

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
FIZIČKI ODSJEK

SMJER: Profesor fizike i informatike

Goran Matonićkin

Diplomski rad

ELEKTROMAGNETSKI VALOVI U
NASTAVI FIZIKE

Voditelj diplomskog rada: Doc. Dr. sci. Darko Androić

Ocjena diplomskog rada: _____

Povjerenstvo: 1. _Doc. Dr. sci. Darko Androić

2. _Doc. Dr. sci. Hrvoje Buljan

3. _Doc. Dr. sci. Maja Planinić

Datum polaganja: _14.06.2007. _____

Zagreb, 2007.

SADRŽAJ:

SADRŽAJ.....	2
1. UVOD.....	3
2. DOPRINOSI NIKOLE TESLE U ISTRAŽIVANJU ELEKTROMAGNETSKOG VALA.....	4
2.1. O TESLI.....	4
2.2. DEFINICIJE NEKIH POJMOVA VAŽNIH ZA TESLINA ISTRAŽIVANJA.....	7
3. ELEKTROMAGNETSKI VAL I PRIMJENA.....	9
3.1. POVIJEST I MAXWELLOVA TEORIJA ELEKTROMAGNETSKOG VALA.....	9
3.2. SPEKTAR ELEKTROMAGNETSKOG VALA.....	11
3.2.1. RADIOVALOVI.....	12
3.2.2. MIKROVALOVI.....	13
3.2.3. INFRACRVENI DIO SPEKTRA.....	15
3.2.4. VIDLJIVA SVJETLOST.....	16
3.2.5. ULTRALJUBIČASTI DIO SPEKTRA.....	18
3.2.6. RENDGENSKO ZRAČENJE (X-ZRAKE).....	18
3.2.7. GAMA – ZRAČENJE I KOZMIČKE ZRAKE.....	20
3.3. ENERGIJA I INTENZITET ELEKTROMAGNETSKOG VALA.....	21
4. SVJETLOVODI.....	22
4.1. POVIJESNI RAZVOJ.....	22
4.2. FIZIKA SVJETLOVODA.....	24
4.3. PODJELA SVJETLOVODA.....	28
4.3.1. PODJELA PREMA MODU RADA I INDEKSU LOMA.....	28
4.3.2. PODJELA PREMA JEZGRI, PLAŠTU I ZAŠTITNOM PLAŠTU.....	32
4.4. KARAKTERISTIKE SVJETLOVODA.....	34
4.4.1. INTERFERENCIJA.....	34
4.4.2. PRIGUŠENJE.....	34
4.4.3. DISPERZIJA.....	35
4.4.4. ŠIRINA PROPUSNOG POJASA.....	36
4.4.5. NELINEARNI OPTIČKI EFEKTI.....	36
5. USPOREDBA UDŽBENIKA ZA OSNOVNU I SREDNJU ŠKOLU.....	38
5.1. OSNOVNA ŠKOLA.....	38
5.2. SREDNJA ŠKOLA.....	42
6. METODIČKI DIO.....	48
7. ZAKLJUČAK.....	53
8. LITERATURA.....	54

1. UVOD

Još od davnina ljudi se pitaju, što je to svjetlost, kako ona putuje do nas sa Sunca, te kojom brzinom? To su bila pitanja na koja su znanstvenici pokušavali odgovoriti tisućama godina, no nisu uspijevali do sredine devetnaestog stoljeća.

U početku su ljudi smatrali da je svjetlost dar bogova i da ukoliko ih oni štiju i prinose im žrtve bogovi, a samim time i bog Sunca će biti milostiv i podariti im plodnu godinu sa mnogo svjetlosti. Tako u povijesti bilježimo kod svih starih naroda bogove sunca, pa imamo kod Egipćana jedno od vrhunskih božanstava, a ujedno i bog Sunca je Amon Ra, stari Grci boga Sunca nazivaju Helij, čak i u južnoameričkim narodima imamo božanstvo koje je zaduženo za Sunce, to je njihov vrhovni bog Huitzilopochtli, "kolibrić slijeva".

Stari Grci su prvi napravili iskorak u razmišljanju pa njihovi filozofi tvrde da ne moramo sve pojave u prirodi pripisivati bogovima i tako počinje era prirodne filozofije iz koje se razvijaju prirodne znanosti, a jedna od njih je i fizika, koja nam daje odgovore na pitanja s početka. Taj odgovor glasi, svjetlost je elektromagnetski val koji obuhvaća valne duljine od $380nm$ do $780nm$, a kroz prostor i sredstva se giba brzinom svjetlosti, koja je konačna veličina i jedna od temeljnih konstanti prirode, a glavna tema ovog rada je elektromagnetski val.

Stoga ću pokušati, u ovom radu objasniti, kako nastaje elektromagnetski val, gdje se primjenjuju razni oblici elektromagnetskih valova, te primjenu u računalnoj tehnologiji ili pobliže u mrežnoj tehnologiji. U mrežnoj tehnologiji se svjetlost koristi u svjetlovodima za prijenos informacija.

Na početku ću se osvrnuti na Teslin doprinos istraživanju elektromagnetskog zračenja, jer prošla godina je bila posvećena tom velikanu hrvatske i međunarodne znanosti.

Dakle, krenimo na putovanje putovima velikih fizičara kao što su: Galile, Römer, Maxwell, Hertz, Michelson i drugi koji su udarili temelje u proučavanju i razumijevanju elektromagnetskih valova, te samim time i u njihovoj primjeni.

2. DOPRINOSI NIKOLE TESLE (1856g. – 1943g.) U ISTRAŽIVANJU ELEKTROMAGNETSKOG VALA

2.1 O TESLI

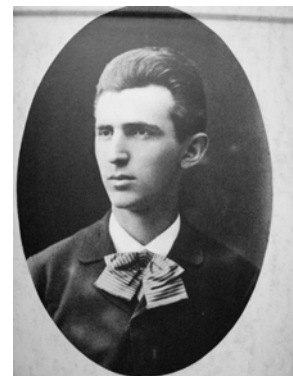
Napredak i razvitak čovjeka bitno ovise o invenciji. Najvažniji produkt stvaralačkog uma je izum. Njegov je krajnji cilj potpuno ovladavanje uma prirodom i iskorištavanje njezinih sila za potrebe čovječanstva. To je težak zadatak izumitelja, koji se često pogrešno shvaća i nedovoljno nagrađuje. On, međutim, nalazi golemu kompenzaciju u zadovoljstvu koje pruža njegov rad i u spoznaji da je on jedinka izuzetne sposobnosti bez koje bi vrsta već odavno propala u teškoj borbi protiv nemilosrdnih elemenata.[11].

Nikola Tesla, Moji pronalasci – My inventions.

Nikola Tesla svjetski je poznat po svojim izumima i patentima, usavršavanju elektromotora, generatora i transformatora te po primjeni izmjenične električne struje. Vizionarskim se ocjenjuju njegova istraživanja na polju prijenosa energije, elektromagnetskih zračenja i elektrovođača iz kojih su, tvrde znanstvenici, danas nastali moderni sustavi radiokomunikacija, televizije, robotike, daljinskoga upravljanja. Taj genijalni istraživač i osebujna ličnost, bio je čovjek ispred svoga vremena i slobodno se može reći da svijet još nije do kraja istražio i spoznao pravu vrijednost svih njegovih ideja i pronalazaka. Nagađa se da je u Teslinoj ostavštini riješeno pitanje bežičnoga prijenosa energije te da ona obiluje misterijima poput mogućnosti umjetnoga izazivanja potresa, kontroliranoga projiciranja misli, nadmašivanja brzine svjetlosti, komunikacije s vanzemaljcima itd. Njemu u čast, 1956. godine, jedinica za magnetsko polje prozvana je tesla (T), a njegovo ime astronauti su dali i jednom brdu na Mjesecu.[21].

Nikola Tesla rođen je 10. srpnja 1856. godine u Smiljanu pokraj Gospića, u Lici. U to vrijeme Lika je bila dijelom Vojne krajine, pod izravnom upravom Generalne komande u Zagrebu, u okviru Habsburške Monarhije. Stanovništvo je živjelo uglavnom baveći se poljoprivredom, a počela se razvijati i trgovina kao oblik uključivanja u kapitalističke odnose, na ovim prostorima još slabo razvijene. Škole su bile malobrojne, a u višim školama nastava se održavala na njemačkom jeziku.

Nikolin otac Milutin bio je pravoslavni svećenik, a njegova majka Đuka bila je neobrazovana, ali izuzetno inteligentna žena. No nije samo to Teslu usmjeravalo na izumiteljski put. U obitelji on je bio četvrto dijete, stariji od njega bili su sestre Milka i Angelina te brat Dane, a nakon Nikole rodila se sestra Marica. Svi odreda bili su vrlo inteligentni, no Dane je bio izuzetan. Na njega su bile usmjerene sve nade roditelja, govorili su da je genij. Tim više je njegova nesretna smrt potresla roditelje, a u Nikoli pobudila poriv da uči, vježba i da se nastoji dokazati kao osoba darovita poput brata, koja će u roditelja pobuditi ponos jednak ponosu na Danu.



[21].

Školovanje je Tesla započeo 1862. u Smiljanu, a 1863. obitelj seli u Gospić, gdje je završio osnovnu školu (1866.) i nižu realnu gimnaziju (1870.). Bio je izuzetno marljiv, ali nije se ograničio samo na svladavanje školskoga gradiva. Zahvaljujući svojoj darovitosti predočavanja – primjerice, pri spomenu nekog pojma njemu bi se pred očima pojavljivala slika tog pojma – mogao je riješiti matematički zadatak i prije nego bi nastavnik ispisao jednadžbu na ploči. Zato nije volio tehničko crtanje i imao je s njime problema. Vježbe pamćenja koje je provodio odmalena pokazale su se višestruko korisne, brzo je i mnogo čitao i tako naučio njemački, francuski i talijanski, a kasnije je govorio osam jezika. Volio je i pokuse, kako bi zamisli provjerio u praksi, a to ga je dovodilo do različitih rezultata, i uspješnih i neuspješnih. Skočio je s krova s kišobranom, ali nije ostao lebjeti u zraku, nego je svom težinom tresnuo o tlo. Bolno iskustvo, no zato je sam napravio udicu, izrađivao je znatno bolje pračke te lukove i strijele od svojih vršnjaka, a izradio je i motor koji su pokretali hruštevi. Kada je prilikom prve vatrogasne parade u Gospiću, nakon što unatoč naporima vatrogasaca iz pumpe nije izbila ni kap vode, oslobodio usisnu cijev iz mulja i tako omogućio protok, cijeli se grad uvjerio u njegovu izuzetnost, jer nitko od odraslih nije mogao dokučiti problem. Već tada su ga zanimale vodene turbine, pa se na temelju opisa Niagarinih slapova koji je pročitao u njemu javila ideja kako da iskoristi njihovu energiju, što je kasnije i ostvario, a ideja o iskorištavanju prirodnih sila u službi čovječanstva ostala mu je vodiljom cijelog života. Po završetku niže realne gimnazije teško se razbolio, čak su i liječnici digli ruke od njega. Godine 1870. je nastavio školovanje u Višoj realnoj gimnaziji u Rakovcu kraj Karlovca.

Osobito je volio pokuse u kabinetu fizike i odlučio je da će studirati elektrotehniku. Nakon mature vratio se u Gospić i zarazio se kolerom. Po drugi put se našao na samrti, u krevetu je proveo devet mjeseci. [11].

1875.g. započeo je studij na Politehničkoj školi u Grazu, potpomognut stipendijom Vojne krajine. Materijalno osiguran, svom se snagom bacio na učenje, od tri ujutro do 23 sata. To je urodilo briljantnim uspjehom, ali kad je došao kući, dočekalo ga je očevo negodovanje – profesori su mu pisali da povuče sina s fakulteta ako ne želi da se ubije prenapornim radom. 1880. došao je u Prag, ali nije se mogao upisati na sveučilište jer u gimnaziji nije učio grčki. To ga ipak nije spriječilo da ide na predavanja, u knjižnice i da prati što se novo događa u svijetu elektrotehnike. U siječnju 1881. Tesla se zaposlio u mađarskoj upravi pošta u Budimpešti. 1876. patentiran je telefon, a Budimpešta je bila četvrti grad u svijetu koji je dobio telefonsku centralu. Tesla se odmah iskazao svojim prijedlozima i poboljšanjima, izumio je aparat za pojačavanje glasa u telefonu. Prilikom jedne šetnje 1882. Tesla je otkrio načelo okretnog magnetskog polja, što će mu kasnije omogućiti izradu prvih elektromotora izmjenične struje, a time i njezinu sveopću primjenu. [20]. Godine 1882. zaposlio se u podružnici Edisonove kompanije u Parizu, uglavnom na instaliranju i usavršavanju centrala istosmjerne struje, a u Strasbourgu je 1883. konstruirao svoj prvi indukcijski motor. U New York je stigao 6. lipnja 1884. s nekoliko pjesama i članaka, svežnjem proračuna, nacrtom letećeg stroja te nekoliko centa u džepu. Zaposlio se kod Edisona, ali ta suradnja nije dugo trajala, jer je Edison razvijao istosmjernu struju, dok se Tesla zalagao za izmjeničnu. 1895. osnovao je dioničko društvo za proizvodnju opreme za lučnu rasvjetu. Zbog velike ekonomske krize ta je kompanija propala, pa je 1887. osnovano Teslino električno društvo, s

ciljem razvoja sustava izmjenične struje. Nikola Tesla je u to vrijeme konstruirao nekoliko motora i generatora te razvio sustav prijenosa i razdiobe izmjenične struje, koji i danas prevladava. Njegove patente otkupio je industrijalac George Westinghouse. Na temelju Teslinih pronalazaka pobijedio je na natječaju za izgradnju hidrocentrale na Nijagarinim slapovima, koja je 1896. puštena u pogon. To je bila konačna pobjeda Teslinog sustava izmjenične struje i ostvarenje njegovog dječaćkog sna. [11].

Godine 1889. dobio je američko državljanstvo, čime mu je itekako olakšana prijava patenata. U tom se periodu posvećuje istraživanjima visokih napona i visokih frekvencija te rezonancije, što su dotad bila neistražena područja. Najznačajniji izumi – Teslina zavojnica i visokofrekvencijski transformator – steći će svoju sveopću primjenu do danas i omogućiti nastajanje novih tehnoloških grana, od radijske i televizijske tehnike te radarskog sustava do fluorescentne rasvjete, elektroterapije, iskorištavanja sunčeve energije, proizvodnje ozona, snimanja X-zrakama, elektronskog mikroskopa...

U svom laboratoriju u Colorado Springsu izgrađenom 1899. postigao je napon od 12 milijuna volti, bio je prvi čovjek koji je uspio proizvesti munje. Bavio se prenošenjem obavijesti i energije na daljinu, bez vodiča, prenio je signale do New Yorka te upalio 200 sijalica udaljenih 40 kilometara. I tu ideju – pojačavanja signala i slanja na daljinu – nosio je u sebi još iz djetinjstva, u obliku ogromne snage lavine koja je nastala kotrljanjem nizbrdo tek male grude snijega. Još 1898. na temelju tih pronalazaka konstruirao je uređaj na daljinsko upravljanje, brod, koji je mogao i zaroniti, a zamišljao je strojeve koji će sami moći upravljati svojim postupcima. Ohrabren time, 1901. na Long Islandu započeo je s izgradnjom Svjetskog sustava za bežično slanje obavijesti, slika i vremenskih prognoza u sve dijelove svijeta, kao i za bežično slanje energije. U narednom periodu posvetio se proučavanjima mehanike tekućina i tada je izumio turbinu bez lopatica, mjerač protoka, mjerač i pokazivač brzine, te se bavio njihovim usavršavanjem. Gromobran je patentirao 1918. godine, a kasnije letjelicu s okomitim uzlijetanjem. Neki od njegovih izuma morali su pričekati budućnost da bi ušli u praktičnu primjenu, već spomenut radarski sustav, daljinsko upravljanje svemirskim brodovima ili projektilima, robotika, a neki, komuniciranje s drugim planetima, ili zrake smrti, o kojima je govorio, još će morati pričekati. Nikola Tesla umro je u hotelu New Yorker u New Yorku 7. siječnja 1943. Omogućivši tehnički i tehnološki razvoj modernog doba, vremena u kojem i sami na sreću živimo, Tesla je obilježio svaki naš dan. [21].

Zbog požara koji mu je posve uništio laboratorij 1895. Tesla je imao problema u priznavanju prvenstva u otkriću elektrona, X-zraka i radija, ali to mu je naknadno, čak i sudskim putem, pa i nakon smrti, priznato. Možda malo nepošteno zvuči što su navodni pronalazači dobili Nobelove nagrade za svoja navodna otkrića – J. J. Thompson za otkriće elektrona, W. Röntgen za X-zrake, a G. Marconi za radio – dok je najzaslužniji za ta otkrića ostao nenagrađen. Tesla je do kraja života ostao vjeran svom porijeklu, a poznate su njegove riječi: "Ponosim se jednako i svojom srpskom majkom i hrvatskom domovinom."

2.2. DEFINICIJE NEKIH POJMOVA VAŽNIH ZA TESLINA ISTRAŽIVANJA

ELEKTROMOTOR električnu energiju pretvara u mehaničku. Postoje sinkroni – čija je brzina okretanja rotora usklađena s brzinom vrtnje okretnog magnetskog polja i asinkroni – kod kojih je brzina okretanja rotora uvijek manja od brzine vrtnje okretnog magnetskog polja. Ovi drugi se u praksi više koriste zbog bolje izvedbe, a najjednostavnija izvedba je s kaveznom rotorom koji se sastoji od dvaju bakrenih prstenova međusobno spojenih bakrenim vodičima (šipkama). Kada se takav rotor nađe u okretnom magnetskom polju u vodičima se inducira napon i kroz njih teče struja, a kada se vodič kojim teče struja nalazi u magnetskom polju, javlja se sila koja okreće rotor. Elektromotori se primjenjuju u svim proizvodnim procesima u industriji. [21]

TRANSFORMATOR (lat. transformare: preobraziti) pretvara izmjenični napon u odvojenim strujnim krugovima. Veličina napona razmjerna je broju zavoja svitka: više zavoja – viši napon, i obrnuto. Transformator se obično sastoji od primarnog i sekundarnog svitka, međusobno magnetski povezanih željeznom jezgrom. Transformator za proizvodnju visokofrekventnih struja, poznatiji kao Teslin transformator, radi na principu sličnom kao kod običnog transformatora, a sastoji se od primarnog namota koji predstavlja titrajni krug pomoću iskrišta i kondenzatora. Primarna zavojnica mora biti dovoljno blizu sekundarnoj zavojnici tako da dio primarnog magnetskog toka prolazi kroz sekundarne zavoje. Tada će se u sekundarnoj zavojnici inducirati napon visoke frekvencije. Na sekundaru se inducira visoki napon i dobivaju se struje visoke frekvencije, koje ne izazivaju strujno oštećenje tkiva, ali izazivaju toplinski učinak, pa je na temelju tih otkrića razvijeno i nekoliko metoda liječenja. [21]

MODEL BRODA NA DALJINSKO UPRAVLJANJE koji je Tesla konstruirao i prikazao 1898. Danas je daljinsko upravljanje u sveopćoj primjeni, od dječjih igračka do svemirskih brodova. U modelu broda s elektromotorom nalaze se rezonantni namotaji određenih frekvencija, odašiljač se namješta na frekvenciju onog namotaja s kojim želi stupiti u rezonanciju. U tom namotaju javljaju se električni titraji i preko servo – mehanizma aktivira se određeni električni uređaj u modelu broda, što dovodi do njegova upravljanja. [21]

ELEKTRIČNA STRUJA je gibanje naboja u materiji ili slobodnom prostoru. U metalnim vodičima to je gibanje slobodnih elektrona (od mjesta s viškom elektrona do mjesta s manjkom elektrona), u poluvodičima je to gibanje elektrona i šupljina, a u elektrolitskim otopinama gibaju se negativni i pozitivni ioni. Prema toku elektrona, odnosno smjeru struje, razlikujemo istosmjernu struju, koja ima u vremenu konstantnu jakost i trajno jedan te isti smjer, te izmjeničnu, kod koje su jakost i smjer promjenjive veličine u vremenu. Proizvodi se pomoću generatora izmjenične struje i vodovima visokonaponske mreže prenosi se do stanica s transformatorima

(trafostanice), gdje se električni napon prilagođava naponu potrebnom potrošačima (npr. 230 V). Dalje se struja prenosi podzemnim i nadzemnim vodovima do objekta s glavnim osiguračima, a zatim dolazi do kućnog brojila i razvodne kutije u kojoj se nalaze osigurači. Svaki osigurač osigurava pojedini strujni krug u našim domovima i dovodi električnu energiju do prekidača i utičnica. [21]

NAPON je razlika električnog potencijala dviju točaka na polovima električnog izvora. Razlika se dobije tako da se od jednog mjesta u izvoru odvoje elektroni (za što je potrebna stalna strana sila, elektromotorna sila) i prenesu na drugo mjesto. Tako se stvara negativni pol (-), s viškom elektrona i pozitivni pol (+), s manjkom elektrona. Kada se na polove izvora priključi električno trošilo, doći će do gibanja elektrona, odnosno do električne struje. Napon izvora u strujnom krugu može se usporediti sa snagom pumpe u krugu s vodom. Izvor s višim naponom kroz isto trošilo potjerat će jaču struju. [21]

GENERATOR izmjenične struje je stroj za pretvaranje mehaničke energije u električnu energiju. Rotoru generatora dovodimo istosmjernu struju i on postaje elektromagnet. Svaki put kada sjeverni pol rotora prolazi kraj namota na statoru dolazi do induciranja (stvaranja) napona. [21]

FREKVENCIJA izmjenične struje je broj perioda u jednoj sekundi, odnosno niz promjena smjera izmjenične struje, i mjeri se u hercima (Hz). Ako se u jednoj sekundi dogodi (realizira) jedna perioda, struja ima frekvenciju od jednog herca. $f = 1/T$ (Hz); T je perioda u sekundama.

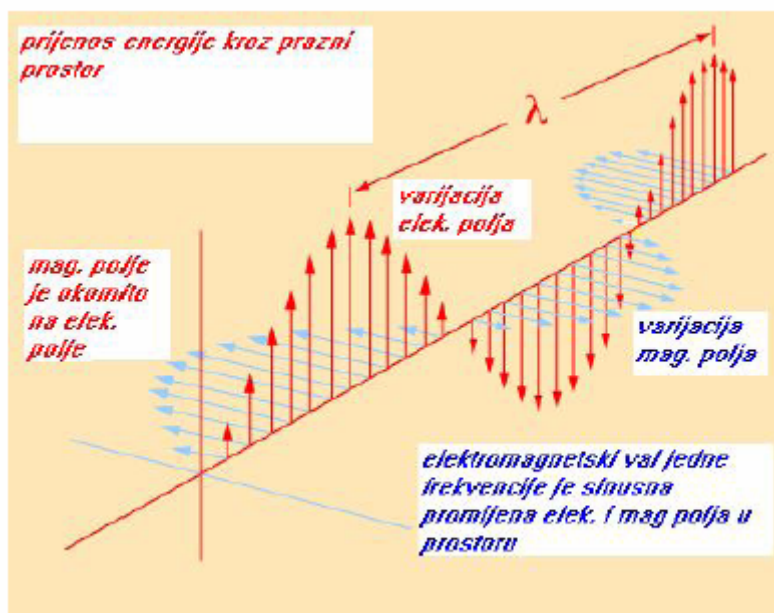
MAGNETSKA INDUKCIJA je gustoća magnetskog toka. U homogenom magnetskom polju u svakoj točki magnetska indukcija je jednaka, dok je u nehomogenom različita u različitim točkama. Jedinica za mjerenje magnetske indukcije je tesla (T).

3. ELEKTROMAGNETSKI VAL I PRIMJENA

3.1. POVIJEST I MAXWELLOVA TEORIJA ELEKTROMAGNETSKOG VALA

Znamo da je za život na Zemlji potrebna Sunčeva energija, a ta se energija od Sunca do Zemlje prenosi u obliku elektromagnetskog vala. Svojtvo tih valova je da se oni mogu širiti kroz prazan prostor te zbog toga i dolazi do nas Sunčeva svjetlost. Naime, elektromagnetsko zračenje opisujemo sa stajališta prijenosa energije mnoštvom energetske paketa (fotona) kroz prostor, na ovaj način elektromagnetskom valu dajemo čestična obilježja jer se tako ponaša mnoštvo mikročestica kada se gibaju velikom brzinom.

Umjetno stvoreni elektromagnetski val nastaje jer se oko vodiča kojim teče električna struja stvara magnetsko polje, dok se na krajevima vodiča kojim teče električna struja inducira električni napon. Uslijed tih pojava dolazi do prožimanja električnog i magnetskog polja pa to novo polje zovemo zajedničkim imenom elektromagnetsko polje. Elektromagnetski valovi poseban su oblik elektromagnetskog polja.



Slika 3.1. Grafički prikaz elektromagnetskog vala

To su početkom 19.-og stoljeća istraživali danski fizičar Oersted Hans Cristian (1777. godina – 1851. godina) i engleski fizičar Faraday Michael (1791. godina – 1867. godina) te su pokazali nerazdvojnost električnog i magnetskog polja.

Godine 1846.-e James Clarc Maxwell (1831. godina – 1879. godina) objavio je potpunu teoriju elektromagnetizma kojom je cjelovito objasnio sve električne i magnetske pojave. Elektromagnetske zakone objasnio je u matematičkom obliku, a poznajemo ih kao Maxwellove jednadžbe. One se mogu objasniti u četiri kratke rečenice:

- Silnice električnog polja imaju svoj početak i kraj u električnim nabojima.
- Silnice magnetskog polja zatvorene su krivulje.
- Promjenljivo magnetsko polje uzrok je nastanka električnog polja.
- Promjenljivo električno polje i električni naboji u gibanju uzrok su nastanka magnetskog polja.

U Maxwellovoj teoriji elektromagnetski valovi nalaze svoje prirodno objašnjenje. Elektromagnetski val sastoji se od promjenljivog električnog polja \vec{E} i magnetskog polja opisanog magnetskim tokom (magnetskom indukcijom) \vec{B} . Oba polja periodički se mijenjaju, titrajući u fazi, a po smjeru su uvijek međusobno okomita. Smjer širenja vala okomit je i na smjer električnog i na smjer magnetskog polja, a to znači da su elektromagnetski valovi transverzalni valovi.

U vakuumu se elektromagnetski val širi brzinom svjetlosti c . Maxwell je pokazao da je u sredstvu (kristalu, tekućini, plinu) brzina vala manja i da ovisi o svojstvima tvari. Brzina elektromagnetskog vala u sredstvu iznosi:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}} .$$

Pri tome je ϵ električna permitivnost sredstva, a možemo je izraziti kao produkt električne permitivnosti vakuuma $\epsilon_0 = 8.854 * 10^{-12} \frac{C^2}{m^2N}$ i relativne električne permitivnosti ϵ_r . Dakle, $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$.

Slično se izražava magnetska permeabilnost sredstva μ , pomoću magnetske permeabilnosti vakuuma $\mu_0 = 4\pi * 10^{-7} TmA^{-1}$ i relativne permeabilnosti sredstva μ_r pa imamo : $\mu = \mu_0 \mu_r$.

Znajući da su relativna električna permitivnost i relativna magnetska permeabilnost jednake jedinici dobivamo brzinu širenja elektromagnetskog vala u vakuumu:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \approx 3 * 10^8 ms^{-1} .$$

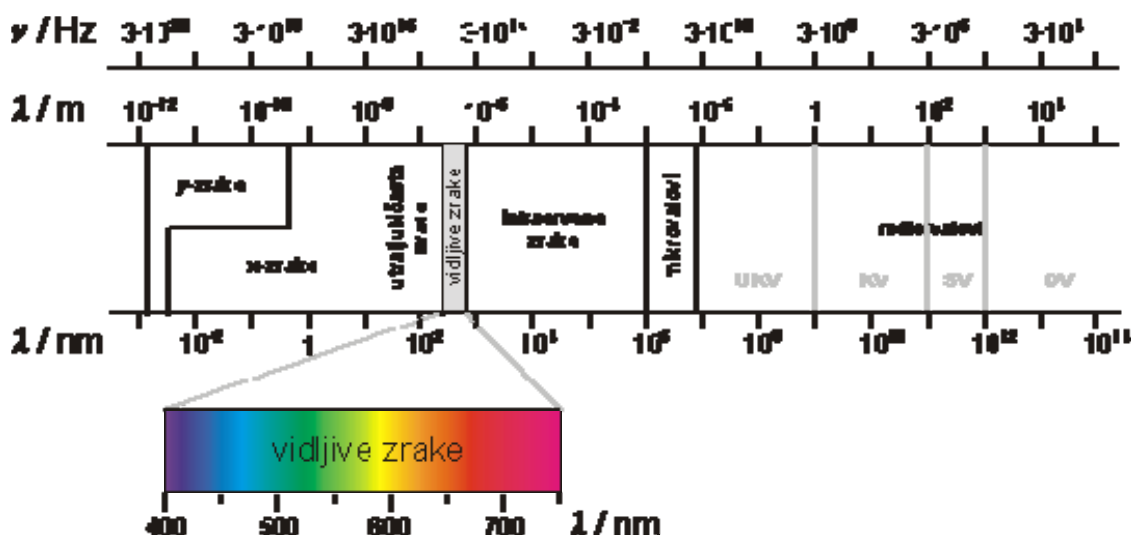
Uzrok nastanka elektromagnetskog vala je titranje električnih naboja. Zbog toga zaključujemo da izvor elektromagnetskih valova može biti električni titrajni krug, ali isto tako i titranje atoma i molekula u tvarima. Frekvencija ν kojom titra izvor određuje i frekvenciju elektromagnetskog vala. Ona je jednaka u svim sredstvima. Period titranja T , dakle vrijeme titranja jednog titraja iznosi : $T = \frac{1}{\nu}$. Put kojeg val prevari za

vrijeme jednog perioda naziva se valna duljina λ i u vakuumu ona iznosi: $\lambda = \frac{c}{\nu}$.

Valna duljina u sredstvu je manja i iznosi: $\lambda' = \frac{v}{\nu}$. [9]

3.2. SPEKTAR ELEKTROMAGNETSKOG VALA

Pravi smisao teorija elektromagnetskih valova dobila je 1888. godine kada je H. Hertz (1857. godine – 1894. godine) nizom sistematskih i pažljivih pokusa dokazao postojanje elektromagnetskih valova i da se ponašaju točno onako kako je Maxwell previdio. Valne duljine elektromagnetskih valova protežu se od desetinke pikometra (0.1pm) do nekoliko stotina kilometara. Pripadne frekvencije obuhvaćaju raspon od $10^{22} s^{-1}$ do $10^3 s^{-1}$. Dio valnih duljina od 380nm do 780nm pripada vidljivoj svjetlosti, a svakoj valnoj duljini unutar tog raspona pripada jedna od boja. Cijeli spektar boja zastupljen je u bijeloj svjetlosti koja do nas dolazi sa Sunca. Cijeli raspon mogućih valnih duljina elektromagnetskog vala zovemo *spektar*. Prema valnoj duljini i frekvenciji sveukupni spektar elektromagnetskih valova može se podijeliti na nekoliko područja, a to su: radiovalovi, mikrovalovi, infracrveno zračenje, vidljiva svjetlost, ultraljubičasto zračenje, rendgensko zračenje, gama zrake i kozmičko zračenje. Putovanjem kroz prostor svi elektromagnetski valovi ponašaju se slično neovisno o valnoj duljini. Razlika u valnoj duljini očituje se tek kad elektromagnetski val padne na neku tvar. Iz tog međudjelovanja potječe mnoštvo fizikalnih pojava i procesa te velike mogućnosti primjene. [9] Slika 3.2. prikazuje spektar elektromagnetskog zračenja.



Slika 3.2. Spektar elektromagnetskog zračenja

U nastavku ću se pozabaviti područjima elektromagnetskog zračenja, te objasniti najznačajnije karakteristike i primjenu pojedinog dijela spektra. Granice među područjima u spektru nisu uvijek oštre.

3.2.1. RADIOVALOVI

Obuhvaćaju valne duljine od nekoliko kilometara do 0.3m. To su valovi kojima se služe televizijski i radijski odašiljači, a njihovi izvori su elektronski uređaji, najčešće titrajni krugovi. Važan primjer radiovalova su i zračenja koja dolaze iz svemira.

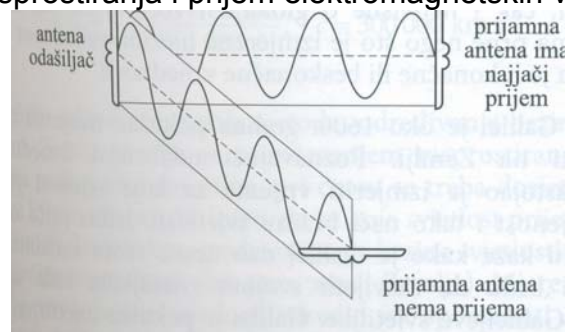
U nastavku ovog dijela malo ću pobliže objasniti princip rada antene, jer to je najčešći primjer gdje koristimo radiovalove.

Antene za odašiljanje i primanje elektromagnetskih valova mogu biti različitih oblika.

Najčešće se koristimo antenom u obliku štapa takozvana dipolna antena, za neposredan zemaljski radio i televizijski prijem, no koriste se i antene sa sfernim sakupljačem valova za prijem preko satelita to su u narodu poznate kao satelitske antene. Elektromagnetsko zračenje rasprostire se u svim smjerovima od dipolne antene odašiljača, ali je u smjeru okomitom na antenu najveća amplituda titranja elektromagnetskog vala, a gotovo da nema valova u smjeru pružanja antene.

Dipolna antena obično ima duljinu jednaku polovici valne duljine elektromagnetskog vala. Prijemna dipolna antena najbolje prima elektromagnetske valove kad je njena duljina jednaka cjelobrojnem višekratniku valne duljine. Tada titranje električnog i magnetskog polja elektromagnetskih valova koji stignu do prijemne antene stvore u anteni najjaču izmjeničnu struju, jer je prisilno titranje naboja u njoj u rezonanciji sa titranjem naboja u odašiljačkoj anteni. Također, prijemna dipolna antena prima najviše energije elektromagnetskog zračenja kad je usporedna s odašiljačkom antenom. Za takve valove kažemo da su polarizirani transverzalni valovi. Prijem je najslabiji kad su prijemna i odašiljačka antena okomite. [9]

Slika 3.3. prikazuje rasprostiranje i prijem elektromagnetskih valova.



Slika 3.3. Rasprostiranja i prijem elektromagnetskih valova

3.2.2. MIKROVALOVI

To su elektromagnetski valovi valnih duljina od 0.3m do 0.1mm. primjenjuju se u radarskoj tehnici i komunikacijskim sustavima, a proizvode ih elektronski uređaji.

Frekvencije tih valova bliske su frekvencijama kojima titraju atomi i molekule u tvarima pa se upotrebljavaju pri proučavanju atomske i molekulske strukture tvari te za mjerenje svojstava tvari. U nastavku ovog dijela posvetiti ću se malo radarima, jer tu najviše upotrebljavamo mikro valove, iako se u ovom dijelu malo prekrivaju spektar radio valova i mikrovalova, naime za radare koristimo valove valnih duljina do jednog metra.

RADARSKA TEHNIKA

Temeljna postavka svakog radarskog uređaja je sposobnost za otkrivanje (detekciju) objekta, a zatim sposobnost mjerenja njegove udaljenosti i određivanje položaja. Riječ radar predstavlja prvoslovnicu od engleske kratice RAdio Detection And Ranging, što bi se moglo prevesti kao otkrivanje ciljeva i mjerenje udaljenosti elektromagnetskim valovima ili kao elektronički uređaj za otkrivanje objekata (ciljeva) na kopnu, moru i u zraku. Dio energije elektromagnetskih valova koje emitira predajnik radara reflektira se od objekta (cilja) na sve strane. Neznatni dio te reflektirane energije prima i registrira osjetljivi radarski prijamnik. Na temelju pravca iz kojeg elektromagnetski valovi dolaze, moguće je odrediti polarne koordinate cilja-pravac (azimut) i kut (elevaciju). Udaljenost od radara do cilja se određuje preko proteklog vremena od trenutka emitiranja impulsa elektromagnetskog vala do povratka reflektiranog vala (u impulsnoj tehnici) ili preko razlike frekvencije emitiranog i reflektiranog elektromagnetskog vala (kada je zračenje neprekidno i periodično te promjenjive frekvencije). U radarskim sustavima rabe se elektromagnetski valovi različitih opsega i to od vrlo kratkih do ekstremno kratkih valova (opseg u metrima, decimetrima, centimetrima i milimetrima), tj. razni opsezi u frekvencijskom području od 100 do 300000 MHz. Valovi veće valne duljine su manje podložni apsorpciji u atmosferi, a valovi kraće valne duljine bolje ispunjavaju prostor iznad Zemlje i zahtijevaju antene manjih dimenzija.

Povijesni razvoj radara. Prvu ideju i patent za detekciju objekata pomoću radiovalova dao je 1904.g. njemački inženjer C. Hilsmeier i odnosila se na mogućnost bolje navigacije brodova pri smanjenoj vidljivosti. Nikola Tesla 1917. daje opis radarskog sustava za otkrivanje podmornica, u kojem daje najvažnije dijelove uređaja i precizira kako se mora raditi s vrlo kratkim valnim dužinama i u impulsnom režimu, što je kasnije potvrđeno pri uporabi radara. Daljnje proučavanje ultrakratkih valova i razvoj elektroničkih elemenata doveli su do prvog uređaja sa svim osnovnim elementima radara. To je bio uređaj za ispitivanje ionosferskih slojeva koji su 1925. uspješno konstruirali američki znanstvenici G. Breit i M. A. Tuve. Radarski uređaj se sastoji, ovisno o vrsti i namjeni, od manjeg ili većeg broja cjelina (blokova) koji predstavljaju autonomne elektroničke aparate, a funkcioniraju kao jedinstveni složeni sustav.



Slika 3.4. Radarski sustavi

Osnovni dijelovi svakog radara su: antenski sustav, predajnik, prijamnik i prikaznik. Antenski sustav. Svaki radar ima barem jednu antenu koja je sposobna odašiljati i primiti elektromagnetske valove. Usmjerenost antene pokazuje njezin dijagram zračenja. Zračenje je najjače u smjeru osi reflektora, a cjelokupni intenzitet zračenja je suma pojedinih zračenja iz svih smjerova koji zatvaraju kut širine snopa. Snop zračenih elektromagnetskih valova ima oblik konusa ili lepeze, čiji se vrh nalazi u anteni.

Predajnik. Radarski predajnik proizvodi električne oscilacije, potrebne frekvencije i snage, kojima se antena napaja radi pretvaranja u elektromagnetske valove i zračenja. Osnovni dio predajnika predstavlja oscilator.

Prijamnik. Radarski prijamnik prima, pojačava i izdvaja signale koji dolaze reflektiranim valovima, kako bi se mogli prikazati na prikazniku. Priključuje se na radarsku antenu preko predajno – prijamne skretnice ili neposredno ako postoji posebna prijamna antena.

Prikaznik. Prikaznik je komponenta cjelokupnog radarskog sustava čija je namjena izlazne podatke učiniti pristupačnim, tj. učiniti ih vidljivim ili čujnim. Njegov osnovni dio je katodna cijev (CRT-Cathode Ray Tube), a u zadnje vrijeme sve se češće rabi prikaznik s tekućim kristalom (LCD-Liquid Crystal Display). [30]



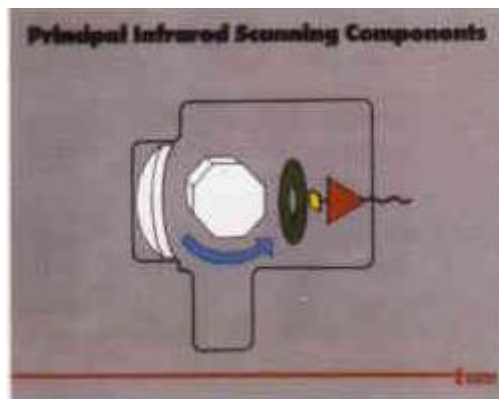
Slika 3.5. Prikaznik

3.2.3. INFRACRVENI DIO SPEKTRA

Taj dio spektra obuhvaća elektromagnetske valove valne duljine od 1mm do 780nm. Te valove emitiraju molekule plina i užarena tijela. Infracrveno zračenje ima višestruku primjenu u industriji, medicini, tehnici i astronomiji te u granama fizike i kemije koji se bave istraživanjem molekulske strukture. Infracrveni dio spektra primjenjujemo i kod rada kamere za noćno snimanje ili infracrvene kamere.

U nastavku ću pokušati ukratko objasniti kako radi infracrvena kamera. Naime, temeljna građa svih termovizijskih kamera prikazana je na slici 3.5. Glavni dijelovi su:

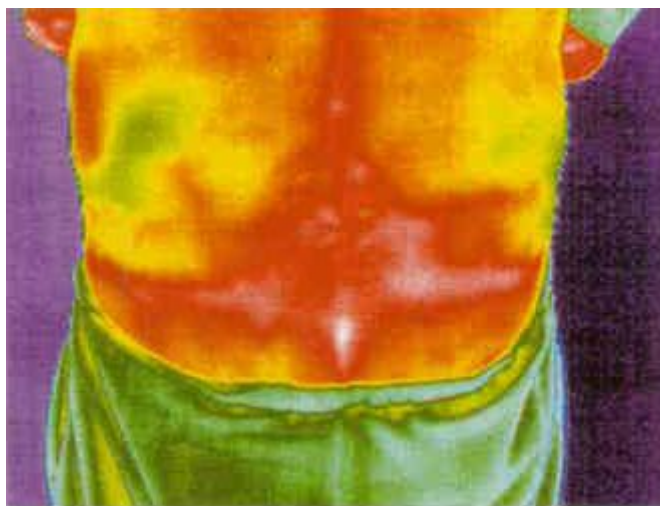
- Optička leća (nije staklena)
- Sustav za razlučivanje slike
- Detektor infracrvenog zračenja (poluvodič)
- Elektroničko pojačalo.



Slika 3.6. Shema infracrvene kamere

U modernim sustavima, svaka od ovih komponenti ima veliku ulogu i zato sa može reći da je kamera mjerni instrument velike točnosti koji u sebi rješava mnoštvo podataka kako bi se završno na ekranu moglo očitati i vidjeti slika s točnim temperaturama (izotermička slika). Za ovaj dio dovoljno je samo reći da kamera u obzir uzima koeficijent sposobnosti odašiljanja, udaljenost objekta i temperaturu okoline sve te podatke kamera u svom procesoru obrađuje i kao rezultat daje točnu temperaturu. U IC kameru ugrađen je referentni izvor temperature tako da se kamera kod svakog uključanja umjerava.

Na sljedećoj slici prikazan je primjer korištenja infracrvenog zračenja u medicini, slika pokazuje kako se infracrvenom kamerom vidi upala mišića. [19]



Slika 3.7. Upala mišića

3.2.4. VIDLJIVA SVIJETLOST

Već je spomenuto da ovaj dio spektra obuhvaća vrlo uski raspon valnih duljina i to od 380nm do 780nm. Ovaj dio spektra proučavaju optika i fotometrija. U nastavku ću se malo pozabaviti svjetlošću kao elektromagnetskim valom i brzinom svjetlosti.

SVJETLOST KAO ELEKTROMAGNETSKI VAL

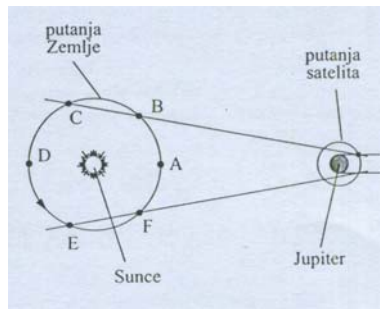
Svjetlost je elektromagnetski val, no izvori svjetlosti su malo drugačiji od umjetno stvorenih izvora elektromagnetskih valova, kao što su titrajni krugovi i drugi elektronički uređaji. Atomi su titrajni sustavi koji zrače svjetlost. Mnoštvo pobuđenih atoma tvari u izvoru svjetlosti istodobno zrači svjetlost, tako da električno i magnetsko polje pobuđenih atoma ne titra u istoj ravnini. Zbog toga u elektromagnetskom valu svjetlosti koji emitira neki izvor električno i magnetsko polje titra u svim ravninama oko smjera rasprostiranja vala. Takav elektromagnetski val zove se nepolarizirani val odnosno takva svjetlost nepolarizirana svjetlost. Svjetlost koja izlazi izravno iz prirodnog izvora obično je nepolarizirana. [7]

U prvom dijelu ovog poglavlja rečeno je da se elektromagnetski valovi gibaju brzinom svjetlosti, a kao što znamo to je ekstremno velika brzina u odnosu na ostale brzine u prirodi. To je najveća brzina u prirodi i stalne je vrijednosti u istom sredstvu, čak i neovisno o gibanju izvora. Stoljećima su znanstvenici pokušavali izmjeriti brzinu svjetlosti no nisu uspijevali, pa su se zbog toga stoljećima vodile rasprave da li je ta brzina konačna ili beskonačna vrijednost.

Galileo Galilei (1564. godine – 1642. godine) je oko 1600. - te godine pokušao izmjeriti brzinu svjetlosti na Zemlji. Poznavajući udaljenost između dva brda pokušao je izmjeriti vrijeme potrebno da svjetlosni signal prijeđe taj put i tako bi izračunao brzinu svjetlost. Jedna od priča iz tog vremena kaže kako je Galilei rekao svom suradniku da kad vidi bljesak njegove svjetiljke upali svoju svjetiljku, no Galilei nije uspio izmjeriti tako kratak vremenski interval. Taj pokus Galileia navodi na zaključak da je brzina svjetlosti nije beskonačna već konačna vrijednost.

Olaf Römer (1644. godine – 1710. godine) odredio je 1675. - t e godine brzinu svjetlosti služeći se astronomskim udaljenostima. Promatrao je izlaske i zalaske

jednog od Jupiterovih prirodnih satelita iza Jupitera kada je Zemlja najbliža i najudaljenija Jupiteru.

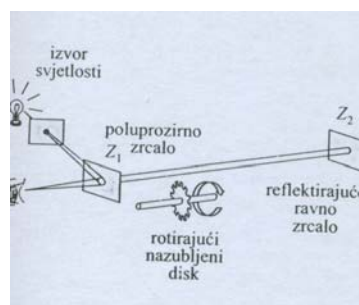


Slika 3.8. Römerova promatranja

Römer je točno proračunavao intervale između dva uzastopna izlaska i zalaska, te je mogao točno očekivati zalazak Jupiterova mjeseca za svaki položaj Zemlje na putanji oko Sunca. Međutim, zalazak mjeseca, gledajući s najudaljenijeg položaja Zemlje od Jupitera, kasnio je za oko 1000 s za zalaskom promatranim sa najbližeg položaja. Römer je to zakašnjenje objasnio većim putem kojeg svjetlost mora prijeći do Zemlje. Budući da za vrijeme jednog ophoda Zemlje oko Sunca, Jupiter praktički zadrži istu udaljenost od Sunca, taj je put svjetlosti približno veći za promjer Zemljine putanje oko Sunca. Promjer Zemljine putanje oko Sunca u to vrijeme nije bio poznat s današnjom točnošću pa je Römer dobio vrijednost brzine svjetlosti $2.1 \cdot 10^8\text{ ms}^{-1}$. Danas istom metodom, znajući točniju vrijednost promjera Zemljine putanje oko Sunca, oko $3 \cdot 10^{11}\text{ m}$, dobijemo za vrijednost brzine svjetlosti:

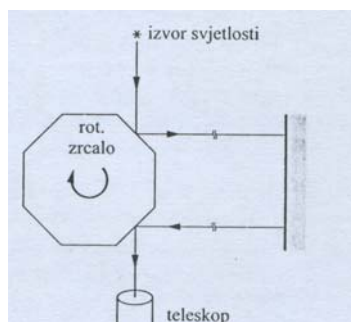
$$c = \frac{s}{t} = \frac{3 \cdot 10^{11}\text{ m}}{1000\text{ s}} = 3 \cdot 10^8\text{ ms}^{-1}.$$

Zemaljske metode mjerenja svjetlosti zovemo terestričkim (lat. terra znači Zemlja) metodama. Mjerenjem na Zemlji prvi je brzinu svjetlosti izmjerio Armand Fizeou (1819. godine – 1896. godine) i dobio vrijednost od 313300 kms^{-1} .



3.9.Fizeouov pokus

Albert Michelson (1852. godine – 1931. godine) je terestričkom metodom od 1880.-te godine do 1920.-te godine više puta izmjerio brzinu svjetlosti, poboljšavajući svoj uređaj. Kasnije je za svoj rad primio Nobelovu nagradu za fiziku. Michelson je osobito poboljšao metodu rotirajućih zrcala. Tako je 1920.-te godine u Kaliforniji postavio na jedno brdo izvor svjetlosti i osmerokutno rotirajuće zrcalo, a na drugo, udaljeno oko 35 km , ravno nepokretno zrcalo.



Slika 3.10. Michelsonov pokus

Samo je pri određenom broju okretaja rotirajućeg zrcala motritelj u njegovoj blizini mogao vidjeti svjetlost, koja se rasprostirući se iz izvora, odbijajući se od rotirajućeg zrcala, zatim od ravnog na drugom brdu pa ponovo na rotirajuće u motriteljevo oko. Tako je Michelson računom dobio vrijednost od 299792 kms^{-1} .

Mnogobrojnim mjerenjima znanstvenici su utvrdili da je brzina svjetlosti veća u vakuumu od one u zraku. Mjerene brzine svjetlosti u vakuumu nalaze se oko vrijednosti od 300000 kms^{-1} . Izmjerene brzine svjetlosti u drugim sredstvima uvijek su manje od brzine u vakuumu, tako imamo brzinu svjetlosti u vodi 225000 kms^{-1} , u staklu od $160000 \text{ kms}^{-1} - 200000 \text{ kms}^{-1}$, a u dijamantu oko 120000 kms^{-1} itd.. [8]

3.2.5. ULTRALJUBIČASTI DIO SPEKTRA

Ovom dijelu spektra pripadaju elektromagnetski valovi valnih duljina od 780nm do 600pm. To su valovi što ih zrače atomi i molekule. Ultraljubičasto zračenje izaziva disocijaciju i ionizaciju molekula pa se stoga upotrebljava u kemiji, tehnici i medicini. Međutim zbog tih svojstava ono može biti štetno za žive organizme. Zemlju od ovih, a i ostalih štetnih zraka iz svemira i sa Sunca štiti ozonski omotač, koji je oštećen pa imamo veću pojavu oboljelih od raka kože, naime medicina smatra da povećana doza ultraljubičastog zračenja izaziva rak kože kod živih organizama.

3.2.6. RENDGENSKO ZRAČENJE (X – ZRAKE)

Ovaj dio spektra zauzima valne duljine od 1nm do 6pm . Te zrake dolaze direktno iz atoma i prenose još veću energiju od ultraljubičastog zračenja. Temeljno su oruđe u istraživanju kristalne strukture tvari. Zbog svojstva da različito prodiru u različita tkiva koriste se u medicinskoj dijagnostici. Rendgenske zrake mogu oštetiti dijelove tkiva te kod njihove uporabe treba poštivati stroga pravila zaštite od zračenja.

U nastavku ću opisati kako je došlo do otkrivanja rendgenskih zraka i gdje se osim u medicini koristimo njima.

Samo ime nam kaže da je rendgenske zrake otkrio njemački fizičar Wilhelm Konrad Röntgen (1845. godine – 1923. godine), a otkrio ih je 1895.-te godine, iako se danas smatra da je idejni začetnik i prvi koji ih je otkrio Nikola Tesla, no zbog nedostatka dokaza otkriće je pripisano Röntgenu.

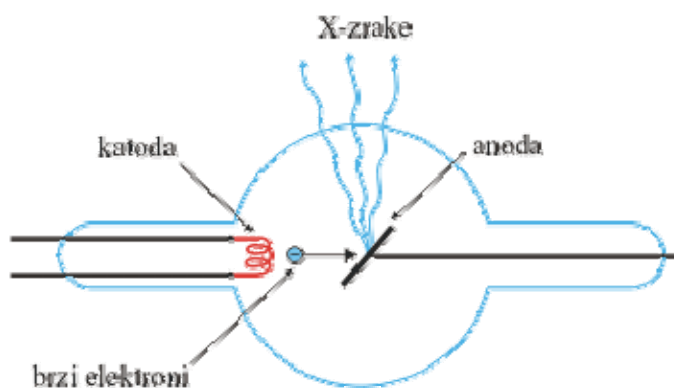
Röntgen je uočio da metalna ploča izložena brzim udarima elektrona zrači vrlo prodorne zrake koje prolaze kroz meko ljudsko tkivo i pojedine tvari, ali ih kosti i neke tvari ne propuštaju. Slika 3.11. prikazuje rendgensku sliku ljudske ruke.



Slika 3.11. Ljudska ruka

Fotografski zapis na filmu nastao prolaskom rendgenskih zraka kroz tijelo pokazivao je sliku unutarnjih organa. Time je jasno usmjerena buduća primjena rendgenskih zraka. Tada nepoznate zrake Röntgen je nazvao x – zrake. Kasnije je utvrđeno da su to elektromagnetski valovi velike energije i frekvencije.

Takvo zračenje nastaje u rendgenskoj cijevi, slika 3.12., ubrzavanjem elektrona naponom od više tisuća volti između katode i metalne ploče u koju udaraju elektroni. Udarom u ploču elektron se naglo usporava i gubi kinetičku energiju, koja se kvantnomehničkim procesima pretvara u vrlo veliku energiju izračenog fotona rendgenskih zraka. Razvoj spoznaja o kvantnomehničkim procesima omogućio je izradu rendgenskih uređaja kakve danas rabimo.



Slika 3.12. Rendgenska cijev

Spoznaja da elektroni imaju valna obilježja manjih valnih duljina od svjetlosti navela je na ideju o njihovoj uporabi u elektronskim mikroskopima za povećanje onih sitnih tijela koja se ne mogu vidjeti svjetlosnim mikroskopom. Na slici 3.13. prikazan je elektronski mikroskop.



Slika 3.13. Elektronski mikroskop

Naime, svjetlosnim se mikroskopom ne može jasno vidjeti sitno tijelo manje od uporabljene valne duljine svjetlosti, što znači da se njime ne može vidjeti tijelo manje od 400nm . Elektronski snop može imati valnu duljinu manju od 1nm , što omogućuje i više od tisuću puta bolje povećanje. Slika predmeta pomoću elektronskog mikroskopa nastaje na isti način kao i svjetlosnim mikroskopom, samo se staklene leće zamjeni magnetskim lećama, umjesto svjetlosnog snopa fokusira se elektronski snop pomoću magnetskih polja stvorenih električnom strujom u zavojnicama leća.

3.2.7. GAMA – ZRAČENJE I KOZMIČKE ZRAKE

Gama – zračenje je nuklearnog porijekla, a nastaje pri promjenama stanja atomske jezgre. Valna duljina tog zračenja je od 10^{-13}m do 10^{-16}m . To zračenje emitiraju radioaktivne tvari, a u interakciji sa živim organizmima ono izaziva teška oštećenja tkiva. Gama – zračenje se isto kao i rendgensko zračenje uz nužne mjere opreza primjenjuje u medicini i tehnici.

Još manje valne duljine susrećemo kod kozmičkog zračenja, to su zrake koje do nas dolaze iz dubokog svemira, putujući od različitih izvora. [8]

3.3. ENERGIJA I INTENZITET ELEKTROMAGNETSKOG VALA

Najvažnije svojstvo elektromagnetskog vala je sposobnost da prenosi energiju putujući kroz tvari ili kroz prazan prostor. Energija koju elektromagnetski val u jedinici vremena prenese kroz jediničnu površinu zovemo intenzitet elektromagnetskog vala. Intenzitet se iskazuje jedinicom (vat po četvornom metru), a ovisi o jakosti električnog polja i o električnim i magnetskim svojstvima tvari, a iskazujemo ga kao:

$$I = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}} E_0^2.$$

U formuli sa E_0 označavamo najveću vrijednost koju može poprimiti titrajuće električno polje u elektromagnetskom valu, kraće rečeno amplituda tog vala. [9]

4. SVJETLOVODI

4.1. POVIJESNI RAZVOJ

Pojava prvih optičkih vlakna nastupa u drugoj polovici prošlog stoljeća s pojavom lasera. Međutim ljudi su još prije nekoliko stotina godina imali ideje o prijenosu informacija putem svjetlosti. Godine 1790. francuski izumitelj Claude Chappe napravio je „optički telegraf“ koji se sastojao od niza semafora postavljenih na tornjeve gdje su stajali ljudi i putem tih semafora odašiljali poruke od jednog tornja do drugog. Sustav je ubrzo postao kulturna baština jer ga sredinom 19-tog stoljeća zamjenjuje električni telegraf. Alexander Graham Bell, 1880. godine patentira optički telefonski sustav i naziva ga „Photophone“. Bell ima ideju o prijenosu signala pomoću svjetlosti kroz atmosferu kao u slučaju bakrene žice i električnog signala. Međutim stvar je bila neostvariva zbog raspršenja svjetlosti i nepouzdanosti. Njegovo ranije otkriće – telefon, bio je mnogo praktičnije rješenje tako da je „Photophone“ ostao samo eksperimentalni izum. Otkrivanje dualne prirode svjetlosti, početkom prošlog stoljeća, omogućilo je šezdesetih godina nastanak prvih lasera. Pojavom lasera povećala su se istraživanja u području optičkih vlakna jer se došlo do spoznaje da se optičkom komunikacijom može prenijeti znatno veća količina podataka u odnosu na radio i telefonsku komunikaciju. Prvi problem je bio što su prvi laseri napravljeni od jednog poluvodiča GaAs bili ne efikasni. Nisu zadovoljavali u smislu disipirane snage, pregrijavanja, kratkog vijeka trajanja svega nekoliko sati i velike potrošnje struje za ostvarenje laserske reakcije koja nije bila moguća na sobnoj temperaturi. Drugi problem je bio da lasersko svjetlo nije moglo putovati kroz slobodan prostor zbog raspršenja i potpunog gušenja. Kratkovalno lasersko svjetlo odbija se od kapljica vodene pare i drugih čestica koje se nalaze u atmosferi, do takvog stupnja da to uzrokuje njegovo raspršenje ili potpuno gušenje. Znači, magloviti bi dan mogao uzrokovati prekid komunikacijskih veza ostvarenih putem lasera. Zbog toga je za prijenos informacija putem svjetlosti na velike udaljenosti trebalo napraviti vodič analogan telefonskim linijama.

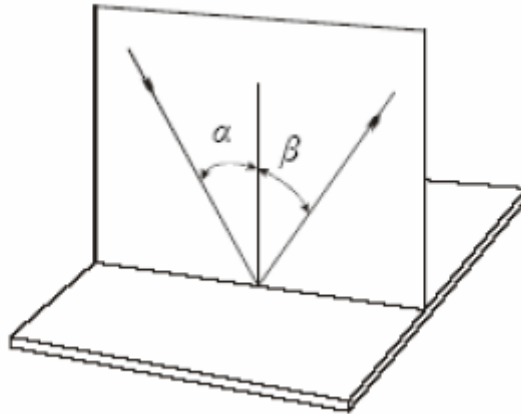
Optička vlakna su bila jedno od mogućih rješenja problema prijenosa svjetlosti iako sredinom 1960. uopće nije bilo izvjesno da odgovor leži u tom smjeru pa su ozbiljno razmatrane i ostale mogućnosti. Eksperimentima je utvrđeno da staklena vlakna debljine vlasi kose najbolje prenose svjetlost na male udaljenosti. Ona su bila korištena u industriji i medicini za dovođenje svjetlosti na inače nedostupna mjesta. U početku znanstvenici nisu bili zadovoljni jednomodnim svjetlovodima koji su imali jezgru promjera svega nekoliko mikrometara, uski frekvencijski pojas te stepeničasti indeks loma. Također problem je bio kako postići dovoljne tolerancije na ulaznom konektoru da prilikom uguravanja svjetla u svjetlovod ne dođe do raspršenja zrake. Zbog toga su se okrenuli razvoju više modnih svjetlovoda kod kojih se zraka rastavljala u više zraka unutar svjetlovoda i prenosila informaciju. Prvi komercijalni višemodni svjetlovodi koristili su jezgru promjera 50 μ m i 62,5 μ m te valnu duljinu svjetlosti od 850nm. Svjetlost je emitirala laserska galij-aluminij-arsenid dioda, ali je takav optički komunikacijski sistem bio ograničen gušenjem od 2dB/km, pa je prijenos bio omogućen do cca. 10km. (Prvi test postavljanja svjetlovoda napravila je 1976. godine AT&T kompanija u Atlanti. Postavljena su dva optička kabela, svaki sa 144 optička vlakna ukupne duljine gotovo 7 kilometara.). Druga generacija svjetlovoda kao izvore svjetlosti koristi indij – galij – arsenid – fosfid laserske diode

koje emitiraju svjetlo valne duljine 1,3 μm i gradijentni indeks loma. U ovim svjetlovodima ostvarena su gušenja manja od 0,5 dB/km i nešto manje raspršenje spektra nego kod prve generacije. Na projektu postavljanja prvog prekoatlanskog svjetlovoda 1988. godine koji je imao pojačala za regeneriranje slabih signala na međusobnoj udaljenosti većoj od 60 km, ustvrđeno je da jednomodni svjetlovodi imaju bolja svojstva što se tiče disperzije i gušenja. Nova generacija jednomodnih svjetlovoda koristi zraku valne duljine 1,55 μm s gušenjem od 0,2-0,3dB/km te dopušta još veće udaljenosti između pojačala za regeneraciju signala. U samom začetku razvoja tehnologije optičkih vlakna, usko grlo cijelog sistema bila su pojačala za regeneriranje oslabljenih signala. Iako se, pred samim pojačalima, optičkim napravama moglo detektirati i vrlo slabo ulazno lasersko svjetlo, samo pojačalo je moralo biti neke vrste elektroničke naprave koja je detektirani svjetlosni signal pretvarala u električni signal. Naprava bi tada pojačala električni signal koji je vodio na novu lasersku diodu koja bi odašiljala novi, pojačani optički signal. Ovaj sistem je bio bitno ograničen kapacitetom elektroničkih pojačala, koji je bio znatno manji od raspoloživog kapaciteta lasera i svjetlovoda. 1985. godine na engleskom Sveučilištu u Southampton, fizičar S.B. Poole otkriva da dodavanjem male količine elementa - erbiju u staklo od kojeg se izrađuju optička vlakna moguće je napraviti pojačala koja imaju samo optičke elemente. Kratki, stakleni pramen dopiran erbijem ugrađen u optičko vlakno, kada primi energiju od vanjskog svjetlosnog izvora ponaša se kao laser, pojačavajući na takav način optički signal bez korištenja elektronike. Pooleove kolege u Southamptonu, David Payne, P.J. Mears i Emmanuel Desurvire iz Bell Laboratories počeli su primjenjivati otkriće na praktična pojačala signala u optičkim vlaknima. 1991. godine istraživači iz Bell laboratorija pokazali su da potpuno optički sistemi mogu imati 100 puta veći kapacitet od sistema s elektronskim pojačalima. U kratkom su roku europske i američke komunikacijske tvrtke postavile potpuno nove optičke kablove preko Atlantskog i Tihog oceana, te ih pustili u rad 1996. godine.[31]

4.2. FIZIKA SVJETLOVODA

Putovanje svjetlosti kroz optička vlakna, temelji se na dva od četiri zakona geometrijske optike.

Zakon refleksije svjetlosti $\alpha = \beta$. Kut upadanja zrake svjetlosti jednak je kutu odbijanja (refleksije), a zraka koja upada i koja se odbija leže u istoj ravnini koja je okomita na površinu odbijanja. To prikazuje slika 4.1. U svjetlovodima inače koristimo totalnu refleksiju.



Slika 4.1. Totalna refleksija

Drugi zakon optike koji vrijedi kod svjetlovoda je Snellov zakon loma. Brzina svjetlosti u vakuumu iznosi $c=299792458$ m/s. Budući da se svjetlost smatra elektromagnetskim valom, prolaskom svjetlosti kroz drugi medij, njena brzina je manja od one u vakuumu i određena je dielektričnim i magnetskim svojstvima medija kroz koji putuje. Brzinu svjetlosti u sredstvu računamo po formuli:

$$c_v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r \epsilon_0 \epsilon_0}}$$

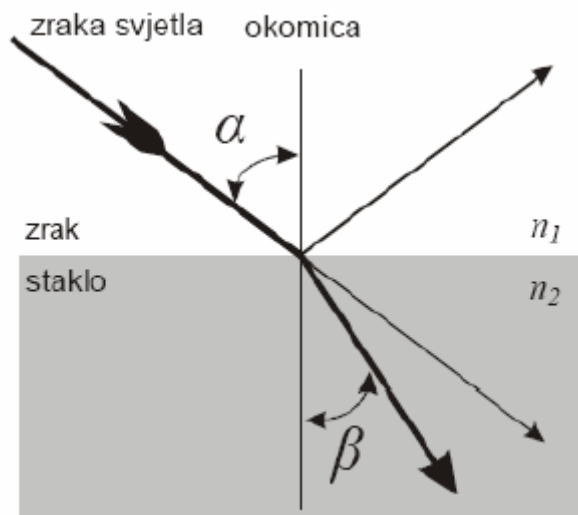
Kod optičkih medija brzina svjetlosti uglavnom je određena dielektričnim svojstvima budući da optička sredstva imaju $\mu_r \sim 1$. Optički rjeđe sredstvo ima veću brzinu svjetlosti od optički gušćeg sredstva. Prilikom prelaska svjetlosne zrake iz vakuuma u optički vodljivo sredstvo, dolazi do loma svjetlosti pri čemu definiramo indeks loma n za to sredstvo:

$$n = \frac{c}{c_v}$$

Lom svjetlosti prilikom prolaska iz jednog sredstva u drugo opisuje Snellov zakon i vrijedi:

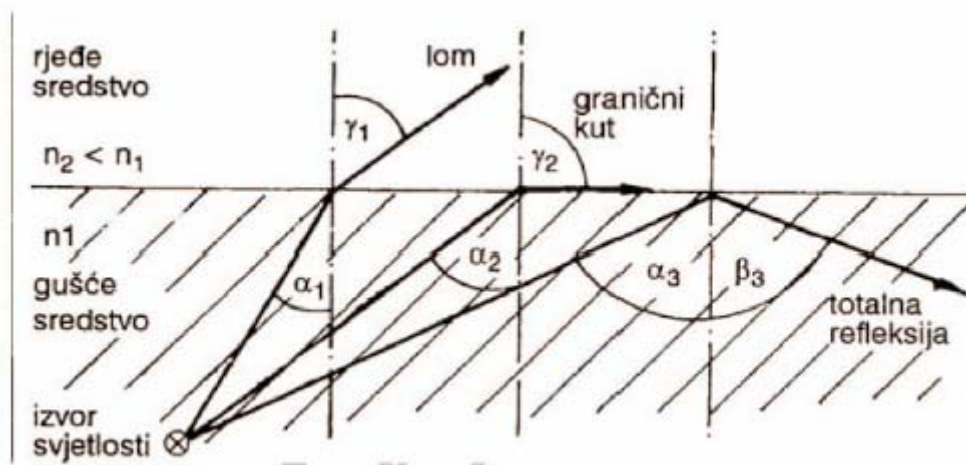
$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$$

Lom svjetlosti prikazan je na slici 4.2.



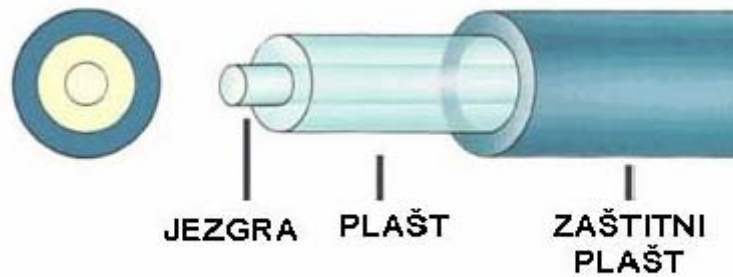
Slika 4.2. Lom svjetlosti

Zraka koja upada i zraka koja se lomi leže u ravnini okomitoj na granicu sredstva, a omjer sinusa kuta upada i sinusa kuta loma za dva određena prozirna sredstva konstantan je broj i naziva se relativni indeks loma n_{12} . Kada zraka svjetlosti upada na graničnu plovu iz optički gušćeg sredstva u optički rjeđe ona se lomi od okomice na graničnu plovu. Ako se upadni kut povećava dolazimo do graničnog (kritičnog) kuta upada koji iznosi 90° . Iz Snellovog zakona dobiva se $\sin \alpha_g = n_{12}$. Ako se upadni kut još više povećava dolazi do potpune refleksije koja se koristi u svjetlovodima i prikazana je na slici 4.3.

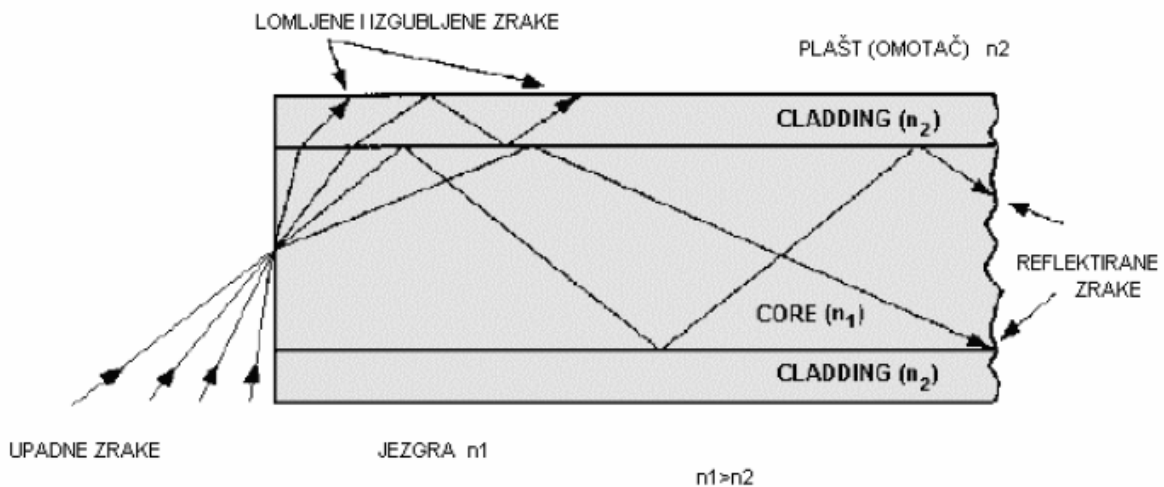


Slika 4.3. Totalna refleksija

Izgled svjetlovoda prikazan je na slici 4.4., a kako su ova dva zakona fizike primijenjena u njemu prikazuje slika 4.5.



Slika 4.4. Izgled svjetlovoda



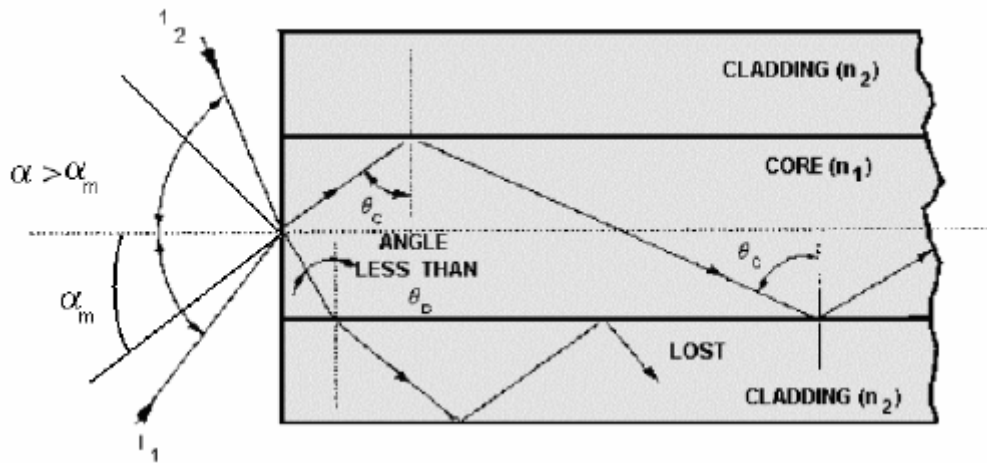
Slika 4.5. Prolazak zrake kroz svjetlovod

Svjetlovod se sastoji od jezgre i omotača. Jezgra ima veći indeks loma svjetlosti od omotača. Prilikom upada zrake na jezgru dolazi do prvog lomljenja zrake, a kad zraka stigne na granicu jezgra-omotač ona se reflektira zbog snellovog zakona, pri tome je kut upada jednak kutu odbijanja zbog zakona refleksije. Pri tome je važno da je kut upada na granicu dvaju sredstava veći od kritičnog. Na taj način svjetlost nastavlja putovati kroz svjetlovod. U slučaju idealnog svjetlovoda, zraka bi nastavila beskonačno dugo putovati kroz svjetlovod, međutim zbog nečistoća koje postoje u svjetlovodu dolazi do loma zrake i dio zrake se gubi u omotaču kao što prikazuje slika 4.5. Zraka se prigušuje i nakon nekog vremena potpuno gubi. Zbog toga je neophodno postavljanje optičkih pojačala koja će obnoviti (pojačati) oslabljenu zraku da bi ona mogla dalje putovati svjetlovodom. Još jedno fizikalno ograničenje postoji na svjetlovodu, a to je veličina numeričkog otvora (NA – *Numerical Aperature*). Numerički otvor također određuje i maksimalni kut upada koji je određen kritičnim kutom refleksije. Numerički otvor je mjera koja pokazuje koliko svjetlosti možemo spregnuti u svjetlovod, a izravno utječe na broj modova koje možemo koristiti u radu. Numerički otvor određuje sljedeća relacija :

$$NA = n_0 \sin \alpha_m = (2n\Delta n)^{\frac{1}{2}}, \quad n = \frac{n_1 + n_2}{2}, \quad \Delta n = n_1 - n_2, \quad n_0 = \text{vanjski medij}.$$

Slikom 4.6. prikazan je maksimalni kut pod kojim može svjetlost upadati u svjetlovod koji definira veličinu numeričkog otvora te što se dogodi kad je upadni kut veći od

maksimalnog. Tipične vrijednosti NA za staklena optička vlakna iznosi od 0.20 do 0.29, dok za optička vlakna od plastične mase može biti i veći od 0.5. Relacije kojima je opisano zarobljavanje svjetlosti unutar ravne staklene plohe izveo je Augustine-Jean Fresnel još 1820. godine. [31]



Slika 4.6. Kritični, maksimalni kut upada – numerički otvor

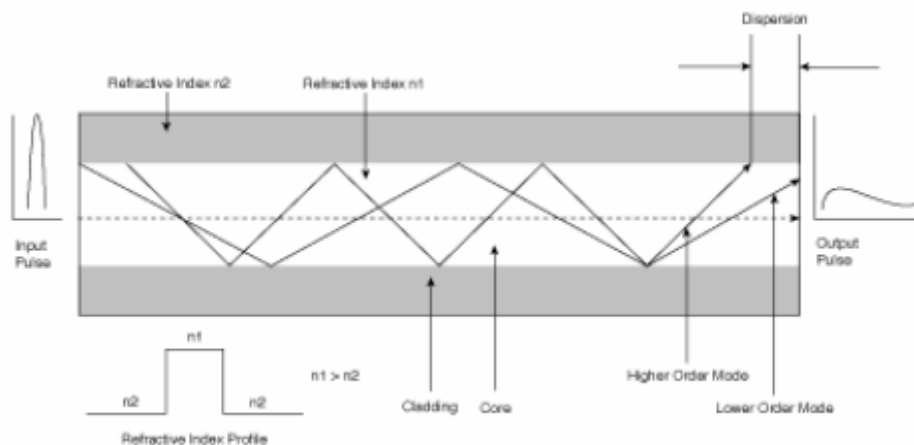
4.3. PODIJELA SVJETLOVODA

Podjelu svjetlovoda možemo vršiti s obzirom na različite aspekte. Svjetlovodi se međusobno razlikuju prema vrsti materijala od kojih je izrađena jezgra i omotač (plašt). Prema promjeni indeksa loma te broju modova koji koristi svjetlovode dijelimo na jednomodne i višmodene koji mogu biti sa stepeničastim ili gradijentnim indeksom loma. Također vršimo podjelu prema optičkom prozoru koji koriste svjetlovodi s obzirom na gušenje i valnu duljinu koju koriste za prijenos. [31]

4.3.1 PODIJELA PREMA MODU RADA I INDEKSU LOMA

Budući da svjetlovodi koriste refleksiju za prijenos svjetlosti, prilikom refleksije zrake i vraćanja natrag kroz centar svjetlovoda javljaju se polja različitih energija koje se mogu opisati diskretnim skupom elektromagnetskih valova. Ta diskretna polja predstavljaju modove rada. Broj modova rada optičkog vlakna ovisi o numeričkom otvoru, valnoj dužini na kojoj rade i promjeru jezgre svjetlovoda. Njihov odnos daje sljedeću relaciju: $V = \frac{2\pi NAa}{\lambda}$, gdje je NA - numerički otvor, a – promjer jezgre i λ - valna duljina zrake. Broj V naziva se normalizirani frekvencijski parametar. Odnosno

ta formula može se zapisati i drugačije: $V = 2.405\sqrt{1 + \frac{2}{\alpha}}$, gdje je α profil indeksa loma. S obzirom na α koji može biti beskonačan – stepeničasti indeks loma ili 2 – gradijentni indeks loma, V može biti veći od 2,045 pa govorimo o višemodnom svjetlovodu ili manji od 2,405 pa govorimo od jednomodnom svjetlovodu. Pojam stepeničasti i gradijentni indeks loma odnosi se na to kako se mijenja indeks loma svjetlosti od centra jezgre svjetlovoda do omotača (plašta). Na slici 4.7. je prikazan višemodni svjetlovod sa stepeničastim indeksom loma.



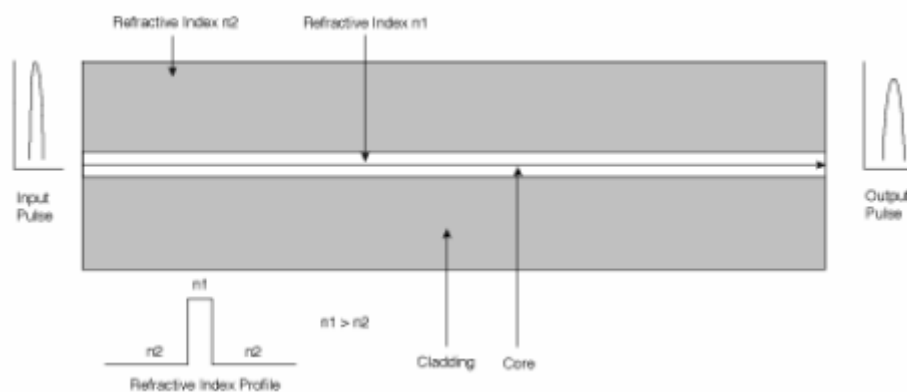
Slika 4.7. Višemodni svjetlovod sa stepeničastim indeksom loma

Svjetlovod je karakteriziran promjerom jezgre koja je usporediva s promjerom omotača te je promjer jezgre puno veći od valne duljine zrake koju prenosi svjetlovod. Također imamo diskontinuitet (stepenicu) u prijelazu indeksa loma na granici jezgra - omotač. Posljedica toga je što ulaskom zrake u svjetlovod, svjetlost se rasipa u više zraka to jest modova koji propagiraju s jednog kraja kabela na drugi.

Najniži modovi putuju uzduž osi optičkog kabela. Viši modovi vide se kao zrake koje se reflektiraju pri čemu porastom moda rada raste i razmak između točaka u kojima se dogodila refleksija. Na slici 4.7. je prikazan i ulazni i izlazni impuls. Vidimo da je izlazni signal različit u odnosu na ulazni. Izlazni signal je prigušen (atenuiran) te je proširen odnosno dogodilo se raspršenje. Razlog prigušenja je što je polje na granici gdje se događa refleksija eksponencijalno opadajuće te zrake imaju tendenciju prolaska u plašt prilikom refleksije. Pri tome se disipira toplina i snaga zrake opada pa je izlazni signal atenuiran. Razlog u kromatskom rasipanju impulsa leži u tome da svi modovi ne prolaze isti put prilikom refleksije. Najniži mod prolazi najkraći put, a najviši najduži put. To ima za posljedicu da sve zrake ne stignu u isto vrijeme na kraj svjetlovoda pa kada se spoje u jednu dobijemo vremensku disperziju.

Svjetlovodni kabeli koji rade u višem modu i imaju stepeničasti indeks loma karakteriziran većim gušenjem (ovisi o vrsti optičkog prozora koji koriste) te vremensku disperziju pa se koriste za povezivanje do 5km. Može biti napravljen od stakla, plastične mase ili PSC (eng. plastic-clad silica) – plastična masa pojačana s silicijem. Jezgra svjetlovoda je dimenzija 50/125 μm ili 62,5/125 μm pri čemu jezgra promjera 50 μm može propagirati samo 300 modova dok jezgra promjera 62,5 μm propagira i do 1100 modova. Svjetlovod od 50 μm sa optičkim prozorom, tj. valnom duljinom zrake od 850nm podržava brzinu prijenosa do 1Gbps na udaljenosti do 1km, a 62,5 μm samo 275m. Nadalje MMF 50 μm podržava 10Gbps do 300m nasuprot 62,5 μm koji podržava istu brzinu samo na 33m. MMF svjetlovođe karakterizira još i niska cijena.

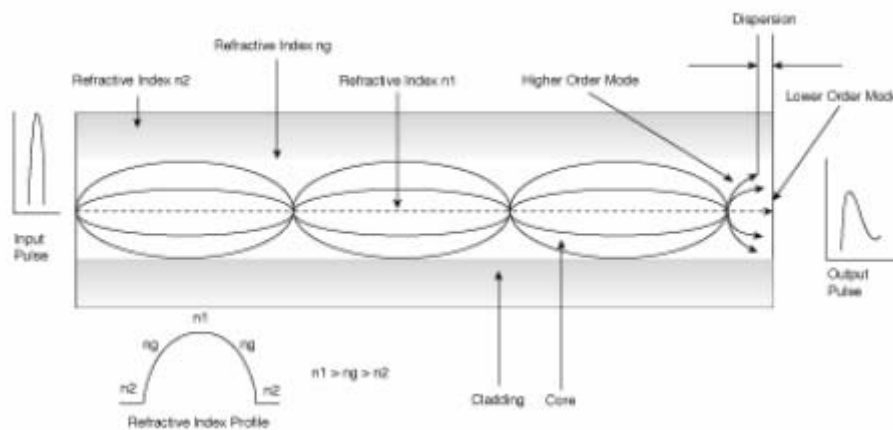
Karakteristika SMF svjetlovoda je da ima jezgru promjera puno manjeg nego što je omotač te je valna duljina zrake usporediva s promjerom jezgre. Zbog tako malog promjera jezgre, ulaskom zrake u svjetlovod ne dolazi do razdvajanja zraka. Svjetlost se propagira s jednog kraja svjetlovoda na drugi samo putem jedne zrake koja se giba centralnom osi. Kažemo da svjetlovod radi u najnižem modu. Zbog toga se i zove jednomodni svjetlovod. Viši modovi se ne pojavljuju pa ova vrsta svjetlovoda nema gubitaka zbog zagrijavanja i nema rasipanja u vremenu zbog različitog prolaska puta zrake. Na slici 4.8. prikazan je jednomodni svjetlovod.



Slika 4.8. Jednomodni svjetlovod sa stepeničastim indeksom loma

Međutim za SMF svjetlovođe karakterističan je pojam „cutoff wavelength“- kritična valna dužina. Kritična valna dužina je najmanja valna dužina koja se generira prilikom propagacije u osnovnom modu. Na toj kritičnoj valnoj duljini javlja se drugi mod rada koji se propagira kroz plašt i uzrokuje gubitke. Kako se valna duljina rada svjetlovoda povećava u odnosu na kritičnu počinju se javljati gubitci osnovnog moda i

sve se više energije prenosi kroz plašt. Posljedica tom je malo prigušenje izlaznog impulsa i vremensko rasipanje. Zbog malog rasipanja impulsa u vremenskoj domeni, u frekvencijskoj domeni imamo veću širinu pojasa. SMF svjetlovodi imaju jezgru promjera od 8 do 10 μm i promjer plašta 125 μm . Izrađuju se samo od silicijskog stakla jer plastika ne dolazi u obzir zbog malog promjera jezgre. Pri izradi se koristi vanjska depozicija naporavanja (OVD – outside vapor deposition). SMF su skupi te se koriste za povezivanje globalnih mreža gdje je potrebna velika brzina i kapacitet prijenosa podataka. Također jednomodni svjetlovod može biti i sa gradijentnim indeksom loma ili dvostrukim indeksom loma, to jest ima još jedan plašt oko prvog pašta. Bez obzira na indeks loma SMF svjetlovodi imaju brzinu prijenosa podataka i do 50 puta veću od MMF svjetlovoda te su najkvalitetniji!



Slika 4.9. Višemodni svjetlovod sa gradijentnim indeksom loma

Ovaj tip svjetlovoda ima indeks loma koji se mijenja po paraboli ako idemo od centra jezgre prema njenom kraju, to jest prema plaštu. Viši modovi kod ovog svjetlovoda su ograničeni, pa je ograničeno i prigušenje. Modovi se mijenjaju kako se mijenja gradijent indeksa loma. Vremenska disperzija također postoji, ali kako su viši modovi ograničeni tako su gušenje i disperzija ograničeni. Prema svom iznosu padaju između prva dva svjetlovoda. Izlazni impuls je prigušeni vremenski razvučen, ali ne kao kod stepeničastog indeksa loma višemodnog svjetlovoda. Po cijeni je također negdje između cijene prva dva svjetlovoda. Promjer jezgre može biti 50, 62,5 i 85 μm uz plašt od 125 μm . Najčešće se koristi i najrašireniji je 62,5/125 μm . Ovaj tip svjetlovoda se pretežno izrađuje od stakla. [31]

4.3.2. PODJELA PREMA JEZGRI, PLAŠTU I ZAŠTITNOM PLAŠTU

U procesu izrade jezgra i plašt se izrađuju kao jedno tijelo s tim da postoje razlike u sastavu i indeksu loma. Proces izrade je kemijski kontroliran proces i jezgra se obično izrađuje s 0.5 – 2% većim indeksom loma od omotača. Treći sloj je drugi omotač koji ne smije biti optički vodljiv. Zaštitni omotač obično se izrađuje od visokoperformirane plastike(PVC), višeslojnih polimera, i tvrdih neporoznih elastomera.

Prilikom spajanja na konektore odnosno terminale taj dio se uklanja. Promjer vanjskog zaštitnog plašta je tipično 250 μm i 900 μm . Zaštitni plašt se naziva još i primarnim i nanosi se ekstruzijom nakon izvlačenja svjetlovoda. Postoji još i sekundarni plašt koji služi za dodatnu mehaničku zaštitu optičkog vlakna te za zaštitu

od vlage i raznih kemikalija. Sastoji se od relativno debelog sloja neke plastične mase, koji se nanosi na vlakno s primarnom zaštitom tijesno (TIGHT) ili labavo (LOOS), s punjenjem posebnom masom ili bez punjenja. Biti će prikazan kod same izvedbe kabela.

Jezgra i plašt mogu biti izrađeni tako da su oboje od silicijskog, kvarcnog stakla (SiO_2), oboje od višekomponentnog stakla koji je smjesa SiO_2 s kovinskim, alkalnim i zemnoalkalnim oksidima, onda jezgra može biti napravljena od kvarcnog stakla, a odrazni plašt od PSC – plastična masa ojačana silicijem. Također oboje mogu biti izrađeni od plastičnih masa – polimera. O materijalima od kojih su izrađeni plašt i jezgra ovisi koliko će biti raspršenje koje ovisi o plaštu i apsorpcija koja ovisi o čistoći molekula nečistoća.



Slika 4.10. Silicijev dioksid – kvarc

Najrašireniji svjetlovodi su s jezgrom od stakla. Odlikuje ga mala atenuacija je to ultra čisto i ultra prozirni silicijski dioksid SiO_2 ili lijevani kvarc. Ponekad se u kemijskom procesu dodaju bor i fluor da se smanji stupanj lomljenja zrake, ili germanij, titan ili fosfor da se poveća stupanj refrakcije. Naravno da se njihovim dodavanjem poveća atenuacija, apsorpcija ili raspršenje. Ovi svjetlovodi imaju višu cijenu.

Svjetlovodi od plastičnih masa imaju najveću atenuaciju i dosta su velikih dimenzija. Budući da su jeftiniji obično se koriste u industrijskim postrojenjima, ali imaju negativno svojstvo da su zapaljivi pa se provlače kroz temperaturno izolirane cijevi. Tipičnih dimenzija su od 480/500, 735/750, i 980/1000 μm . Jezgra obično ima materijal „PMMA – polymethylmethacrylate“ poli-metil-meta-akril, dok plašt ima fluoropolimer.

Zadnji materijal je PSC koji je smjesa plastike i silicija, tj. može se reći da je to poboljšani svjetlovod od plastične mase. Po svojstvima koji karakteriziraju svjetlovod spada između prve dvije skupine. Obično je jezgra staklena, a plašt od polimera. Budući da je plašt od polimera stvaraju se problemi oko spajanja na konektore, nije moguće varenje na klasičan način kako se inače spajaju stakleni svjetlovodi i nije topiv u organskim otapalima. [31]

4.4. KARAKTERISTIKE SVJETLOVODA

Sustavi temeljeni na svjetlovodima imaju mnoge prednosti u odnosu na sustave bazirane na bakrenom vodiču. Te prednosti su interferencija, prigušenje i širina pojasa. Osim toga zbog malog presjeka jezgre javlja se stanoviti kapacitet svjetlovoda. Karakteristike svjetlovoda možemo podijeliti na nelinearne i linearne. U linearne spadaju: prigušenje(atenuacija), kromatska disperzija(CD), polarizacijski mod disperzije (PMD), optički odnos signal - šum. Nelinearne pojave na svjetlovodu su sljedeće: vlastita modulacija faze(SPM – self – phase modulation), križna modulacija faze (XPM – cross – phase modulation), miješanje 4 vala (FWM – four – wave mixing), Ramanovo raspršenje (SRS – stimulated Raman scattering), Brillouinovo (SBS - stimulated Brillouin scattering) i Kerrov efekt.

4.4.1. INTERFERENCIJA

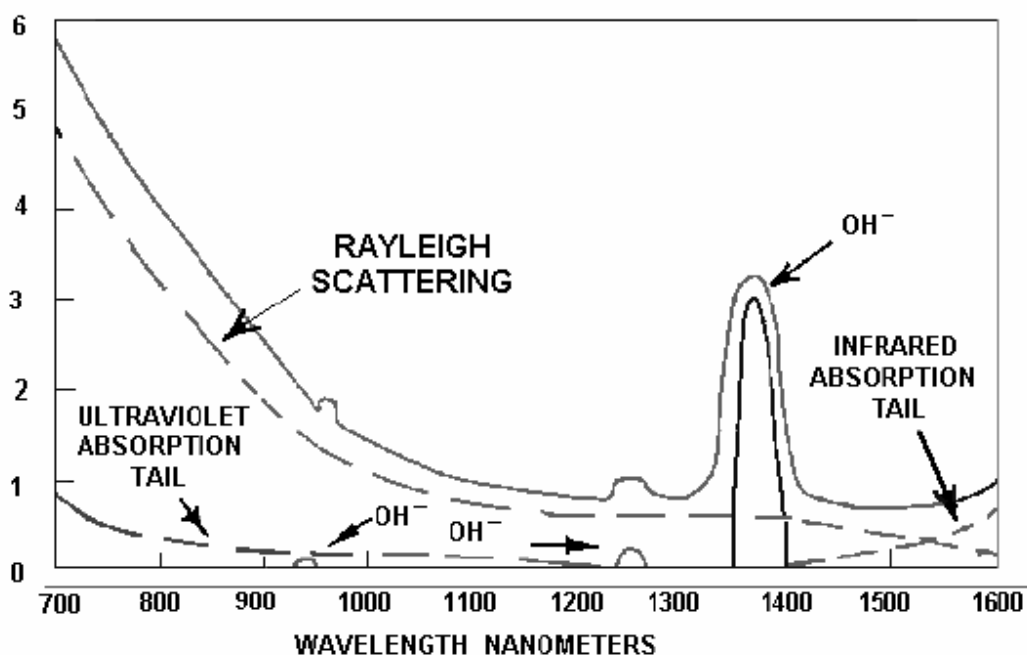
Svjetlo vodi su neosjetljivi na elektromagnetsku interferenciju (EMI) i radio – frekvencijsku interferenciju (RFI). Utjecaj svjetlosne interferencije i interferencije zbog visokog napona je također eliminiran. Pogodni su na mjestima gdje se javljaju smetnje zbog naponskih udara i smetnje generirane zbog elektrostatskog pražnjenja. Zbog toga se koriste u industriji i u mrežama biomedicine. [31]

4.4.2. PRIGUŠENJE

Optička snaga u svjetlovoda se transmisijom u svjetlovodnoj niti prigušuje eksponencijalno: $P(x) = P_0 e^{-\alpha x}$, gdje je α koeficijent prigušenja i izražava se u dB/km i pokazuje gubitke u dB po jednom kilometru.

Prigušenje u svjetlovodima nastaje zbog gubitaka, koji opet nastaju zbog raznih uzroka, a možemo ih podijeliti na vanjske i unutrašnje. Unutrašnji uzrok je postojanje inherentnih nečistoća koje onda uzrokuju apsorpciju svjetlosti u materijalu zbog interakcije fotona s molekularnim nečistoćama u staklu, premještanja elektrona, te prijelaza elektrona između energetske razina. Kada foton udari o nečistoću on će se raspršiti ili apsorbirati. Vanjski utjecaji su posljedica savijanja svjetlovoda pa se mijenja put koji zrake prolaze, što je naročito izraženo kod višemodnog svjetlovoda.

ATTENUATION dB/km

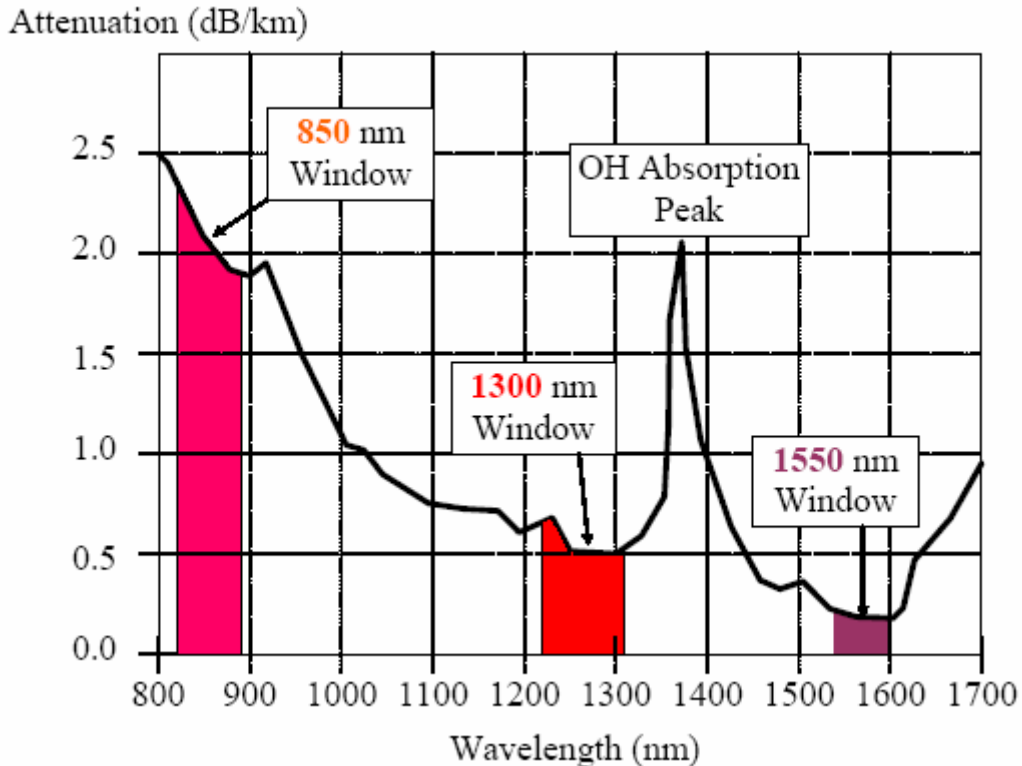


Slika 4.11. Prigušenje u ovisnosti o valnoj duljini

Na slici su prikazani svi faktori koji se zbrajaju i određuju ukupni faktor prigušenja. Gušenje kojem je uzrok raspršenje svjetlosti na nehomogenostima i nečistoćama u materijalu (scattering) koje postoje otprije ili nastaju za vrijeme proizvodnje svjetlovoda, kao pojava naziva se Rayleighovo raspršenje, a emitirana svjetlost Tyndallova svjetlost. To raspršenje proporcionalno je sa λ^{-4} . Faktoru prigušenja najviše doprinosi koeficijent prigušenja zbog Rayleighovog raspršenja čak 96%. Ono je posebno izraženo od 700nm do 1000nm s tim da prema većim valnim duljinama opada. Međutim na većim valnim duljinama smo ograničeni s infracrvenom svjetlošću, to jest imamo infracrvenu apsorpciju. Nadalje ispod 800nm počinje rasti utjecaj ultraljubičastog zračenja. Ekstremi koji su dobiveni na rezultatnoj krivulji posljedica su postojanja hidroksilnih molekula OH⁻ koje su posljedica vlage. Uzrokuju jako rezonantno gušenje, a ne mogu se u potpunosti izbjeći proizvodnim procesom. Osnovni mod im je na 2.73 μ m, a viši harmonici su na 950nm, 1250nm, 1380nm, Postojanje vlage kritično je na spojevima i konektorima te kod upotrebe svjetlovoda potrebno je paziti da ne dođe vlaga u optičaj s vlaknom, jer ako vlaga uđe, poveća se gušenje. Na temelju slike 4.18. također se može zaključiti da valovi veće valne duljine imaju manje gušenje od kratkih valova. Sve ispod 800nm postaje neupotrebljivo. Isto tako vidimo na slici najpovoljnije valne duljine na kojima je ukupno gušenje najmanje.

Zbog toga su konstruirana tri optička prozora koja se koriste u svjetlovodima:

- na oko 850 nm (I. prozor)
- na oko 1300 nm (II. prozor)
- na oko 1550 nm (III. prozor).



Slika 4.12. Optički prozori

Minimum prigušenja za prvi prozor iznosi oko 2 dB/km, za drugi 0,5 dB/km, i za treći 0,2dB/km. Danas su već proizvedena vlakna s prigušenjem koje se bliži teoretskom, pa se danas pojavljuju nova optička vlakna koja mogu imati i više od 3 prozora jer je smanjeno prigušenje. U praksi je u početku najviše korišten I. prozor, iako to nije optimalno rješenje, ali je bilo uvjetovano početnim teškoćama u realizaciji izvora svjetlosti, a danas se koristi prvenstveno zbog jeftine realizacije izvora svjetlosti iako je na 1. prozoru najveće gušenje. Danas se koriste uglavnom II. i III. prozor.

Raspršenje svjetlosti zbog nepravilnosti u geometriji (npr. promjer jezgre) i raspršenje svjetlosti na zakrivljenjima (obično zanemarivo, ali pri malim polumjerima zakrivljenja naglo raste) također utječu na gušenje svjetlosti u svjetlovodu. Gušenju još doprinosi i raspršenje svjetlosti na spojevima pri nastavljanju svjetlovoda, odnosno njihovog priključka na izvor ili detektor svjetlosti. Pritom izravno utječu razlike u numeričkim otvorima i promjerima vlakana, udaljenosti vlakana te pomaku osi, bočnom i kutnom.

Prigušenje svjetlovoda ovisi u prvom redu o vrsti materijala. Najmanje prigušenje ima kvarcno staklo (0.5-2 dB/km), nešto lošije je silikatno staklo (5-10 dB/km), dok su plastične mase znatno lošije. Dalje prigušenje svjetlovoda ovisi o vrsti tih vlakana. Monomodna vlakna imaju najmanje prigušenje (0.3-1 dB/km), nešto su lošija multimodna vlakna s gradijentnom promjenom indeksa loma (1-5 dB/km), a najlošija su multimodna vlakna sa skokovitom promjenom indeksa loma (5-10 dB/km). Na kraju, prigušenje ovisi i o valnoj dužini svjetlosti koja se koristi za prijenos. [31]

4.4.3. DISPERZIJA

Disperzija je pojava, da se impulsi svjetlosti pri prijenosu po svjetlovodu proširuju, pa na taj način ograničuju širinu propusnog opsega. Ukupna disperzija posljedica je dvije vrste disperzija, i to kromatska koja ne ovisi o λ , a može biti materijalna i valovodna, te nekromatske koja je ovisna o λ , a može biti međumodna i polarizacijska.

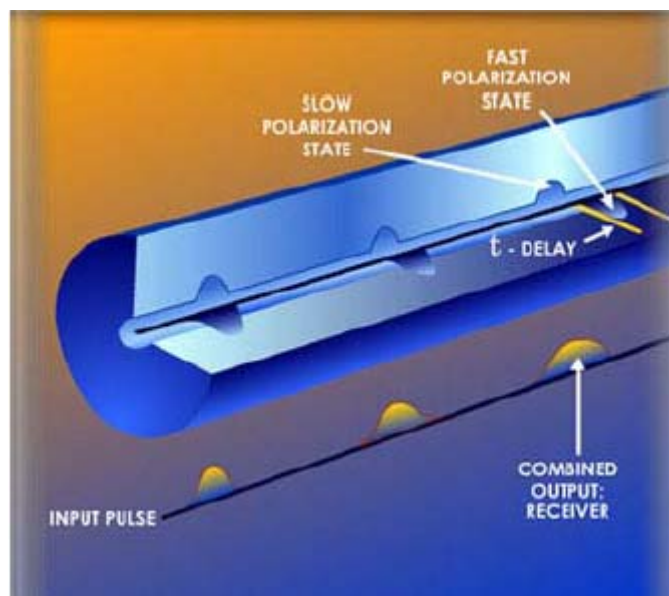
1. Disperzija materijala je kromatska disperzija koja nastaje zato što indeks loma materijala zavisi od frekvencije (valne duljine), zbog čega pojedini elementarni pojasevi prenašanog spektra stižu na kraj linije s različitim vremenskim zakašnjenjem, posljedica čega je proširenje impulsa. Veličina te disperzije za pojedine vrste svjetlovoda je sljedeća:

- za svjetlovođe sa skokovitim promjenom indeksa loma: 2-5 ns/km
- za svjetlovođe s kontinuiranom promjenom indeksa loma: 0,1-2 ns/km.

2. Multimodna ili intermodna disperzija (nekromatske) koja nastaje zato što različiti modovi imaju različite grupne fazne brzine i zato dolaze na kraj linije s različitim vremenskim zakašnjenjem, posljedica čega je proširenje impulsa. Veličina te disperzije za pojedine vrste svjetlovoda je sljedeća:

- za multimodne svjetlovođe sa skokovitim promjenom indeksa loma <20 ns/km
- za multimodne svjetlovođe s kontinuiranom promjenom indeksa loma <50 ps/km
- za monomodne svjetlovođe sa skokovitim promjenom indeksa loma 0 (međusobna kompenzacija).

3. Polarizacijska disperzija nekromatska koja nastaje zbog toga što jezgra svjetlovoda nije idealni valjak nego je malo eliptičan. To je posebno karakteristično za jednomodne svjetlovođe čija se zraka širi središtem vlakna s dva ortogonalna polarizacijska moda x i y. Zbog toga se javljaju promjene u indeksu loma za ta dva stanja polarizacije. To uzrokuje pomak u vremenu te dvije osi odnosno javlja se diferencijalan grupna brzina (DGV) što uzrokuje proširenje impulsa. Obično se DGV izražava u ps. Polarizacijska disperzija (PDM) nije značajna kod niskog BER-a, ali postaje utjecajna kod visokog BER-a, iznad 5 Gbps.



Slika 4.13. Polarizacijska disperzija

Zbog efekta polarizacijske disperzija obično se za rezervu uzima 0.5dB snage više od planirane. [31]

4.4.4. ŠIRINA PROPUSNOG POJASA

Širina propusnog opsega svjetlovoda određena je područjem frekvencija, u kome se amplituda impulsa ne smanji više od polovine. To odgovara sniženju razine optičke snage signala za 3 dB ili smanjenju razine električnog signala na izlazu detektora za 6dB. Širina propusnog opsega je usko povezana s disperzijom i za pojedine vrste svjetlovoda iznosi:

- multimodni, sa skokovitom promjenom indeksa loma - desetine MHz \cdot km
- multimodni, s kontinuiranom promjenom indeksa loma - stotine MHz \cdot km
- monomodni, sa skokovitom promjenom indeksa loma - tisuće MHz \cdot km.

Taj produkt definira moguće duljine kvalitetnog prijenosa po svjetlovodu.

Primjerice, svjetlovod s produktom 200 MHz \cdot km dopušta korištenje signala 200 MHz 1 km ili 400 MHz - 0,5 km ili 100 MHz - 2 km. [31]

4.4.5. NELINEARNI OPTIČKI EFEKTI

Kod vlastite modulacije faze imamo promjenu faze uslijed puta signala svjetlovodom i nelinearnog širenje impulsa. Ovaj efekt raste s porastom snage signala. Križna modulacija je posljedica zbirnog efekta koji se javlja u sustavima s više valnih duljina u jednom svjetlovodu. Svaka pojedina valna duljina ne uzrokuje modulaciju faze jer im je mala snaga, ali ako se one pribroje jedna drugoj onda efekt postaje značajan. Miješanje 4 vala nastaje zbog toga što je efekt nelinearan pa ne vrijedi princip superpozicije. Posljedica je generiranje novih nosioca. Karakteristično je kod WDM sustava to jest sustav s multipleksiranjem valne duljine – više valnih duljina u

svjetlovodu. Efekt se javlja smanjenjem razmaka između pojedinih kanala i podizanjem snage. Ramannovo raspršenje je neelastično raspršenje kod kojeg se dio optičke energije pretvara u druge oblike energije. To možemo promatrati kao jednu vrstu Dopplerovog efekta. Nelinearna raspršenja su puno slabija od linearnih, na primjer Rayleighovog. Ovaj efekt povećava amplitudu zraka manjih valnih duljina, dok veće valne duljine slabe. Brillouinovo raspršenje je pojava akustičke interakcije fotona i medija. U prvom koraku prisutno električno polje će uzrokovati pomicanje molekula, mijenjanjem indeksa loma i generiranjem akustičkog vala. U drugom koraku događa se raspršenje na periodičkoj rešetki (primamo periodičku varijaciju loma). Kerrov efekt ima za posljedicu izobličenja atoma i molekula pod utjecajem električnog polja. Prvi nelinearni efekti javljaju se pri snagama manjim od 20 mW. [31]

5. USPOREDBA UDŽBENIKA ZA OSNOVNU I SREDNJU ŠKOLU

5.1 OSNOVNA ŠKOLA

Osnovna škola predstavlja obveznu razinu odgoja i obrazovanja, kojoj je funkcija osiguravanje stjecanja širokog *općeg* odgoja i obrazovanja. S općim obrazovanjem učenici dobivaju temeljna znanja potrebna čovjeku za život, otvara im se mogućnost daljnjeg školovanja, postiže se jednakost odgojno – obrazovnih mogućnosti, a s obvezom pohađanja osnovne škole sprječava se njihovo odgojno – obrazovno diskriminiranje i marginalizacija. Osnovna razina odgoja i obrazovanja odnosi se na poučavanje učenika onim znanjima i na razumijevanje onih kompetencija koje će im biti potrebne obnašanje različitih uloga u odrasloj dobi. Učenike treba osposobiti za razumijevanje i otkrivanje svijeta u kojem žive, razumijevanje prošlosti i sadašnjosti, za razumijevanje prirode i društva, ljudskom stvaralaštvu, materijalnim i duhovnim vrijednostima, te međuljudskim odnosima. *Od škole se očekuje da učenika nauči učiti.*

Razvoj stavova, mišljenja, motivacija i volje sastavni je dio poučavanja i učenja u osnovnoj školi. Osobne i društvene vrijednosti ispunjavaju život svakog čovjeka. Učenike valja poučavati društveno prihvatljivim vrijednostima. U tom smislu od škole se očekuje promišljanje o vrijednostima i dugoročnim odgojno – obrazovnim ciljevima te djelovanje u skladu sa zajednički usuglašenim društveno – kulturnim vrijednostima i odgojno – obrazovnim ciljevima.

Ciljevi odgoja i obrazovanja u osnovnim školama su:

- Osigurati sustavan način učenja o svijetu, prirodi, društvu, ljudskim dostignućima, o drugima i sebi.
- Poticati i kontinuirano unaprjeđivati intelektualni, tjelesni, estetski, društveni, moralni, duhovni razvoj učenika u skladu s njegovim sposobnostima i sklonostima.
- Osposobiti učenika za učenje, naučiti ih kako da uče i pomoći im u učenju.
- Stvoriti mogućnost da svako dijete uči i bude uspješno.
- Pripremiti učenike za mogućnosti i iskušenja koja ih čekaju u životu.
- Poučiti učenika vrijednostima dostojnih čovjeka.

Suvremeno društveno – kulturno okruženje pretpostavlja *odgoj i obrazovanje odgovorne, istinoljubive, tolerantne i solidarne osobe, osobe stvaralačkog duha, s dubokim osjećajem za očuvanje nacionalnih i kulturnih baština, te poštivanje vrijednosti drugih kultura i baština.*

HRVATSKI OBRAZOVNI NACIONALNI STANDARD (HNOS)

Stvaranje Hrvatskog nacionalnog standarda (u početku Kataloga znanja) započelo je s namjerom da se poboljšaju odgojno-obrazovna postignuća učenika. Međutim, tijekom rada na dokumentu postalo je jasno da su poželjni odgojno-obrazovni učinci posljedica određenih pristupa i modela rada, te da je u cilju njihovog ostvarenja potrebno mijenjati pristup ili odgojnu paradigmu. Postojeću predavačku nastavu trebalo bi zamijeniti poučavanjem, a postojeću odgojnu paradigmu, koja odgovornost za neuspjeh pripisuje isključivo učenicima, treba zamijeniti onom koja odgovornost za ishod ravnomjerno raspoređuje na sve sudionike odgojno-obrazovnog procesa. To

nas vodi prema nekim od temeljnih odrednica odgojno – obrazovnog procesa i nastavnog rada prema HNOS – u.

Konceptualno unesena promjena u odgojno-obrazovnu i nastavnu djelatnost u školi odnosi se na usmjerenost poučavanja na učenike. Ona podrazumijeva:

- prilagođavanje nastavnih oblika, metoda i sredstava rada pojedinačnim potrebama učenika, kako bi se osiguralo odgojno-obrazovni uspjeh svakog učenika,
- odabir i primjenu nastavnih oblika, metoda i sredstava koji će poticajno djelovati na razvoj svih područja učenikove osobnosti
- uvažavanje učenikovih predznanja i neposrednoga iskustva
- planiranje i pripremu školskoga i nastavnoga rada prema sposobnostima učenika, stvarajući razlikovne sadržaje, diferencijalne djelatnosti, diferencijalno ustrojstvo i tempo nastave
- praćenje učenikovih područja interesa i uvođenje njemu primjerenih oblika poučavanja i učenja, koji će omogućiti aktivno, samostalno učenje i praktično djelovanje učenika
- uporaba primarnih izvora znanja, nastavnih sredstava i drugih izvora koji potiču promatranje, samostalno istraživanje, zaključivanje, znatiželju te učenje kako učiti
- stvaranje školskoga i razrednoga ozračja koje se temelji na međusobnom poštovanju, iskrenosti, razumijevanju i solidarnosti
- upućivanje na samostalno učenje kod kuće, upućivanje u tehnike uspješnog učenja i sustavno praćenje izradbe domaćih zadaća
- sustavno ocjenjivanje učenika, primjenjivanje različitih vrsta ocjenjivanja s obzirom na odgojno-obrazovne ciljeve, dosljedno pridržavanje standarda ocjenjivanja i redovito, razložno izvješćivanje o učenikovom napretku o učenju i razvoju
- uvođenje i praćenje samo ocjenjivanja učenika i međusobnoga vrjednovanja učenika u razredu
- redovito i trajnu suradnju s drugim učiteljima u obliku rasprava o povezanosti i postojanosti odgojno-obrazovnih sadržaja s drugim odgojno-obrazovnim područjima i/ili premetima, razmjene mišljenja o vrsnoći metoda i sredstava poučavanja, mogućnosti organizacije i dr., te poticanje profesionalnoga entuzijazma
- redovito i trajnu suradnju s roditeljima u smislu jasno podijeljene odgovornosti glede ostvarivanja ciljeva odgoja i obrazovanja u školi, odnosno u nastavi svakoga pojedinog predmeta
- razumljivu komunikaciju, dogovorena načela rada u školi, način praćenja učenikova rada kod kuće, i zahtijevanje dosljednosti u njihovu provođenju.

Nastava u osnovnoj školi se izvodi na temelju plana i programa kojeg propisuje ministarstvo obrazovanja i sporta, a ovjerava ga svojim potpisom ministar.

U ovom dijelu cilj mi je usporediti planove i programe te udžbenike po kojima se radi u osnovnoj školi, a tema usporedbe je elektromagnetski val. Pošto se elektromagnetski val uči i na tehničkoj kulturi usporediti ću planove i programe fizike i tehničke kulture te udžbenike iz fizike i tehničke kulture. Udžbenike također propisuje ministarstvo, a svaka škola je dužna odabrati dva od nekoliko ponuđenih.

Plan i program za tekuću školsku godinu predviđa izvedbu nastave fizike u 70 školskih sati godišnje, a to znači 2 sata tjedno. Fizika se u osnovnim školama radi u sedmom i osmom razredu. Tehnička kultura se radi u višim razredima osnovne škole to znači od petog do osmog razreda i to u 35 sati godišnje ili 1 sat tjedno.

Usporedba se nalazi u sljedećoj tablici.

Predmet	Godišnji broj sati/Broj sati tjedno	Broj sat u koje se obrađuje elektromagnetski val
Fizika	70/2	2
Tehnička kultura	35/1	7

Iz tablice vidimo da se elektromagnetski val više spominje na tehničkoj kulturi nego na fizici, naime na fizici je u novom planu i programu elektromagnetski val predviđen kao gradivo za one koji žele znati više i kao izborni sadržaj, a većina škola ne stigne realizirati ni osnovni plan pa izborne sadržaje preskaču. U sljedećoj tablici ću prikazati kroz koje teme se učenici uvode u proučavanje elektromagnetskog vala.

Predmet	Razred	Udžbenici	Teme	Broj sati
Fizika	Osmi	2	2	2
Tehnička kultura	Šesti i osmi	2 i 2	5 i 2	7

Iz tablice je vidljivo da se tema elektromagnetski val u tehničkoj kulturi spominje ili obrađuje u šestom i osmom razredu dok se na fizici spominje samo u osmom razredu. U većini škola se koristi jedan od sljedeća dva udžbenika tehničke kulture koje preporuča ministarstvo obrazovanja i sporta:

1. TEHNIČKA KULTURA 2, udžbenik za šesti razred osnovne škole, grupa autora: Josip Zdenko Hasenhörl, Renata Bradvica, Branka Hrpka, ALFA, Zagreb 2005.g. šesto izdanje.
2. TEHNIČKA KULTURA 2, udžbenik za šesti razred osnovne škole, autori: Božena Ratkaj i Marijan Vinković, PROFIL, Zagreb, 2005.g. peto izdanje.
3. TEHNIČKA KULTURA 4, udžbenik za osmi razred osnovne škole, grupa autora: Josip Zdenko Hasenhörl, Renata Bradvica, Branka Hrpka, ALFA, Zagreb 2004.g. peto izdanje.
4. TEHNIČKA KULTURA 4, udžbenik za osmi razred osnovne škole, autori: Božena Ratkaj i Marijan Vinković, PROFIL, Zagreb, 2005.g. peto izdanje.
5. FIZIKA 2, udžbenik za osmi razred, grupa autora: D.Roša, M.Roca, I.Matić, N.Jakuš, M.Varat, ALFA, Zagreb, 2002.g., drugo izdanje.
6. FIZIKA 2, udžbenik za osmi razred, grupa autora: M.Babić, Z.Beštak, I.Bolf, I.Cerovac, P.Dužević i M.Rajčić, PROFIL, Zagreb, 2002.g. četvrto izdanje.

Teme koje se obrađuju a odnose se na elektromagnetski val su u sljedećoj tablici.

Udžbenik	Tema	Broj stranice u udžbeniku
TEHNIČKA KULTURA 2, PROFIL	- Razvoj telegrafije i telefonije	75 – 84
	- Elektromagnetski valovi i satelitska komunikacija	84 – 87
	- Signali	69 – 72
TEHNIČKA KULTURA 2, ALFA	- Signali	43 – 44
	- Razvoj telegrafije	46 – 50
	- Satelitska komunikacija	50 - 52
TEHNIČKA KULTURA 4, ALFA	- Titrajni krugovi	49 – 52
	- Spajanje titrajnih krugova	
TEHNIČKA KULTURA 4, PROFIL	- Titrajni krugovi - Antena	70 – 74
FIZIKA 2, ALFA	- Svjetlost kao elektromagnetski val - Spektar elektromagnetskih valova	80 – 88
FIZIKA 2, PROFIL	- Svjetlost kao elektromagnetski val	134 – 137

Iz tablice je vidljivo da se elektromagnetskim valovima posvećuje više pažnje na tehničkoj kulturi nego na fizici, no to će isto promijeniti kroz nekoliko godina, jer uvođenjem HNOS – a u predmetu tehnička kultura došlo je do velikih promjena tako se više neće učiti povijest tehnologije već će se učiti tehnička pismenost. HNOS – om se vraćaju stari planovi i programi tehničke kulture po kojima se ponovo na tehničkoj kulturi uči izrađivati predmete od drva, metala, plastike, a također se uče i tehničko pismo, izrada raznih nacрта, te uvod u računalnu tehnologiju.

Vratimo se analizi tema u kojima se spominju elektromagnetski valovi, vidimo da udžbenici izdavačke kuće ALFA teme sa elektromagnetskim valovima spominju u šestom razredu na ukupno 9 stranica, dok u osmom razredu tu temu obrade na svega 3 stranice. PROFILOVI udžbenici na temu elektromagnetskih valova potroše u šestom razredu 15 stranica dok u osmom potroše svega 4 stranice na elektromagnetske valove. Teme koje se najčešće obrađuju su satelitska komunikacija, razvoj telegrafije i signali, na temi signali obrađuju se signali u prometu gdje se elektromagnetski val spominje kao nosilac signala.

U nastavu fizike HNOS također unosi velike promjene, naime škole bi trebale urediti kabinete za izvođenje nastave fizike. U planu je uvođenje problemske nastave, a to znači puno eksperimenata i rasprave s učenicima. HNOS svrstava temu elektromagnetskih valova u izborni sadržaj kojeg većina nastavnika ne obrađuje jer su u zaostatku sa gradivom tako da će rijetko koja škola obraditi neke od tema koje su ponuđene u udžbenicima. PROFILOV udžbenik ima samo jednu temu sa elektromagnetskim valovima i to svjetlost kao elektromagnetski val i ta tema zauzima

svoga 3 stranice u udžbeniku. Udžbenik izdavačke kuće ALFA nudi dvije teme i to svjetlost kao elektromagnetski val i spektar elektromagnetskog zračenja i te dvije teme obrađene su na ukupno 8 stranica.

Dakle, iz ovih činjenica možemo zaključiti da se u osnovnoj školi vrlo malo posvećuje pažnje elektromagnetskim valovima.

5.2. SREDNJA ŠKOLA

Srednje školstvo je djelatnost kojom se nakon završetka osnovnog školovanja omogućava stjecanje znanja i sposobnosti za rad i nastavak školovanja. Djelatnost srednjeg školstva obuhvaća različite vrste i oblike odgoja i obrazovanja, osposobljavanja i usavršavanja koji se ostvaruju u skladu s odredbama zakona o srednjoškolskom obrazovanju. Srednjoškolsko obrazovanje dostupno je svakome pod jednakim uvjetima, prema njegovim sposobnostima i mogućnostima, te ovisno o uspjehu u osnovno školskom obrazovanju. Srednjoškolsko obrazovanje dijeli se s obzirom na programe i izvedbene planove i programe.

Programi srednjeg školstva su:

- programi za stjecanje srednje školske spreme,
- programi za stjecanje srednje stručne spreme,
- programi za stjecanje niže stručne spreme i
- programi osposobljavanja i usavršavanja.

Programima za stjecanje srednje školske, srednje stručne spreme i niže stručne spreme stječu se znanja i sposobnosti za rad i nastavak školovanja. Programima osposobljavanja i usavršavanja dopunjuju se stečena znanja, sposobnosti i vještine za rad u struci. Programi srednjeg školstva ostvaruju se na osnovi nastavnog plana i programa.

Nastavnim planom i programom utvrđuju se svrha, ciljevi i zadaće programa, nastavni predmeti i sadržaji, trajanje i osnovni oblici izvođenja programa, godišnji i tjedni broj sati nastave, broj sati za svaki predmet, didaktički i drugi uvjeti za izvođenje nastavnog plana i programa.

Srednje škole, ovisno o vrsti nastavnog plana i programa su:

- gimnazije,
- strukovne škole,
- umjetničke škole.

Gimnazija izvodi nastavni plan i program u najmanje četverogodišnjem trajanju, čijim završavanjem učenik stječe srednju školsku spremu. Gimnazije su opće ili specijalizirane, što se određuje prema vrsti nastavnog plana i programa. Strukovna škola izvodi nastavni plan i program u trajanju od jedne do pet godina. Završavanjem strukovne srednje škole u najmanje trogodišnjem trajanju učenik stječe srednju stručnu spremu. Završavanjem strukovne škole u trajanju od jedne do dvije godine učenik stječe nižu stručnu spremu. Strukovne škole su tehničke, industrijske, obrtničke i druge, što se određuje prema vrsti nastavnog plana i programa.

Umjetnička škola izvodi nastavni plan i program u najmanje četverogodišnjem trajanju čijim završavanjem učenik stječe srednju stručnu spremu. Umjetničke škole su glazbene, plesne, likovne i druge, što se određuje prema vrsti nastavnog plana i programa.

Srednja škola na osnovi utvrđenog nastavnog plana i programa donosi godišnji plan i program rada.

Godišnji plan i program rada srednja škola donosi do 30. rujna za tekuću školsku godinu.

U srednjoj školi upotrebljavaju se udžbenici koje odobri ministar prosvjete i športa. Nastava se organizira po razredima a neposredno izvodi u razrednom odjelu i obrazovnoj grupi. Razredni odjel čini u pravilu do 30 učenika istog razreda. U pojedinim oblicima rada (vježbe, praktična nastava, rad s darovitim i učenicima s teškoćama u razvoju i sl.) razredni odjeli mogu se organizirati u obrazovne grupe. Način organiziranja nastave u obrtničkim školama i praktične nastave u strukovnim školama utvrđuje ministar.

Godišnji broj nastavnih sati može iznositi najviše 1.120 a tjedni 32 nastavna sata, osim u programima čiji se veći dio izvodi u obliku vježbi i praktične nastave. Dnevni broj sati nastave utvrđuje se rasporedom sati škole. Teorijska nastava ne može iznositi više od 6 sati dnevno. Nastavni sat traje 45 minuta. Sat praktične nastave traje 60 minuta ako se izvodi izvan škole.

Srednja škola obvezno otkriva, prati i potiče darovite učenike te organizira dodatni rad prema njihovim sklonostima, sposobnostima i interesima. Daroviti učenici mogu završiti obrazovanje u kraćem vremenu od propisanog.

Obrazovanje učenika s teškoćama u razvoju organizira se uz primjenu individualiziranih postupaka u srednjoj školi u redovitim ili posebnim razrednim odjelima i obrazovnim grupama. Učenici s većim teškoćama u razvoju obrazuju se u posebnim ustanovama. Posebne ustanove, programe, uvjete, način i postupak upisa i obrazovanja učenika s teškoćama i većim teškoćama u razvoju propisuje ministar. Srednja škola može obavljati provjeru vrijednosti novih obrazovnih sadržaja, oblika i metoda rada te nove nastavne opreme prema eksperimentalnom programu, kojeg odobrava ministar. Srednja škola može biti vježbaonica za studente nastavničkih fakulteta.

Svaka srednja škola mora imati statut. Statutom srednje škole uređuje se način obavljanja djelatnosti škole, djelokrug tijela upravljanja i stručnih tijela škole, te uređuju druga pitanja od značaja za djelatnost i poslovanje škole, u skladu s aktom o osnivanju škole i zakonom. Statut srednje škole donosi školski odbor.

Školski odbor:

- donosi godišnji plan i program rada i prati njegovo ostvarivanje,
- daje ravnatelju mišljenja i prijedloge o pitanjima od interesa za rad škole,
- obavlja druge poslove u skladu s aktom o osnivanju, statutom i zakonom.

U sljedećem dijelu malo ću se posvetiti učenicima. Status redovitog učenika stječe se upisom u srednju školu. Status redovitog učenika može se imati samo u jednoj srednjoj školi. Iznimno učenik koji je upisan u umjetničku srednju školu može se upisati u još jednu školu, ako ispuni uvjete za upis u obje škole. Pravo upisa u srednju školu imaju svi kandidati nakon završene osnovne škole pod jednakim uvjetima, u okviru broja utvrđenog odlukom o upisu. Redoviti učenici upisuju prvi razred u dobi do 17 godina, a iznimno do 18 godina uz odobrenje školskog odbora.

Izbor kandidata za upis zasniva se na:

- uspjehu u prethodnom obrazovanju i
- sklonosti i sposobnosti učenika, ovisno o vrsti srednje škole.

Redoviti učenik može tijekom školovanja promijeniti upisani program u pravilu nakon prvog razreda. Promjena programa može se uvjetovati polaganjem razlikovnih ili dopunskih ispita. Sadržaj razlikovnih, odnosno dopunskih ispita te način i rokove

njihovog polaganja utvrđuje nastavničko vijeće. Učenik koji je stekao nižu stručnu spremu ima pravo steći srednju školsku ili stručnu spremu nastavljanjem obrazovanja ili polaganjem ispita. Uspjeh redovitih učenika prati se i ocjenjuje tijekom nastave. Uspjeh učenika i zaključnu ocjenu za svaki predmet utvrđuje nastavnik javno u razrednom odjelu, odnosno obrazovnoj grupi na kraju polugodišta i školske godine na temelju praćenja i ocjenjivanja tijekom polugodišta, odnosno nastavne godine. Redoviti učenik programa za stjecanje srednje školske ili stručne spreme može tijekom savladavanja programa dva puta ponavljati razred. Isti razred može se ponavljati samo jedanput. Redoviti učenik programa za stjecanje niže stručne spreme može ponavljati razred samo jedanput. Uspjeh učenika iz pojedinih predmeta ocjenjuje se sa: odličan (5), vrlo dobar (4), dobar (3), dovoljan (2) i nedovoljan (1). Ocjene odličan, vrlo dobar, dobar i dovoljan su prolazne. Opći uspjeh učenika koji ima sve ocjene prolazne utvrđuje se srednjom ocjenom iz svih predmeta i to: s ocjenom odličan ako je srednja ocjena najmanje 4,50; s ocjenom vrlo dobar ako je srednja ocjena najmanje 3,50; s ocjenom dobar ako je srednja ocjena najmanje 2,50 i s ocjenom dovoljan ako je srednja ocjena najmanje 2,00, a opći uspjeh učenika kojem je na kraju nastavne godine zaključena ocjena nedovoljan iz tri i više predmeta, odnosno koji nije položio popravni ispit u propisanim rokovima, utvrđuje se ocjenom nedovoljan. Ocjene za vladanje učenika su uzorno, dobro i loše.

Redoviti učenici koji imaju status vrhunskog športaša ili su istaknuti umjetnici, mogu završiti srednju školu pohađanjem nastave ili polaganjem ispita u trajanju za polovinu duljem od propisanog trajanja upisanog programa.

Na kraju srednjoškolskog obrazovanja učenik polaže maturu ili završni ispit. Maturu polaže učenik gimnazije. Završni ispit polaže učenik strukovne i umjetničke škole. Učenici koji su tijekom cijelog srednjoškolskog obrazovanja postigli odličan uspjeh oslobađaju se polaganja mature, odnosno završnog ispita. Uvjete, način i postupak polaganja mature, odnosno završnog ispita propisuje ministar. Nastavnicima u srednjem školstvu jamči se sloboda pedagoškog rada i poučavanja u okviru utvrđenog nastavnog plana i programa. Nastavnici u srednjem školstvu jesu: profesori, stručni suradnici, stručni učitelji, odgajatelji i suradnici u nastavi. Za nastavnika može biti izabrana osoba koja pored općih uvjeta ima odgovarajuću stručnu spremu i pedagoško-psihološko obrazovanje prema odredbama zakona o srednjem školstvu. Profesori organiziraju i izvode teoretsku i praktičnu nastavu i vježbe; stručni suradnici organiziraju i obavljaju stručne poslove vezane uz rad srednje škole i učeničkog doma (pedagoške, psihološke, zdravstvene, defektološke, socijalne, knjižničarske, programerske i druge); stručni učitelji samostalno izvode vježbe i praktičnu nastavu; suradnici u nastavi sudjeluju u izvođenju vježbi i praktične nastave pod neposrednim rukovodstvom profesora i stručnog učitelja. Iznimno, stručni učitelji samostalno izvode i teoretsku nastavu ako je stručna sprema koju su postigli najviši stupanj obrazovanja u tom stručnom ili umjetničkom području i ako je to propisao ministar. U ovom uvodnom dijelu ovog poglavlja malo sam objasnio kako funkcionira i što je srednjoškolsko obrazovanje. U nastavku ću se posvetiti planovima i programima za izvođenje nastave fizike i to na temu elektromagnetskog vala. Već smo rekli da se prema planovima i programima srednje škole dijele na gimnazije i tehničke ili strukovne škole te umjetničke škole. Glede plana i programa nastave fizike u srednjim školama imam podjelu na dvogodišnji, trogodišnji i četverogodišnji plan i program. Inače je zamišljeno da fizika u četverogodišnjem planu i programu ide u 70 sati godišnje ili 2 sata tjedno, isto je iz dvogodišnji i trogodišnji program fizike. To je prikazano u tablici.

Plan i program	Broj sati godišnje	Broj sati tjedno	Broj sati vježbi tjedno
Četverogodišnji	70	2	0.2
Trogodišnji	70	2	-
Dvogodišnji	70	2	-

U tablici je još dodana kolona koja nam govori o broju sati vježbi tjedno, 0.2 sata tjedno znači da svaki mjesec u četverogodišnjem planu i programu imamo dva sat vježbi. U trogodišnjem i dvogodišnjem planu i programu nema vježbi zbog velikog obima gradiva, a malo vremena. Četverogodišnji plan fizike izvodi se samo u tehničkim školama i gimnazijama, a trogodišnji i dvogodišnji u strukovnim školama i umjetničkim školama. U sljedećoj tablici prikazati ću koliko od ukupnog broja sati otpada na teme iz elektromagnetskog zračenja.

Plan i program	Broj tema iz elektromagnetskog zračenja	Broj sati
Četverogodišnji	5	8
Trogodišnji	5	4
Dvogodišnji	5	5

U gimnaziji se elektromagnetsko zračenje uči u trećem razredu dok se u tehničkim školama ta tema obrađuje u četvrtom razredu, a u dvogodišnjem i trogodišnjem programu se ta tema obrađuje u drugom razredu. U sljedećoj tablici usporediti ću neke udžbenike iz fizike koje je ministarstvo preporučilo i odobrilo, te se po njima radi u srednjim školama. Uzeo sam dva udžbenika za gimnazije i dva za tehničke škole.

Udžbenici su:

1. FIZIKA 4, Vjera Lopac i Petar Kulušić, Školska knjiga, 7. izdanje, 2006.g.
2. FIZIKA 4, Rudolf Krsnik, Školska knjiga, 5. izdanje, 2004.g.
3. FIZIKA 2, dvogodišnji program, Željko Jakopović i Petar Kulušić, Školska knjiga, 2. izdanje, 2006.g.
4. FIZIKA TITRANJA, UVOD U KVANTNU FIZIKU, POLUVODIČI, Vladimir Paar, Školska knjiga, 3. izdanje, 1995.g.

U tablici ću prikazati koliko koji od udžbenika daje prostora elektromagnetskom zračenju.

Udžbenik	Tema	Broj stranica u udžbeniku
FIZIKA 4, Vjera Lopac i Petar Kulušić	Elektromagnetski valovi	13 – 23
	- Maxwellova teorija elektromagnetizma	13 – 15
	- Spektar elektromagnetskih valova	15 – 19
	- Energija i intenzitet elektromagnetskih valova	19 – 23
FIZIKA 4, Rudolf Krsnik	Elektromagnetski valovi	1 – 17
	- Maxwellova teorija elektromagnetizma	2 – 17
	- Brzina svjetlosti	17 – 20
FIZIKA 2, dvogodišnji program, Željko Jakopović i Petar Kulušić	Elektromagnetsko zračenje	89 – 105
	- elektromagnetski titraji	90 – 94
	- nastajanje elektromagnetskih valova	94 – 97
	- rasprostiranje elektromagnetskih valova i brzina svjetlosti	97 – 102
	- spektar elektromagnetskih valova	102 – 105
FIZIKA TITRANJA, UVOD U KVANTNU FIZIKU, POLUVODIČI, Vladimir Paar	Elektromagnetski valovi	30 – 34

Iz tablice je vidljivo da je u udžbeniku FIZIKA 4, Vjera Lopac i Petar Kulušić, tema elektromagnetsko zračenje obrađena na ukupno 10 stranica, a tema je podijeljena tri osnovna dijela od kojih je najvažnija tema spektar elektromagnetskog zračenja. U udžbeniku FIZIKA 4, Rudolf Krsnik, ta tema se obrađuje na 20 stranica, a sve je svedeno na dvije teme, to su Maxwellova teorija elektromagnetizma i elektromagnetsko zračenje. U udžbeniku za dvogodišnji program FIZIKA 2, Željko Jakopović i Petar Kulušić, tema elektromagnetsko zračenje obrađuje se na 16 stranica, a osim svjetlosti spominju se i titrajni krugovi, te nastajanje valova na prirodan način i na umjetan način. U posljednjem od udžbeniku kojeg sam uzeo za usporedbu, FIZIKA TITRANJA, UVOD U KVANTNU FIZIKU, POLUVODIČI, Vladimir Paar, tema elektromagnetski valovi se obrađuje na svega 4 stranice, no obrada je i u tako malo stranica dobro obrađena.

U tehničkim školama se osim na fizici tema elektromagnetskih valova obrađuje i na nekim drugim predmetima.

U ovom poglavlju može se vidjeti da **nakon analize udžbenika postoje jako dobri udžbenici koji temu elektromagnetskih valova obrađuju na dobar i učenicima razumljiv način, no isto tako postoje udžbenici koji ovu temu obrade površno i bez objašnjenja, te su nerazumljivi za učenike i predstavljaju problem u svladavanju gradiva.** Jedan od boljih udžbenika koje sam pogledao i kojeg bih svakako preporučio za srednje škole je udžbenik: "FIZIKA 4, Rudolf Krsnik, Školska knjiga, 2004.g.". Naime u ovom udžbeniku je tema o elektromagnetskim valovima obrađena na problemski način. Današnja nastava se pokušava izvoditi na problemski način, a sve manje se izvodi ex katedra nastava. Jedan od onih koje ne bih preporučio je udžbenik: "FIZIKA TITRANJA, UVOD U KVANTNU FIZIKU, POLUVODIČI, Vladimir Paar, Školska knjiga, 3. izdanje, 1995.g.". U ovom udžbeniku na temelju teme o elektromagnetskim valovima posvećeno je jako malo sadržaja, a i to je pisano za učenike kompliciranim jezikom te se stvara averzija učenika prema toj temi.

Proučavajući ovu temu i literaturu za diplomski primijetio sam da je **fizikalnih sadržaja na temu elektromagnetskih valova premalo s obzirom na zastupljenost ove teme u ostalim predmetima.** Istog sam mišljenja i sa stajališta informatičara, jer veći dio informatike i informatičkih uređaja funkcionira zbog postojanja elektromagnetskog zračenja i da nema elektromagnetskih valova ne bismo se mogli koristiti mobitelima, prijenosom informacija na daljinu te se ne bi mogli koristiti daljinskim uređajima. Slobodno možemo zaključiti da se razvoj današnje tehnologije zasniva na pojavi elektromagnetskog zračenja.

Pošto i sam radim u školstvu mogao sam se uvjeriti da **ne postoji korelacija među profesorima i predmetima pa bi se moglo zaključiti i ovim radom da je ministarstvo dobro obavilo vertikalnu sinkronizaciju, no na horizontalnoj nema suradnje pa učenici ne mogu povezati znanje stečeno na drugim predmetima sa onim znanjem koje bi trebali dobiti učenjem o ovoj temi na fizici.** Naime, na većini stručnih predmeta u strukovnim školama, posebice elektrotehničkim i računalnim smjerovima obrađuje se i tema elektromagnetskog vala i tako uče primjene elektromagnetskih valova u svakodnevnom životu.

Na kraju bih se želio osvrnuti na to da je **elektromagnetski val u današnje vrijeme važan ne samo kulturološki i sociološki, već i civilizacijski.** Naime u svim granama tehnike se koristi neki od oblika elektromagnetskog zračenja. Zahvaljujući elektromagnetskom zračenju razvija se radijska tehnika, televizijska tehnika, računalna tehnika. Možemo reći da se i medicina razvila zahvaljujući elektromagnetskom zračenju, kao i rendgenski uređaji, infracrvene kamere i dr. Sve nas ovo vodi na jedan od glavnih zaključaka diplomskog rada i ovog poglavlja, a to je da **s obzirom na to koliko je elektromagnetski val zastupljen u životu i znanosti, ova tema je premalo zastupljena u nastavi fizike.** U prvom dijelu ovog poglavlja to je i vidljivo, jer u osnovnoj školi se ova tema svrstava u izborni dio sadržaja, kojeg većina škola zbog opsežnosti gradiva i takvih planova i programa, ne stigne obraditi. Stoga sva znanja o ovoj temi koja dobiju učenici osnovnih škola dobiju na tehničkoj kulturi.

6. METODIČKI DIO

Nastavna jedinica: Titrajni krug - uvodno kvalitativno razmatranje

Trajanje: jedan školski sat

Razred: 3.

Škola: srednja strukovna škola

Cilj sata: učenici trebaju upoznati i kvalitativno objasniti pojavu električnih titraja u titrajnom krugu

Oblik nastave: interaktivna problemska nastava.

Ova tema se obrađuje u trećem razredu srednje strukovne škole. Po planu i programu za nju je predviđeno vrijeme od jednog školskog sata u razredima koji imaju fiziku po četverogodišnjem planu i programu.

Ovako kratko vrijeme nije dovoljno da bi učenici svladali ovaj dio gradiva pa se teme iz titrajnog kruga obrađuju u minimalno dva školska sata. Jedan školski sat je potreban da bi učenici kvalitativno opisali pojavu, dok bi drugi sat bio namijenjen kvantitativnoj analizi tj. izvodu izraza.

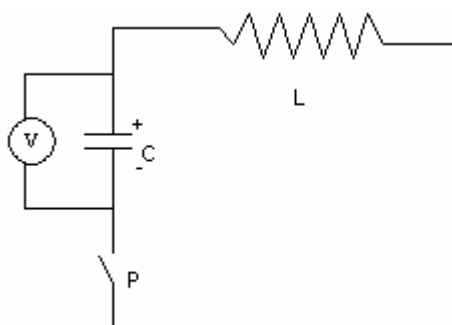
Za obradu ovog sadržaja učenici bi trebali koristiti prije stečena znanja iz mehanike, elektriciteta i magnetizma. Najvažnije teme koje bi trebali razumjeti su Faradayev zakon, Lenzovo pravilo, mehaničko titranje, pojam energije, kapaciteta, napona i potencijala. Učenici trebaju imati i neka predznanja iz matematike (trigonometrijske funkcije).

Još bih se u ovom uvodu osvrnuo na to zašto biram baš interaktivnu problemsku nastavu. Učenici se bolje motiviraju ukoliko nastava započne nekim problemom, a samim time se razvija i njihovo razmišljanje i kreativnost. U interaktivnoj nastavi do izražaja dolazi interakcija učenik – nastavnik, a isto tako i učenik – učenik. Naime, cilj nastavnika je da vodi raspravu o nekom problemu te usmjeri tu raspravu prema rješenju. Rasprava se vodi ciljanim pitanjima koja su jednostavna i vode rješenju problema.

TIJEK SATA

Uvodni pokus u razmatranja o titrajnom krugu:

U strujni krug spojimo zavojnicu induktiviteta L , kondenzator kapaciteta C , prekidač te školski voltmetar s nulom na sredini. Kondenzator je početno nabijen.



Slika 1. Shema pokusa s voltmetrom

Nastavnik: Što očekujete da će se desiti kad zatvorimo prekidač?

Veći dio učenika će vjerojatno odmah odgovoriti da će se kazaljka voltmetra vratiti na nulu. Poslije saslušanih mišljenja učenika izveo bih pokus, te nakon izvedenog pokusa postavio sljedeće pitanje.

N: Što ste opazili? Da li je to u skladu s vašim očekivanjima?

Očekujem da će mi učenici odgovoriti da su opazili kako kazaljka mijenja položaj oko ravnotežnog položaja, tj. oko nule, što nije u skladu s njihovim očekivanjima.

N: Možete li mi opisati gibanje kazaljke? Jesmo li već negdje sreli takvo gibanje?

Na ova pitanja očekivani odgovor bio bi da kazaljka titra, te da smo takvo gibanje sreli kod matematičkog njihala, a nazvali smo ga harmonijsko titranje.

N: Što mjeri voltmetar u ovom krugu?

Učenici bi trebali odgovoriti da pomoću voltmetra mjerimo napon na kondenzatoru.

N: Što se tijekom pokusa događalo s naponom na kondenzatoru?

Napon je od neke maksimalne vrijednosti došao na nulu, pa išao do negativne maksimalne vrijednosti, te ponovno došao do nule itd..

N: Što znači negativan napon kojeg pokazuje voltmetar?

Negativan napon kojeg pokazuje voltmetar znači da se kondenzator ponovo nabio, ali suprotnim polaritetom

N: Što se pri tom dešavalo s nabojem na kondenzatoru?

Očekujem da će kroz raspravu učenici doći do zaključka da se količina naboja na svakoj ploči kondenzatora periodički mijenjala između maksimalne pozitivne i negativne vrijednosti, što je analogno titranju.

N: Ovu periodičnu promjenu količine naboja na kondenzatoru nazivamo električnim titrajima. Strujni krug u kojem se javljaju električni titraji (LC krug) nazivamo titrajnim krugom.

N: Kako će se ponašati struja u krugu?

Veći dio učenika će odgovoriti da će se i struja periodično mijenjati.

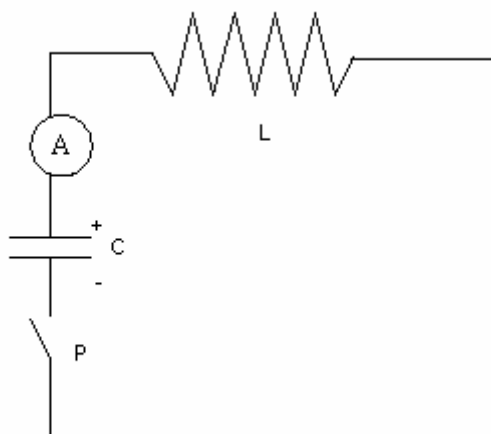
N: Kako to eksperimentalno provjeriti?

Spajanjem ampermetra u seriju sa zavojnicom.

N: Što očekujete da će se desiti s ampermetrom kad uključimo prekidač (slika 2)?

Očekujem da će veći dio učenika zaključiti da će kazaljka ampermetra titrati kao što se desilo s voltmetrom. Nakon saslušanih mišljenja učenika izveo bih pokus. U strujni krug spojimo zavojnicu, kondenzator, školski ampermetar s nulom na sredini te

prekidač. Kondenzator kao i u prvom pokusu nabijemo. Nakon izvedenog pokusa pitao bih učenike što su opazili.



Slika 2. Shema pokusa s ampermetrom

Učenici bi opazili da kazaljka titra kao i u pokusu s voltmetrom.

N: Sad želimo otkriti zašto dolazi do električnih titraja. Razmotrimo što se dešava u krugu nakon spuštanja prekidača. Što ste opazili da se dešava s kondenzatorom kad spustimo prekidač?

Neki učenici će odmah odgovoriti da se kondenzator izbija, jer smo u pokusu vidjeli da se kazaljka voltmetra spušta prema nuli.

N: Što se u tom trenutku dešava sa strujom?

Struja počinje rasti prema nekoj maksimalnoj vrijednosti.

N: Što se pri promjeni jakosti struje događa u zavojnici?

Nastavnik vodi učenike do zaključka da se u zavojnici mijenja magnetsko polje, a samim time i magnetski tok. Promjena struje u zavojnici izaziva promjenu magnetskog toka, a promjena magnetskog toka izaziva indukciju napona, odnosno struje u krugu.

N: U kojem će smjeru teći inducirana struja?

Neki učenici će se sjetiti Faradayevog zakona i odgovoriti da je inducirana struja u ovom slučaju suprotnog smjera od struje koja ju je izazvala i da je to razlog polaganog rasta struje do maksimuma.

N: Kad je struja u zavojnici postigla maksimalnu vrijednost, napon na kondenzatoru postao je jednak nuli. Što se tad dešava sa strujom u krugu? Kako to da struja ne prestane teći?

Nastavnik vodi učenike do zaključka da tad zavojnica inducira struju u istom smjeru u kojem je tekla i prije, jer se inducirani napon protivi smanjenju magnetskog toka kroz zavojnicu, izazvanog smanjenjem struje kroz zavojnicu.

N: Što se tad dešava s kondenzatorom?

Učenici bi trebali zaključiti da se kondenzator ponovno nabije, ali mu je polaritet suprotan od početnog stanja.

N: Što će se dalje dešavati u našem strujnom krugu?

Većina učenika bi odgovorila da će sad ponovo početi pražnjenje kondenzatora, a samim time će doći i do induciranja struje u zavojnici. Kondenzator se nabija suprotnim polaritetom.

N: Dakle, dolazi do periodičnog ponavljanja nabijanja i pražnjenja kondenzatora.

N: Kakvo polje imamo u kondenzatoru, a kakvo u zavojnici?

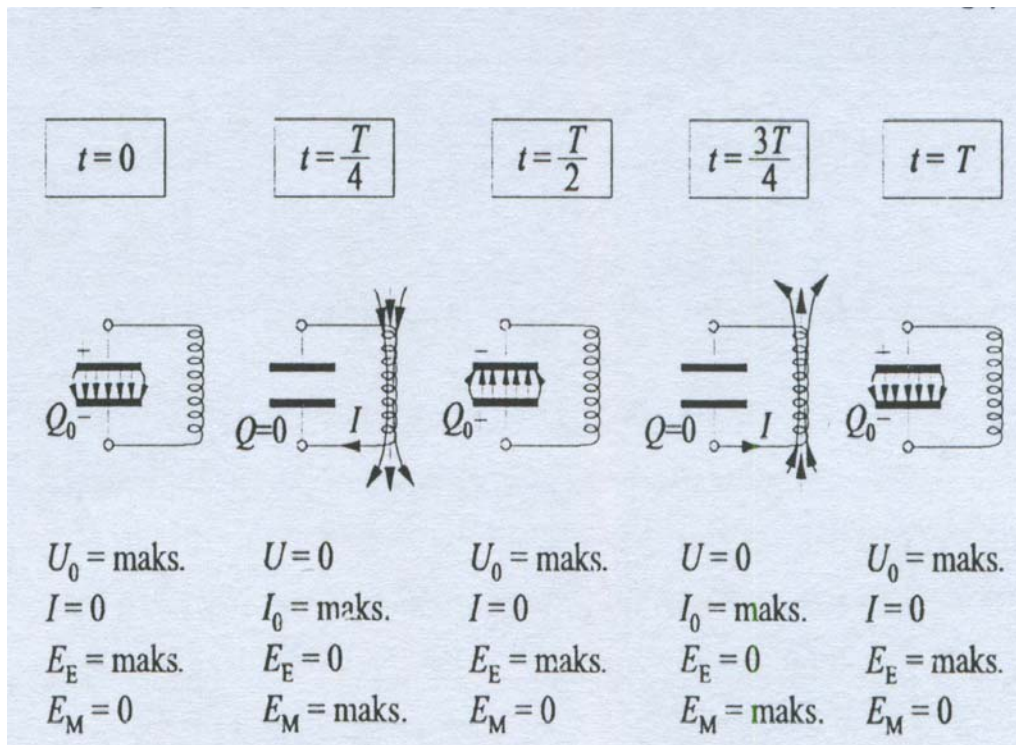
Učenici bi se sjetili da se u kondenzatoru javlja električno, a u zavojnici magnetsko polje.

N: Što se kod električnih titraja dešava s poljima?

Očekujem da će se učenici usuglasiti da polja titraju.

N: Što se dešava s energijom?

Učenici bi kroz razgovor zaključili da se energija pohranjena u električnom polju kondenzatora postepeno pretvara u energiju magnetskog polja zavojnice. Zajedno bi napravili shematski prikaz polja i energije u različitim fazama titranja (slika 3).



Slika 3. Električno i magnetsko polje u LC krugu

N: Zašto se smanjuje amplituda titraja? O kakvoj se vrsti titranja radi?

Učenici bi odgovorili da dolazi do gubitaka energije, a samim time i do smanjenja amplitude titraja, te da se radi o prigušenom titranju.

N: Što je uzrok tog gušenja u našem strujnom krugu?

Neki učenici bi se sjetili da se vodiči opiru prolasku električne struje te da se dio energije, zbog postojanja omskog otpora, troši na zagrijavanje vodiča. Zbog toga dolazi do prigušenja električnih titraja.

N: Kako bi to provjerili?

Učenici bi se usuglasili da trebamo u strujni krug spojiti umjesto zavojnice promjenljivi otpornik. Mijenjanjem otpora vidjeli bi da prigušenje raste s povećanjem otpora.

LITERATURA:

1. FIZIKA 4, Vjera Lopac i Petar Kulišić, Školska knjiga, 7. izdanje, 2006.g.
2. FIZIKA 4, Rudolf Krsnik, Školska knjiga, 5. izdanje, 2004.g.
3. FIZIKA 2, dvogodišnji program, Željko Jakopović i Petar Kulišić, Školska knjiga, 2. izdanje, 2006.g.
4. FIZIKA 3, Rudolf Krsnik, Školska knjiga, 2003.g.
5. FIZIKA TITRANJA, UVOD U KVANTNU FIZIKU, POLUVODIČI, Vladimir Paar
6. ZBIRKA ZADATAKA IZ FIZIKE, Nada Brković

7. ZAKLJUČAK

Razvoj elektromagnetske teorije počeo je još u devetnaestom stoljeću objavljivanjem Maxwellove teorije elektromagnetizma, ta teorija kaže da elektromagnetski val nastaje uzajamnim djelovanjem električnog i magnetskog polja, a to je uzrok tome da elektromagnetskom valu ne treba sredstvo da bi se kretao, a brzina mu je jednaka brzini svjetlosti. Početkom dvadesetog stoljeća Nikola Tesla je smatrao da je moguće prenositi energiju na daljinu bežičnim putem, a kao dokaz tog izveo je svoj poznati pokus sa brodićem kojim je upravljao daljinskim upravljačem. Razvoj elektromagnetskih valova i njihova intenzivnija primjena počinju oko 1940.g., dakle negdje oko početka drugog svjetskog rata, naime tad je usavršen radarski sustav. Nakon drugog svjetskog rata otkriven je i laser pa je to vrijeme naglog porasta zanimanja za elektromagnetske valove. U sklopu ovog rada proučio sam i planove i programe osnovnih i srednjih škola, te provjerio koliko učenici danas u školama uče o ovom za budućnost važnoj temi. Naime, u osnovne škole je uveden HNOS koji bi trebao biti reforma osnovnog školstva, no donio je samo rasterećenje učenika, ali ne i neke novine u školstvo. Prije HNOS – a u osnovnim školama se je učilo o elektromagnetskom valu na predmetima tehnička kultura i fizika. Na tehničkoj kulturi u šestom i osmom razredu dok na fizici u osmom razredu. Danas se u tehničku kulturu vraća stari plan i program po kojem se uči tehnička pismenost te svojstva materijala i izrada predmeta od raznih materijala, to za elektromagnetski val znači da se seli na fiziku, ali na fizici je elektromagnetski val svrstan u izborne teme koje većina učitelja ne obrađuje jer ne stignu zbog male satnice, a velikog broja nastavnih tema. Iz tog svega se može zaključiti da današnja djeca u osnovnoj školi uče o elektromagnetskom zračenju vrlo malo ili nimalo. Udžbenici su jako dobro napravljeni pa iako na malom broju stranica obrađuju ovu temu obrada je zadovoljavajuća, sa vrlo mnogo slika i ilustracija. U srednjim školama je malo bolja situacija, naime na elektromagnetsko zračenje i valove otpada oko 6 sati godišnje u trećim razredima gimnazije, te u drugim i četvrtim strukovnih i tehničkih škola. Udžbenici iz fizike zadovoljavaju i tema je jako dobro obrađena u gotovo svim udžbenicima. Glede ove teme u prednosti su strukovne i tehničke škole jer na nekim stručnim predmetima obrađuju temu elektromagnetski valovi na više od 15 sati godišnje, a u nekim predmetima imaju i vježbe na tu temu. Za primjenu elektromagnetskog vala u informatici odabrao sam svjetlovođe, jer njihova primjena u mrežnoj tehnologiji je sve veća kod nas, a u svijetu su već standardni za zemaljsku komunikaciju. Uzmimo za primjer samo podatak da za proizvodnju 100km svjetlovodnog kabela treba oko 2.7kg stakla, što je neusporedivo manje s količinom bakra ili nekog drugog metala za proizvodnju kabela. Prijenos podataka svjetlovođom je neusporedivo veći nego žičanim putem, naime svjetlovođom se može prenijeti od 2.5Gbit/s podataka što je jednako 31000 istovremenih razgovora ili kao digitalizirani tekst od 100000 A4 stranica u jednoj sekundi. Osim u mrežnoj tehnologiji svjetlovođe koristimo i u avionskoj industriji, kod podmornica, a u kabelskoj televiziji se koristi za prijenos video i audio signala.

8. LITERATURA

7. TEHNIČKA KULTURA 2, udžbenik za šesti razred osnovne škole, grupa autora: Josip Zdenko Hasenhörl, Renata Bradvica, Branka Hrpka, ALFA, Zagreb 2005.g. šesto izdanje.
8. TEHNIČKA KULTURA 2, udžbenik za šesti razred osnovne škole, autori: Božena Ratkaj i Marijan Vinković, PROFIL, Zagreb, 2005.g. peto izdanje.
9. TEHNIČKA KULTURA 4, udžbenik za osmi razred osnovne škole, grupa autora: Josip Zdenko Hasenhörl, Renata Bradvica, Branka Hrpka, ALFA, Zagreb 2004.g. peto izdanje.
10. TEHNIČKA KULTURA 4, udžbenik za osmi razred osnovne škole, autori: Božena Ratkaj i Marijan Vinković, PROFIL, Zagreb, 2005.g. peto izdanje.
11. FIZIKA 2, udžbenik za osmi razred, grupa autora: D.Roša, M.Roca, I.Matić, N.Jakuš, M.Varat, ALFA, Zagreb, 2002.g., drugo izdanje.
12. FIZIKA 2, udžbenik za osmi razred, grupa autora: M.Babić, Z.Beštak, I.Bolf, I.Cerovac, P.Dužević i M.Rajčić, PROFIL, Zagreb, 2002.g. četvrto izdanje.
13. FIZIKA 4, Vjera Lopac i Petar Kulušić, Školska knjiga, 7. izdanje, 2006.g.
14. FIZIKA 4, Rudolf Krsnik, Školska knjiga, 5. izdanje, 2004.g.
15. FIZIKA 2, dvogodišnji program, Željko Jakopović i Petar Kulušić, Školska knjiga, 2. izdanje, 2006.g.
16. FIZIKA TITRANJA, UVOD U KVANTNU FIZIKU, POLUVODIČI, Vladimir Paar, Školska knjiga, 3. izdanje, 1995.g.
17. MOJI IZUMI – MY INVENTIONS, Nikola Tesla, Školska knjiga, 1999.g.
18. NIKOLA TESLA: ISTRAŽIVAČ, IZUMITELJ I GENIJ, Vladimir Paar, Darko Androić i dr., Školska knjiga, Zagreb 2006.g.
19. NASTAVNI PLAN I PROGRAM ZA OSNOVNU ŠKOLU, Ministarstvo znanosti, obrazovanja i športa, Zagreb, 2006.g.
20. AUDIO TEHNIKA I TELEVIZIJSKA TEHNIKA, autora: Ivica Kneževića, izdanje Školska knjiga 1999.g.
21. TEHNIČKA KULTURA, priručnik za učitelje tehničke kulture od 5. – 8. razreda osnovne škole, Marijan Vinković, PROFIL, Zagreb, 2002.g.
22. OPTIKA – RELATIVNOST, Goran Jolić, TIZ ZRINSKI d.d., Čakovec, 1995.g.
23. METODIČKI PRIRUČNIK ZA NASTAVNIKE, FIZIKA 3, Rudolf Krsnik, Školska knjiga, Zagreb, 2001.g.
24. METODIČKI PRIRUČNIK ZA NASTAVNIKE, FIZIKA 4, Rudolf Krsnik, Školska knjiga, Zagreb, 2001.g.
25. METODA INFRACRVENE TERMOGRAFIJE NOVI PRISTUP ODRŽAVANJU, Krunoslav Petrović, Krešimir Petrović, ODRŽAVANJE I EKSPLOATACIJA 4 (1) 19 – 23 (2000).

Internet stranice:

26. <http://www.inet.hr/~priroda/articles/tesla.htm>
27. www.nikolatesla.hr
28. http://www.ericsson.com/hr/etk/nikola_tesla.shtml
29. <http://www.ciscopress.com>
30. <http://eskola.hfd.hr/laseri/paper1/b-d6.htm>
31. <http://dar.ju.edu.jo/mansour/optical/>

32. <http://www.fiber-optics.info/default.htm>
33. <http://de.wikipedia.org/wiki/Radar>
34. <http://www.research.ibm.com/wdm/motive/reason.html>
35. <http://www.nanolab.uc.edu/Publications/PDFfiles/330.pdf>
36. <http://www.hrvatski-vojniki.hr/hrvatski-vojniki/0482005/radar.asp>
37. http://spvp.zesoi.fer.hr/seminari/2005/MarasovicJosko_Svjetlovodi.pdf
38. http://www.poslovniforum.hr/zakoni/zakon_o_srednjem_skolstvu.asp
39. http://www.poslovniforum.hr/zakoni/zakon_o_osnovnom_skolstvu.asp

