

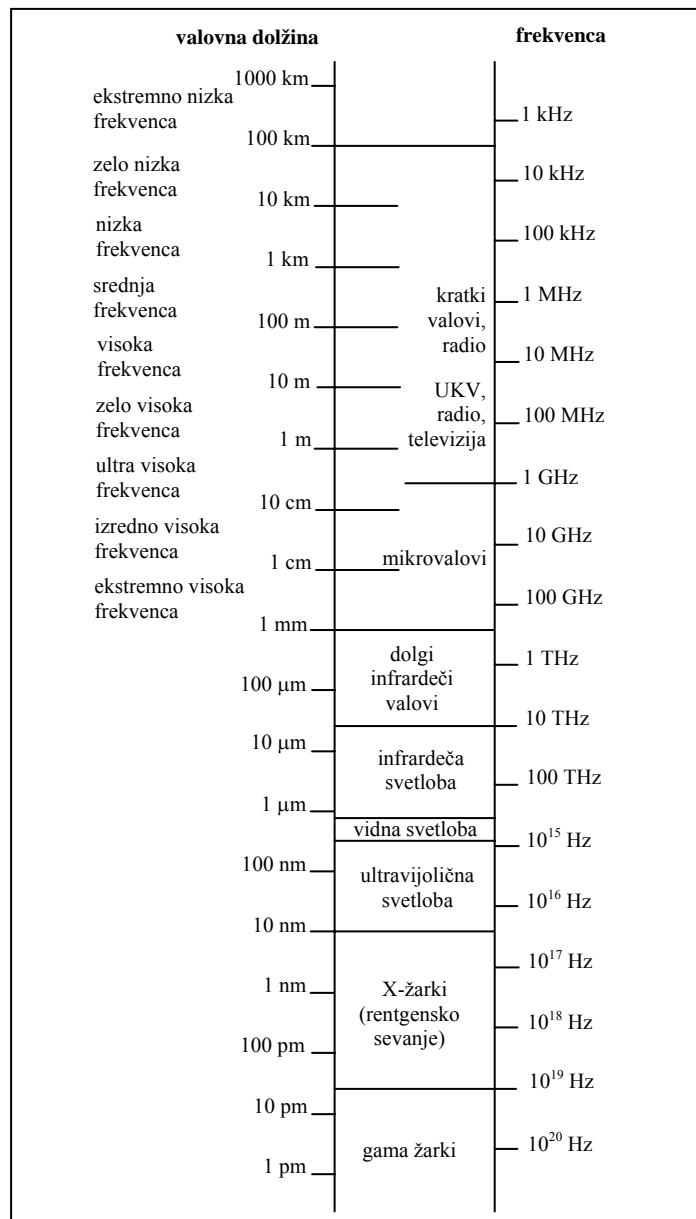
## 2. Optični spekter

Optični spekter je del elektromagnetnega spektra, ki predstavlja celotno območje elektromagnetnega valovanja. Celotni elektromagnetni spekter, ki ga sestavljajo valovne dolžine oziroma frekvence elektromagnetnih valov, prikazuje slika 1. Razteza se od radijskih valov, mikrovalov in infrardečih valov do vidne svetlobe, ultravijoličnih valov in rentgenskih žarkov ter vse do sevanja žarkov gama. Razdelitev na omenjena področja je umetna in temelji na spoznavanju elektromagnetnega valovanja skozi zgodovino znanosti in tehnike.

Elektromagnetno valovanje z daljšo valovno dolžino ima nižjo frekvenco in obratno. Skladno s Planckovo zvezo

$$W = f \cdot h \quad (1)$$

nosijo največ energije kvanti valovanja z najvišjo frekvenco (in najkrajšo valovno dolžino); med naštetimi so to žarki gama.



Slika 1: Elektromagnetni spekter.

Elektromagnetno valovanje predstavlja oscilirajoče električno in magnetno polje, ki v vakuumu potujeta s hitrostjo  $3 \cdot 10^8$  m/s, kar je svetlobna hitrost  $c_0$ . Označba za svetlobno hitrost je črka  $c$ , po latinski besedi za hitrost – celeritas. Svetlobna hitrost je tudi povezava med frekvenco  $f$  in valovno dolžino  $\lambda$  elektromagnetnega valovanja.

$$\lambda_0 = \frac{c_0}{f} \quad (2)$$

Frekvenca  $f$  elektromagnetnega valovanja je enoveljavno določena in je enaka ne glede na to, kje se valovanje širi.  $\lambda_0$  je valovna dolžina v praznem prostoru. Če se valovanje širi po snovi z lomnim količnikom  $n$ , je valovna dolžina za ta lomni količnik skalirana

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n} \quad (3)$$

Čeprav se je zgodovinsko uveljavilo, da mnogokrat podajamo valovno dolžino valovanja, kar še posebno velja za svetlobo, je tehnično pravilnejše podajanje frekvenc, ker ne vnašajo dvomnosti.

**Primer:**

Svetlobno valovanje z valovno dolžino v vakuumu  $\lambda_0 = 1 \mu\text{m}$  potuje po praznem prostoru s hitrostjo  $c_0 = 3 \cdot 10^8$  m/s. Koliko znaša hitrost svetlobe v steklu z lomnim količnikom 1,5 in koliko je v tem steklu valovna dolžina?

$$c = \frac{c_0}{n} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{1,5} = \underline{\underline{2 \cdot 10^8 \text{ m/s}}}$$

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n} = \frac{1 \cdot 10^{-6} \text{ m}}{1,5} = \underline{\underline{0,67 \mu\text{m}}}$$

Če elektromagnetno valovanje v vidnem delu spektra osvetljuje neki predmet, naše oko zazna mešanico valovanj z različnimi valovnimi dolžinami, kar vidni center v naših možganih interpretira kot različne barvne odtenke različnih svetlosti, ter nazadnje privede do našega »videnja« tega predmeta.

Človeško oko zazna le vidni del elektromagnetnega valovanja z valovnimi dolžinami od 400 nm do 700 nm. Informacij, ki jih nosi elektromagnetno valovanje izven vidnega dela spektra, človeška čutila ne zaznavajo neposredno. Ker pa v naravi obstajajo elektromagnetna valovanja v vseh območjih spektra, si lahko pri obdelavi teh pomagamo s tehnološkimi pripomočki. Tako lahko optično vlakno vodi svetlobo, ki prenaša podatke, četudi je ne vidimo. Te podatke lahko pretvorimo v zvok ali sliko. Kodiranje podatkov uporabljamo tudi pri radiu. Radijski valovi prenašajo podatke tako, da spreminjajo (modulirajo) bodisi frekvenco bodisi amplitudo nosilnega elektromagnetnega valovanja.

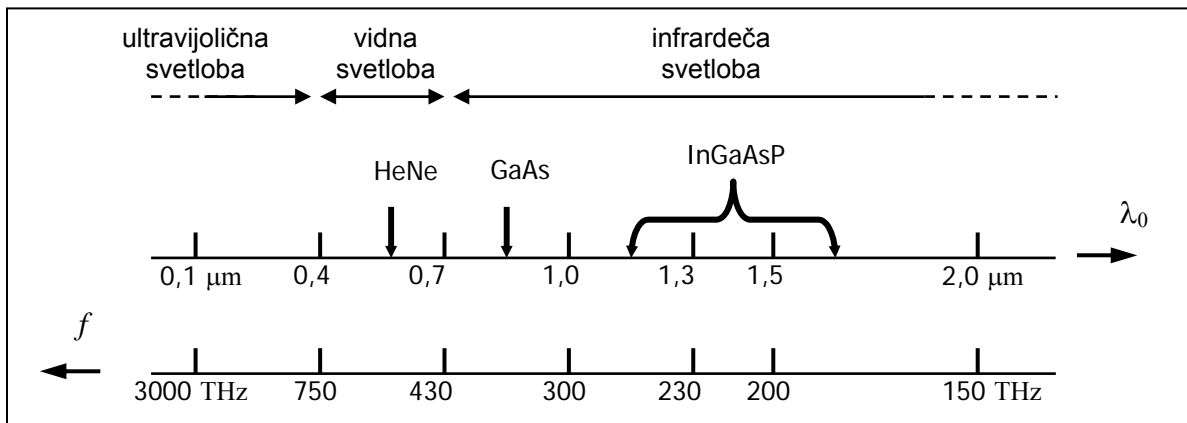
Svetloba je elektromagnetno valovanje v mikrometrskem ( $\mu\text{m}$ ) valovnem področju. Vidni del svetlobnega spektra obsega oktavno valovno področje v razmerju valovnih dolžin 1:2 med vijolično ( $\lambda = 0,38 \mu\text{m}$ ) in rdečo ( $\lambda = 0,76 \mu\text{m}$ ) svetlobo, kot prikazuje slika 2. Pripadajoče frekvenčno področje obsega pas med 400 THz in 800 THz.

V svetlobni spekter štejemo poleg vidne še nevidno infrardečo ( $\lambda > 0,76 \mu\text{m}$ ) in ultravijolično ( $\lambda < 0,38 \mu\text{m}$ ) svetlobo. Infrardeči spekter se razteza vse do milimetrskih ali submilimetrskih valov radijskega spektra, ultravijolični spekter pa vse do žarkov X. V tako širokem frekvenčnem spektru se energija fotonov razlikuje za mnogo velikostnih razredov, zato so fizikalni učinki odvisni od vrste svetlobe in različni od področja do področja.

Danes se optične komunikacije izvajajo v bližnjem infrardečem področju. Delijo se na tri področja (spektralna okna), ki so se uveljavila iz praktičnih razlogov ter zaradi nekaterih optimalnih lastnosti kremenovega stekla. Uveljavili so se pasovi okoli valovnih dolžin 850 nm, 1300 nm in 1550 nm.

Področje 850 nm (prvo spektralno okno) se je uveljavilo v zgodnjem razvoju optičnih komunikacij zaradi obstoječe tehnologije izdelave polprevodniških GaAs laserjev za to valovno dolžino. Področje

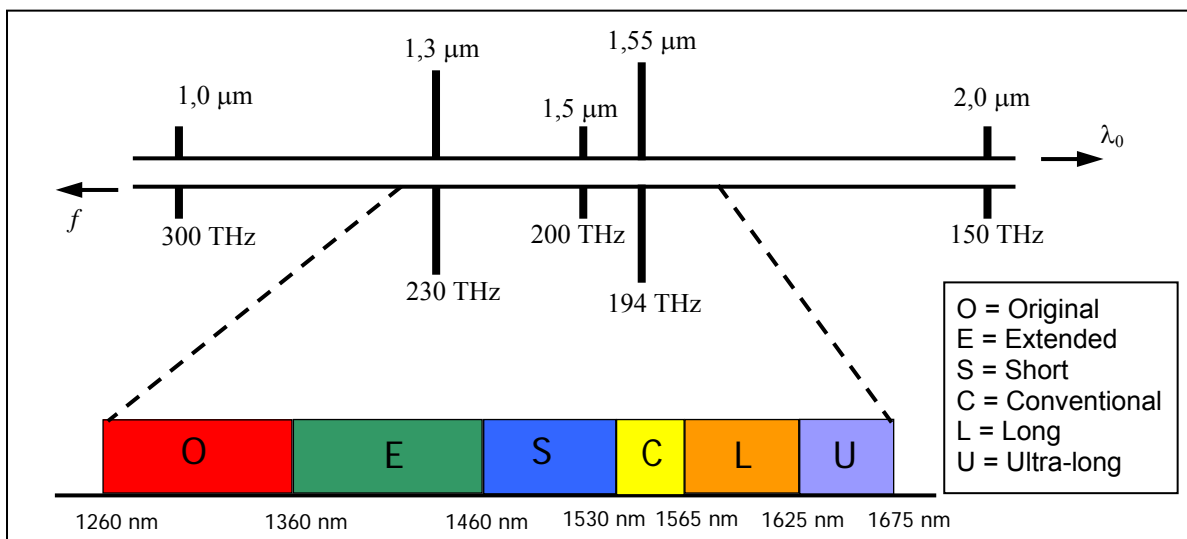
1300 nm (drugo spektralno okno) se je uveljavilo zaradi ničelne snovne disperzije vlakna, področje 1550 nm (tretje spektralno okno) pa zaradi najmanjšega slabljenja optičnega vlakna na tem področju.



Slika 2: Spekter svetlobe.

Tako kot radijski je tudi optični spekter z vidika telekomunikacij dragocena naravna dobrina. Z naraščanjem potrebe po množičnih komunikacijskih medijih in z razvojem novih tehnologij in materialov bo v prihodnje potrebno in mogoče izkoriščati širši spekter.

Vedno pogosteje uporabljeno področje od 1260 nm do 1675 nm je ITU-T razdelila na šest področij, ki jih prikazuje slika 3. Kot že omenjeno, prikazane valovne dolžine veljajo zgolj za prazen prostor in v približku tudi za zrak, v steklu pa ne veljajo več, zato je bolje uporabljati enoveljavno določeno frekvenčno skalo.



Slika 3: Spekter optičnih komunikacij.

Ena od pomembnih značilnosti spektra optičnih komunikacij je velikanska frekvenčna širina  $\Delta f$ , ki je vsebovana v še tako ozkem pasu  $\Delta \lambda$ . Z diferencialom enačbe (1), dobimo

$$d\lambda = -\frac{c_0}{f^2} \cdot df \quad (4)$$

Z upoštevanjem fizikalnega dejstva pozitivnih količin, dodamo absolutne vrednosti za pas valovne dolžine in frekvence.

$$|\Delta \lambda| = \frac{c_0}{f^2} \cdot |\Delta f| = \frac{\lambda_0^2}{c_0} \cdot |\Delta f| \quad (5)$$

**Primer:**

Koliko je frekvenčni pas  $\Delta f$  optičnega vira s spektralno širino  $\Delta\lambda=1$  nm pri valovni dolžini  $\lambda_0=1$   $\mu\text{m}$ ?

$$|\Delta f| = \frac{c_0}{\lambda_0^2} \cdot |\Delta\lambda| = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{(10^{-6} \text{ m})^2} \cdot |10^{-9} \text{ m}| = \underline{\underline{300 \text{ GHz}}}$$

Z vse večjim izkoriščanjem optičnega spektra se pasovi spektra v L in C področju vse pogosteje izražajo v frekvenci. Pretvorbo posameznih valvnodolžinskih pasov v frekvenčne pasove pri centralni valovni dolžini 1550 nm prikazuje tabela na sliki 4. Že neznatni del optičnega spektra vsebuje frekvenčni pas, ki zajema ekvivalent precejšnjega dela radiofrekvenčnega spektra.

$\Delta\lambda$	100 nm	10 nm	1 nm	0,1 nm	0,8 nm	0,08 nm	8 pm	0,8 pm	0,08 pm
$\Delta f$	12,5 THz	1,25 THz	125 GHz	12,5 GHz	100 GHz	10 GHz	1 GHz	100 MHz	10 MHz

Slika 4: Zveza med valvnodolžinskimi in frekvenčnimi pasovi pri centralni valovni dolžini 1550 nm.