

BIOELEKTROMAGNETIZAM

ELEKTROMAGNETIZAM

Krajem 19. veka Džejms Klerk Maksvel je postavio osnove današnjeg objedinjenog razumevanja fenomena svetlosti i promenljivog električnog i magnetnog polja po kojima su elektromagnetno zračenje (EMZ) i svetlost zapravo jedna te ista pojava kod koje se promenom jednog parametra koji se naziva frekvencija „odgovoran“ za postojanje velikog broja naizgled različitih pojava u prirodi.

Tako, kada se frekvencija menja u opsegu vidljive svetlosti, mi promenu registrujemo kao pojavu različitih boja. Kada se frekvencija smanjuje ispod vidljivog opsega dobijamo ultraljubičasto zračenje, dok kada se frekvencija poveća iznad vidnog opsega dobijamo infracrveno zračenje. Pojednim delovima spektra elektromagnetnog zračenja pridruženi su karakteristični nazivi, ali je jedino što razlikuje te oblasti frekvencija (ili talasna dužina). Tako, ako krenemo od najmanjih talasnih dužina nailazimo na gama zračenje, potom na X-zrake, zatim ultraljubičastu svetlost, vidljivu svetlost, infracrvenu svetlost, mikrotalase i radio talase. Ne postoji striktna granica u frekvenciji između talasnih dužina tako da se oblasti međusobno „prelivaju“ jedna u drugu.

Ono što je najinteresantnije u vezi EMZ jeste da je uticaj ove pojave u prirodi prisutan u neverovatnom obimu. Opseg energija prostire se kroz 13 redova veličina dok se opseg frekvencija prostire kroz 24 redova veličina. Slika na sledećoj strani ilustruje ovu činjenicu.

Osnovne relacije vezane za EMZ jesu one koje opisuju njenu energiju i veze između talasne dužine, frekvencije i brzine. Energija svetlosti je izražena preko frekvencije na sledeći način:

$$E = h\nu$$

gde je h – Plankova konstanta koja iznosi $h = 6,626 \times 10^{-34}$ [Js]

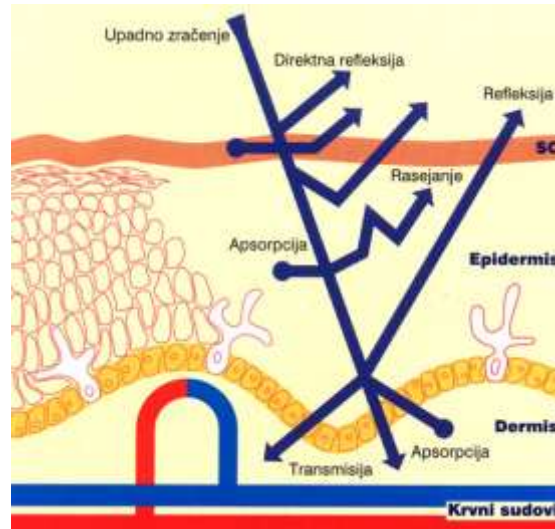
ν – frekvencija [s^{-1}].

Izraz kojim se povezuju frekvencija i talasna dužina svetlosti glasi:

$$c = \lambda \nu.$$

U interakciji sa materijom EMZ može biti:

1. odbijeno (refleksija)
2. rasejano (*eng. scattering*)
3. upijeno (apsorpcija)
4. propušteno (transmisija)

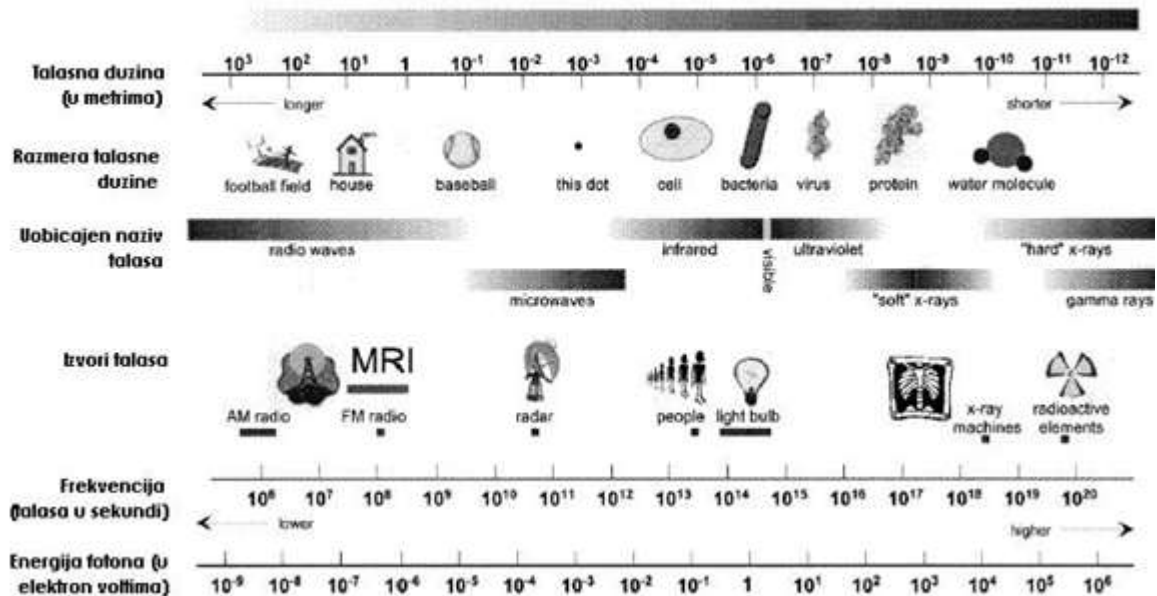


Višestepena interakcija svetlosti sa tkivom (odnosi se na materiju, uopšteno)

Ove četiri vrste interakcija nisu razgraničene i u stvarnosti uvek imamo prisustvo sva četiri fenomena samo u različitim odnosima. Dubina do koje će EMZ prodreti u materiju prvenstveno zavisi od energije, dok u slučaju približno istih energija prodor zavisi od talasnih dužina na taj način da veće talasne dužine dublje prodiru od manjih talasnih dužina.

Opsezi EMZ su prikazani na slici, a uobičajeno je da se klasifikacija celokupnog spektra izvrši kroz pomenute podoblasti koje u nastavku zasebno opisujemo.

Spektar elektromagnetnog zracenja



RADIO-FREKVENTNI TALASI

Radio-frekventni talasi (RF) su podopseg EMZ koji se prostire od talasnih dužina nekoliko desetina centimetara do u beskonačnost. U frekventnom zapisu to predstavlja interval od >1 Hz. Primera radi, mrežno napajanje koje je frekvencije 50 Hz ima talasnu dužinu od 6 km. Ovo je opseg EMZ za koji ne postoji gornja granica talasnih dužina. Ograničenje postoji jedino za najmanju talasnu dužinu. Ovom opsegu pripadaju i frekvencije (talasne dužine) radio-talasa po kojima je ovaj opseg i dobio naziv. Primera radi, radio-talas frekvencije 100 MHz ima energiju od 6.626×10^{-26} J, što je veoma mala energija.

U medicinskim primenama radio-frekventni talasi predstavljaju osnovu metode nuklearno-magnetno-rezonantne spektroskopije i vizuelizacije.

MIKROTALASI (MT)

Mikrotalasi (MT) su podopseg EMZ koji se nalazi u opsegu frekvencija od 1000 MHz do oko 300 000 MHz ($10^9 - 3 \times 10^{11}$ Hz, 1 GHz – 300 GHz) koji odgovara opsegu talasnih dužina od oko 30cm – 1 mm. Talasi koji mogu prodrati kroz sve slojeve atmosfere imaju talasne dužine od 1 cm do 30 m. Mikrotalasne peći emituju talase frekvencije od 2.45 GHz odnosno talasne dužine 12.2 cm. Telefonske komunikacije se takođe odvijaju u ovom opsegu frekvencija (mobilna telefonija: 850 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 1900 MHz, UMTS 1885 – 2200 MHz, 1,8 – 2.2 GHz). Podopseg koji se delimično preklapa sa opsegom mikrotalasa i infracrvenog zračenja jeste tzv. **terahercni opseg** koji se prostire od 50 GHz do 10 THz. Alternativni naziv je i **T-talasi**. Uopšteno posmatrano ovaj opseg zračenja se poklapa sa rotacionim i vibracionim oscilacijama nekih molekula (molekul vode).

INFRACRVENI TALASI (IC)

Infracrveni talasi (IC) su podopseg EMZ koji se prostire od $3 \times 10^{11} - 4 \times 10^{14}$ Hz ili 100 – 100 000 GHz ili 0.1 – 100 THz. Odgovarajuće talasne dužine su od 780 nm – 1 mm. Infracrveno zračenje je podeljeno na tri podopsega:

- ➔ **blisko** IC zračenje (780 – 3000 nm)
- ➔ **srednje** IC zračenje (3000 – 6000 nm)
- ➔ **daleko** IC zračenje (6000 – 15000 nm)
- ➔ **krajnje daleko** IC zračenje (15000 – 1 000 000 nm)

Ovo zračenje se naziva i **toplotno zračenje**. Svako telo čija je temperatura veća od temperature apsolutne nule (0 K, ili -273.15 °C) emitovaće zračenje u infracrvenom opsegu. Ljudsko telo emituje zračenje u skladu sa temperaturom od oko 37 C čije se talasne dužine kreću u opsegu od 3 000 nm dostižući vrhunac oko 10 000 nm i prostirući se sve manje u opsegu većih talasnih dužina. Oko polovine Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu Zemlje pripada upravo ovom opsegu.

Kada su u pitanju opšte osobine materije, infracrveno zračenje odgovara frekvencijama vibracija atoma u molekulima.

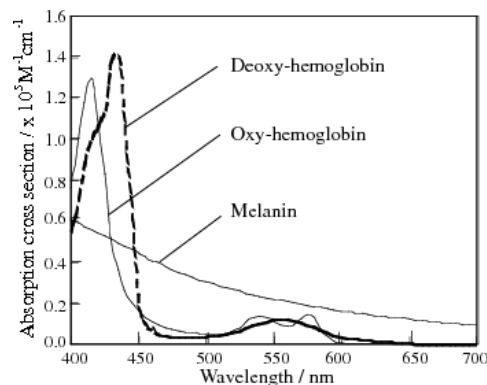
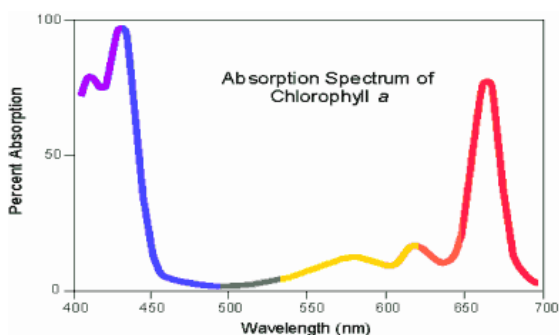
SVETLOST

Svetlost (vidljivo EMZ) je podopseg EMZ koji pripada opsegu frekvencija od 3.84×10^{14} – 7.69×10^{14} Hz ili 384 – 769 THz. Opseg talasnih dužina je od 384 – 769 nm. Svetlost koju vidimo kao belu predstavlja mešavinu tri boje vidljivog dela spektra – crvene, zelene i plave, što je pojava koju je prvi uočio još Njutn.

U okviru vidljivog EMZ razlikujemo odgovarajuće podopsege koje vizuelno percipiramo kao **boje**. Preciznije govoreći, ne treba govoriti o bojama već o EMZ koje percipiramo kao određenu boju. Svaka boja se može dobiti mešavinom nekoliko različitih frekventnih kombinacija. Uopšteno posmatrano boja neke materije zavisi od talasne dužine apsorbovanog dela vidljivog spektra i od principa komplementarnosti boja.

Princip komplementarnosti boja glasi da će apsorbovana talasna dužina bojiti materiju u komplementarnoj boji. Princip komplementarnosti se odnosi na jednostavnije slučajeve kada materija apsorbuje samo svetlost jedne određene talasne dužine. U složenijim slučajevima materija može apsorbovati više talasnih dužina i tada boju određuje kombinacija preostalih boja spektra EMZ.

Primeru radi, biljke imaju u proleće listove zelene boje zato što pigment hlorofil upija plavu i crvenu svetlost tako da jedina preostala komponenta bele boje biva zelena. Crvena boja krvi potiče od kiseonika, hemoglobina i železa koji upijaju EMZ kraćih talasnih dužina (plavu i zelenu) preostavljajući crvenu boju kao jedinu preostalu komponentu spektra.



ULTRALJUBIČASTO ZRAČENJE (UV)

Ultraljubičasto zračenje (ULJ) je podopseg EMZ koji obuhvata frekvencije $8 \times 10^{14} - 3.4 \times 10^{16}$ Hz ili 100 – 3400 THz. Opseg talasnih dužina je od 100 – 300 nm.

Ultraljubičasto zračenje odgovara opsegu pobude elektrona i prelaza elektrona iz osnovnih u pobuđena stanja. Po pobudi elektroni se vraćaju u osnovna stanja tako što se oslobađaju „suvišne“ energije emisijom EMZ čije talasne dužine mogu biti u ULJ ili vidljivom delu spektra. ULJ zračenje je prvi deo spektra EMZ za koji je pouzdano dokazano da ima oštećujuća dejstva na ljudsko zdravlje i da je jedan od glavnih činilaca u nastanku tumorskih oboljenja kože.

X-ZRACI

X-zraci su podopseg EMZ koji se prostire u opsegu frekvencija od $2.4 \times 10^{16} - 5 \times 10^{19}$ Hz, dok su talasne dužine od 12.5 nm – 6 pm. Ova vrsta zračenja ima veoma veliku energiju, dovoljnu da potpuno prodre kroz ljudsko telo. Zbog svoje veoma male talasne dužine X-zraci se koriste u snimanjima kristalnih rešetki čvrste materije i pomoću njih je moguće dobiti najpreciznije snimke međurasporeda atoma, međuatomskih rastojanja i dimenzija atoma.

U medicinskim primenama X-zraci se koriste u vizuelizaciji čvrstih i mekih tkiva.

GAMA ZRAČENJE

Gama zračenje je podopseg EMZ koji pripadaju opsegu najkraćih talasnih dužina i najvećih frekvencija i energija (praktično $> 10^{19}$ Hz dok su talasne dužine od < 6 pm). Talasne dužine gama talasa su toliko male da se oni ponašaju skoro u potpunosti kao čestice i njihova talasna svojstva je teško primetiti.

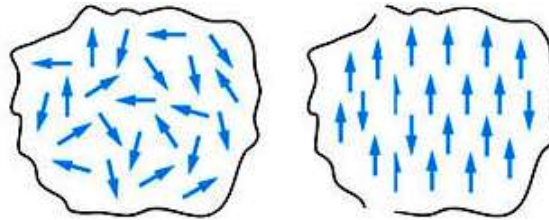
MAGNETSKE OSOBINE MATERIJALA

predstavljaju način na koji se materija ponaša u prisustvu spoljašnjeg magnetskog polja, odnosno radi se o pojavi slaganja rezultujućeg magnetskog momenta svih atoma sa magnetskim momentom spoljašnjeg polja.

Dijamagnetizam je osobina materijala da formiraju unutrašnje magnetsko polje koje je suprotno spoljašnjem magnetskom polju. Time se stvara efekat sila odbijanja. Spoljno magnetsko polje menja brzinu kruženja elektrona, što menja magnetni dipolni momenat u smeru suprotnom spoljnjem polju. Dijamagnetizam predstavlja oblik magnetizma koji se u materiji javlja samo u prisustvu spoljnog polja. U principu, izraženi efekti dijamagnetizma su slabi, izuzev kod superprovodnika. **Dijamagnetici** su materijali čija je magnetna permeabilnost manja od (relativna permeabilnost manja od 1). Supstanca koja u normalnim uslovima pokazuje najjači dijamagnetski efekat je bizmut. Dijamagnetici imaju relativnu magnetnu permeabilnost koja je manja od 1, magnetnu susceptibilnost koja je negativna, i stoga ih magnetna polja odbijaju.



Paramagnetizam je oblik magnetizma koji se javlja samo u prisustvu spoljašnjeg magnetnog polja. Paramagnetični materijali su privučeni dejstvom magnetnog polja, ali za razliku od feromagnetičnih, magnetne osobine pokazuju isključivo u prisustvu spoljašnjeg magnetnog polja. **Paramagnetici** poprilično slabo interaguju sa magnetima, oko sto hiljada puta slabije od feromagnetika. Jak paramagnetizam se javlja u jedinjenjima koja sadrže gvožđe, paladijum, platinu i retke metale. Jači magnetni efekti se najčešće mogu uočiti kod čestica koje poseduju d- i f-elektrone. Paramagnetici imaju pozitivnu magnetnu susceptibilnost (χ), mada reda veličina od $10(-3)$ do $10(-5)$, ali može biti i reda veličine $10(-1)$ kod sintetičkih paramagnetika kao što su ferrofluidi. Magnetna permeabilnost je veća od 1.



Feromagnetizam (od lat. ferrum = gvožđe + magnet). Materijal je feromagnetski ako u prisustvu spoljašnjeg magnetskog polja i sam postaje magnet, tako što se njegovi elementarni magneti (magnetni dipoli) orijentišu u pravcu spoljašnjeg polja tako što na dipole deluje moment magnetizacije m . **Feromagnetični materijali** (magnetni materijali) imaju vrednosti magnetske provodljivosti $\chi > 0.01$. Svi feromagnetični materijali imaju čvrstu kristalnu strukturu, koja je delom odgovorna za njihovo ponašanje u magnetskom polju. Ono se ogleda u poprimanju koherentnog usmerenja magnetskih momenata atoma u kristalnoj rešetki, koje ostaje i posle prestanka delovanja spoljasnjeg magnetskog polja.

