$**  izdelamo iz steklenih vlaken in smole, ki imajo povprečno relativno dielektričnost  $\epsilon_r = 4.4$ . Kolikšna naj bo debelina pokrova  $d = ?$ , da pokrov ne moti sprejema? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8\text{m/s}$ ) ?Zaščitni pokrov za satelitsko anteno, ki sprejema na frekvenci  **$f = 4\text{GHz}$**  izdelamo iz steklenih vlaken in smole, ki imajo povprečno relativno dielektričnost  $\epsilon_r = 4.4$ . Kolikšna naj bo debelina pokrova  $d = ?$ , da pokrov ne moti sprejema? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8\text{m/s}$ ) ! 3mm ! **6mm** ! 12mm ! 18mm

?Kolikšna je numerična apertura  $NA = ?$  šibkolomnega svetlobnega vlakna na osnovi kremenovega stekla (lomni količnik  $\text{SiO}_2$  je v velikostnem razredu  $n \approx 1.46$ ), če relativna razlika lomnih količnikov dosega  **$\Delta = 0.01$** ? ?Kolikšna je numerična apertura  $NA = ?$  šibkolomnega svetlobnega vlakna na osnovi kremenovega stekla (lomni količnik  $\text{SiO}_2$  je v velikostnem razredu  $n \approx 1.46$ ), če relativna razlika lomnih količnikov dosega  **$\Delta = 0.003$** ? ! **0.21** ! 0.47 ! 0.11 ! 0.16

?Kolikšen je lahko največji sklopni izkoristek neusmerjenega vira na vlakno z numerično aperturo  **$NA = 0.2$** , če je vir manjši od jedra vlakna? ?Kolikšen je lahko največji sklopni izkoristek neusmerjenega vira na vlakno z numerično aperturo  **$NA = 0.1$** , če je vir manjši od jedra vlakna? ! 0.25% ! 0.5% ! **1%** ! 2%

## \*2. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 10.11.2020

?V položenem kablu dolžine  $l = 36km$  izmerimo povprečno vrednost polarizacijske rodovne razpršitve  $\Delta t_{PMD} = 1.5ps$ . Kolikšen je koeficient polarizacijske rodovne razpršitve  $D_{PMD} = ?$  za navedeni kabel? ?V položenem kablu dolžine  $l = 36km$  izmerimo povprečno vrednost polarizacijske rodovne razpršitve  $\Delta t_{PMD} = 12ps$ . Kolikšen je koeficient polarizacijske rodovne razpršitve  $D_{PMD} = ?$  za navedeni kabel? ! $0.5ps/\sqrt{km}$  !  $0.25ps/\sqrt{km}$  !  $1.0ps/\sqrt{km}$  !  $2.0ps/\sqrt{km}$

?Kolikšno dolžino  $l = ?$  vlakna G.652 lahko povlečemo iz surovca (preforma) dolžine  $l_p = 2m$  in premera  $2r_p = 25mm$ ? Uporabimo tehnologijo "rod-in-tube": surovec vstavimo v zunanjo kvarčno cev notranjega premera  $2r_n = 28mm$  in zunanjsega premera  $2r_z = 45mm$ . ?Kolikšno dolžino  $l = ?$  vlakna G.652 lahko povlečemo iz surovca (preforma) dolžine  $l_p = 2m$  in premera  $2r_p = 25mm$ ? Uporabimo tehnologijo "rod-in-tube": surovec vstavimo v zunanjo kvarčno cev notranjega premera  $2r_n = 28mm$  in zunanjsega premera  $2r_z = 35mm$ . !  $239km$  !  $184km$  !  $136km$  !  $80km$

?Kolikšna sme biti največja debelina  $d = ?$  dielektrične plošče  $\epsilon_r = 3.25$ , da se obnaša kot enorodovni planarni valovod v okoliškem zraku ( $n_2 \approx 1$ ) pri frekvenci  $f = 10GHz$ ? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ) ?Kolikšna sme biti največja debelina  $d = ?$  dielektrične plošče  $\epsilon_r = 5$ , da se obnaša kot enorodovni planarni valovod v okoliškem zraku ( $n_2 \approx 1$ ) pri frekvenci  $f = 10GHz$ ? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ) !  $15.0mm$  !  $10.0mm$  !  $7.5mm$  !  $5.0mm$

?Kolikšen je doseg zveze z zmogljivostjo  $C = 1Gbit/s$  po vlakno s koeficientom barvne razpršitve  $D = 6ps/(nm.km)$ , če v oddajniku uporabimo laser s širino spektra  $\Delta\lambda = 3nm$  in dopuščamo razširitev impulza  $\Delta t = T_{bit}/3$ ? ?Kolikšen je doseg zveze z zmogljivostjo  $C = 1Gbit/s$  po vlakno s koeficientom barvne razpršitve  $D = 17ps/(nm.km)$ , če v oddajniku uporabimo laser s širino spektra  $\Delta\lambda = 3nm$  in dopuščamo razširitev impulza  $\Delta t = T_{bit}/3$ ? !  $55.5km$  !  $18.5km$  !  $6.5km$  !  $2.2km$

?Lomni lik mnogorodovnega vlakna 50/125 G.651 ima naslednjo obliko: ?Lomni lik enorodovnega vlakna 9/125 G.652 ima naslednjo obliko: !črke "W" ! parabolično ! stopničasto ! trikotno

?Če znižujemo frekvenco valovanja  $f$  in pri tem vzbujamo en sam, vedno isti rod valovanja v dielektričnem valovodu, se vpadni kot žarkov  $\Theta$  na mejo dielektrikov spreminja na naslednji način: ?Če znižujemo valovno dolžino  $\lambda$  in pri tem vzbujamo en sam, vedno isti rod valovanja v dielektričnem valovodu, se vpadni kot žarkov  $\Theta$  na mejo dielektrikov spreminja na naslednji način: !  $\Theta = konst.$  !  $\Theta \rightarrow \Theta_m$  !  $\Theta \rightarrow \pi/2$  !  $\Theta \rightarrow 0$

?Zveza dolžine  $l = 80km$  uporablja kabel z NZDSF vlaknom, ki ima koeficient barvne razpršitve  $D = 6ps/nm.km$ . Barvno razpršitev odstranimo s kolutom DCF vlakna, ki ima barvno razpršitev  $D' = -80ps/(nm.km)$ . Kolikšno dolžino DCF vlakna  $l' = ?$  potrebujemo? ?Zveza dolžine  $l = 40km$  uporablja kabel z NZDSF vlaknom, ki ima koeficient barvne razpršitve  $D = 6ps/nm.km$ . Barvno razpršitev odstranimo s kolutom DCF vlakna, ki ima barvno razpršitev  $D' = -80ps/(nm.km)$ . Kolikšno dolžino DCF vlakna  $l' = ?$  potrebujemo? !  $9km$  !  $6km$  !  $3km$  !  $2km$

?Koeficient polarizacijske rodovne razpršitve  $D_{PMD}[ps/\sqrt{km}]$  lahko znižamo z naslednjim tehnološkim ukrepom pri izdelavi svetlobnih vlaken iz kremenovega stekla  $SiO_2$ : ?Koeficient barvne razpršitve  $D[ps/(nm.km)]$  lahko znižamo z naslednjim tehnološkim ukrepom pri izdelavi svetlobnih vlaken iz kremenovega stekla  $SiO_2$ : !postopkom rod-in-tube ! sukanjem med vlečenjem vlakna ! tanjšim jedrom vlakna ! eliptičnim jedrom vlakna

?Pri kateri frekvenci  $f = ?$  postane vlakno z numerično aperturo  $NA = 0.1$  in stopničastim lomnim likom enorodovno? Polmer jedra vlakna znaša  $a = 5\mu m$ . ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ) ?Pri kateri frekvenci  $f = ?$  postane vlakno z numerično aperturo  $NA = 0.1$  in stopničastim lomnim likom enorodovno? Polmer jedra vlakna znaša  $a = 3\mu m$ . ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ) !  $194THz$  !  $230THz$  !  $383THz$  !  $514THz$

?Mnogorodovno svetlobno vlakno dolžine  $l = 2km$  s stopničastim lomnim likom ima lomna količnika jedra  $n_1 = 1.48$  in obloge  $n_2 = 1.46$ . Kolikšna je časovna razlika  $\Delta t = ?$  med prihodom najpočasnejšega in najhitrejšega rodu, če premer jedra omogoča veliko rodov? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ) ?Mnogorodovno svetlobno vlakno dolžine  $l = 5km$  s stopničastim lomnim likom ima lomna količnika jedra  $n_1 = 1.48$  in obloge  $n_2 = 1.46$ . Kolikšna je časovna razlika  $\Delta t = ?$  med prihodom najpočasnejšega in najhitrejšega rodu, če premer jedra omogoča veliko rodov? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ) !  $68ns$  !  $133ns$  !  $0.33\mu s$  !  $0.47\mu s$

?Lomni količnik kremenovega stekla  $SiO_2$  znižujemo tako, da v osnovno plinsko zmes postopka MCVD oziroma VAD dodajamo naslednjo zelo čisto kemijsko spojino: ?Lomni količnik kremenovega stekla  $SiO_2$  zvišujemo tako, da v osnovno plinsko zmes postopka MCVD oziroma VAD dodajamo naslednjo zelo čisto kemijsko spojino: !  $SiCl_4$  !  $F_2$  !  $GeCl_4$  !  $N_2$

?Kateri razstavljeni (konektorski) spoj dveh enorodovnih svetlobnih vlaken daje najboljšo vstavitveno slabljenje? ?Kateri razstavljeni (konektorski) spoj dveh enorodovnih svetlobnih vlaken daje najboljšo odbojno slabljenje? !FC ravno brušen ! FC-PC krivinsko brušen ! FC-APC kotno brušen ! neodvisno od vrste brušenja

### \*3. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 1.12.2020

?Lastna fazna modulacija v enorodovnem svetlobnem vlaknu znaša  $\Delta\phi = 0.8rd$ . Kolikšna bo lastna fazna modulacija  $\Delta\phi' = ?$ , če svetlobno moč  $P$  podvojimo? ?Lastna fazna modulacija v enorodovnem svetlobnem vlaknu znaša  $\Delta\phi = 0.8rd$ . Kolikšna bo lastna fazna modulacija  $\Delta\phi' = ?$ , če električno poljsko jakost  $\vec{E}$  podvojimo? !0.4rd !0.8rd ! 1.6rd ! 3.2rd

?Kolikšna je efektivna dolžina  $l_{eff} = ?$  za lastno fazno modulacijo v zelo dolgem vlaknu G.653 s slabljenjem  $a/l = -0.35dB/km$  pri  $\lambda_0 = 1550nm$ ? ?Kolikšna je efektivna dolžina  $l_{eff} = ?$  za lastno fazno modulacijo v zelo dolgem vlaknu G.653 s slabljenjem  $a/l = -0.20dB/km$  pri  $\lambda_0 = 1550nm$ ? !25.6km ! 21.7km !17.4km ! 12.4km

?Enorodovno vlakno G.652 ima pri valovni dolžini  $\lambda_0 = 1550nm$  efektivno površino jedra  $A_{eff} = ?$ , ki določa gostoto svetlobne moči  $\vec{S}$  in električno poljsko jakost  $\vec{E}$  v steklu, v velikostnem razredu: ?Enorodovno vlakno G.653 ima pri valovni dolžini  $\lambda_0 = 1550nm$  efektivno površino jedra  $A_{eff} = ?$ , ki določa gostoto svetlobne moči  $\vec{S}$  in električno poljsko jakost  $\vec{E}$  v steklu, v velikostnem razredu: !4.5 $\mu m^2$  ! 30 $\mu m^2$  ! 70 $\mu m^2$  !125 $\mu m^2$

? Brillouinovo sipanje svetlobe je nelinearen pojav, ki je v običajnih številskih zvezah po enorodovnem vlaknu na osnovi kremenovega stekla ( $SiO_2$ ) nepomemben, ker: ? Ramanovo sipanje svetlobe je nelinearen pojav, ki je v običajnih številskih zvezah po enorodovnem vlaknu na osnovi kremenovega stekla ( $SiO_2$ ) nepomemben, ker: !se svetloba siplje nazaj ! ima visoko pragovno moč !spreminja frekvenco ! je izredno ozkopasovno

?Iz enorodovnih vlaken G.652 izdelujemo delilnike 50/50 za pasivno optično omrežje. Zaradi tehnološke napake v proizvodnji se utripna dolžina razpolovi  $\Lambda' = \Lambda/2$ , vsi ostali parametri pa ostanejo enaki. Delilno razmerje nastalih sklopnikov bo: ?Iz enorodovnih vlaken G.652 izdelujemo delilnike 50/50 za pasivno optično omrežje. Zaradi tehnološke napake v proizvodnji se utripna dolžina podvoji  $\Lambda' = 2\Lambda$ , vsi ostali parametri pa ostanejo enaki. Delilno razmerje nastalih sklopnikov bo: ! 0/100 ! 15/85 !30/70 !50/50

?Polprevodniški laser z rezonatorjem Fabry-Perot niha na osrednji valovni dolžini  $\lambda_0 = 1310nm$ . Frekvenčna pasovna širina spektra znaša  $\Delta f = 1THz$ . Kolikšna je njegova valvnodolžinska širina spektra  $\Delta\lambda = ?$  ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ) ?Polprevodniški laser z rezonatorjem Fabry-Perot niha na osrednji valovni dolžini  $\lambda_0 = 1310nm$ . Frekvenčna pasovna širina spektra znaša  $\Delta f = 1THz$ . Kolikšna je njegova vzdolžna koherentna dolžina  $d = ?$  ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ) ! 5.72nm !1310nm ! 300 $\mu m$  !300mm

?Pri kateri moči svetlobnega signala  $P = ?$  doseže električna poljska jakost v jedru vlakna z efektivno površino  $A_{eff} = 30\mu m^2$  vršno vrednost  $E = 1MV/m$ ? Lomni količnik jedra dosega  $n_1 = 1.47$ , polje je linearno polarizirano. ( $Z_0 \approx 377\Omega$ ) ?Pri kateri moči svetlobnega signala  $P = ?$  doseže električna poljska jakost v jedru vlakna z efektivno površino  $A_{eff} = 80\mu m^2$  vršno vrednost  $E = 1MV/m$ ? Lomni količnik jedra dosega  $n_1 = 1.47$ , polje je linearno polarizirano. ( $Z_0 \approx 377\Omega$ ) !16mW !37mW ! 58mW ! 156mW

?Po vlaknu NZDSF peljemo dva močna signala na valovnih dolžinah  $\lambda_1 = 1553.3nm$  in  $\lambda_2 = 1553.5nm$ . Na kateri valovni dolžini  $\lambda_{motnja} = ?$  pričakujemo produkt štiri-valovnega mešanja, ki moti ostale signale valovno-dolžinskega multipleksa? ?Po vlaknu NZDSF peljemo dva močna signala na valovnih dolžinah  $\lambda_1 = 1553.5nm$  in  $\lambda_2 = 1554.1nm$ . Na kateri valovni dolžini  $\lambda_{motnja} = ?$  pričakujemo produkt štiri-valovnega mešanja, ki moti ostale signale valovno-dolžinskega multipleksa? !1553.4nm ! 1553.1nm !1553.6nm ! 1554.7nm

?Barvno razpršitev enorodovnega vlakna merimo tako, da po vzorcu vlakna dolžine  $l = 30km$  prenašamo svetobo  $\lambda_0 = 1540nm$  amplitudno modulirano s  $f_m = 1GHz$ . Kolikšen je koeficient barvne razpršitve  $D = ?$ , če faza modulacije naredi natančno en poln obrat  $\Delta\phi = 2\pi$  pri povečanju valovne dolžine na  $\lambda'_0 = 1542nm$ ? ?Barvno razpršitev enorodovnega vlakna merimo tako, da po vzorcu vlakna dolžine  $l = 30km$  prenašamo svetobo  $\lambda_0 = 1540nm$  amplitudno modulirano s  $f_m = 3GHz$ . Kolikšen je koeficient barvne razpršitve  $D = ?$ , če faza modulacije naredi natančno en poln obrat  $\Delta\phi = 2\pi$  pri povečanju valovne dolžine na  $\lambda'_0 = 1542nm$ ? ! 5.55ps/(nm.km) !8.72ps/(nm.km) ! 16.7ps/(nm.km) !22.2ps/(nm.km)

?Čip polprevodniškega laserja z vzdolžnim rezonatorjem Fabry-Perot brez vsakršnih leč seva snop svetlobe, ki je ožji v naslednji smeri: ?Čip polprevodniškega laserja z vzdolžnim rezonatorjem Fabry-Perot brez vsakršnih leč seva snop svetlobe, ki je širši v naslednji smeri: ! električnega polja  $\vec{E}$  !je rotacijsko simetričen ! magnetnega polja  $\vec{H}$  !pod 45° glede na stranice čipa

?Pri opazovanju pojavov v mnogorodovnem vlaknu vidimo najbolj izrazito interferenco med različnimi rodovi z naslednjim virom svetlobe: ?Pri opazovanju pojavov v mnogorodovnem vlaknu vidimo najmanj izrazito interferenco med različnimi rodovi z naslednjim virom svetlobe: ! HeNe laser !polprevodniški laser !modra svetleča dioda ! bela svetloba Sonca

?Enorodovno vlakno G.652 navijemo tri cele ovoje na polmer  $r = 1.5cm$ . Pri kateri valovni dolžini  $\lambda_0 = ?$  je sprememba slabljenja zaradi navijanja vlakna največja? ?Enorodovno vlakno G.652 navijemo tri cele ovoje na polmer  $r = 1.5cm$ . Pri kateri valovni dolžini  $\lambda_0 = ?$  je sprememba slabljenja zaradi navijanja vlakna najmanjša? ! 1625nm !1550nm !1480nm ! 1310nm



## \*4. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 22.12.2020

?Polprevodniški laser daje pri toku  $I_1 = 23mA$  izhodno moč  $P_1 = 1mW$ . Izhodna moč laserja se poveča na  $P_2 = 3mW$  pri toku  $I_2 = 30mA$ . Kolikšen je pragovni tok laserja  $I_{TH} = ?$ , če Peltierova toplotna črpalka zadržuje temperaturo čipa laserja na  $T = 25^\circ C$ ?

?Polprevodniški laser daje pri toku  $I_1 = 27mA$  izhodno moč  $P_1 = 1mW$ . Izhodna moč laserja se poveča na  $P_2 = 3mW$  pri toku  $I_2 = 30mA$ . Kolikšen je pragovni tok laserja  $I_{TH} = ?$ , če Peltierova toplotna črpalka zadržuje temperaturo čipa laserja na  $T = 25^\circ C$ ?

!15mA !20mA !25mA !30mA

?Polprevodniški elektro-absorpcijski modulator (EAM) za valovno dolžino  $\lambda_0 = 1550nm$  s heterostrukturo MQW ima naslednjo **dobro** lastnost: ?Polprevodniški elektro-absorpcijski modulator (EAM) za valovno dolžino  $\lambda_0 = 1550nm$  s heterostrukturo MQW ima naslednjo **slabo** lastnost: !zelo visoko ugasno razmerje ! **možna integracija** !preprost sklop na vlakno ! **odvisnost od  $\lambda$**

?Pravilno odrezan konec svetlobnega vlakna potopimo v neznano prozorno tekočino. Kolikšen je lomni količnik tekočine  $n = ?$ , če znaša lomni količnik jedra vlakna  $n_1 = 1.47$  in izmerimo odbojnost  $\log|\Gamma| = -20dB$ ? ?Pravilno odrezan konec svetlobnega vlakna potopimo v neznano prozorno tekočino. Kolikšen je lomni količnik tekočine  $n = ?$ , če znaša lomni količnik jedra vlakna  $n_1 = 1.47$  in izmerimo odbojnost  $\log|\Gamma| = -26dB$ ? !1.20 !1.27 !1.33 !1.39

?V pasivnem optičnem omrežju razdelimo signal centrale na  $N = 32$  uporabnikov z drevesom sklopnikov 50/50. Poleg deljenja moči vsak sklopnik 50/50 vstavlja še lastne izgube  $a = -0.2dB$ . Kolikšno je skupno slabljenje deljenja do posameznega uporabnika? ?V pasivnem optičnem omrežju razdelimo signal centrale na  $N = 128$  uporabnikov z drevesom sklopnikov 50/50. Poleg deljenja moči vsak sklopnik 50/50 vstavlja še lastne izgube  $a = -0.2dB$ . Kolikšno je skupno slabljenje deljenja do posameznega uporabnika? !-12.8dB !-16.0dB !-19.2dB !-22.4dB

?Enorodovno svetlobno vlakno ima odbojnost Rayleighjevega sipanja  $\Gamma_{1ns} = -77dB$  pri valovni dolžini  $\lambda_0 = 1310nm$ . Kolikšno odbojnost  $\log|\Gamma| = ?$  izmeri OTDR, če širino impulza nastavimo na  $t = 5\mu s$ ? ?Enorodovno svetlobno vlakno ima odbojnost Rayleighjevega sipanja  $\Gamma_{1ns} = -77dB$  pri valovni dolžini  $\lambda_0 = 1310nm$ . Kolikšno odbojnost  $\log|\Gamma| = ?$  izmeri OTDR, če širino impulza nastavimo na  $t = 200ns$ ? !-26dB !-40dB !-54dB !-77dB

?Svetlobni modulator je izdelan kot Mach-Zehnderjev interferometer na podlagi  $LiNbO_3$  in dosega občutljivost  $U_{\pi TE} = 6.5V$  pri  $\lambda_0 = 1.55\mu m$ . Pri kateri krmilni napetosti  $U = ?$  upade izhodna svetlobna moč (TE) za  $a = -1dB$ ? ?Svetlobni modulator je izdelan kot Mach-Zehnderjev interferometer na podlagi  $LiNbO_3$  in dosega občutljivost  $U_{\pi TE} = 4.5V$  pri  $\lambda_0 = 1.55\mu m$ . Pri kateri krmilni napetosti  $U = ?$  upade izhodna svetlobna moč (TE) za  $a = -1dB$ ? !0.97V !1.35V !1.63V !1.95V

?Raman-Nathov uklon zelene svetlobe  $\lambda_0 = 532nm$  podvojenega NdYAG laserja odkloni žarka prvega reda za kot  $\alpha = +/- 0.2^\circ$ . Kolikšna je valovna dolžina zvočnega valovanja  $\Lambda = ?$ ? ?Raman-Nathov uklon zelene svetlobe  $\lambda_0 = 532nm$  podvojenega NdYAG laserja odkloni žarka prvega reda za kot  $\alpha = +/- 0.3^\circ$ . Kolikšna je valovna dolžina zvočnega valovanja  $\Lambda = ?$  !181 $\mu m$  !152 $\mu m$  !121 $\mu m$  !102 $\mu m$

?Ojačanje vzbujene HeNe plinske zmesi znaša  $G/l = 0.7dB/m$  v notranjosti ozke kapilare laserske cevi. Kolikšna mora biti dolžina kapilare  $l = ?$ , da laser zaniha, če znašata odbojnosti zrcal na koncih cevi  $|\Gamma_1| = 0.97$  in  $|\Gamma_2| = 1$ ? ?Ojačanje vzbujene HeNe plinske zmesi znaša  $G/l = 0.7dB/m$  v notranjosti ozke kapilare laserske cevi. Kolikšna mora biti dolžina kapilare  $l = ?$ , da laser zaniha, če znašata odbojnosti zrcal na koncih cevi  $|\Gamma_1| = 0.95$  in  $|\Gamma_2| = 1$  !12.5cm !18.9cm !25.0cm !31.8cm

?Polprevodniški laser proizvaja infrardečo svetlobo z valovno dolžino  $\lambda_0 = 1310nm$  v praznem prostoru. Kolikšna je energija  $W = ?$  posameznega fotona opisane infrardeče svetlobe? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ,  $h \approx 6.626 \cdot 10^{-34} Js$ ,  $Q_e \approx -1.6 \cdot 10^{-19} As$ ) ?Polprevodniški laser proizvaja infrardečo svetlobo z valovno dolžino  $\lambda_0 = 1550nm$  v praznem prostoru. Kolikšna je energija  $W = ?$  posameznega fotona opisane infrardeče svetlobe? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ,  $h \approx 6.626 \cdot 10^{-34} Js$ ,  $Q_e \approx -1.6 \cdot 10^{-19} As$ ) !1.462eV !1.168eV !0.948eV !0.802eV

? **Nepolarizirana** HeNe laserska cev je dovolj dolga, da niha na dveh vzdolžnih rodovih, ki imata oba enako prečno sliko polja. Za polarizaciji obeh rodov velja: ? **Polarizirana** HeNe laserska cev je dovolj dolga, da niha na dveh vzdolžnih rodovih, ki imata oba enako prečno sliko polja. Za polarizaciji obeh rodov velja: !ortogonalni krožni ! **ortogonalni linearni** !enaki krožni ! **enaki linearni**

?Svetleča dioda ima pasovno širino  $\Delta\lambda = 100nm$  pri osrednji valovni dolžini  $\lambda_0 = 1310nm$  v praznem prostoru. LED je sklopljena na enorodovno vlakno G.652. Kolikšna je **vzdolžna** koherenčna dolžina svetlobe  $d = ?$ , ki izhaja na drugem koncu vlakna? ?Svetleča dioda ima pasovno širino  $\Delta\lambda = 100nm$  pri osrednji valovni dolžini  $\lambda_0 = 1310nm$  v praznem prostoru. LED je sklopljena na enorodovno vlakno G.652. Kolikšna je **prečna** koherenčna dolžina svetlobe  $d = ?$ , ki izhaja na drugem koncu vlakna? !100nm !17.2 $\mu m$  !0.83mm ! $\infty$

?Kolikšno moč ojačanega spontanega sevanja  $P_{ASE} = ?$  dosega na svojem izhodu na obeh polarizacijah erbijev vlakenski ojačevalnik z ojačanjem  $G = 36dB$  na osrednji frekvenci  $f = 194THz$  v pasovni širini  $\Delta f = 4THz$ ? ( $\mu \approx 1$ ,  $h \approx 6.626 \cdot 10^{-34} Js$ ) ?Kolikšno moč ojačanega spontanega sevanja  $P_{ASE} = ?$  dosega na svojem izhodu na obeh polarizacijah erbijev vlakenski ojačevalnik z ojačanjem  $G = 26dB$  na osrednji frekvenci  $f = 194THz$  v pasovni širini  $\Delta f = 4THz$ ? ( $\mu \approx 1$ ,  $h \approx 6.626 \cdot 10^{-34} Js$ ) !0.41mW !1.03mW !2.05mW !4.1mW

## \*5. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 12.01.2021

?Kolikšna je odzivnost  $I/P = ?$  fotodiode, ki pri valovni dolžini  $\lambda_0 = 850nm$  dosega kvantni izkoristek  $\eta = 65\%$ ? ( $h \approx 6.626 \cdot 10^{-34} Js$ ,  $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ,  $Q_e \approx -1.6 \cdot 10^{-19} As$ ) ?Kolikšna je odzivnost  $I/P = ?$  fotodiode, ki pri valovni dolžini  $\lambda_0 = 650nm$  dosega kvantni izkoristek  $\eta = 65\%$ ? ( $h \approx 6.626 \cdot 10^{-34} Js$ ,  $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ,  $Q_e \approx -1.6 \cdot 10^{-19} As$ ) !0.74A/W ! 0.45A/W !0.65A/W ! 0.34A/W

?PIN-FET modul dosega razmerje signal/šum  $Q = 6$  pri vsoti kapacitivnosti fotodiode, vhoda ojačevalnika in povezav  $\Sigma C = 1.6pF$ . Kolikšen  $Q' = ?$  pričakujemo pri izboljšani izvedbi modula, ki skupno kapacitivnost zniža na  $\Sigma C' = 0.9pF$  in ostanejo vse ostale veličine nespremenjene? ?PIN-FET modul dosega razmerje signal/šum  $Q = 9$  pri vsoti kapacitivnosti fotodiode, vhoda ojačevalnika in povezav  $\Sigma C = 1.6pF$ . Kolikšen  $Q' = ?$  pričakujemo pri izboljšani izvedbi modula, ki skupno kapacitivnost zniža na  $\Sigma C' = 0.9pF$  in ostanejo vse ostale veličine nespremenjene? !6.7 ! 8 !10 ! 12

? Brillouinovo sipanje proizvaja signal oziroma ojačanje v enorodovnem vlaknu, ki ima v primeru ozkopasovnega izvornega signal premaknjeno frekvenco v naslednji smeri: ? Ramanovo sipanje proizvaja signal oziroma ojačanje v enorodovnem vlaknu, ki ima v primeru ozkopasovnega izvornega signal premaknjeno frekvenco v naslednji smeri: ! $\Delta f \approx +13THz$  navzgor ! $\Delta f \approx +11GHz$  navzgor !  $\Delta f \approx -11GHz$  navzdol !  $\Delta f \approx -13THz$  navzdol

?Fotodioda s heterostrukturo  $InGaAs/InP$  doseže kvantni izkoristek  $\eta = 80\%$  pri valovni dolžini  $\lambda_0 = 1550nm$ . Kolikšen kvantni izkoristek iste fotodiode  $\eta' = ?$  pričakujemo pri valovni dolžini  $\lambda'_0 = 1280nm$ ? ( $h \approx 6.626 \cdot 10^{-34} Js$ ,  $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ,  $Q_e \approx -1.6 \cdot 10^{-19} As$ ,  $\Delta W_{InP} = 1.34eV$ ) ?Fotodioda s heterostrukturo  $InGaAs/InP$  doseže kvantni izkoristek  $\eta = 80\%$  pri valovni dolžini  $\lambda_0 = 1550nm$ . Kolikšen kvantni izkoristek iste fotodiode  $\eta' = ?$  pričakujemo pri valovni dolžini  $\lambda'_0 = 780nm$ ? ( $h \approx 6.626 \cdot 10^{-34} Js$ ,  $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ,  $Q_e \approx -1.6 \cdot 10^{-19} As$ ,  $\Delta W_{InP} = 1.34eV$ ) !95% ! 70% !20% ! 0%

?Erbijev vlakenski laserski ojačevalnik za signal  $\lambda_s = 1550nm$  lahko črpamo na različne načine. Katera je najpomembnejša pomanjkljivost črpanja na  $\lambda_p = 980nm$  v primerjavi s črpanjem na  $\lambda_p = 1480nm$ ? ?Erbijev vlakenski laserski ojačevalnik za signal  $\lambda_s = 1550nm$  lahko črpamo na različne načine. Katera je najpomembnejša pomanjkljivost črpanja na  $\lambda_p = 1480nm$  v primerjavi s črpanjem na  $\lambda_p = 980nm$ ? !nižje ojačanje ! višji šum !daljše aktivno vlakno ! nižja izhodna moč

?Fotopomnoževalka vsebuje  $N = 10$  množilnih elektrod. Potencialna razlika med množilnimi elektrodami omogoča povprečni faktor množenja  $M = 4$ . Kolikšna povprečna elektrina  $Q = ?$  pride v anodo za vsak fotoelektron? ( $Q_e \approx -1.6 \cdot 10^{-19} As$ ) ?Fotopomnoževalka vsebuje  $N = 13$  množilnih elektrod. Potencialna razlika med množilnimi elektrodami omogoča povprečni faktor množenja  $M = 4$ . Kolikšna povprečna elektrina  $Q = ?$  pride v anodo za vsak fotoelektron? ( $Q_e \approx -1.6 \cdot 10^{-19} As$ ) !-0.17pAs !-168pAs !-1.3pAs ! -10.7pAs

?Ethernet povezava 10Mbps half-duplex zaustavlja pretok podatkov z naslednjim ukrepom: ?Ethernet povezava 100Mbps full-duplex zaustavlja pretok podatkov z naslednjim ukrepom: !ne zaustavlja pretoka ! stalna oddaja SYNC !zavrže presežne okvirje ! oddaja PAUSE okvirjev

?Kolikšna je največja valovna dolžina svetlobe  $\lambda_0 = ?$ , ki jo še zazna fotupor iz CdSe z bandgap  $\Delta W = 1.74eV$ ? ( $h \approx 6.626 \cdot 10^{-34} Js$ ,  $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ,  $Q_e \approx -1.6 \cdot 10^{-19} As$ ) ?Kolikšna je največja valovna dolžina svetlobe  $\lambda_0 = ?$ , ki jo še zazna fotupor iz CdS z bandgap  $\Delta W = 2.42eV$ ? ( $h \approx 6.626 \cdot 10^{-34} Js$ ,  $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ,  $Q_e \approx -1.6 \cdot 10^{-19} As$ ) !1119nm ! 714nm !637nm ! 513nm

?Pogostnost napak v zvezi BER ugotavljamo z maksimalnim zaporedjem, ki ga ustvarja polinomski delilnik z dvojiškim pomikalnim registrom dolžine  $m = 17$  stopenj. Kolikšna je dolžina zaporedja  $N = ?$  ?Pogostnost napak v zvezi BER ugotavljamo z maksimalnim zaporedjem, ki ga ustvarja polinomski delilnik z dvojiškim pomikalnim registrom dolžine  $m = 31$  stopenj. Kolikšna je dolžina zaporedja  $N = ?$  !511 ! 131071 !8388607 ! 2147483647

?Električni signal na izhodu PIN-FET modula je upadel za  $a_E = -4.4dB$ . Kolikšen je upad svetlobne moči  $a_O = ?$  zaradi pregrevnja laserja? ?Električni signal na izhodu PIN-FET modula je upadel za  $a_E = -2.2dB$ . Kolikšen je upad svetlobne moči  $a_O = ?$  zaradi pregrevnja laserja? !-1.1dB ! -2.2dB !-4.4dB !-8.8dB

?Modulacija QPSK lahko doseže na eni sami polarizaciji osnovnega rodu  $HE_{11}$  spektralno učinkovitost  $C/B = ?$  ?Modulacija QPSK lahko doseže na dveh pravokotnih polarizacijah osnovnega rodu  $HE_{11}$  spektralno učinkovitost  $C/B = ?$  ! 2bit ! 4bit !8bit !16bit

?Ethernet zveza po UTP kablu se po izvedbi postopkov auto-MDIX in auto-negotiation nastavi na hitrost  $C = 10Mbps$  v načinu full-duplex. V odsotnosti aktivnega prometa podatkovnih okvirjev je na kablu prisoten naslednji signal: ?Ethernet zveza po UTP kablu se po izvedbi postopkov auto-MDIX in auto-negotiation nastavi na hitrost  $C = 100Mbps$  v načinu full-duplex. V odsotnosti aktivnega prometa podatkovnih okvirjev je na kablu prisoten naslednji signal: !brez signala ! link pulzi !okvirji pause ! znaki idle

# \*1. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 19.10.2021

?Pri katerem razmerju signal/šum  $P_S/P_N = ?$  doseže teoretska zmogljivost zveze  $C = 1\text{Mbit/s}$  v razpoložljivi pasovni širini  $B = 1\text{MHz}$ ? ?Pri katerem razmerju signal/šum  $P_S/P_N = ?$  doseže teoretska zmogljivost zveze  $C = 2\text{Mbit/s}$  v razpoložljivi pasovni širini  $B = 1\text{MHz}$ ? ! $P_S/P_N = 6.00\text{dB}$  !  $P_S/P_N = 0.00\text{dB}$  !  $P_S/P_N = 4.77\text{dB}$  !  $P_S/P_N = 3.00\text{dB}$

?Ko v **vrvični** zvezi ni neželenih odbojev, je slabljenje zveze zapisano kot linearno razmerje moči  $a = P_{TX}/P_{RX}$  naslednja funkcija dolžine zveze  $r[\text{km}]$ , kjer je  $C$  pozitivna konstanta z merskimi enotami: ?Ko v **brezvrvični** zvezi ni neželenih odbojev, je slabljenje zveze zapisano kot linearno razmerje moči  $a = P_{TX}/P_{RX}$  naslednja funkcija dolžine zveze  $r[\text{km}]$ , kjer je  $C$  pozitivna konstanta z merskimi enotami: !  $a = C \cdot r^2$  !  $a = C \cdot r^{-2}$  !  $a = 10^{-C \cdot r}$  !  $a = 10^{C \cdot r}$

?Kolikšna je spektralna gostota naravnega šuma  $N_0 = ?[\text{J}]$  pri frekvenci  $f = 200\text{MHz}$  in sobni temperaturi  $T = 290\text{K}$ ? ( $h = 6.62607015 \cdot 10^{-34}\text{Js}$ ,  $k_B = 1.380649 \cdot 10^{-23}\text{J/K}$ ) ?Kolikšna je spektralna gostota naravnega šuma  $N_0 = ?[\text{J}]$  pri frekvenci  $f = 200\text{THz}$  in sobni temperaturi  $T = 290\text{K}$ ? ( $h = 6.62607015 \cdot 10^{-34}\text{Js}$ ,  $k_B = 1.380649 \cdot 10^{-23}\text{J/K}$ ) !  $1.38 \cdot 10^{-23}\text{J}$  !  $4.00 \cdot 10^{-21}\text{J}$  !  $1.33 \cdot 10^{-19}\text{J}$  !  $3.33 \cdot 10^{-17}\text{J}$

?Koaksialni kabel vnaša slabljenje  $a/l = 25\text{dB/km}$  pri frekvenci  $f = 100\text{MHz}$ . Moč oddajnika znaša  $P_{TX} = 1\text{W}$ . Kolikšno moč dobimo na vhodu sprejemnika  $P_{RX} = ?$ , ki se nahaja na razdalji  $l = 4\text{km}$  od oddajnika? ?Koaksialni kabel vnaša slabljenje  $a/l = 20\text{dB/km}$  pri frekvenci  $f = 100\text{MHz}$ . Moč oddajnika znaša  $P_{TX} = 1\text{W}$ . Kolikšno moč dobimo na vhodu sprejemnika  $P_{RX} = ?$ , ki se nahaja na razdalji  $l = 4\text{km}$  od oddajnika? !  $10\text{pW}$  !  $100\text{pW}$  !  $1\text{nW}$  !  $10\text{nW}$

?V telekomunikacijskih svetlobnih vlaknih iz kremenovega stekla  $\text{SiO}_2$  se pas valovnih dolžin v okolici  $\lambda_0 = 0.4\mu\text{m}$  običajno ne uporablja zaradi naslednjega fizikalnega pojava: ?V telekomunikacijskih svetlobnih vlaknih iz kremenovega stekla  $\text{SiO}_2$  se pas valovnih dolžin v okolici  $\lambda_0 = 2.4\mu\text{m}$  običajno ne uporablja zaradi naslednjega fizikalnega pojava: !UV rezonance  $\text{SiO}_2$  ! **Rayleighjevo sipanje** ! IR rezonance  $\text{SiO}_2$  ! rezonance raznih nečistoč

?Laserski žarek moči  $P_V = 1\text{mW}$  vpada iz praznega prostora pod pravim kotom ( $\Theta_V = 0$ ) na ravno ploskvico **diamanta  $n = 2.42$** . Moč odbiega žarka  $P_O = ?$  znaša: ?Laserski žarek moči  $P_V = 1\text{mW}$  vpada iz praznega prostora pod pravim kotom ( $\Theta_V = 0$ ) na ravno ploskvico **kristalnega stekla  $n = 1.81$** . Moč odbiega žarka  $P_O = ?$  znaša: !  $172\mu\text{W}$  !  $415\mu\text{W}$  !  $83\mu\text{W}$  !  $288\mu\text{W}$

?Laser oddaja kolimiran žarek, ki ga v praznem prostoru opisuje valovni vektor  $\vec{k} = \vec{I}_z \cdot 1.22 \cdot 10^7\text{rd/m}$ . Kolikšna je frekvenca laserske svetlobe  $f = ?$  ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8\text{m/s}$ ,  $Z_0 \approx 377\Omega$ ) ?Laser oddaja kolimiran žarek, ki ga v praznem prostoru opisuje valovni vektor  $\vec{k} = \vec{I}_z \cdot 9.93 \cdot 10^6\text{rd/m}$ . Kolikšna je frekvenca laserske svetlobe  $f = ?$  ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8\text{m/s}$ ,  $Z_0 \approx 377\Omega$ ) !  $584\text{THz}$  !  $738\text{THz}$  !  $474\text{THz}$  !  $288\text{THz}$

?Zbiralna leča je izdelana iz pleksi stekla z lomnim količnikom  $n_{PS} = 1.50$ . Koliko naj bo debel  $d = ?$  antirefleksni sloj z optimalnim lomnim količnikom  $n_{AR}$ , če lečo uporabimo v **CD** čitalniku pri valovni dolžini  $\lambda_0 = 780\text{nm}$  v praznem prostoru? ?Zbiralna leča je izdelana iz pleksi stekla z lomnim količnikom  $n_{PS} = 1.50$ . Koliko naj bo debel  $d = ?$  antirefleksni sloj z optimalnim lomnim količnikom  $n_{AR}$ , če lečo uporabimo v **DVD** čitalniku pri valovni dolžini  $\lambda_0 = 650\text{nm}$  v praznem prostoru? !  $159\text{nm}$  !  $195\text{nm}$  !  $133\text{nm}$  !  $108\text{nm}$

?Ne-polarizirana svetloba vpada iz praznega prostora (zrak  $n \approx 1$ ) na gladko površino neznane prozorne snovi. Pri vpadnem kotu  $\Theta_V = 53^\circ$  je odbiti žarek linearno polariziran. Kolikšen je lomni količnik  $n = ?$  neznane snovi, ki preverjeno ni feromagnetik  $\mu_r = 1$ ? ?Ne-polarizirana svetloba vpada iz praznega prostora (zrak  $n \approx 1$ ) na gladko površino neznane prozorne snovi. Pri vpadnem kotu  $\Theta_V = 58^\circ$  je odbiti žarek linearno polariziran. Kolikšen je lomni količnik  $n = ?$  neznane snovi, ki preverjeno ni feromagnetik  $\mu_r = 1$ ? !  $1.21$  !  $1.33$  !  $1.47$  !  $1.60$

?Kolikšna je relativna razlika lomnih količnikov  $\Delta = ?$  šibkolomnega svetlobnega vlakna na osnovi kremenovega stekla (lomni količnik  $\text{SiO}_2$  je v velikostnem razredu  $n \approx 1.46$ ), če numerična apertura dosega  **$NA = 0.2$** ? ?Kolikšna je relativna razlika lomnih količnikov  $\Delta = ?$  šibkolomnega svetlobnega vlakna na osnovi kremenovega stekla (lomni količnik  $\text{SiO}_2$  je v velikostnem razredu  $n \approx 1.46$ ), če numerična apertura dosega  **$NA = 0.1$** ? !  $0.0094$  !  $0.018$  !  $0.0023$  !  $0.0011$

?Pri katerem vpadnem kotu  $\Theta_V = ?$  iz praznega prostora ( $n_1 = 1$ ) na gladko površino snovi z  **$n_2 = 1.5$**  je kot lomljenega žarka  $\Theta_L = \Theta_V/2$  točno polovica vpadnega kota? ?Pri katerem vpadnem kotu  $\Theta_V = ?$  iz praznega prostora ( $n_1 = 1$ ) na gladko površino snovi z  **$n_2 = 1.8$**  je kot lomljenega žarka  $\Theta_L = \Theta_V/2$  točno polovica vpadnega kota? !  $82.2^\circ$  !  $66.3^\circ$  !  $51.7^\circ$  !  $37.6^\circ$

?Svetloba izstopa iz pravilno odrezanega konca optičnega vlakna z numerično aperturo  **$NA = 0.18$**  v zrak ( $n \approx 1$ ). Na oddaljenosti  $d = 15\text{cm}$  osvetli krog na belem zaslonu. Kolikšen je premer osvetljenega kroga  $2r = ?$  ?Svetloba izstopa iz pravilno odrezanega konca optičnega vlakna z numerično aperturo  **$NA = 0.09$**  v zrak ( $n \approx 1$ ). Na oddaljenosti  $d = 15\text{cm}$  osvetli krog na belem zaslonu. Kolikšen je premer osvetljenega kroga  $2r = ?$  !  $5.4\text{cm}$  !  $10.8\text{cm}$  !  $2.7\text{cm}$  !  $1.4\text{cm}$

## \*2. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 9.11.2021

? Ohlapna (loose) sekundarna zaščita omogoča oziroma izboljšuje naslednjo lastnost optičnega kabla: ? Tesna (tight) sekundarna zaščita omogoča oziroma izboljšuje naslednjo lastnost optičnega kabla: ! najnižje izgube mikrokrivin !majhen krivinski polmer ! preprosto rokovanje s kablom !visoko natezno trdnost

?Planarni dielektrični valovod tvori ravna steklena ploščica z lomnim količnikom  $n_1 \approx 1.5$ . Ploščica je obdana z zrakom z  $n_2 \approx 1$ . Koliko različnih rodov  $N = ?$  obeh polarizacij  $TE_m$  in  $TM_m$  se lahko širi v ploščici pri normirani frekvenci  $V = 4000$ ? ?Planarni dielektrični valovod tvori ravna steklena ploščica z lomnim količnikom  $n_1 \approx 1.5$ . Ploščica je obdana z zrakom z  $n_2 \approx 1$ . Koliko različnih rodov  $N = ?$  obeh polarizacij  $TE_m$  in  $TM_m$  se lahko širi v ploščici pri normirani frekvenci  $V = 6000$ ? ! 2546 !5092 ! 3818 !1909

?Kolikšno dolžino  $l = ?$  vlakna G.652 lahko povlečemo iz surovca (preforma) dolžine  $l_p = 1m$  in premera  $2r_p = 25mm$  brez tehnike rod-in-tube? ?Kolikšno dolžino  $l = ?$  vlakna G.652 lahko povlečemo iz surovca (preforma) dolžine  $l_p = 1m$  in premera  $2r_p = 50mm$  brez tehnike rod-in-tube? ! 40km !80km ! 160km !320km

?Enorodovno vlakno ima koeficient polarizacijske rodovne razpršitve  $D_{PMD} = 0.2ps/\sqrt{km}$ . Pri kateri dolžini vlakna  $l = ?$  doseže razlika zakasnitev za dve različni polarizaciji svetlobnega signala vrednost  $\Delta t = 1.2ps$ ? ?Enorodovno vlakno ima koeficient polarizacijske rodovne razpršitve  $D_{PMD} = 0.3ps/\sqrt{km}$ . Pri kateri dolžini vlakna  $l = ?$  doseže razlika zakasnitev za dve različni polarizaciji svetlobnega signala vrednost  $\Delta t = 1.2ps$ ? !6km ! 36km !49km ! 16km

?Kolikšen je doseg zveze z zmogljivostjo  $C = 2.5Gbit/s$  po vlaknu s koeficientom barvne razpršitve  $D = 6ps/(nm \cdot km)$ , če v oddajniku uporabimo laser s širino spektra  $\Delta\lambda = 3nm$  in dopuščamo razširitev impulza  $\Delta t = T_{bit}/3$ ? ?Kolikšen je doseg zveze z zmogljivostjo  $C = 2.5Gbit/s$  po vlaknu s koeficientom barvne razpršitve  $D = 17ps/(nm \cdot km)$ , če v oddajniku uporabimo laser s širino spektra  $\Delta\lambda = 3nm$  in dopuščamo razširitev impulza  $\Delta t = T_{bit}/3$ ? !18.5km ! 7.4km ! 2.6km !55.5km

?Svetlobna vlakna na osnovi kremenovega stekla  $SiO_2$  spajamo z varjenjem z električnim lokom. Pri predhodnem čiščenju vlaken nastavimo čas trajanja  $t = ?$  električnega loka na naslednjo okvirno vrednost: ?Svetlobna vlakna na osnovi kremenovega stekla  $SiO_2$  spajamo z varjenjem z električnim lokom. Pri zvaru enorodovnih vlaken nastavimo čas trajanja  $t = ?$  električnega loka na naslednjo okvirno vrednost: !5ms ! 0.2s ! 3s !40s

?Pri kateri valovni dolžini  $\lambda_0 = ?$  (v praznem prostoru) postane vlakno z numerično aperturo  $NA = 0.1$  in stopničastim lomnim likom enorodovno? Premer jedra vlakna znaša  $2a = 12\mu m$ . ?Pri kateri valovni dolžini  $\lambda_0 = ?$  (v praznem prostoru) postane vlakno z numerično aperturo  $NA = 0.1$  in stopničastim lomnim likom enorodovno? Premer jedra vlakna znaša  $2a = 8\mu m$ . ! 1568nm !1306nm ! 1045nm !784nm

?Medkrajevni kabel dolžine  $l = 50km$  vsebuje vlakno G.652 s koeficientom barvne razpršitve  $D = +17ps/(nm \cdot km)$  pri osrednji  $\lambda_0 = 1.55\mu m$ . Koliko se spreminja skupinska zakasnitev  $\Delta t_g = ?$ , če uporabljamo frekvenčni pas širine  $\Delta f = 100GHz$ ? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ) ?Medkrajevni kabel dolžine  $l = 25km$  vsebuje vlakno G.652 s koeficientom barvne razpršitve  $D = +17ps/(nm \cdot km)$  pri osrednji  $\lambda_0 = 1.55\mu m$ . Koliko se spreminja skupinska zakasnitev  $\Delta t_g = ?$ , če uporabljamo frekvenčni pas širine  $\Delta f = 100GHz$ ? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ) ! 681ps !511ps ! 340ps !1.02ns

?Vlakno dolžine  $l = 3km$  je opremljeno s FC-PC konektorji na obeh koncih. Kolikšna je časovna razlika  $\Delta t = ?$  med odbojema na zaslonu osciloskopa OTDR, če znaša lomni količnik jedra vlakna  $n_1 = 1.47$  in smemo razširitve impulzov zanemariti? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ) ?Vlakno dolžine  $l = 6km$  je opremljeno s FC-PC konektorji na obeh koncih. Kolikšna je časovna razlika  $\Delta t = ?$  med odbojema na zaslonu osciloskopa OTDR, če znaša lomni količnik jedra vlakna  $n_1 = 1.47$  in smemo razširitve impulzov zanemariti? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ) ! 29.4μs !118μs ! 59μs !14.7μs

?Če pri meritvi mnogorodovnega gradientnega vlakna ne poskrbimo za enakomerno vzbujanje vseh rodov, pač pa vzbujamo le rodove nižjih redov blizu osi vlakna, bo modulacijska pasovna širina: ?Če pri meritvi mnogorodovnega gradientnega vlakna ne poskrbimo za enakomerno vzbujanje vseh rodov, pač pa vzbujamo le rodove nižjih redov blizu osi vlakna, bo razširitev impulzov: ! višja !nespremenjena ! nižja !enaka nič

?Glavna pomanjkljivost enorodovnega vlakna na osnovi kremenovega stekla  $SiO_2$ , ki ima numerično aperturo  $NA = 0.03$  in standardiziran zunanji premer  $2r = 125\mu m$ , je: ?Glavna pomanjkljivost enorodovnega vlakna na osnovi kremenovega stekla  $SiO_2$ , ki ima numerično aperturo  $NA = 0.3$  in standardiziran zunanji premer  $2r = 125\mu m$ , je: ! krivinsko slabljenje !majhna pasovna širina ! zelo majhno jedro !težavna izdelava

?Zveza dolžine  $l = 40km$  uporablja kabel z vlaknom, ki ima koeficient barvne razpršitve  $D = 4ps/(nm \cdot km)$ . Barvno razpršitev odstranimo s kolutom DCF vlakna, ki ima barvno razpršitev  $D' = -80ps/(nm \cdot km)$ . Kolikšno dolžino DCF vlakna  $l' = ?$  potrebujemo? ?Zveza dolžine  $l = 40km$  uporablja kabel z vlaknom, ki ima koeficient barvne razpršitve  $D = 18ps/(nm \cdot km)$ . Barvno razpršitev odstranimo s kolutom DCF vlakna, ki ima barvno razpršitev  $D' = -80ps/(nm \cdot km)$ . Kolikšno dolžino DCF vlakna  $l' = ?$  potrebujemo? ! 9km !6km !3km ! 2km



### \*3. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 30.11.2021

? Iz enorodovnih vlaken želimo izdelati sklopnik  $99/1$ , kjer se manjši del moči oddajnika sklaplja na dodatno vlakno za nadzorno fotodiodo. Kolikšna je (najkrajša) dolžina takšnega sklopnika, če znaša utripna dolžina  $\Lambda = 100\text{mm}$  na delovni valovni dolžini oddajnika? ? Iz enorodovnih vlaken želimo izdelati sklopnik  $95/5$ , kjer se manjši del moči oddajnika sklaplja na dodatno vlakno za nadzorno fotodiodo. Kolikšna je (najkrajša) dolžina takšnega sklopnika, če znaša utripna dolžina  $\Lambda = 100\text{mm}$  na delovni valovni dolžini oddajnika? !  $1.15\text{mm}$  !  $3.19\text{mm}$  !  $7.18\text{mm}$  !  $16.16\text{mm}$

? Enorodovno vlakno G.652 ima pri valovni dolžini  $\lambda = 1310\text{nm}$  faktor odbojnosti Rayleighjevega sipanja  $\Gamma_{1ns} = -77\text{dB}$ . Kolikšno odbojnost  $\Gamma_p = ?$  Rayleighjevega sipanja izmeri OTDR, ko dela z impulzi širine  $t_p = 200\text{ns}$ ? ? Enorodovno vlakno G.652 ima pri valovni dolžini  $\lambda = 1310\text{nm}$  faktor odbojnosti Rayleighjevega sipanja  $\Gamma_{1ns} = -77\text{dB}$ . Kolikšno odbojnost  $\Gamma_p = ?$  Rayleighjevega sipanja izmeri OTDR, ko dela z impulzi širine  $t_p = 5\mu\text{s}$ ? ?  $-77\text{dB}$  !  $-54\text{dB}$  !  $-47\text{dB}$  !  $-40\text{dB}$

? Vlakno s stopničastim lomnim likom je načrtovano za mejno valovno dolžino enorodovnega delovanja  $\lambda = 1.25\mu\text{m}$  v praznem prostoru. Pri kateri valovni dolžini  $\lambda' = ?$  pričakujemo dodaten upad jakosti prepuščenega spektra, če vlakno vzbujamo s širokopasovnim nekoherentnim virom (žarnico)? ? Vlakno s stopničastim lomnim likom je načrtovano za mejno valovno dolžino enorodovnega delovanja  $\lambda = 1.25\mu\text{m}$  v praznem prostoru. Pri kateri valovni dolžini  $\lambda' = ?$  pričakujemo dodaten porast jakosti prepuščenega spektra, če vlakno vzbujamo s širokopasovnim nekoherentnim virom (žarnico)? !  $0.78\mu\text{m}$  !  $1.07\mu\text{m}$  !  $1.42\mu\text{m}$  !  $1.65\mu\text{m}$

? Barvno razpršitev enorodovnega vlakna merimo tako, da po vzorcu vlakna dolžine  $l = 50\text{km}$  prenašamo svetobo  $\lambda_0 = 1541\text{nm}$  amplitudno modulirano s  $f_m = 2.5\text{GHz}$ . Kolikšen je koeficient barvne razpršitve  $D = ?$ , če faza modulacije naredi natančno en poln obrat  $\Delta\phi = 2\pi$  pri povečanju valovne dolžine na  $\lambda'_0 = 1542\text{nm}$ ? ? Barvno razpršitev enorodovnega vlakna merimo tako, da po vzorcu vlakna dolžine  $l = 50\text{km}$  prenašamo svetobo  $\lambda_0 = 1540\text{nm}$  amplitudno modulirano s  $f_m = 2.5\text{GHz}$ . Kolikšen je koeficient barvne razpršitve  $D = ?$ , če faza modulacije naredi natančno en poln obrat  $\Delta\phi = 2\pi$  pri povečanju valovne dolžine na  $\lambda'_0 = 1542\text{nm}$ ? !  $4.0\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$  !  $5.6\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$  !  $8.0\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$  !  $16.7\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$

? Z običajnim merilnikom OTDR ne moremo opazovati oziroma najtežje vidimo naslednje: ? Z običajnim merilnikom OFDR ne moremo opazovati oziroma najtežje vidimo naslednje: ! pretrgan kabel ! razločiti dva odboja na razdalji  $1\text{m}$  ! brezhibno odrezano vlakno ! Rayleighjevo sipanje

? Kolikšna je valovno-dolžinska pasovna širina  $\Delta\lambda = ?$  (v praznem prostoru) enorodovnega polprevodniškega DFB laserja, ki ima pri osrednji frekvenci  $f_0 = 194\text{THz}$  frekvenčno pasovno širino  $\Delta f = 30\text{MHz}$ ? ( $c_0 = 3 \cdot 10^8\text{m/s}$ ) ? Kolikšna je vzdolžna koherenčna dolžina  $d = ?$  (v praznem prostoru) enorodovnega polprevodniškega DFB laserja, ki ima pri osrednji frekvenci  $f_0 = 194\text{THz}$  frekvenčno pasovno širino  $\Delta f = 30\text{MHz}$ ? ( $c_0 = 3 \cdot 10^8\text{m/s}$ ) !  $1546\text{nm}$  !  $0.24\mu\text{m}$  !  $300\mu\text{m}$  !  $10\text{m}$

? Nelinearni lomni količnik amorfnega kremenovega stekla  $\text{SiO}_2$  razvijemo v potenčno vrsto:  $n(E) = n_0 + n_1E + n_2E^2$  kot funkcijo pritisnjenega električnega polja  $E = |\vec{E}|$ . Kateri člen je najmanjši pri nizkem/zmernem  $E$ ? ? Nelinearni lomni količnik polariziranega kristala  $\text{LiNbO}_3$  razvijemo v potenčno vrsto:  $n(E) = n_0 + n_1E + n_2E^2$  kot funkcijo pritisnjenega električnega polja  $E = |\vec{E}|$ . Kateri člen je najmanjši pri nizkem/zmernem  $E$ ? !  $n_0$  !  $n_1E$  !  $n_2E^2$  ! lahko je katerikoli

? Svetlobni signal moči  $P = 100\text{mW}$  pri  $\lambda_0 = 1550\text{nm}$  sklopimo v enorodovno svetlobno vlakno dolžine  $l = 600\text{m}$  z efektivno površino jedra  $A_{eff} = 30(\mu\text{m})^2$  in zanemarljivim slabljenjem. Kolikšna je lastna fazna modulacija  $\Delta\phi = ?$  Nelinearnost jedra znaša  $n_2 = 2.5 \cdot 10^{-20}\text{m}^2/\text{W}$ . ? Svetlobni signal moči  $P = 100\text{mW}$  pri  $\lambda_0 = 1550\text{nm}$  sklopimo v enorodovno svetlobno vlakno dolžine  $l = 600\text{m}$  z efektivno površino jedra  $A_{eff} = 80(\mu\text{m})^2$  in zanemarljivim slabljenjem. Kolikšna je lastna fazna modulacija  $\Delta\phi = ?$  Nelinearnost jedra znaša  $n_2 = 2.5 \cdot 10^{-20}\text{m}^2/\text{W}$ . !  $-0.305\text{rd}$  !  $-0.203\text{rd}$  !  $-0.145\text{rd}$  !  $-0.076\text{rd}$

? Kolikšna je efektivna dolžina  $l_{eff} = ?$  za štiri-valovno mešanje v zelo dolgem vlaknu s slabljenjem  $a/l = -0.2\text{dB}/\text{km}$  pri fazni neuskkljenosti  $\Delta\beta = -8.55\text{rd}/\text{km}$ ? ? Kolikšna je efektivna dolžina  $l_{eff} = ?$  za štiri-valovno mešanje v zelo dolgem vlaknu s slabljenjem  $a/l = -0.2\text{dB}/\text{km}$  pri fazni neuskkljenosti  $\Delta\beta = -2.52\text{rd}/\text{km}$ ? !  $21.7\text{km}$  !  $397\text{m}$  !  $1.86\text{km}$  !  $117\text{m}$

? Kolikšno je dejansko slabljenje spoja dveh vlaken, če z merilnikom OTDR v eno smer izmerimo slabljenje spoja  $a_1 = -0.55\text{dB}$  in v drugo smer  $a_2 = -0.15\text{dB}$ ? ? Kolikšna je razlika Rayleighjevega sipanja dveh vlaken, če z merilnikom OTDR v eno smer izmerimo slabljenje spoja  $a_1 = -0.55\text{dB}$  in v drugo smer  $a_2 = -0.15\text{dB}$ ? !  $-0.40\text{dB}$  !  $-0.35\text{dB}$  !  $-0.05\text{dB}$  !  $-0.20\text{dB}$

? Kateri od navedenih sklopov svetlobe ima najboljši izkoristek pri  $\lambda_0 = 1310\text{nm}$ ? ? Kateri od navedenih sklopov svetlobe ima najslabši izkoristek pri  $\lambda_0 = 1310\text{nm}$ ? ! vlakno G.651 → fotodioda ! LASER → vlakno G.652 ! LED → vlakno G.652 ! LED → vlakno G.651

? Po vlaknu NZDSF peljemo dva močna signala na valovnih dolžinah  $\lambda_1 = 1553.0\text{nm}$  in  $\lambda_2 = 1553.2\text{nm}$ . Na kateri valovni dolžini  $\lambda_{motnja} = ?$  pričakujemo produkt štiri-valovnega mešanja, ki moti ostale signale valovno-dolžinskega multipleksa? ? Po vlaknu NZDSF peljemo dva močna signala na valovnih dolžinah  $\lambda_1 = 1553.0\text{nm}$  in  $\lambda_2 = 1553.3\text{nm}$ . Na kateri valovni dolžini  $\lambda_{motnja} = ?$  pričakujemo produkt štiri-valovnega mešanja, ki moti ostale signale valovno-dolžinskega multipleksa? !  $1553.4\text{nm}$  !  $1553.1\text{nm}$  !  $1553.6\text{nm}$  !  $1554.7\text{nm}$

## \*4. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 21.12.2021

?Akusto-optični modulator izkorišča Raman-Nathov uklon **zeleno svetlobe**  $\lambda_0 = 514nm$ . Uklonjena žarka prvega reda se odkloni za kot  $\alpha = +/- 0.2^\circ$  v praznem prostoru. Kolikšna je frekvenca zvočnega valovanja  $f = ?$  v vodi, kjer znaša hitrost zvoka  $v = 1481m/s$ ?  
?Akusto-optični modulator izkorišča Raman-Nathov uklon **rdeče svetlobe**  $\lambda_0 = 633nm$ . Uklonjena žarka prvega reda se odkloni za kot  $\alpha = +/- 0.2^\circ$  v praznem prostoru. Kolikšna je frekvenca zvočnega valovanja  $f = ?$  v vodi, kjer znaša hitrost zvoka  $v = 1481m/s$ ?  
!15.2MHz !12.4MHz ! **10.1MHz** ! **8.17MHz**

?Snop sevanja polprevodniškega FP laserja je **širši** v naslednji smeri: ?Snop sevanja polprevodniškega FP laserja je **ožji** v naslednji smeri: !je rotacijsko simetričen ! **v ravnini  $\vec{H}$**  !pod  $\Theta_B$  polprevodnik/zrak ! **v ravnini  $\vec{E}$**

?V pasivnem optičnem omrežju razdelimo signal na  **$N = 64$**  uporabnikov z drevesom vlakenskih sklopnikov 50/50 in pri tem izgubimo  $a = -24dB$  signala. Kolikšno je vstavitveno slabljenje posameznega delilnika 50/50 vključno z zvari? ?V pasivnem optičnem omrežju razdelimo signal na  **$N = 128$**  uporabnikov z drevesom vlakenskih sklopnikov 50/50 in pri tem izgubimo  $a = -24dB$  signala. Kolikšno je vstavitveno slabljenje posameznega delilnika 50/50 vključno z zvari? !-4.80dB ! **-4.00dB** ! **-3.43dB** !-3.00dB

?Prekooceanski kabel uporablja kanalski razmak  $\Delta f = 100GHz$ . Za koliko  $\Delta P_{IMD}[dB] = ?$  narastejo produkti štirivalovnega mešanja, če pri posodobitvi opreme ostanejo moči posameznih kanalov enake in se kanalski razmak zoža na  **$\Delta f' = 50GHz$** ? ?Prekooceanski kabel uporablja kanalski razmak  $\Delta f = 100GHz$ . Za koliko  $\Delta P_{IMD}[dB] = ?$  narastejo produkti štirivalovnega mešanja, če pri posodobitvi opreme ostanejo moči posameznih kanalov enake in se kanalski razmak zoža na  **$\Delta f' = 25GHz$** ? !+6dB ! **+12dB** ! **+24dB** !+48dB

?Svetlobni modulator je izdelan kot Mach-Zehnderjev interferometer na podlagi  $LiNbO_3$  in dosega občutljivost  $U_{\pi TE} = 6V$  pri  $\lambda_0 = 1.55\mu m$ . Pri kateri krmilni napetosti  $U = ?$  upade izhodna svetlobna moč (TE) na  **$25\%P_{MAX}$** ? ?Svetlobni modulator je izdelan kot Mach-Zehnderjev interferometer na podlagi  $LiNbO_3$  in dosega občutljivost  $U_{\pi TE} = 6V$  pri  $\lambda_0 = 1.55\mu m$ . Pri kateri krmilni napetosti  $U = ?$  upade izhodna svetlobna moč (TE) na  **$75\%P_{MAX}$** ? !1V ! **2V** !3V ! **4V**

?InGaAsP laser s pasovno širino  $\Delta\lambda = 3nm$  pri osrednji valovni dolžini  $\lambda_0 = 1310nm$  v praznem prostoru je sklopljen v enorodovno vlakno G.652. Kolikšna je **vzdolžna** koherenčna dolžina svetlobe  $d = ?$ , ki izhaja na drugem koncu vlakna? ?InGaAsP laser s pasovno širino  $\Delta\lambda = 3nm$  pri osrednji valovni dolžini  $\lambda_0 = 1310nm$  v praznem prostoru je sklopljen v enorodovno vlakno G.652. Kolikšna je **prečna** koherenčna dolžina svetlobe  $d = ?$ , ki izhaja na drugem koncu vlakna? !3nm !17.2 $\mu m$  ! **0.572mm** !  $\infty$

?Polprevodniški laser proizvaja infrardečo svetlobo z valovno dolžino  **$\lambda_0 = 1310nm$**  v praznem prostoru. Kolikšna je energija  $W = ?$  posameznega fotona opisane infrardeče svetlobe? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ,  $h \approx 6.626 \cdot 10^{-34} Js$ ) ?Polprevodniški laser proizvaja infrardečo svetlobo z valovno dolžino  **$\lambda_0 = 1550nm$**  v praznem prostoru. Kolikšna je energija  $W = ?$  posameznega fotona opisane infrardeče svetlobe? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ,  $h \approx 6.626 \cdot 10^{-34} Js$ ) !2.03  $\cdot 10^{-19} J$  !  **$1.52 \cdot 10^{-19} J$**  !2.34  $\cdot 10^{-19} J$  !  **$1.28 \cdot 10^{-19} J$**

?Kolikšno ojačanje na enoto dolžine  $G/l[dB/m] = ?$  je potrebno za nihanje polprevodniškega laserja z dolžino vgrajenega valovoda  **$l = 400\mu m$** . Zrcala na obeh koncih valovoda predstavlja kar meja polprevodnik  $n_1 = 3.7$ /zrak  $n_0 = 1$ . ?Kolikšno ojačanje na enoto dolžine  $G/l[dB/m] = ?$  je potrebno za nihanje polprevodniškega laserja z dolžino vgrajenega valovoda  **$l = 600\mu m$** . Zrcala na obeh koncih valovoda predstavlja kar meja polprevodnik  $n_1 = 3.7$ /zrak  $n_0 = 1$ . !15000dB/m ! **12000dB/m** !10000dB/m ! **8000dB/m**

?Kolikšno moč ojačanega spontanega sevanja  $P_{ASE} = ?$  dosega na svojem izhodu na polarizaciji TE polprevodniški laserski ojačevalnik z ojačanjem  **$G = 20dB$**  na osrednji frekvenci  $f = 194THz$  v pasovni širini  $\Delta f = 10THz$ , ko električno črpanje omogoča  $\mu \approx 2?$  ( $h \approx 6.626 \cdot 10^{-34} Js$ ) ?Kolikšno moč ojačanega spontanega sevanja  $P_{ASE} = ?$  dosega na svojem izhodu na polarizaciji TE polprevodniški laserski ojačevalnik z ojačanjem  **$G = 15dB$**  na osrednji frekvenci  $f = 194THz$  v pasovni širini  $\Delta f = 10THz$ , ko električno črpanje omogoča  $\mu \approx 2?$  ( $h \approx 6.626 \cdot 10^{-34} Js$ ) !10.3 $\mu W$  ! **79 $\mu W$**  !1.03mW ! **255 $\mu W$**

?Kolikšen je lahko največji kvantni izkoristek  $\eta = ?$  laserskega ojačevalnika z erbijevim vlaknom pri ojačevanju signala z  $\lambda_S = 1550nm$ , ko ojačevalno vlakno črpamo s svetlobo  **$\lambda_P = 980nm$** ? ?Kolikšen je lahko največji kvantni izkoristek  $\eta = ?$  laserskega ojačevalnika z erbijevim vlaknom pri ojačevanju signala z  $\lambda_S = 1550nm$ , ko ojačevalno vlakno črpamo s svetlobo  **$\lambda_P = 1480nm$** ? ! **95%** !79% ! **63%** !40%

?Kolikšen padec napetosti  $U = ?$  pričakujemo na svetleči diodi, ki sveti na osrednji valovni dolžini  **$\lambda_0 = 900nm$** ? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ,  $h \approx 6.626 \cdot 10^{-34} Js$ ,  $Q_e \approx -1.6 \cdot 10^{-19} As$ ) ?Kolikšen padec napetosti  $U = ?$  pričakujemo na svetleči diodi, ki sveti na osrednji valovni dolžini  **$\lambda_0 = 650nm$** ? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ,  $h \approx 6.626 \cdot 10^{-34} Js$ ,  $Q_e \approx -1.6 \cdot 10^{-19} As$ ) !2.7V ! **1.6V** ! **1.0V** !0.6V

?Kolikšna mora biti perioda ponavljanja  $d = ?$  uklonske mrežice (porazdeljenega zrcala) znotraj čipa DFB laserja, če znaša lomni količnik MQW valovoda  $n_1 = 3.8$  in laser niha na eni sami spektralni črti z valovno dolžino  **$\lambda_0 = 1540nm$**  v praznem prostoru? ?Kolikšna mora biti perioda ponavljanja  $d = ?$  uklonske mrežice (porazdeljenega zrcala) znotraj čipa DFB laserja, če znaša lomni količnik MQW valovoda  $n_1 = 3.8$  in laser niha na eni sami spektralni črti z valovno dolžino  **$\lambda_0 = 1320nm$**  v praznem prostoru? !770nm ! **203nm** ! **174nm** !660nm

## \*5. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 11.01.2022

?Kolikšna je največja valovna dolžina svetlobe  $\lambda_0 = ?$ , ki jo še zazna fotupor iz **Se z bandgap  $\Delta W = 1.95eV$** ? ( $h \approx 6.626 \cdot 10^{-34} Js$ ,  $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ,  $Q_e \approx -1.6 \cdot 10^{-19} As$ ) ?Kolikšna je največja valovna dolžina svetlobe  $\lambda_0 = ?$ , ki jo še zazna fotupor iz **CdTe z bandgap  $\Delta W = 1.44eV$** ? ( $h \approx 6.626 \cdot 10^{-34} Js$ ,  $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ,  $Q_e \approx -1.6 \cdot 10^{-19} As$ ) !513nm !637nm !714nm !863nm

?Sprejemnik IR daljinca vsebuje silicijevo PIN fotodiodo s kapacitivnostjo  **$C_d = 25pF$**  in kvantnim izkoristkom  $\eta = 70\%$  pri valovni dolžini  $\lambda = 900nm$ . Količno napetost  $U_S = ?$  da svetlobni impulz  $N_f = 30000$  fotonov na bremenu  $C_o = 5pF$ ? ( $h \approx 6.626 \cdot 10^{-34} Js$ ,  $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ,  $Q_e \approx -1.6 \cdot 10^{-19} As$ ) ?Sprejemnik IR daljinca vsebuje silicijevo PIN fotodiodo s kapacitivnostjo  **$C_d = 45pF$**  in kvantnim izkoristkom  $\eta = 70\%$  pri valovni dolžini  $\lambda = 900nm$ . Količno napetost  $U_S = ?$  da svetlobni impulz  $N_f = 30000$  fotonov na bremenu  $C_o = 5pF$ ? ( $h \approx 6.626 \cdot 10^{-34} Js$ ,  $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ,  $Q_e \approx -1.6 \cdot 10^{-19} As$ ) !224 $\mu V$  !112 $\mu V$  !67 $\mu V$  !34 $\mu V$

?Iz kakšnega polprevodnika je najverjetneje izdelana fotodioda s plazovnim ojačanjem (APD), če prebojna napetost dosega  **$U_Z \approx 150V$** ? ?Iz kakšnega polprevodnika je najverjetneje izdelana fotodioda s plazovnim ojačanjem (APD), če prebojna napetost dosega  **$U_Z \approx 70V$** ? !Ge !Si !GaN !InGaAsP

?PIN-FET modul vsebuje fotodiodo z odzivnostjo  $I/P = 0.8A/W$  in transimpedanco  $R_T = 2k\Omega$ . Količno izhodno napetost  $U = ?$  (vrh-vrh) dobimo s svetlobnim krmilnim signalom povprečne optične moči  **$\langle P_O \rangle = -10dBm$**  (50% enic, 50% ničel in visoko ugasno razmerje)? ?PIN-FET modul vsebuje fotodiodo z odzivnostjo  $I/P = 0.8A/W$  in transimpedanco  $R_T = 2k\Omega$ . Količno izhodno napetost  $U = ?$  (vrh-vrh) dobimo s svetlobnim krmilnim signalom povprečne optične moči  **$\langle P_O \rangle = -16dBm$**  (50% enic, 50% ničel in visoko ugasno razmerje)? !320mV !160mV !80mV !40mV

?Izhodna moč laserja upade zaradi pregrevanja na  $P' = 70\%P$  izvorne vrednosti. Za koliko dB upade **optični signal na vhodu** sprejemnega PIN-FET modula? ?Izhodna moč laserja upade zaradi pregrevanja na  $P' = 70\%P$  izvorne vrednosti. Za koliko dB upade **električni signal na izhodu** sprejemnega PIN-FET modula? !-0.77dB !-1.55dB !-3.1dB !-6.20dB

?Izvor psevdonaključnega zaporedja vsebuje dvojiški pomikalni register. Povratna vezava z EXOR opravlja deljenje s primitivnim polinomom  **$1 + x^3 + x^{10}$** . Količna je največja dolžina zaporedja  $N = ?$  ?Izvor psevdonaključnega zaporedja vsebuje dvojiški pomikalni register. Povratna vezava z EXOR opravlja deljenje s primitivnim polinomom  **$1 + x^{17} + x^{20}$** . Količna je največja dolžina zaporedja  $N = ?$  !1023 !131071 !1048575 !2147483647

?Modulacija QAM16 lahko doseže na **eni sami polarizaciji** osnovnega rodu  $HE_{11}$  spektralno učinkovitost  $C/B = ?$  ?Modulacija QAM16 lahko doseže na **dveh pravokotnih polarizacijah** osnovnega rodu  $HE_{11}$  spektralno učinkovitost  $C/B = ?$  !2bit !4bit !8bit !16bit

?Barvna razpršitev enorodovnega vlakna omejuje pasovno širino pri prenosu analognih električnih signalov s pomočjo amplitudne modulacije, kjer se prva ničla prevajalne funkcije pojavi že pri  $f = 20GHz$ . Kam se premakne  $f' = ?$  prva ničla, če dolžino vlakna **podvojimo**? ?Barvna razpršitev enorodovnega vlakna omejuje pasovno širino pri prenosu analognih električnih signalov s pomočjo amplitudne modulacije, kjer se prva ničla prevajalne funkcije pojavi že pri  $f = 20GHz$ . Kam se premakne  $f' = ?$  prva ničla, če dolžino vlakna **razpolovimo**? !10GHz !14GHz !28GHz !40GHz

?V koherentnem sprejemniku uporabimo **balančno vezavo dveh fotodiod namesto ene same fotodiode** za: ?V koherentnem sprejemniku uporabimo **kvadraturno vezavo dveh balančnih RX namesto enega samega balančnega RX** za: !znižanje cene sprejemnika !popravek odstopanja  $\lambda$  !znižanje vpliva šuma LO !neodvisnost od polarizacije

?Ethernet zveza po UTP kablu se po izvedbi postopkov auto-MDIX in auto-negotiation nastavi na hitrost  **$C = 10Mbps$**  full-duplex. Ko ni aktivnega prometa podatkovnih okvirjev, je na kablu prisoten naslednji signal: ?Ethernet zveza po UTP kablu se po izvedbi postopkov auto-MDIX in auto-negotiation nastavi na hitrost  **$C = 100Mbps$**  full-duplex. Ko ni aktivnega prometa podatkovnih okvirjev, je na kablu prisoten naslednji signal: !brez signala !znaki idle !okvirji pause !link pulzi

?Kateri pojav najbolj otežuje meritev **visokih pogostnosti napak  $BER > 10^{-2}$** ? ?Kateri pojav najbolj otežuje meritev **nizkih pogostnosti napak  $BER < 10^{-15}$** ? !ni primernih preizkusnih zaporedij !težavna sinhronizacija sprejemnika !presluh med kanali !dolga čas meritve

?Koliko parov žic (paric)  $N = ?$  potrebuje Ethernet zveza po UTP kablu z zmogljivostjo  **$C = 100Mbps$**  brez PoE? ?Koliko parov žic (paric)  $N = ?$  potrebuje Ethernet zveza po UTP kablu z zmogljivostjo  **$C = 1Gbps$**  brez PoE? !1 par !2 para !3 pare !4 pare

# \*1. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 18.10.2022

?Pri razmerju signal/šum  $P_S/P_N = 1$  doseže teoretska zmogljivost zveze  $C = 100\text{Mbit/s}$ . Kolikokrat  $N = P'_S/P_S = ?$  je treba povečati moč oddajnika za zmogljivost  $C' = 150\text{Mbit/s}$ , če ostanejo vsi ostali podatki zveze nespremenjeni? ?Pri razmerju signal/šum  $P_S/P_N = 1$  doseže teoretska zmogljivost zveze  $C = 100\text{Mbit/s}$ . Kolikokrat  $N = P'_S/P_S = ?$  je treba povečati moč oddajnika za zmogljivost  $C' = 250\text{Mbit/s}$ , če ostanejo vsi ostali podatki zveze nespremenjeni? ! **1.8krat** !2.5krat ! **4.7krat** !6.3krat

?Z izbiro **Planckove konstante**  $h = 6.62607015 \cdot 10^{-34}\text{Js}$  je določena velikost naslednje merske enote v mednarodnem sistemu merskih enot: ?Z izbiro **Boltzmannove konstante**  $k_B = 1.380649 \cdot 10^{-23}\text{J/K}$  je določena velikost naslednje merske enote v mednarodnem sistemu merskih enot: !**m(meter)** ! **kg(kilogram)** ! **K(kelvin)** !**A(ampere)**

?Kolikšna je spektralna gostota naravnega šuma  $N_0 = ?[\text{J}]$  pri frekvenci  **$f = 604\text{MHz}$**  in sobni temperaturi  $T = 290\text{K}$ ? ( $h = 6.62607015 \cdot 10^{-34}\text{Js}$ ,  $k_B = 1.380649 \cdot 10^{-23}\text{J/K}$ ) ?Kolikšna je spektralna gostota naravnega šuma  $N_0 = ?[\text{J}]$  pri frekvenci  **$f = 604\text{THz}$**  in sobni temperaturi  $T = 290\text{K}$ ? ( $h = 6.62607015 \cdot 10^{-34}\text{Js}$ ,  $k_B = 1.380649 \cdot 10^{-23}\text{J/K}$ ) ! **$1.38 \cdot 10^{-23}\text{J}$**  !  **$4.00 \cdot 10^{-21}\text{J}$**  !  **$4.00 \cdot 10^{-19}\text{J}$**  ! **$1.38 \cdot 10^{-17}\text{J}$**

?Koaksialni kabel vnaša slabljenje  **$a/l = -25\text{dB/km}$**  pri frekvenci  $f = 100\text{MHz}$ . Moč oddajnika znaša  $P_{TX} = +30\text{dBm}$ . Kolikšno moč dobimo na vhodu sprejemnika  $P_{RX} = ?$ , ki se nahaja na razdalji  $l = 4\text{km}$  od oddajnika? ?Koaksialni kabel vnaša slabljenje  **$a/l = -20\text{dB/km}$**  pri frekvenci  $f = 100\text{MHz}$ . Moč oddajnika znaša  $P_{TX} = +30\text{dBm}$ . Kolikšno moč dobimo na vhodu sprejemnika  $P_{RX} = ?$ , ki se nahaja na razdalji  $l = 4\text{km}$  od oddajnika? ! **$-80\text{dBm}$**  !  **$-70\text{dBm}$**  ! **$-60\text{dBm}$**  !  **$-50\text{dBm}$**

?V telekomunikacijskih svetlobnih vlaknih iz kremenovega stekla  $\text{SiO}_2$  se pas frekvenc v okolici  **$f = 214\text{THz}$**  običajno ne uporablja zaradi naslednjega fizikalnega pojava: ?V telekomunikacijskih svetlobnih vlaknih iz kremenovega stekla  $\text{SiO}_2$  se pas frekvenc v okolici  **$f = 125\text{THz}$**  običajno ne uporablja zaradi naslednjega fizikalnega pojava: !UV rezonance  $\text{SiO}_2$  !Rayleighjevo sipanje ! **IR rezonance  $\text{SiO}_2$**  ! **rezonance raznih nečistoč**

?Svetloba vpada iz praznega prostora pod pravim kotom ( $\Theta_V = 0$ ) na ravno površino **vode  $n = 1.33$** . Kolikšen delež moči svetlobe  $P_O/P_V = ?$  se odbije? ?Svetloba vpada iz praznega prostora pod pravim kotom ( $\Theta_V = 0$ ) na ravno površino **stekla  $n = 1.50$** . Kolikšen delež moči svetlobe  $P_O/P_V = ?$  se odbije? !0.01 ! **0.02** ! **0.04** !0.08

?Laser oddaja kolimiran žarek, ki ga v praznem prostoru opisuje valovni vektor  **$\vec{k} = \vec{I}_z \cdot 1.22 \cdot 10^7\text{rd/m}$** . Kolikšna je frekvenca laserske svetlobe  $f = ?$  ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8\text{m/s}$ ,  $Z_0 \approx 377\Omega$ ) ?Laser oddaja kolimiran žarek, ki ga v praznem prostoru opisuje valovni vektor  **$\vec{k} = \vec{I}_z \cdot 9.93 \cdot 10^6\text{rd/m}$** . Kolikšna je frekvenca laserske svetlobe  $f = ?$  ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8\text{m/s}$ ,  $Z_0 \approx 377\Omega$ ) !  **$584\text{THz}$**  ! **$738\text{THz}$**  !  **$474\text{THz}$**  ! **$288\text{THz}$**

?Kolikšna naj bo debelina antirefleksnega sloja  $d = ?$ , ki ga nanese na izstopno ploskev kristala **laserja Nd:YAG  $n_1 \approx 1.833$** , da vsa svetloba z valovno dolžino  $\lambda_0 = 1064\text{nm}$  izstopi v okoliški zrak ( $n_2 \approx 1$ )? ?Kolikšna naj bo debelina antirefleksnega sloja  $d = ?$ , ki ga nanese na izstopno ploskev kristala **polprevodniškega laserja  $n_1 \approx 3.7$** , da vsa svetloba z valovno dolžino  $\lambda_0 = 1064\text{nm}$  izstopi v okoliški zrak ( $n_2 \approx 1$ )? !  **$197\text{nm}$**  ! **$266\text{nm}$**  !  **$138\text{nm}$**  ! **$72\text{nm}$**

?Pri tuneliranju valovanja je valovni vektor  $\vec{k}$  v **vmesni redkejši** snovi: ?Pri tuneliranju valovanja je valovni vektor  $\vec{k}$  v **izstopni gostejši** snovi: ! **kompleksen** !čisto imaginaren ! **čisto realen** !enak nič

?Pri katerem vpadnem kotu  $\Theta_V = ?$  iz praznega prostora ( $n_1 = 1$ ) na gladko površino snovi z  **$n_2 = 1.5$**  je kot lomljenega žarka  $\Theta_L = \Theta_V/2$  točno polovica vpadnega kota? ?Pri katerem vpadnem kotu  $\Theta_V = ?$  iz praznega prostora ( $n_1 = 1$ ) na gladko površino snovi z  **$n_2 = 1.8$**  je kot lomljenega žarka  $\Theta_L = \Theta_V/2$  točno polovica vpadnega kota? !  **$82.2^\circ$**  ! **$66.3^\circ$**  !  **$51.7^\circ$**  ! **$37.6^\circ$**

?Kolikšna je numerična apertura  $NA = ?$  šibkolomnega svetlobnega vlakna na osnovi kremenovega stekla (lomni količnik  $\text{SiO}_2$  je v velikostnem razredu  $n \approx 1.46$ ), če relativna razlika lomnih količnikov dosega  **$\Delta = 0.01$** ? ?Kolikšna je numerična apertura  $NA = ?$  šibkolomnega svetlobnega vlakna na osnovi kremenovega stekla (lomni količnik  $\text{SiO}_2$  je v velikostnem razredu  $n \approx 1.46$ ), če relativna razlika lomnih količnikov dosega  **$\Delta = 0.003$** ? ! **0.21** !0.47 ! **0.11** !0.16

?Kolikšen je lahko največji sklopni izkoristek neusmerjenega vira na vlakno z numerično aperturo  **$NA = 0.2$** , če je vir manjši od jedra vlakna? ?Kolikšen je lahko največji sklopni izkoristek neusmerjenega vira na vlakno z numerično aperturo  **$NA = 0.1$** , če je vir manjši od jedra vlakna? ! **0.25%** !0.5% ! **1%** !2%



## \*2. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 15.11.2022

?Če **višamo** frekvenco valovanja  $f$  in pri tem vzbuja en sam, vedno isti rod valovanja v dielektričnem valovodu, se vpadni kot  $\theta$  na mejo dielektrikov spreminja na naslednji način: ?Če **nižamo** frekvenco valovanja  $f$  in pri tem vzbuja en sam, vedno isti rod valovanja v dielektričnem valovodu, se vpadni kot  $\theta$  na mejo dielektrikov spreminja na naslednji način: !  $\theta \rightarrow \pi/2$  !  $\theta \rightarrow 0$  !  $\theta \rightarrow \theta_m$  !  $\theta = konst.$

?Nepolarizirana svetloba prestopa mejo iz dielektrika z lomnim količnikom  $n_1$  v dielektrik z lomnim količnikom  $n_2$ . V kakšni zvezi sta  $n_1$  in  $n_2$ , če je odboj popolnoma polariziran pri vpadnem kotu  $\theta = 60^\circ$ ? ?Nepolarizirana svetloba prestopa mejo iz dielektrika z lomnim količnikom  $n_1$  v dielektrik z lomnim količnikom  $n_2$ . V kakšni zvezi sta  $n_1$  in  $n_2$ , če je odboj popolnoma polariziran pri vpadnem kotu  $\theta = 30^\circ$ ? !  $n_2/n_1 = \sqrt{3}$  !  $n_2/n_1 = 3$  !  $n_2/n_1 = 1/\sqrt{3}$  !  $n_2/n_1 = 1/3$

?Kolikšna je normirana frekvenca  $V = ?$  za vlakno iz kremenovega stekla 50/125 s stopničastim lomnim likom in numerično aperturo  $NA = 0.2$  pri valovni dolžini  $\lambda_0 = 850nm$  v praznem prostoru? ?Kolikšna je normirana frekvenca  $V = ?$  za vlakno iz kremenovega stekla 50/125 s stopničastim lomnim likom in numerično aperturo  $NA = 0.2$  pri valovni dolžini  $\lambda_0 = 1550nm$  v praznem prostoru? !74.00 ! **37.00** ! 20.26 !9.62

?Kako dolg surovec (preform)  $l_p = ?$  premera  $2r_p = 50mm$  potrebujemo za vleko  **$l = 100km$**  vlakna G.652 brez tehnike rod-in-tube? ?Kako dolg surovec (preform)  $l_p = ?$  premera  $2r_p = 50mm$  potrebujemo za vleko  **$l = 300km$**  vlakna G.652 brez tehnike rod-in-tube? ! **0.625m** !1.250m ! **1.875m** !2.500m

?Enorodovno vlakno dosega polarizacijsko razpršitev  $\Delta t = 1.5ps$  pri dolžini  $l = 40km$ . Pri kateri dolžini enakega vlakna  $l' = ?$  se polarizacijska razpršitev **razpolovi**? ?Enorodovno vlakno dosega polarizacijsko razpršitev  $\Delta t = 1.5ps$  pri dolžini  $l = 40km$ . Pri kateri dolžini enakega vlakna  $l' = ?$  se polarizacijska razpršitev **podvoji**? ! **10km** !20km !80km ! **160km**

?Domet zveze omejuje barvna razpršitev na  $l = 64km$  s kakovostnim oddajnikom, kjer modulacijska pasovna širina ustreza zmogljivosti zveze  $C = 10Gbit/s$ . Kolikšen domet  $l' = ?$  omogočata enak oddajnik in enako vlakno pri  **$C' = 20Gbit/s$** ? ?Domet zveze omejuje barvna razpršitev na  $l = 64km$  s kakovostnim oddajnikom, kjer modulacijska pasovna širina ustreza zmogljivosti zveze  $C = 10Gbit/s$ . Kolikšen domet  $l' = ?$  omogočata enak oddajnik in enako vlakno pri  **$C' = 40Gbit/s$** ? !32km ! **16km** !8km ! **4km**

? **Polarizacijsko rodovno razpršitev** lahko znižamo z naslednjim tehnološkim postopkom pri izdelavi svetlobnih vlaken iz kremenovega stekla: ? Lomni količnik obloge vlakna lahko znižamo z naslednjim tehnološkim postopkom pri izdelavi svetlobnih vlaken iz kremenovega stekla: !eliptičnim jedrom vlakna ! **sukanjem med vlečenjem vlakna** !tanjšim jedrom vlakna ! **dopiranjem obloge s fluorom**

?V dielektričnem valovodu izračunamo oziroma izmerimo povezavo med fazno konstanto  $\beta[rd/m]$  in krožno frekvenco  $\omega[rd/s]$  v širšem območju frekvenc oziroma valovnih dolžin. Kako določimo **fazno hitrost  $v_f$**  v valovodu? ?V dielektričnem valovodu izračunamo oziroma izmerimo povezavo med fazno konstanto  $\beta[rd/m]$  in krožno frekvenco  $\omega[rd/s]$  v širšem območju frekvenc oziroma valovnih dolžin. Kako določimo **skupinsko hitrost  $v_g$**  v valovodu? ! $\omega \cdot \beta$  !  **$\omega/\beta$**  !  **$d\omega/d\beta$**  ! $d^2\omega/d\beta^2$

?Vlakno dolžine  **$l = 1km$**  je opremljeno s FC-PC konektorji na obeh koncih. Kolikšna je časovna razlika  $\Delta t = ?$  med odbojema na zaslonu osciloskopa OTDR, če znaša lomni količnik jedra vlakna  $n_1 = 1.47$  in smemo razširitve impulzov zanemariti? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ) ?Vlakno dolžine  **$l = 2km$**  je opremljeno s FC-PC konektorji na obeh koncih. Kolikšna je časovna razlika  $\Delta t = ?$  med odbojema na zaslonu osciloskopa OTDR, če znaša lomni količnik jedra vlakna  $n_1 = 1.47$  in smemo razširitve impulzov zanemariti? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ) !4.9 $\mu s$  ! **9.8 $\mu s$**  ! **19.6 $\mu s$**  !39.2 $\mu s$

?Kateri razstavljev spoj svetlobnih vlaken dosega najboljšje **vstavitveno** slabljenje? ?Kateri razstavljev spoj svetlobnih vlaken dosega najboljšje **odbojno** slabljenje? !spoj z lečami ! **FC/PC** !raven ST ! **SC/APC**

?Kolikšna dolžina  $l = ?$  vlakna **G.652  $D = 17ps/(nm \cdot km)$**  razširi impulz laserja pasovne širine  $\Delta\lambda_0 = 3nm$  za  $\Delta t = 1ns$ ? ( $\lambda_0 = 1550nm$ ) ?Kolikšna dolžina  $l = ?$  vlakna **DCF  $D = -80ps/(nm \cdot km)$**  razširi impulz laserja pasovne širine  $\Delta\lambda_0 = 3nm$  za  $\Delta t = 1ns$ ? ( $\lambda_0 = 1550nm$ ) !47.6km ! **19.6km** !9.6km ! **4.17km**

?Če pri meritvi mnogorodovnega gradientnega vlakna ne poskrbimo za enakomerno vzbujanje vseh rodov, pač pa vzbuja le rodove nižjih redov blizu osi vlakna, bo **modulacijska pasovna širina**: ?Če pri meritvi mnogorodovnega gradientnega vlakna ne poskrbimo za enakomerno vzbujanje vseh rodov, pač pa vzbuja le rodove nižjih redov blizu osi vlakna, bo **razširitev impulzov**: ! **višja** !nespremenjena ! **nižja** !enaka nič

### \*3. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 6.12.2022

?Optični reflektometer v časovnem prostoru (OTDR) zazna **najmočnejši** odboj svetlobe od naslednjega gradnika/pojava: ?Optični reflektometer v časovnem prostoru (OTDR) zazna **najšibkejši** odboj svetlobe od naslednjega gradnika/pojava: Ispoj dveh FC-PC konektorjev ! **odboj na odprtem koncu** !Rayleighjevo sipanje ! **dober zvar vlaken**

?OTDR vidi pri valovni dolžini  $\lambda_0 = 1310nm$  odboj od Rayleighjevega sipanja relativne jakosti  $\Gamma_{dB} = -54dB$ . Kolikšno jakost sipanja  $\Gamma'_{dB} = ?$  vidi isti OTDR z enako širino impulzov pri valovni dolžini  **$\lambda'_0 = 1550nm$** , če je vlakno zadosti kratko, da smemo slabljenje zanemariti? ?OTDR vidi pri valovni dolžini  $\lambda_0 = 1310nm$  odboj od Rayleighjevega sipanja relativne jakosti  $\Gamma_{dB} = -54dB$ . Kolikšno jakost sipanja  $\Gamma'_{dB} = ?$  vidi isti OTDR z enako širino impulzov pri valovni dolžini  **$\lambda'_0 = 850nm$** , če je vlakno zadosti kratko, da smemo slabljenje zanemariti? ! **$-77dB$**  ! **$-59dB$**  ! **$-54dB$**  ! **$-46dB$**

?Vlakno **DSF G.653 ali 8/125** ima pri valovni dolžini  $\lambda_0 = 1550nm$  efektivno površino jedra  $A_{eff} = ?$  ?Vlakno **SMF G.652 ali 9/125** ima pri valovni dolžini  $\lambda_0 = 1550nm$  efektivno površino jedra  $A_{eff} = ?$  ! **$9\mu m^2$**  ! **$30\mu m^2$**  ! **$70\mu m^2$**  ! **$125\mu m^2$**

?WDM sistem uporablja kanalski razmak  $\Delta f = 100GHz$ , kjer barvna razpršitev vlakna NZDSF zmanjšuje efektivno dolžino vlakna na  $l_{eff} = 0.4km$ . Kolikšno efektivno dolžino  $l'_{eff} = ?$  prinese posodobitev sistema na kanalski razmak  **$\Delta f' = 50GHz$** ? ?WDM sistem uporablja kanalski razmak  $\Delta f = 100GHz$ , kjer barvna razpršitev vlakna NZDSF zmanjšuje efektivno dolžino vlakna na  $l_{eff} = 0.4km$ . Kolikšno efektivno dolžino  $l'_{eff} = ?$  prinese posodobitev sistema na kanalski razmak  **$\Delta f' = 33GHz$** ? ! **$0.8km$**  ! **$1.6km$**  ! **$2.5km$**  ! **$3.6km$**

?Iz enorodovnih vlaken se izdelujejo sklopniki 50/50 za PON. Zaradi tehnološke napake v proizvodnji se utripna dolžina **deli s tri  $\Lambda' = \Lambda/3$** , vsi ostali parametri pa ostanejo enaki. Delilno razmerje nastalih sklopnikov bo: ?Iz enorodovnih vlaken se izdelujejo sklopniki 50/50 za PON. Zaradi tehnološke napake v proizvodnji se utripna dolžina **potroji  $\Lambda' = 3\Lambda$** , vsi ostali parametri pa ostanejo enaki. Delilno razmerje nastalih sklopnikov bo: ! **$50/50$**  ! **$15/85$**  ! **$7/93$**  ! **$0/100$**

?Modulacijska pasovna širina zveze po mnogorodovnem gradientnem vlaknu dolžine  **$l = 16km$**  znaša  $B = 75MHz$ . Pri kolikšni dolžini  $l' = ?$  pasovna širina naraste na  $B' = 300MHz$  z istim virom? ?Modulacijska pasovna širina zveze po mnogorodovnem gradientnem vlaknu dolžine  **$l = 12km$**  znaša  $B = 75MHz$ . Pri kolikšni dolžini  $l' = ?$  pasovna širina naraste na  $B' = 300MHz$  z istim virom? ! **$3.0km$**  ! **$1.5km$**  ! **$4.0km$**  ! **$9.0km$**

?Če temperatura čipa polprevodniškega laserja naraste  $T \uparrow$ , se **pragovni tok** laserja: ?Če temperatura čipa polprevodniškega laserja naraste  $T \uparrow$ , se **izhodna moč** laserja: !odvisno od polprevodnika ! **zviša** !ne spremeni ! **zniža**

?Kolikšna je **valovno-dolžinska pasovna širina  $\Delta\lambda = ?$**  (v praznem prostoru) enorodovnega polprevodniškega DFB laserja, ki ima pri osrednji frekvenci  $f_0 = 194THz$  frekvenčno pasovno širino  $\Delta f = 300MHz$ ? ( $c_0 = 3 \cdot 10^8 m/s$ ) ?Kolikšna je **vzdolžna koherenčna dolžina  $d = ?$**  (v praznem prostoru) enorodovnega polprevodniškega DFB laserja, ki ima pri osrednji frekvenci  $f_0 = 194THz$  frekvenčno pasovno širino  $\Delta f = 300MHz$ ? ( $c_0 = 3 \cdot 10^8 m/s$ ) ! **$1.546\mu m$**  ! **$2.4\mu m$**  ! **$1.546mm$**  ! **$1m$**

? **Kolikšno je dejansko slabljenje spoja** dveh vlaken, če z merilnikom OTDR v eno smer izmerimo slabljenje spoja  $a_1 = -0.4dB$  in v drugo smer  $a_2 = -0.1dB$ ? ? **Kolikšna je razlika Rayleighjevega sipanja** dveh vlaken, če z merilnikom OTDR v eno smer izmerimo slabljenje spoja  $a_1 = -0.4dB$  in v drugo smer  $a_2 = -0.1dB$ ? ! **$-0.3dB$**  ! **$-0.25dB$**  ! **$-0.2dB$**  ! **$-0.15dB$**

? **Brillouinovo** sipanje svetlobe je nelinearen pojav, ki je v običajnih številskih zvezah po enorodovnem vlaknu na osnovi kremenovega stekla ( $SiO_2$ ) nepomemben, ker: ? **Ramanovo** sipanje svetlobe je nelinearen pojav, ki je v običajnih številskih zvezah po enorodovnem vlaknu na osnovi kremenovega stekla ( $SiO_2$ ) nepomemben, ker: !se svetloba siplje nazaj ! **ima visoko pragovno moč** !spreminja frekvenco ! **je izredno ozkopasovno**

?Kateri od navedenih sklopov svetlobe ima **najboljši** izkoristek pri  $\lambda_0 = 1310nm$ ? ?Kateri od navedenih sklopov svetlobe ima **najslabši** izkoristek pri  $\lambda_0 = 1310nm$ ? !**vlakno G.651→fotodioda** !LASER→vlakno G.652 !**LED→vlakno G.652** !LED→vlakno G.651

?Po vlaknu NZDSF peljemo dva močna signala na kanalih  **$f_1 = 193.1THz$  in  $f_2 = 193.2THz$** . Na kateri frekvenci motnje  $f_m = ?$  pričakujemo produkt štiri-valovnega mešanja, ki moti ostale signale valovno-dolžinskega multipleksa? ?Po vlaknu NZDSF peljemo dva močna signala na kanalih  **$f_1 = 193.0THz$  in  $f_2 = 193.1THz$** . Na kateri frekvenci motnje  $f_m = ?$  pričakujemo produkt štiri-valovnega mešanja, ki moti ostale signale valovno-dolžinskega multipleksa? ! **$193.4THz$**  ! **$193.3THz$**  ! **$193.2THz$**  ! **$193.1THz$**

## \*4. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 20.12.2022

?Telekomunikacijski polprevodniški laser za valovno dolžino  $\lambda = 1550nm$  uporablja heterostrukturo za izboljšanje delovanja: vodenje valovanja v jedru valovoda in večji prepovedani energijski pas obloge. Heterostruktura je narejena iz polprevodnikov:

?Telekomunikacijski polprevodniški laser za valovno dolžino  $\lambda = 850nm$  uporablja heterostrukturo za izboljšanje delovanja: vodenje valovanja v jedru valovoda in večji prepovedani energijski pas obloge. Heterostruktura je narejena iz polprevodnikov:  $!SiGe : C$   $!InGaAsP : InP$   $!GaN : SiC$   $!GaAlAs : GaAs$

?Svetlobo toplotnega vira (žarnice z nitko) peljemo skozi monokromator (frekvenčno pasovno-prepustno sito) s pasovno širino

$\Delta\lambda = 1nm$  pri osrednji valovni dolžini  $\lambda_0 = 1310nm$ . Kolikšna je vzdolžna koherenčna dolžina  $d = ?$  takšnega svetlobnega izvora?

?Svetlobo toplotnega vira (žarnice z nitko) peljemo skozi monokromator (frekvenčno pasovno-prepustno sito) s pasovno širino

$\Delta\lambda = 0.1nm$  pri osrednji valovni dolžini  $\lambda_0 = 1310nm$ . Kolikšna je vzdolžna koherenčna dolžina  $d = ?$  takšnega svetlobnega izvora?  $!172\mu m$   $!1.72mm$   $!17.2mm$   $!172mm$

?Signal laserja  $P_{TX} = +10dBm$  se deli med  $N = 64$  uporabnikov z drevesom vlakenskih sklopnikov. Zaradi netočne izdelave imajo sklopniki delilno razmerje 55/45 (namesto željenih 50/50). Kolikšno najvišjo moč  $P_{RX} = ?$  prejme določen uporabnik? ?Signal laserja

$P_{TX} = +10dBm$  se deli med  $N = 64$  uporabnikov z drevesom vlakenskih sklopnikov. Zaradi netočne izdelave imajo sklopniki delilno razmerje 55/45 (namesto željenih 50/50). Kolikšno najnižjo moč  $P_{RX} = ?$  prejme določen uporabnik?  $!-2.80dBm$   $!-5.58dBm$

$!-8.00dBm$   $!-10.8dBm$

?Optični reflektometer v časovnem prostoru (OTDR) ne more opazovati naslednjega pojava: ?Optični reflektometer v

frekvenčnem prostoru modulacije ne more opazovati naslednjega pojava: !odboj od konektorja ! ločiti dva odboja na  $d = 30cm$

! Rayleighjevo sipanje !odboj od konca vlakna

?Z ohlajevanjem čipa polprevodniškega laserja s porazdeljeno povratno vezavo DFB lahko frekvenco izhodnega signala v pasu

$f_0 = 194THz$  spremenimo: ?Z ogrevanjem čipa polprevodniškega laserja s porazdeljeno povratno vezavo DFB lahko frekvenco

izhodnega signala v pasu  $f_0 = 194THz$  spremenimo: !frekvenco DFB se ne spremeni ! zvišamo za  $+200GHz$  !odvisno od

temperaturnega koeficienta MWQ ! znižamo za  $-300GHz$

?Stikalo v optičnem omrežju z  $LiNbO_3$  MZM ima naslednjo pomanjkljivost: ?Stikalo v optičnem omrežju z Braggovim odbojem ima

naslednjo pomanjkljivost: !štirivalovno mešanje ! odvisnost od polarizacije ! počasno delovanje !visok šum

?HeNe laser proizvaja svetlobo z valovno dolžino  $\lambda_0 = 633nm$  v praznem prostoru. Kolikšna je energija  $W = ?$  posameznega fotona

opisane svetlobe? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ,  $h \approx 6.626 \cdot 10^{-34} Js$ ) ?Ar/Ar<sup>+</sup> laser proizvaja svetlobo z valovno dolžino  $\lambda_0 = 514nm$  v praznem prostoru. Kolikšna je energija  $W = ?$  posameznega fotona opisane svetlobe? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ,  $h \approx 6.626 \cdot 10^{-34} Js$ )  $!1.52 \cdot 10^{-19} J$

$!3.14 \cdot 10^{-19} J$   $!2.34 \cdot 10^{-19} J$   $!3.87 \cdot 10^{-19} J$

?Nizkošumni Er<sup>3+</sup> vlakenski ojačevalnik za  $\lambda_0 = 1550nm$  je najbolj smiselno črpati s svetlobo naslednje valovne dolžine  $\lambda_p = ?$

?Močnostni Er<sup>3+</sup> vlakenski ojačevalnik za  $\lambda_0 = 1550nm$  je najbolj smiselno črpati s svetlobo naslednje valovne dolžine  $\lambda_p = ?$   $!850nm$

$!980nm$   $!1064nm$   $!1480nm$

?Kolikšna je potrebna dolžina  $l = ?$  laserskega čipa z ojačanjem  $G/l = 15000dB/m$ , če znaša odbojnost zrcal  $|\Gamma| = 0.6$ ? ?Kolikšna je

potrebna dolžina  $l = ?$  laserskega čipa z ojačanjem  $G/l = 10000dB/m$ , če znaša odbojnost zrcal  $|\Gamma| = 0.6$ ?  $!198\mu m$   $!296\mu m$

$!444\mu m$   $!588\mu m$

?Kolikšno moč ojačanega spontanega sevanja  $P_{ASE} = ?$  dosega na svojem izhodu na obeh polarizacijah erbijev vlakenski ojačevalnik z

ojačanjem  $G = 36dB$  na osrednji frekvenci  $f = 194THz$  v pasovni širini  $\Delta f = 4THz$ ? ( $\mu \approx 1$ ,  $h \approx 6.626 \cdot 10^{-34} Js$ ) ?Kolikšno moč

ojačanega spontanega sevanja  $P_{ASE} = ?$  dosega na svojem izhodu na obeh polarizacijah erbijev vlakenski ojačevalnik z ojačanjem

$G = 26dB$  na osrednji frekvenci  $f = 194THz$  v pasovni širini  $\Delta f = 4THz$ ? ( $\mu \approx 1$ ,  $h \approx 6.626 \cdot 10^{-34} Js$ )  $!0.41mW$   $!1.03mW$

$!2.05mW$   $!4.1mW$

?Kolikšen padec napetosti  $U = ?$  pričakujemo na svetleči diodi, ki sveti na osrednji valovni dolžini  $\lambda_0 = 900nm$ ? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ,

$h \approx 6.626 \cdot 10^{-34} Js$ ,  $Q_e \approx -1.6 \cdot 10^{-19} As$ ) ?Kolikšen padec napetosti  $U = ?$  pričakujemo na svetleči diodi, ki sveti na osrednji valovni

dolžini  $\lambda_0 = 650nm$ ? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ,  $h \approx 6.626 \cdot 10^{-34} Js$ ,  $Q_e \approx -1.6 \cdot 10^{-19} As$ )  $!2.7V$   $!1.6V$   $!1.0V$   $!0.6V$

?Fotograf namesti na objektiv fotoaparata polarizator. Pri katerem prizoru bo polarizator popolnoma neučinkovit? ?Fotograf namesti

na objektiv fotoaparata polarizator. Pri katerem prizoru bo polarizator najbolj učinkovit? !odboj Sonca od poledice

! deževen dan brez Sonca !zrcaljenje v okenskih steklih ! modro nebo nad pokrajino

## \*5. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 10.01.2023

?Kolikšna je največja valovna dolžina svetlobe  $\lambda_0 = ?$ , ki jo še zazna fotoupor iz **CdSe z bandgap  $\Delta W = 1.74eV$** ?

( $h \approx 6.626 \cdot 10^{-34} Js$ ,  $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ,  $Q_e \approx -1.6 \cdot 10^{-19} As$ ) ?Kolikšna je največja valovna dolžina svetlobe  $\lambda_0 = ?$ , ki jo še zazna fotoupor iz **CdS z bandgap  $\Delta W = 2.42eV$** ? ( $h \approx 6.626 \cdot 10^{-34} Js$ ,  $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ,  $Q_e \approx -1.6 \cdot 10^{-19} As$ ) !1119nm ! **714nm** !637nm ! **513nm**

?Fotopomnoževalka vsebuje  **$N = 11$**  množilnih elektrod. Potencialna razlika med množilnimi elektrodami omogoča povprečni faktor množenja  $M = 4$ . Kolikšna povprečna elektrina  $Q = ?$  pride v anodo za vsak fotoelektron? ( $Q_e \approx -1.6 \cdot 10^{-19} As$ ) ?Fotopomnoževalka vsebuje  **$N = 12$**  množilnih elektrod. Potencialna razlika med množilnimi elektrodami omogoča povprečni faktor množenja  $M = 4$ . Kolikšna povprečna elektrina  $Q = ?$  pride v anodo za vsak fotoelektron? ( $Q_e \approx -1.6 \cdot 10^{-19} As$ ) !-0.17pAs ! **-0.67pAs** ! **-2.68pAs** !-10.7pAs

?Kolikšna je odzivnost  $I/P = ?$  fotodiode, ki pri valovni dolžini  **$\lambda_0 = 1550nm$**  dosega kvantni izkoristek  $\eta = 65\%$ ?

( $h \approx 6.626 \cdot 10^{-34} Js$ ,  $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ,  $Q_e \approx -1.6 \cdot 10^{-19} As$ ) ?Kolikšna je odzivnost  $I/P = ?$  fotodiode, ki pri valovni dolžini  **$\lambda_0 = 1310nm$**  dosega kvantni izkoristek  $\eta = 65\%$ ? ( $h \approx 6.626 \cdot 10^{-34} Js$ ,  $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ,  $Q_e \approx -1.6 \cdot 10^{-19} As$ ) ! **0.81A/W** !0.45A/W ! **0.69A/W** !0.34A/W

?PIN-FET modul vsebuje fotodiodo z odzivnostjo  $I/P = 0.8A/W$  in transimpedanco  $R_T = 2k\Omega$ . Kolkšno izhodno napetost  $U = ?$  (vrh-vrh) dobimo s svetlobnim krmilnim signalom vršne optične moči  **$P_{MAX} = -10dBm$**  in visokim ugasnim razmerjem? ?PIN-FET modul vsebuje fotodiodo z odzivnostjo  $I/P = 0.8A/W$  in transimpedanco  $R_T = 2k\Omega$ . Kolkšno izhodno napetost  $U = ?$  (vrh-vrh) dobimo s svetlobnim krmilnim signalom vršne optične moči  **$P_{MAX} = -16dBm$**  in visokim ugasnim razmerjem? !320mV ! **160mV** !80mV ! **40mV**

?Izhodna moč laserja upade zaradi pregrevanja na  $P' = 84\%P$  izvorne vrednosti. Za koliko dB upade **optični signal na vhodu** sprejemnega PIN-FET modula? ?Izhodna moč laserja upade zaradi pregrevanja na  $P' = 84\%P$  izvorne vrednosti. Za koliko dB upade **električni signal na izhodu** sprejemnega PIN-FET modula? !-0.38dB ! **-0.76dB** ! **-1.51dB** !-3.03dB

?Izvor psevdonaključnega zaporedja vsebuje dvojiški pomikalni register z uro  $f_0 = 10MHz$ . Povratna vezava z EXOR opravlja deljenje s primitivnim polinomom  **$1 + x^3 + x^{10}$** . Kolkšen je razmak med spektralnimi črtami zaporedja  $\Delta f = ?$  ?Izvor psevdonaključnega zaporedja vsebuje dvojiški pomikalni register z uro  $f_0 = 10MHz$ . Povratna vezava z EXOR opravlja deljenje s primitivnim polinomom  **$1 + x^{17} + x^{20}$** . Kolkšen je razmak med spektralnimi črtami zaporedja  $\Delta f = ?$  ! **9775Hz** !76.30Hz ! **9.536Hz** !1.192Hz

?Modulacija QPSK lahko doseže na **eni sami polarizaciji** osnovnega rodu  $HE_{11}$  spektralno učinkovitost  $C/B = ?$  ?Modulacija QPSK lahko doseže na **obeh pravokotnih polarizacijah** osnovnega rodu  $HE_{11}$  spektralno učinkovitost  $C/B = ?$  ! **2bit** ! **4bit** !8bit !16bit

?UTP kabel za Ethernet vsebuje štiri parice. Če sta v kablu prekinjeni žici parice, ki naj bi bila povezana na priključka **7 in 8** vtikača RJ45, s takšnim kablom ne bo delovalo naslednje: ?UTP kabel za Ethernet vsebuje štiri parice. Če sta v kablu prekinjeni žici parice, ki naj bi bila povezana na priključka **1 in 2** vtikača RJ45, s takšnim kablom ne bo delovalo naslednje: !100Mbps in 1Gbps ! **1Gbps in PoE** !samo 10Mbps ! **kakršnakoli zveza**

?PIN-FET modul z **električno pasovno širino  $B_E = 10GHz$**  ima optično pasovno širino  $B_O = ?$  v velikostnem razredu: ?PIN-FET modul z **optično pasovno širino  $B_O = 10GHz$**  ima električno pasovno širino  $B_E = ?$  v velikostnem razredu: ! **7GHz** !10GHz ! **14GHz** !4THz

? **SYNC je prvo** polje Ethernet okvirja in ima dolžino: ? **CRC je zadnje** polje Ethernet okvirja in ima dolžino: !16 bit ! **32 bit** !48 bit ! **64 bit**

?V zvezi po svetlobnem vlaknu se pogostnost napak **znižuje** z večanjem jakosti signala. Najverjetnejši vzrok napak je: ?V zvezi po svetlobnem vlaknu se pogostnost napak **povečuje** z večanjem jakosti signala. Najverjetnejši vzrok napak je: !PMD ! **zrnati in toplotni šum** !barvna razpršitev ! **nelinearno popačenje**

?Ethernet povezava **10Mbps half-duplex** zaustavlja pretok podatkov z naslednjim ukrepom: ?Ethernet povezava **100Mbps full-duplex** zaustavlja pretok podatkov z naslednjim ukrepom: !ne zaustavlja pretoka ! **stalna oddaja SYNC** !zavrže presežne okvirje ! **oddaja PAUSE okvirjev**

# \*1. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 16.10.2023

?Pri razmerju signal/šum  $P_S/P_N = 1$  doseže teoretska zmogljivost zveze  $C = 100\text{Mbit/s}$ . Kolikokrat  $N = P'_S/P_S = ?$  je treba povečati moč oddajnika za zmogljivost  $C' = 181\text{Mbit/s}$ , če ostanejo vsi ostali podatki zveze nespremenjeni? ?Pri razmerju signal/šum  $P_S/P_N = 1$  doseže teoretska zmogljivost zveze  $C = 100\text{Mbit/s}$ . Kolikokrat  $N = P'_S/P_S = ?$  je treba povečati moč oddajnika za zmogljivost  $C' = 287\text{Mbit/s}$ , če ostanejo vsi ostali podatki zveze nespremenjeni? !1.8krat ! 2.5krat !4.7krat ! 6.3krat

?Z izbiro svetlobne hitrosti  $c_0 = 299792458\text{m/s}$  v praznem prostoru ( $\epsilon_0$  in  $\mu_0$ ) je določena velikost naslednje merske enote v mednarodnem sistemu merskih enot MKSA (meter, kilogram, sekunda, amper): ?Z izbiro frekvence  $f = 9.192631770\text{GHz}$  hiperfinega prehoda atoma cezijevega izotopa  $^{133}\text{Cs}$  v osnovnem stanju je določena velikost naslednje merske enote v mednarodnem sistemu merskih enot MKSA (meter, kilogram, sekunda, amper): !m(meter) !kg(kilogram) !s(sekunda) !A(amper)

?Za komunikacijo na velike razdalje uporabimo kovinski valovod krožnega prereza, bakreno cev iz katere izčrpamo zrak za čim nižje slabljenje. V valovodu krožnega prereza ima pri dovolj visoki frekvenci najnižje slabljenje naslednji valovodni rod: ?Za komunikacijo na velike razdalje uporabimo kovinski valovod krožnega prereza, bakreno cev iz katere izčrpamo zrak za čim nižje slabljenje. V valovodu krožnega prereza ima najnižjo mejno frekvenco naslednji valovodni rod: !  $TE_{11}$  !  $TM_{01}$  !  $TM_{11}$  !  $TE_{01}$

?Koaksialni kabel vnaša slabljenje  $a/l = -25\text{dB/km}$  pri frekvenci  $f = 100\text{MHz}$ . Moč oddajnika znaša  $P_{TX} = +20\text{dBm}$ . Kolikšno moč dobimo na vhodu sprejemnika  $P_{RX} = ?$ , ki se nahaja na razdalji  $l = 4\text{km}$  od oddajnika? ?Koaksialni kabel vnaša slabljenje  $a/l = -20\text{dB/km}$  pri frekvenci  $f = 100\text{MHz}$ . Moč oddajnika znaša  $P_{TX} = +20\text{dBm}$ . Kolikšno moč dobimo na vhodu sprejemnika  $P_{RX} = ?$ , ki se nahaja na razdalji  $l = 4\text{km}$  od oddajnika? !  $-80\text{dBm}$  !  $-70\text{dBm}$  !  $-60\text{dBm}$  !  $-50\text{dBm}$

?Kakovostno svetlobno vlakno na osnovi kremenovega stekla  $\text{SiO}_2$  in jedrom z dodatkom  $\text{GeO}_2$  dosega v I oknu  $\lambda_0 \approx 850\text{nm}$  naslednje slabljenje na enoto dolžine  $a/l$ : ?Kakovostno svetlobno vlakno na osnovi kremenovega stekla  $\text{SiO}_2$  in jedrom z dodatkom  $\text{GeO}_2$  dosega v II oknu  $\lambda_0 \approx 1310\text{nm}$  naslednje slabljenje na enoto dolžine  $a/l$ : !  $-20\text{dB/km}$  !  $-3\text{dB/km}$  !  $-0.4\text{dB/km}$  !  $-0.2\text{dB/km}$

?Kolikšen je mejni kot popolnega odboja  $\Theta_m = ?$  pri izstopu svetlobe iz vode  $n = 1.33$  v prazen prostor  $n = 1$ ? ?Kolikšen je mejni kot popolnega odboja  $\Theta_m = ?$  pri izstopu svetlobe iz stekla  $n = 1.50$  v prazen prostor  $n = 1$ ? !  $61.1^\circ$  !  $48.8^\circ$  !  $41.8^\circ$  !  $35.5^\circ$

?Laser oddaja kolimiran žarek, ki ga v praznem prostoru opisuje valovni vektor  $\vec{k} = \vec{I}_z \cdot 1.55 \cdot 10^7\text{rd/m}$ . Kolikšna je frekvenca laserske svetlobe  $f = ?$  ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8\text{m/s}$ ,  $Z_0 \approx 377\Omega$ ) ?Laser oddaja kolimiran žarek, ki ga v praznem prostoru opisuje valovni vektor  $\vec{k} = \vec{I}_z \cdot 6.03 \cdot 10^6\text{rd/m}$ . Kolikšna je frekvenca laserske svetlobe  $f = ?$  ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8\text{m/s}$ ,  $Z_0 \approx 377\Omega$ ) !  $584\text{THz}$  !  $738\text{THz}$  !  $474\text{THz}$  !  $288\text{THz}$

?Kolikšna naj bo debelina antirefleksnega sloja  $d = ?$ , ki ga nanese na izstopno ploskev diamanta  $n_1 \approx 2.42$ , da vsa svetloba z valovno dolžino  $\lambda_0 = 633\text{nm}$  izstopi v okoliški zrak ( $n_2 \approx 1$ )? ?Kolikšna naj bo debelina antirefleksnega sloja  $d = ?$ , ki ga nanese na izstopno ploskev pleksi stekla  $n_1 \approx 1.6$ , da vsa svetloba z valovno dolžino  $\lambda_0 = 633\text{nm}$  izstopi v okoliški zrak ( $n_2 \approx 1$ )? !  $102\text{nm}$  !  $203\text{nm}$  !  $125\text{nm}$  !  $165\text{nm}$

?Pri tuneliranju valovanja je valovni vektor  $\vec{k}$  v vmesni redkejši snovi: ?Pri tuneliranju valovanja je valovni vektor  $\vec{k}$  v izstopni gostejši snovi: ! kompleksen ! čisto imaginaren ! čisto realen ! enak nič

?Svetloba izstopa iz pravilno odrezanega konca optičnega vlakna z numerično aperturo  $NA = 0.47$  v zrak. Kolikšen je premer  $2r = ?$  osvetljenega kroga na belem zaslonu na oddaljenosti  $d = 15\text{cm}$  od konca vlakna? ?Svetloba izstopa iz pravilno odrezanega konca optičnega vlakna z numerično aperturo  $NA = 0.22$  v zrak. Kolikšen je premer  $2r = ?$  osvetljenega kroga na belem zaslonu na oddaljenosti  $d = 15\text{cm}$  od konca vlakna? !  $14\text{cm}$  !  $11\text{cm}$  !  $6.6\text{cm}$  !  $8.8\text{cm}$

?Kolikšna je numerična apertura  $NA = ?$  šibkolomnega svetlobnega vlakna na osnovi kremenovega stekla (lomni količnik  $\text{SiO}_2$  je v velikostnem razredu  $n \approx 1.46$ ), če relativna razlika lomnih količnikov dosega  $\Delta = 0.01$ ? ?Kolikšna je numerična apertura  $NA = ?$  šibkolomnega svetlobnega vlakna na osnovi kremenovega stekla (lomni količnik  $\text{SiO}_2$  je v velikostnem razredu  $n \approx 1.46$ ), če relativna razlika lomnih količnikov dosega  $\Delta = 0.003$ ? !  $0.21$  !  $0.47$  !  $0.11$  !  $0.16$

?Kolikšen je lahko največji sklopni izkoristek neusmerjenega vira na vlakno z numerično aperturo  $NA = 0.47$ , če je vir manjši od jedra vlakna? ?Kolikšen je lahko največji sklopni izkoristek neusmerjenega vira na vlakno z numerično aperturo  $NA = 0.14$ , če je vir manjši od jedra vlakna? !  $0.2\%$  !  $0.5\%$  !  $1.7\%$  !  $5.5\%$



## \*2. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 6.11.2023

?Koliko znaša mnogorodovna razpršitev  $\Delta t = ?$  v vlaknu s stopničastim lomnim likom in premerom jedra  $2a = 45\mu\text{m}$  dolžine  $l = 15\text{km}$ ? Lomni količnik sredice znaša  $n_1 = 1.47$  in numerična apertura  $NA = 0.2$  pri valovni dolžini  $\lambda_0 = 1.3\mu\text{m}$ , PMD zanemarimo.  
?Koliko znaša mnogorodovna razpršitev  $\Delta t = ?$  v vlaknu s stopničastim lomnim likom in premerom jedra  $2a = 4.5\mu\text{m}$  dolžine  $l = 15\text{km}$ ? Lomni količnik sredice znaša  $n_1 = 1.47$  in numerična apertura  $NA = 0.2$  pri valovni dolžini  $\lambda_0 = 1.3\mu\text{m}$ , PMD zanemarimo.  
!  $\Delta t = 0.7\mu\text{s}$  !  $\Delta t = 1.5\mu\text{s}$  !  $\Delta t = 0\mu\text{s}$  !  $\Delta t = 0.3\mu\text{s}$

?Kolikšen naj bo premer  $2a = ?$  jedra steklenega vlakna z numerično aperturo  $NA = 0.2$ , ki mora biti enorodovno na valovnih dolžinah  $Ar/Ar^+$  laserja  $\lambda_A = 514\text{nm}$  in  $HeNe$  laserja  $\lambda_B = 633\text{nm}$  (v praznem prostoru)? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8\text{m/s}$ ) ?Kolikšen naj bo premer  $2a = ?$  jedra steklenega vlakna z numerično aperturo  $NA = 0.1$ , ki mora biti hkrati enorodovno na valovnih dolžinah  $Ar/Ar^+$  laserja  $\lambda_A = 514\text{nm}$  in  $HeNe$  laserja  $\lambda_B = 633\text{nm}$  (v praznem prostoru)? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8\text{m/s}$ ) !  $1.0\mu\text{m}$  !  $2.0\mu\text{m}$  !  $2.9\mu\text{m}$  !  $3.9\mu\text{m}$

?Kolikšna je normirana frekvenca  $V = ?$  v stekleni ploščici debeline  $d = 500\mu\text{m}$  in  $n_1 = 1.5$ , okolica prazen prostor pri frekvenci  $f = 474\text{THz}$ ? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8\text{m/s}$ ) ?Kolikšna je normirana frekvenca  $V = ?$  v stekleni ploščici debeline  $d = 300\mu\text{m}$  in  $n_1 = 1.5$ , okolica prazen prostor pri frekvenci  $f = 474\text{THz}$ ? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8\text{m/s}$ ) !1110 ! 5550 ! 3330 !11100

?Kako dolg surovec (preform)  $l_p = ?$  premera  $2r_p = 25\text{mm}$  potrebujemo za vleko  $l = 50\text{km}$  vlakna G.652 brez tehnike rod-in-tube?  
?Kako dolg surovec (preform)  $l_p = ?$  premera  $2r_p = 25\text{mm}$  potrebujemo za vleko  $l = 30\text{km}$  vlakna G.652 brez tehnike rod-in-tube?  
!  $1.250\text{m}$  !  $1.875\text{m}$  !  $0.750\text{m}$  !  $0.625\text{m}$

?Enorodovno vlakno dosega polarizacijsko razpršitev  $\Delta t = 1.4\text{ps}$  pri dolžini  $l = 40\text{km}$ . Pri kateri dolžini enakega vlakna  $l' = ?$  polarizacijska razpršitev doseže  $\Delta t = 1.0\text{ps}$ ? ?Enorodovno vlakno dosega polarizacijsko razpršitev  $\Delta t = 1.4\text{ps}$  pri dolžini  $l = 40\text{km}$ . Pri kateri dolžini enakega vlakna  $l' = ?$  polarizacijska razpršitev doseže  $\Delta t = 2.0\text{ps}$ ? !  $20\text{km}$  !  $10\text{km}$  !  $160\text{km}$  !  $80\text{km}$

?Domet zveze omejuje barvna razpršitev na  $l = 64\text{km}$  s kakovostnim oddajnikom, kjer modulacijska pasovna širina ustreza zmogljivosti zveze  $C = 10\text{Gbit/s}$ . Kolikšen domet  $l' = ?$  omogočata enak oddajnik in enako vlakno pri  $C' = 20\text{Gbit/s}$ ? ?Domet zveze omejuje barvna razpršitev na  $l = 64\text{km}$  s kakovostnim oddajnikom, kjer modulacijska pasovna širina ustreza zmogljivosti zveze  $C = 10\text{Gbit/s}$ . Kolikšen domet  $l' = ?$  omogočata enak oddajnik in enako vlakno pri  $C' = 40\text{Gbit/s}$ ? !  $32\text{km}$  !  $16\text{km}$  !  $8\text{km}$  !  $4\text{km}$

? Polarizacijsko rodovno razpršitev lahko znižamo z naslednjim tehnološkim postopkom pri izdelavi svetlobnih vlaken iz kremenovega stekla: ? Lomni količnik obloge vlakna lahko znižamo z naslednjim tehnološkim postopkom pri izdelavi svetlobnih vlaken iz kremenovega stekla: !eliptičnim jedrom vlakna ! sukanjem med vlečenjem vlakna ! tanjšim jedrom vlakna ! dopiranjem obloge s fluorom

?Ko se v triplastnem  $n_2, n_1, n_2$  enodimenzijem valovodu fazna konstanta približuje valovnemu številu v jedru  $\beta \rightarrow k_1$ , se vpadni kot  $\Theta$  na mejo dielektrikov približuje vrednosti: ?Ko se v triplastnem  $n_2, n_1, n_2$  enodimenzijem valovodu fazna konstanta približuje valovnemu številu v oblogi  $\beta \rightarrow k_2$ , se vpadni kot  $\Theta$  na mejo dielektrikov približuje vrednosti: !  $\Theta \rightarrow \pi/2$  !  $\Theta \rightarrow 0$   
!  $\Theta \rightarrow \arcsin(n_2/n_1)$  !  $\Theta \rightarrow \arctan(n_1/n_2)$

?Vlakno dolžine  $l = 4\text{km}$  je opremljeno s FC-PC konektorji na obeh koncih. Kolikšna je časovna razlika  $\Delta t = ?$  med odbojema na zaslonu osciloskopa OTDR, če znaša lomni količnik jedra vlakna  $n_1 = 1.47$  in smemo razširitve impulzov zanemariti? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8\text{m/s}$ )  
?Vlakno dolžine  $l = 2\text{km}$  je opremljeno s FC-PC konektorji na obeh koncih. Kolikšna je časovna razlika  $\Delta t = ?$  med odbojema na zaslonu osciloskopa OTDR, če znaša lomni količnik jedra vlakna  $n_1 = 1.47$  in smemo razširitve impulzov zanemariti? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8\text{m/s}$ )  
!  $4.9\mu\text{s}$  !  $9.8\mu\text{s}$  !  $19.6\mu\text{s}$  !  $39.2\mu\text{s}$

?Zveza dolžine  $l = 80\text{km}$  uporablja kabel z vlaknom G.652, ki ima koeficient barvne razpršitve  $D = 17\text{ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$ . Barvno razpršitev odstranimo s kolutom DCF vlakna, ki ima barvno razpršitev  $D' = -80\text{ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$ . Kolikšno dolžino DCF vlakna  $l' = ?$  potrebujemo?  
?Zveza dolžine  $l = 40\text{km}$  uporablja kabel z vlaknom G.652, ki ima koeficient barvne razpršitve  $D = 17\text{ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$ . Barvno razpršitev odstranimo s kolutom DCF vlakna, ki ima barvno razpršitev  $D' = -80\text{ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$ . Kolikšno dolžino DCF vlakna  $l' = ?$  potrebujemo?  
!  $34\text{km}$  !  $17\text{km}$  !  $8.5\text{km}$  !  $4.2\text{km}$

?Kolikšna dolžina  $l = ?$  vlakna G.652  $D = 17\text{ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$  razširi impulz laserja pasovne širine  $\Delta\lambda_0 = 3\text{nm}$  za  $\Delta t = 1\text{ns}$ ? ( $\lambda_0 = 1550\text{nm}$ ) ?Kolikšna dolžina  $l = ?$  vlakna NZDSF  $D = 5\text{ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$  razširi impulz laserja pasovne širine  $\Delta\lambda_0 = 3\text{nm}$  za  $\Delta t = 1\text{ns}$ ? ( $\lambda_0 = 1550\text{nm}$ ) !  $4.17\text{km}$  !  $19.6\text{km}$  !  $9.6\text{km}$  !  $66.7\text{km}$

?Kateri fizikalni pojav daje največje slabljenje v vlaknu na osnovi kremenovega stekla  $\text{SiO}_2$  pri valovi dolžini  $\lambda_0 = 1.7\mu\text{m}$ ? ?Kateri fizikalni pojav daje največje slabljenje v vlaknu na osnovi kremenovega stekla  $\text{SiO}_2$  pri valovi dolžini  $\lambda_0 = 0.7\mu\text{m}$ ? !UV rezonance  $\text{SiO}_2$  !rezonance nečistoč  $\text{OH}^-$  ! IR rezonance  $\text{SiO}_2$  ! Rayleighjevo sipanje

### \*3. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 27.11.2023

?Pri večanju razlike dolžin poti v interferometru  $\Delta l = l_1 - l_2$  interferenca **periodično izginja in se spet prikaže**. Frekvenčni spekter svetlobnega vira vsebuje: ?Pri večanju razlike dolžin poti v interferometru  $\Delta l = l_1 - l_2$  interferenca **izgine z večanjem  $\Delta l$** . Frekvenčni spekter svetlobnega vira vsebuje: **! dve ozki spektralni črti !** leno samo ozko spektralno črto **! zvezen spekter omejene širine !** ozko črto sredi zveznega spektra

?OTDR vidi pri valovni dolžini  $\lambda_0 = 1310nm$  odboj od Rayleighjevega sipanja relativne jakosti  $\Gamma_{dB} = -54dB$ . Kolikšno jakost sipanja  $\Gamma'_{dB} = ?$  vidi isti OTDR z enako širino impulzov pri valovni dolžini  **$\lambda'_0 = 1550nm$** , če je vlakno zadosti kratko, da smemo slabljenje zanemariti? ?OTDR vidi pri valovni dolžini  $\lambda_0 = 1310nm$  odboj od Rayleighjevega sipanja relativne jakosti  $\Gamma_{dB} = -54dB$ . Kolikšno jakost sipanja  $\Gamma'_{dB} = ?$  vidi isti OTDR z enako širino impulzov pri valovni dolžini  **$\lambda'_0 = 850nm$** , če je vlakno zadosti kratko, da smemo slabljenje zanemariti? **! -77dB ! -59dB ! -54dB ! -46dB**

?Interferenco dveh signalov enake frekvence  $f$  **nikakor ne** opazimo, če sta signala: ?Interferenco dveh signalov enake frekvence  $f$  **najboljše** opazimo, če sta signala: **! krožno polarizirana ! pravokotno polarizirana !** enako polarizirana **! linearno polarizirana**

?WDM sistem uporablja kanalski razmak  $\Delta f = 100GHz$ , kjer barvna razpršitev vlakna NZDSF zmanjšuje efektivno dolžino vlakna na  $l_{eff} = 0.4km$ . Kolikšno efektivno dolžino  $l'_{eff} = ?$  prinese posodobitev sistema na kanalski razmak  **$\Delta f' = 50GHz$  ?** ?WDM sistem uporablja kanalski razmak  $\Delta f = 100GHz$ , kjer barvna razpršitev vlakna NZDSF zmanjšuje efektivno dolžino vlakna na  $l_{eff} = 0.4km$ . Kolikšno efektivno dolžino  $l'_{eff} = ?$  prinese posodobitev sistema na kanalski razmak  **$\Delta f' = 33GHz$  ?** **! 0.8km ! 1.6km ! 2.5km ! 3.6km**

?Valovanje v vlakenskem sklopniku opisujeta fazni hitrosti sodega in lihega rodu. V primerjevi z  **$\beta_{sodi}$  je  $\beta_{lihi}$**  pri uporabnih valovni dolžinah sklopnika vedno: ?Valovanje v vlakenskem sklopniku opisujeta fazni hitrosti sodega in lihega rodu. V primerjevi z  **$\beta_{lihi}$  je  $\beta_{sodi}$**  pri uporabnih valovni dolžinah sklopnika vedno: **! manjši !** enak **! večji !** enak 0

?Modulacijska pasovna širina zveze po mnogorodovnem gradientnem vlaknu dolžine  **$l = 16km$**  znaša  $B = 75MHz$ . Pri kolikšni dolžini  $l' = ?$  pasovna širina naraste na  $B' = 600MHz$  z istim virom? ?Modulacijska pasovna širina zveze po mnogorodovnem gradientnem vlaknu dolžine  **$l = 12km$**  znaša  $B = 75MHz$ . Pri kolikšni dolžini  $l' = ?$  pasovna širina naraste na  $B' = 600MHz$  z istim virom? **! 3.0km ! 1.5km ! 4.0km ! 2.0km**

?Lastna fazna modulacija v enorodovnem svetlobnem vlaknu znaša  $\Delta\phi = 2.4rd$ . Kolikšna bo lastna fazna modulacija svetlobnega signala  $\Delta\phi' = ?$ , če **električno poljsko jakost  $\vec{E}$**  v jedru vlakna razpolovimo? ( $n_2 = 3.2 \cdot 10^{-20}m^2/W$ ) ?Lastna fazna modulacija v enorodovnem svetlobnem vlaknu znaša  $\Delta\phi = 2.4rd$ . Kolikšna bo lastna fazna modulacija svetlobnega signala  $\Delta\phi' = ?$ , če **gostoto moči  $\vec{S}$**  v jedru vlakna razpolovimo? ( $n_2 = 3.2 \cdot 10^{-20}m^2/W$ ) **! 0.3rd ! 0.6rd ! 1.2rd ! 4.8rd**

?Kolikšna je **valovno-dolžinska pasovna širina  $\Delta\lambda = ?$**  (v praznem prostoru) enorodovnega polprevodniškega DFB laserja, ki ima pri osrednji frekvenci  $f_0 = 194THz$  frekvenčno pasovno širino  $\Delta f = 100MHz$ ? ( $c_0 = 3 \cdot 10^8m/s$ ) ?Kolikšna je **vzdolžna koherentna dolžina  $d = ?$**  (v praznem prostoru) enorodovnega polprevodniškega DFB laserja, ki ima pri osrednji frekvenci  $f_0 = 194THz$  frekvenčno pasovno širino  $\Delta f = 100MHz$ ? ( $c_0 = 3 \cdot 10^8m/s$ ) **! 1.546 $\mu$ m ! 0.8 $\mu$ m ! 1.546mm ! 3m**

? **Kolikšno je dejansko slabljenje spoja** dveh vlaken, če z merilnikom OTDR v eno smer izmerimo slabljenje spoja  $a_1 = -0.5dB$  in v drugo smer  $a_2 = -0.1dB$ ? ? **Kolikšna je razlika Rayleighjevega sipanja** dveh vlaken, če z merilnikom OTDR v eno smer izmerimo slabljenje spoja  $a_1 = -0.5dB$  in v drugo smer  $a_2 = -0.1dB$ ? **! -0.3dB ! -0.25dB ! -0.2dB ! -0.15dB**

? **Brillouinovo** sipanje svetlobe je nelinearen pojav, ki je v običajnih številskih zvezah po enorodovnem vlaknu na osnovi kremenovega stekla ( $SiO_2$ ) nepomemben, ker: ? **Ramanovo** sipanje svetlobe je nelinearen pojav, ki je v običajnih številskih zvezah po enorodovnem vlaknu na osnovi kremenovega stekla ( $SiO_2$ ) nepomemben, ker: **! se svetloba siplje nazaj ! ima visoko pragovno moč ! spreminja frekvenco ! je izredno ozkopasovno**

?Kateri od navedenih sklopov svetlobe ima **najboljši** izkoristek pri  $\lambda_0 = 1310nm$ ? ?Kateri od navedenih sklopov svetlobe ima **najslabši** izkoristek pri  $\lambda_0 = 1310nm$ ? **! vlakno G.651  $\rightarrow$  fotodioda ! LASER  $\rightarrow$  vlakno G.652 ! LED  $\rightarrow$  vlakno G.652 ! LED  $\rightarrow$  vlakno G.651**

?Po vlaknu NZDSF peljemo dva močna signala na kanalih  **$f_1 = 193.1THz$  in  $f_2 = 193.2THz$** . Na kateri frekvenci motnje  $f_m = ?$  pričakujemo produkt štiri-valovnega mešanja, ki moti ostale signale valovno-dolžinskega multipleksa? ?Po vlaknu NZDSF peljemo dva močna signala na kanalih  **$f_1 = 193.0THz$  in  $f_2 = 193.1THz$** . Na kateri frekvenci motnje  $f_m = ?$  pričakujemo produkt štiri-valovnega mešanja, ki moti ostale signale valovno-dolžinskega multipleksa? **! 193.4THz ! 193.3THz ! 193.2THz ! 193.1THz**

## \*4. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 18.12.2023

?Polprevodniški laser daje pri toku  $I_1 = 20mA$  izhodno moč  $P_1 = 1mW$ . Izhodna moč laserja se poveča na  $P_2 = 3mW$  pri toku  $I_2 = 30mA$ . Kolikšen je pragovni tok laserja  $I_{TH} = ?$ , če Peltier-ova toplotna črpalka zadržuje temperaturo čipa laserja na  $T = 25^{\circ}C$ ?  
?Polprevodniški laser daje pri toku  $I_1 = 20mA$  izhodno moč  $P_1 = 1.5mW$ . Izhodna moč laserja se poveča na  $P_2 = 3mW$  pri toku  $I_2 = 30mA$ . Kolikšen je pragovni tok laserja  $I_{TH} = ?$ , če Peltier-ova toplotna črpalka zadržuje temperaturo čipa laserja na  $T = 25^{\circ}C$ ?  
!5mA ! 10mA ! 15mA !20mA

?Svetlobo toplotnega vira (žarnice z nitko) peljemo skozi monokromator (frekvenčno pasovno-prepustno sito) s pasovno širino  $\Delta\lambda = 3nm$  pri osrednji valovni dolžini  $\lambda = 1550nm$ . Kolikšna je vzdolžna koherenčna dolžina  $d = ?$  takšnega svetlobnega izvora?  
?Svetlobo toplotnega vira (žarnice z nitko) peljemo skozi monokromator (frekvenčno pasovno-prepustno sito) s pasovno širino  $\Delta\lambda = 4nm$  pri osrednji valovni dolžini  $\lambda = 1550nm$ . Kolikšna je vzdolžna koherenčna dolžina  $d = ?$  takšnega svetlobnega izvora?  
!7.3mm ! 0.8mm ! 0.6mm !5.5mm

?Signal laserja  $P_{TX} = +10dBm$  se deli med  $N = 64$  uporabnikov z drevesom vlakenskih sklopnikov. Zaradi netočne izdelave imajo sklopniki delilno razmerje 60/40 (namesto željenih 50/50). Kolikšno najvišjo moč  $P_{RX} = ?$  prejme določen uporabnik? ?Signal laserja  $P_{TX} = +10dBm$  se deli med  $N = 64$  uporabnikov z drevesom vlakenskih sklopnikov. Zaradi netočne izdelave imajo sklopniki delilno razmerje 60/40 (namesto željenih 50/50). Kolikšno najnižjo moč  $P_{RX} = ?$  prejme določen uporabnik? !-5.58dBm ! -3.31dBm  
!-10.8dBm ! -13.9dBm

?Fotopomnoževalka vsebuje  $N = 10$  množilnih elektrod. Potencialna razlika med množilnimi elektrodami omogoča povprečni faktor množenja  $M = 4$ . Kolikšna povprečna elektrina  $Q = ?$  pride v anodo za vsak fotoelektron? ( $Q_e \approx -1.6 \cdot 10^{-19}As$ ) ?Fotopomnoževalka vsebuje  $N = 13$  množilnih elektrod. Potencialna razlika med množilnimi elektrodami omogoča povprečni faktor množenja  $M = 4$ . Kolikšna povprečna elektrina  $Q = ?$  pride v anodo za vsak fotoelektron? ( $Q_e \approx -1.6 \cdot 10^{-19}As$ ) ! -0.17pAs !-0.67pAs !-2.68pAs  
! -10.7pAs

?Snop sevanja polprevodniškega FP laserja je širši v naslednji smeri: ?Snop sevanja polprevodniškega FP laserja je ožji v naslednji smeri: !je rotacijsko simetričen ! v ravnini  $\vec{H}$  !pod  $\Theta_B$  polprevodnik/zrak ! v ravnini  $\vec{E}$

?Svetlobni modulator je izdelan kot Mach-Zehnderjev interferometer na podlagi  $LiNbO_3$  in dosega občutljivost  $U_{\pi TE} = 6V$  pri  $\lambda_0 = 1.55\mu m$ . Pri kateri krmilni napetosti  $U = ?$  upade izhodna svetlobna moč (TE) na  $25\%P_{MAX}$ ? ?Svetlobni modulator je izdelan kot Mach-Zehnderjev interferometer na podlagi  $LiNbO_3$  in dosega občutljivost  $U_{\pi TE} = 6V$  pri  $\lambda_0 = 1.55\mu m$ . Pri kateri krmilni napetosti  $U = ?$  upade izhodna svetlobna moč (TE) na  $75\%P_{MAX}$ ? !1V ! 2V !3V ! 4V

?Polprevodniški elektro-absorpcijski modulator (EAM) za valovno dolžino  $\lambda_0 = 1550nm$  s heterostrukturo MQW ima naslednjo dobro lastnost: ?Polprevodniški elektro-absorpcijski modulator (EAM) za valovno dolžino  $\lambda_0 = 1550nm$  s heterostrukturo MQW ima naslednjo slabo lastnost: !zelo visoko ugasno razmerje ! možna integracija !preprost sklop na vlakno ! odvisnost od  $\lambda$

? Nizkošumni  $Er^{3+}$  vlakenski ojačevalnik za  $\lambda_0 = 1550nm$  je najbolj smiselno črpati s svetlobo naslednje valovne dolžine  $\lambda_p = ?$   
? Močnostni  $Er^{3+}$  vlakenski ojačevalnik za  $\lambda_0 = 1550nm$  je najbolj smiselno črpati s svetlobo naslednje valovne dolžine  $\lambda_p = ?$  !850nm  
! 980nm !1064nm ! 1480nm

?Kolikšna je potrebna dolžina  $l = ?$  laserskega čipa z ojačanjem  $G/l = 15000dB/m$ , če znaša odbojnost zrcal  $|\Gamma| = 0.6$ ? ?Kolikšna je potrebna dolžina  $l = ?$  laserskega čipa z ojačanjem  $G/l = 10000dB/m$ , če znaša odbojnost zrcal  $|\Gamma| = 0.6$ ? !198 $\mu m$  ! 296 $\mu m$   
! 444 $\mu m$  !588 $\mu m$

?Kolikšno moč ojačanega spontanega sevanja  $P_{ASE} = ?$  dosega na svojem izhodu na obeh polarizacijah erbijev vlakenski ojačevalnik z ojačanjem  $G = 36dB$  na osrednji frekvenci  $f = 194THz$  v pasovni širini  $\Delta f = 4THz$ ? ( $\mu \approx 1$ ,  $h \approx 6.626 \cdot 10^{-34}Js$ ) ?Kolikšno moč ojačanega spontanega sevanja  $P_{ASE} = ?$  dosega na svojem izhodu na obeh polarizacijah erbijev vlakenski ojačevalnik z ojačanjem  $G = 26dB$  na osrednji frekvenci  $f = 194THz$  v pasovni širini  $\Delta f = 4THz$ ? ( $\mu \approx 1$ ,  $h \approx 6.626 \cdot 10^{-34}Js$ ) ! 0.41mW !1.03mW  
!2.05mW ! 4.1mW

?Kolikšen padec napetosti  $U = ?$  pričakujemo na svetleči diodi, ki sveti na osrednji valovni dolžini  $\lambda_0 = 900nm$ ? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8m/s$ ,  $h \approx 6.626 \cdot 10^{-34}Js$ ,  $Q_e \approx -1.6 \cdot 10^{-19}As$ ) ?Kolikšen padec napetosti  $U = ?$  pričakujemo na svetleči diodi, ki sveti na osrednji valovni dolžini  $\lambda_0 = 650nm$ ? ( $c_0 \approx 3 \cdot 10^8m/s$ ,  $h \approx 6.626 \cdot 10^{-34}Js$ ,  $Q_e \approx -1.6 \cdot 10^{-19}As$ ) !2.7V ! 1.6V ! 1.0V !0.6V

?Iz katerega polprevodnika je najbolj smiselno izdelati detektor za  $\lambda_0 = 850nm$ ? ?Iz katerega polprevodnika je najbolj smiselno izdelati detektor za  $\lambda_0 = 1310nm$ ? !HgCdTe ! Si !GaAs !InGaAs



## \*5. tiha vaja iz OPTIČNIH KOMUNIKACIJ - 15.01.2024

?Kolikšna je največja valovna dolžina svetlobe  $\lambda_0 = ?$ , ki jo še zazna fotupor iz  $Se$  z bandgap  $\Delta W = 1.95eV$ ? ( $h \approx 6.626 \cdot 10^{-34} Js$ ,  $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ,  $Q_e \approx -1.6 \cdot 10^{-19} As$ ) ?Kolikšna je največja valovna dolžina svetlobe  $\lambda_0 = ?$ , ki jo še zazna fotupor iz  $CdTe$  z bandgap  $\Delta W = 1.44eV$ ? ( $h \approx 6.626 \cdot 10^{-34} Js$ ,  $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ,  $Q_e \approx -1.6 \cdot 10^{-19} As$ ) !513nm !637nm !714nm !863nm

?Ethernet okvir vsebuje na začetku MAC naslov prejemnika in nato še MAC naslov pošiljatelja.

Ethernet MAC naslov poljubne naprave, kar običajno določa in vpiše proizvajalec, ima naslednjo dolžino: ?Ethernet okvir vsebuje na začetku MAC naslov prejemnika in nato še MAC naslov pošiljatelja.

Naslovoma sledi polje, ki določa vrsto tovora (DIX) ali pa dolžino tovora (IEEE), dolžine: !16bit !32bit !48bit !128bit

?Kolikšna je odzivnost  $I/P = ?$  fotodiode, ki pri valovni dolžini  $\lambda_0 = 1550nm$  dosega kvantni izkoristek  $\eta = 80\%$ ?

( $h \approx 6.626 \cdot 10^{-34} Js$ ,  $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ,  $Q_e \approx -1.6 \cdot 10^{-19} As$ ) ?Kolikšna je odzivnost  $I/P = ?$  fotodiode, ki pri valovni dolžini  $\lambda_0 = 1310nm$  dosega kvantni izkoristek  $\eta = 80\%$ ? ( $h \approx 6.626 \cdot 10^{-34} Js$ ,  $c_0 \approx 3 \cdot 10^8 m/s$ ,  $Q_e \approx -1.6 \cdot 10^{-19} As$ ) !1.00A/W

!0.45A/W !0.84A/W !0.69A/W

?PIN-FET modul vsebuje fotodiodo z odzivnostjo  $I/P = 0.8A/W$  in transimpedanco  $R_T = 2k\Omega$ . Kolikšno izhodno napetost  $U = ?$

(vrh-vrh) dobimo s svetlobnim krmilnim signalom vršne optične moči  $P_{MAX} = -7dBm$  in visokim ugasnim razmerjem? ?PIN-FET modul vsebuje fotodiodo z odzivnostjo  $I/P = 0.8A/W$  in transimpedanco  $R_T = 2k\Omega$ . Kolikšno izhodno napetost  $U = ?$  (vrh-vrh)

dobimo s svetlobnim krmilnim signalom vršne optične moči  $P_{MAX} = -13dBm$  in visokim ugasnim razmerjem? !320mV !160mV !80mV !40mV

?Izhodna moč laserja upade zaradi pregrevanja na  $P' = 50\%P$  izvorne vrednosti. Za koliko dB upade optični signal na vhodu

sprejemnega PIN-FET modula? ?Izhodna moč laserja upade zaradi pregrevanja na  $P' = 50\%P$  izvorne vrednosti. Za koliko dB upade električni signal na izhodu sprejemnega PIN-FET modula? !-1.5dB !-3dB !-6dB !-12dB

?Izvor psevdonaključnega zaporedja vsebuje dvojiški pomikalni register z uro  $f_0 = 10MHz$ . Povratna vezava z EXOR opravlja deljenje s

primitivnim polinomom  $1 + x^5 + x^9$ . Kolikšen je razmak med spektralnimi črtami zaporedja  $\Delta f = ?$  ?Izvor psevdonaključnega zaporedja vsebuje dvojiški pomikalni register z uro  $f_0 = 10MHz$ . Povratna vezava z EXOR opravlja deljenje s primitivnim polinomom

$1 + x^6 + x^7$ . Kolikšen je razmak med spektralnimi črtami zaporedja  $\Delta f = ?$  !9775Hz !19570Hz !9.536Hz !78740Hz

?Modulacija QAM64 lahko doseže na eni sami polarizaciji osnovnega rodu  $HE_{11}$  spektralno učinkovitost  $C/B = ?$  ?Modulacija QAM64

lahko doseže na obeh pravokotnih polarizacijah osnovnega rodu  $HE_{11}$  spektralno učinkovitost  $C/B = ?$  !6bit !12bit !8bit !16bit

?Barvna razpršitev enorodovnega vlakna omejuje pasovno širino pri prenosu analognih električnih signalov s pomočjo amplitudne

modulacije, kjer se prva ničla prevajalne funkcije pojavi že pri  $f = 10GHz$ . Kam se premakne  $f' = ?$  prva ničla, če dolžino vlakna podvojimo? ?Barvna razpršitev enorodovnega vlakna omejuje pasovno širino pri prenosu analognih električnih signalov s pomočjo

amplitudne modulacije, kjer se prva ničla prevajalne funkcije pojavi že pri  $f = 10GHz$ . Kam se premakne  $f' = ?$  prva ničla, če dolžino vlakna razpolovimo? !5GHz !7GHz !14GHz !20GHz

?V koherentnem sprejemniku uporabimo balančno vezavo dveh fotodiod namesto ene same fotodiode za: ?V koherentnem sprejemniku

uporabimo kvadraturno vezavo dveh balančnih RX namesto enega samega balančnega RX za: !znižanje cene sprejemnika

!popravek odstopanja  $\lambda$  !znižanje vpliva šuma LO !neodvisnost od polarizacije

?Ethernet zveza po UTP kablu se po izvedbi postopkov auto-MDIX in auto-negotiation nastavi na hitrost  $C = 10Mbps$  full-duplex.

Ko ni aktivnega prometa podatkovnih okvirjev, je na kablu prisoten naslednji signal: ?Ethernet zveza po UTP kablu se po izvedbi postopkov auto-MDIX in auto-negotiation nastavi na hitrost  $C = 100Mbps$  full-duplex. Ko ni aktivnega prometa podatkovnih

okvirjev, je na kablu prisoten naslednji signal: !brez signala !znaki idle !okvirji pause !link pulzi

?Kateri pojav najbolj otežuje meritev visokih pogostnosti napak  $BER > 10^{-2}$ ? ?Kateri pojav najbolj otežuje meritev

nizkih pogostnosti napak  $BER < 10^{-15}$ ? !ni primernih preizkusnih zaporedij !težavna sinhronizacija sprejemnika !presluh med kanali !dolg čas meritve

?Ethernet povezava 10Mbps half-duplex zaustavlja pretok podatkov z naslednjim ukrepom: ?Ethernet povezava 100Mbps full-duplex

zaustavlja pretok podatkov z naslednjim ukrepom: !ne zaustavlja pretoka !stalna oddaja SYNC !zavrže presežne okvirje

!oddaja PAUSE okvirjev