

# Sunčev spektar elektromagnetskog zračenja crnog tijela i propusnost Zemljine atmosfere za njega

---

Ilakovac, Josip

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:474469>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-10**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

**Sveučilišni studij**

**SUNČEV SPEKTAR ELEKTROMAGNETSKOG  
ZRAČENJA CRNOG TIJELA I PROPUSNOST  
ZEMLJINE ATMOSFERE ZA NJEGA**

**Završni rad**

**Josip Ilakovac**

**Osijek, 2021.**

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>1.1. Zadatak završnog rada</b> .....	2
<b>2. SUNČEVO ZRAČENJE</b> .....	3
<b>2.1 Toplinsko zračenje</b> .....	4
<b>3. CRNO TIJELO</b> .....	5
<b>3.1. Model crnog tijela</b> .....	6
<b>3.2. Wienov zakon</b> .....	7
<b>3.3. Stefan – Boltzmannov zakon</b> .....	8
<b>3.4. Rayleigh – Jeansov zakon</b> .....	8
<b>3.5. Ultraljubičasta katastrofa</b> .....	9
<b>3.6. Planckov zakon</b> .....	10
<b>3.7. Planckova konstanta</b> .....	11
<b>4. ZVIJEZDE I PLANETI KAO CRNA TIJELA</b> .....	13
<b>4.1 Kozmičko mikrovalno pozadinsko zračenje</b> .....	13
<b>4.2. Rezultantni spektar Sunčevog zračenja</b> .....	14
<b>5. SUNCE I ZEMLJA</b> .....	15
<b>5.1. Važnost Sunčevog zračenja za Zemlju</b> .....	15
<b>5.2. Ultraljubičasto zračenje</b> .....	16
<b>5.3. Infracrveno zračenje</b> .....	17
<b>5.4. Radio zračenje</b> .....	18
<b>5.5. Vidljivo zračenje</b> .....	19
<b>6. SUNČEVO ZRAČENJE NA ZEMLJI</b> .....	20
<b>6.1. Mjerenje Sunčeve svjetlosti</b> .....	21
<b>7. UTJECAJ SUNČEVOG ZRAČENJA NA ŽIVOT NA ZEMLJI</b> .....	23
<b>7.1 Utjecaj Sunca na fotosintezu</b> .....	23

7.2 Utjecaj Sunca na život u vodi .....	24
7.3 Utjecaj Sunca na zdravlje ljudi .....	24
<b>8. UTJECAJ ATMOSFERE NA SUNČEVO ZRAČENJE.....</b>	<b>26</b>
8.1. Rayleighovo raspršenje .....	26
8.2 Mie raspršenje.....	27
8.3 Neselektivno raspršenje .....	27
8.4. Apsorpcija zračenja u atmosferi .....	28
<b>9. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>30</b>
<b>SAŽETAK.....</b>	<b>31</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>32</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>33</b>
<b>POPIS SLIKA.....</b>	<b>35</b>

# 1. UVOD

Sunčeva energija ima nezamjenjivu ulogu u cijelom čovječanstvu. Bez Sunčeve svjetlosti ne bi bila moguća fotosinteza kojom nastaju organske tvari koje čine i izgrađuju cijeli biljni svijet, te služe kao hrana ljudima i životinjama. Današnji industrijski razvoj zahtijeva istraživanje novih izvora energije, a Sunce se nameće kao potencijalan i besplatan izvor. Energija koju nam daje Sunce je obnovljiva, ali i ekološki prihvatljiva. Toplinsku energiju Sunca danas sve više koristimo za dobivanje električne energije zagrijavanjem vode ili zraka pomoću solarnih kolektora, dok energiju svjetlosnog zračenja koristimo za transformaciju u električnu energiju pomoću fotonaponskih panela (ćelija).

Sunčeva energija je posljedica primarno termonuklearnih reakcija koje se odvijaju u njegovom središtu, a nastaje pretežno spajanjem četiri atomske jezgre vodika u jednu jezgru helija. Svake sekunde se na Suncu u helij pretvori oko 600 milijuna tona vodika, dok temperatura doseže 15 milijuna °C. Poznato je da na Zemlju pada manje od bilijuntoga dijela Sunčeve energije, od toga oko 47 % apsorbira površina Zemlje, oko 35 % se reflektira natrag u svemir, a oko 18 % apsorbira atmosfera.

U ovom završnom radu opisan je Sunčev elektromagnetski spektar zračenja. Okarakterizirano je zračenje crnog tijela te Planckov zakon koji fizikalno objašnjava njegov karakteristični spektar zračenja. Skicirani su i Wienov zakon, Stefan-Boltzmannov zakon te Rayleigh-Jeansov zakon koji su omogućili Plancku formulaciju tog zakona.

Ukratko su dane i apsorpcijske i emisijske linije koje se zbog prolaska zračenja vanjskim slojevima Sunca pojavljuju na tom spektru. Opisana je apsorpcija i propusnost Zemljine atmosfere te tri vrste raspršenja elektromagnetskog zračenja u atmosferi.

Frekvencijski prozori zračenja koji dopiru do tla su opisani zasebno, a istaknut je i njihov utjecaj na prirodu.

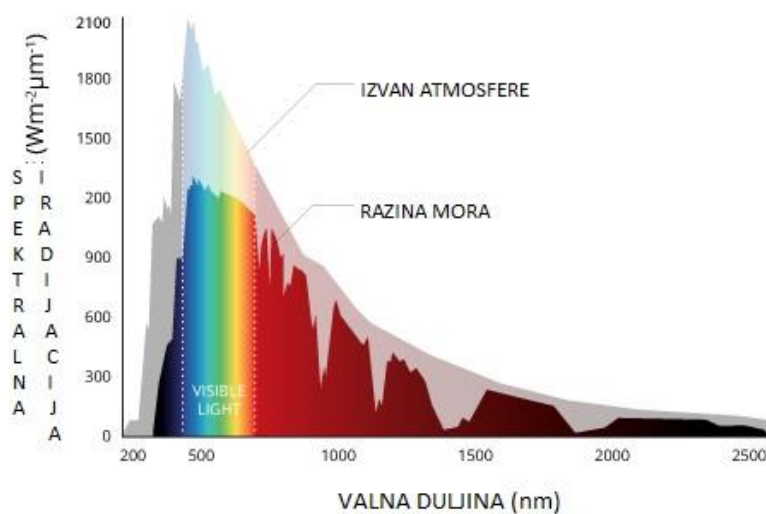
## **1.1. Zadatak završnog rada**

Zadatak ovog završnog rada jest fizikalno okarakterizirati Sunčevo elektromagnetsko zračenje koje dopire do tla na Zemlji.

## 2. SUNČEVO ZRAČENJE

Sunčeva svjetlost, tj. elektromagnetsko zračenje koje emitira Sunce, prolazi kroz niz barijera prije nego što stigne do tla na Zemlji. Prošavši kroz vanjske slojeve Sunca i međuplanetarni prostor dolazi do Zemljine atmosfere. Sunčevo zračenje je po svojoj prirodi elektromagnetsko zračenje. Otprilike 26% Sunčeve energije odbija se ili raspršuje od oblaka i atmosferskih čestica u atmosferi natrag u Svemir. Još 18% Sunčeve energije apsorbira se u atmosferi. Ozon apsorbira ultraljubičasto zračenje, dok ugljični dioksid i vodena para mogu apsorbirati infracrveno zračenje. Preostalih 56% Sunčevog zračenja dopire do površine Zemlje. Međutim, dio ove svjetlosti odbija se od snijega ili drugih svijetlih površina, tako da je samo 48% dostupno za apsorpiranje u kopnu ili vodi. Od zračenja koje doseže površinu, otprilike polovica je vidljiva svjetlost, a polovica infracrvena svjetlost. Atmosfera je propusna i za radio valove manjih valnih duljina, od par milimetara do dvadesetak metara. Ovi postotci refleksije i apsorpcije mogu varirati uslijed naoblake i kuta Sunca. Za oblačnog vremena atmosfera može apsorbirati ili raspršiti do 70% Sunčevog zračenja [1].

Sunčevo zračenje koje dopire do tla stiže direktno, tj. snopom, ili difuzno, od na atmosferskim česticama raspršene svjetlosti, ili je pak, što je često zanemariv udio, dospjelo refleksijom od objekata. Na Zemljinoj površini se dakle Sunčevu energiju može apsorbirati direktno od Sunca ili od difuzne svjetlosti [1].



Slika 2.1. Većinu Sunčevog zračenja koje dopire do tla čini vidljiva i infracrvena te ultraljubičasta svjetlost, a dopiru i frekventni pojasevi radio zračenja.

Na slici iznad siva površina na dijagramu predstavlja količinu zračenja izvan Zemljine atmosfere, te možemo vidjeti da je ona znatno veća od količine zračenja koja prođe kroz atmosferu. Zračenje na razini mora je manje od zračenja u atmosferi na višim nadmorskim razinama, zato što dio svjetlosti prolaskom kroz atmosferu biva apsorbiran.

## 2.1 Toplinsko zračenje

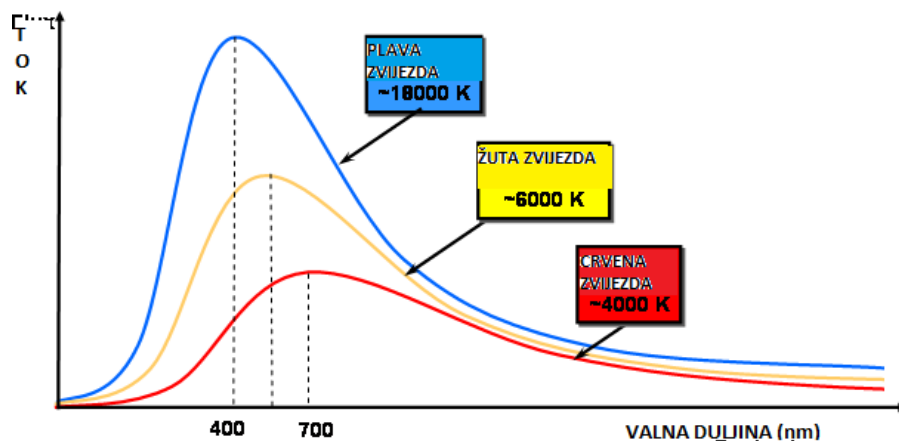
Toplinsko zračenje je elektromagnetsko zračenje svih tijela koja se nalaze na temperaturi iznad temperature 0 K, pri čemu odzračena energija ovisi samo o temperaturi promatranog tijela i stanju njegove površine. Ako je objekt idealno crno tijelo i u termodinamičkoj je ravnoteži, to zračenje naziva se zračenjem idealnog crnog tijela. Zvijezdu Sunce smatramo crnim tijelom jer u dobrom približenju emitira elektromagnetski spektar karakterističan za crno tijelo [2].

Zemlja također emitira toplinsko zračenje, ali mnogo slabijeg intenziteta od Sunčevog, zato jer je hladnija. Ravnoteža između grijanja nadolazećim Sunčevim toplinskim zračenjem i noćnog hlađenja izlazećim toplinskim zračenjem Zemlje primarni je proces koji određuje ukupnu temperaturu Zemlje [2].



### 3. CRNO TIJELO

Ideju o crnom tijelu izvorno je uveo Gustav Kirchhoff 1860. godine. kao pretpostavku da možemo zamisliti tijela koja su beskrajno male debljine te mogu apsorbirati sve upadne zrake, a neće ih niti reflektirati niti transmitirati. Kirchhoff je takva tijela nazvao savršeno crnima ili crnim tijelima. Suvremenija definicija nam kaže da idealno crno tijelo dopušta ulaznom zračenju da uđe u njega bez reflektirane energije i da interno apsorbira cijelo upadno zračenje (nema transmisije energije kroz to tijelo) te da će to sve vrijediti za zračenje svih valnih duljina i za sve upadne kutove. Dakle crno tijelo je savršen apsorber za svo upadno zračenje. Crno tijelo u toplinskoj ravnoteži (to jest pri konstantnoj temperaturi) emitira elektromagnetsko zračenje karakterističnog spektra, takozvani spektar crnog tijela. Zračenje se emitira prema tzv. Planckovom zakonu, po kojem je spektar određen samo temperaturom, a ne oblikom ili sastavom tijela [3].

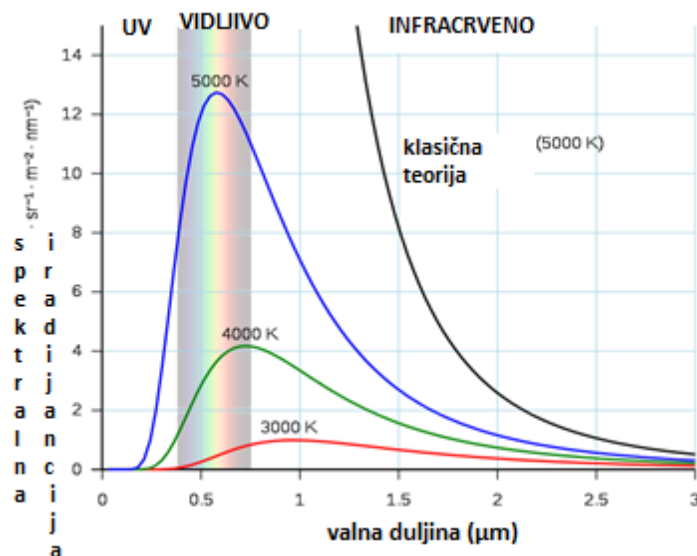


Slika 3.1. Krivulje zračenja crnog tijela na različitim temperaturama

Na slici 3.1. je prikazano zračenje crnog tijela za tri različite temperature. Plava krivulja predstavlja zračenje plave zvijezde na temperaturi približno 18000 K. Žuta krivulja predstavlja zračenje žute zvijezde, gdje ubrajamo i Sunce. Crvena krivulja opisuje zračenje crvene zvijezde gdje vidimo da je njezin maksimum na valnoj duljini 700 nm [3].

Na slici ispod prikazan je također spektar crnog tijela za tri temperature 3000K, 4000K i 5000K. Tu možemo vidjeti da je emitirano zračenje kontinuirana funkcija valne duljine. Za bilo koju dolje prikazanu krivulju vidimo da se zračenje najprije povećava s valnom duljinom, dostiže svoj maksimum, i tada se smanjuje s porastom valne duljine. Na bilo kojoj valnoj duljini količina

zračenja se povećava s porastom temperature. Kako se temperatura povećava krivulje se pomiču prema području s manjim valnim duljinama. Slijedom toga, veća količina zračenja se emitira na manjim valnim duljinama pri većoj temperaturi [3].

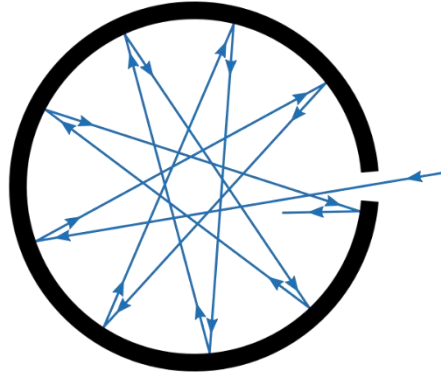


Slika 3.2. Spektar crnog tijela

### 3.1. Model crnog tijela

1898. godine Otto Lummer i Ferdinand Kurlbaum objavili su izvještaj o izvoru zračenja u šupljini. Njihov dizajn se i danas koristi za mjerenja zračenja. Oni su koristili rupu u zidu platinaste kutije, koja je podijeljena dijafragmama, s unutrašnjošću zatamnjenu željeznim oksidom. Taj dizajn je bio izrazito važan dio za poboljšanje mjerenja koja su dovela do otkrića Planckova zakona. Verzija opisana 1901. godine imala je unutrašnjost zatamnjenu mješavinom oksida kroma, nikla i kobalta[3].

Široko korišten model crnog tijela je mala rupa u šupljini sa zidovima koji su nepropusni za zračenje. Upadno zračenje koje dolazi do rupe ulazi u šupljinu i vrlo je mala vjerojatnost da će zračenje biti ponovno emitirano ako je šupljina dovoljno velika. Ne možemo reći da je šupljina idealno crno tijelo jer ako je valna duljina upadnog zračenja veća od promjera rupe dio zračenja će biti reflektiran. Još jedan razlog zašto ovakva šupljina nije idealno crno tijelo je da čak niti pri savršenoj toplinskoj ravnoteži zračenje unutar ograničeno velike šupljine neće imati idealan Planckov spektar za valne duljine jednake ili veće od veličine šupljine. Model šupljine koji se koristi u fizici kao crno tijelo vidimo na slici ispod [3].



Slika 3.3. Prikaz približne realizacije crnog tijela kao male rupe u šupljini

Iako planeti i zvijezde nisu savršena crna tijela, zračenje crnog tijela korišteno je kao dobra prva aproksimacija za spektar zračenja koji emitiraju. Crne rupe su približno savršena crna tijela, u smislu da apsorbiraju sva zračenja koja padaju na njih [3].

### 3.2. Wienov zakon

Prvi koji je htio objasniti spektar zračenja crnog tijela bio je Wilhelm Wien. Wien je 1893. godine iz termodinamičkih razmatranja i eksperimentalnih podataka izveo tzv. zakon pomaka, prema kojemu se frekvencija, odnosno valna duljina za koju je spektralna gustoća energije zračenja  $f(\lambda, T)$  crnog tijela maksimalna nalazi na vrijednosti koja ovisi samo o temperaturi crnog tijela [4]. Wienov zakon tvrdi da je vršna vrijednost valne duljine zračenja obrnuto proporcionalna sa termodinamičkom temperaturom idealnog crnog tijela. Odnosno što je temperatura crnog tijela veća to će maksimum zračenja crnog tijela biti na manjoj valnoj duljini:

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}$$

gdje je  $\lambda_{\max}$  - valna duljina sa vršnom vrijednosti intenziteta zračenja,  $T$  - termodinamička temperatura idealnog crnog tijela, i  $b$  – Wienova konstanta pomaka i jednaka je

$$2,897768551 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}.$$

Wienov zakon u ovisnosti o frekvenciji glasi:

$$V = \frac{\alpha}{h} kT \approx \left( 5.879 \times 10^{10} \frac{\text{Hz}}{\text{K}} \right) * T$$

gdje je  $\alpha = 2.82143937$ ,  $k = 1,380\,649 \cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$  je Boltzmannova konstanta,

$h = 6,626\,070\,015 \cdot 10^{-34} \text{ J*s}$  je Planckova konstanta, a  $T$  je temperatura (u Kelvinima).

### 3.3. Stefan – Boltzmannov zakon

Stefan-Boltzmannov zakon učinkovito uspostavlja odnos između temperature objekta i topline zračenja. Stopa kojom tijelo zrači toplinu proporcionalna je površini tog tijela. To znači da ako tijelo ima veću površinu, veće će biti toplinsko zračenje. Također, zračenje je proporcionalno temperaturi tijela. Što je veća temperatura tijela, veća je i gustoća energije, pa će time i zračenje biti veće[5].

1879. godine Josef Stefan eksperimentalno je zaključio da je energija po jedinici površine crnog tijela proporcionalna četvrtoj potenciji njegove apsolutne temperature. Taj isti odnos je teorijski izveo Ludwig Boltzmann iz Maxwelllove teorije i klasične termodinamike 1884. godine, pa je ovaj zakon dobio ime Stefan – Boltzmannov zakon [5].

$$J = \sigma * T^4$$

Gdje  $J$  označava energiju izračenu po jedinici površine crnog tijela po jedinici vremena [ $\text{Jm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ],  $\sigma$  predstavlja Stefan-Boltzmannovu konstantu koja iznosi:  $5.67 * 10^{-8} \text{ J s}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ , a  $T$  je temperatura izražena u Kelvinima.

### 3.4. Rayleigh – Jeansov zakon

1900. godine John William Strutt Rayleigh i James Hopwood Jeans su donijeli zakon poznat kao Rayleigh-Jeansov zakon koji pokušava objasniti gustoću energije zračenja crnog tijela pri danoj temperaturi. Za valnu duljinu( $\lambda$ ) on glasi:

$$B_{\lambda}(T) = \frac{2ckT}{\lambda^4}$$

Gdje je:  $c$  brzina svjetlosti  $299\,792\,458\text{ ms}^{-1}$ ,  $k = 1,380\,649 \cdot 10^{-23}\text{ JK}^{-1}$  predstavlja Boltzmannovu konstantu,  $T$  je temperatura u kelvinima,  $\lambda$  je valna duljina a  $B_\lambda$  je spektralna radijancija, tj. snaga emitirana po jediničnoj emitirajućoj površini.

Za frekvenciju  $\nu$  izraz postaje:

$$B_\nu(T) = \frac{2\nu^2 kT}{c^2}$$

Najprije je engleski fizičar Rayleigh izveo  $\lambda^{-4}$  ovisnost, da bi 1905. godine Rayleigh i James Jeans predstavili potpuniji izvod koji sadržava konstantu  $k$ [6].

Rayleigh-Jeansov zakon otkrio je važnu grešku u teorijskoj fizici tog vremena. Njihov je zakon predviđao rezultantnu energiju koja divergira prema beskonačnosti kako frekvencija teži u beskonačnost, odnosno kako se valna duljina pomiče prema nuli. Njihova je jednadžba bila u skladu s rezultatima pokusa s visokim valnim duljinama (niske frekvencije), ali je potpuno odstupala od rezultata koji su dobiveni u pokusima s kratkim valnim duljinama. Pokazalo se da to odstupanje nije rezultat pogreške u definiranju njihove jednadžbe, već zbog toga što zakoni klasične fizike ne mogu objasniti sve pojave u prirodi, prvenstveno u mikrosvijetu [6].

### 3.5. Ultraljubičasta katastrofa

Ultraljubičasta katastrofa, također poznata i kao Rayleigh-Jeansova katastrofa bila je predviđanje bazirano na klasičnoj fizici koje je tvrdilo da će idealno crno tijelo u termodinamičkoj ravnoteži emitirati zračenje u svim frekventnim pojasevima, pri čemu će emitirati više energije s povećanjem frekvencije. Rayleigh-Jeansova jednadžba poklopila se s pokusima s visokim valnim duljinama (niske frekvencije), međutim sasvim se suprostavljala rezultatima s kratkim valnim duljinama (visoke frekvencije), točnije u ultraljubičastom području. Ova nedosljednost između opažanja i predviđanja klasične fizike općenito je poznata kao ultraljubičasta katastrofa ili Rayleigh - Jeans katastrofa. Izračunom ukupne količine energije zračenja (tj. zbroja emisija u svim frekvencijskim rasponima), može se pokazati da bi crno tijelo u ovom slučaju oslobodilo beskonačnu količinu energije, što je u suprotnosti sa zakonom očuvanja energije. Grafički prikaz ultraljubičaste katastrofe možemo vidjeti na Slici 3.4. koja prikazuje jasnu razliku između predviđanja klasične fizike (Rayleigh-Jeansov zakon) i mjerenja koja su pokazala što je predvidio Max Planck (Planckov zakon). Proučavanje zakona crnih tijela i neuspjeh klasične fizike da ih opiše pomogli su u postavljanju temelja kvantne mehanike. Rješenje ovog problema

predložio je njemački teorijski fizičar Max Planck, koji je uveo vrlo čudnu (za to vrijeme) pretpostavku da se energija zrači i apsorbira u diskretnim "kvantima" (ili energetske pakete)[7].



Slika 3.4. Graf razlike između eksperimentalnih rezultata i krivulje dobivene Rayleigh-Jeansovim zakonom.

### 3.6. Planckov zakon

Max Planck (23.04.1858. – 04.09.1947.) bio je njemački teorijski fizičar i smatra ga se osnivačem kvantne teorije koja mu je 1918. godine donijela Nobelovu nagradu za fiziku. Planck je dao velik doprinos teorijskoj fizici, ali njegova slava počiva prvenstveno na njegovom doprinosu i razvoju kvantne teorije. Ova teorija revolucionirala je naše shvaćanje atomskih i subatomskih procesa, baš kao što je teorija relativnosti Alberta Einsteina revolucionirala naše shvaćanje prostora i vremena [8]. Max Planck je 1900. godine formulirao matematički odnos koji objašnjava raspodjelu zračenja crnog tijela koja je odgovarala eksperimentalnim rezultatima. Planck je pretpostavio da su izvori zračenja atomi u stanju oscilacija te da vibracijska energija svakog oscilatora može imati bilo koju seriju diskretnih vrijednosti, ali nikada neku vrijednost između. Planck je nadalje pretpostavio da je, kada oscilator promijeni stanje energije  $E_1$  u stanje niže energije  $E_2$ , diskretna količina energije  $E_1 - E_2$ , ili kvantno zračenje, jednaka produktu frekvencije zračenja, označenoj slovom  $\nu$  i konstantnom  $h$ , poznata kao Planckova konstanta, koju je odredio iz podataka o zračenju tijela, tj.  $E_1 - E_2 = h\nu$  [9].

Planck je pokazao da se spektralno zračenje tijela pri apsolutnoj temperaturi  $T$  može računati kao:

$$B_\nu(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{k_B T}} - 1}$$

Gdje je  $k_B = 1,380\,649 \cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$  Boltzmannova konstanta,  $h = 6,626\,070\,015 \cdot 10^{-34} \text{ J*s}$  Planckova konstanta,  $c$  brzina svjetla u mediju, a  $B_\nu$  spektralna radijancija tijela na frekvenciji  $\nu$ .

Zračenje se također može mjeriti po jedinici valne duljine umjesto po jedinici frekvencije, pa u tom slučaju dobivamo:

$$B_\lambda(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k_B T}} - 1}$$

Gdje je:  $h = 6,626\,070\,015 \cdot 10^{-34} \text{ J*s}$  Planckova konstanta,  $c$  brzina svjetla u mediju,  $\lambda$  valna duljina,  $k_B = 1,380\,649 \cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$  Boltzmannova konstanta,  $T$  temperatura (K)

U granicama niskih frekvencija (tj. dugih valnih duljina), Planckov zakon teži Rayleigh-Jeansovom zakonu, dok se u granicama visokih frekvencija (tj. malih valnih duljina) približava Wienovoj aproksimaciji. Svako fizičko tijelo spontano i kontinuirano emitira elektromagnetsko zračenje. Blizu termodinamičke ravnoteže, emitirano zračenje je približno opisano Planckovim zakonom. Planckovo zračenje ima maksimalni intenzitet pri određenoj valnoj duljini koja ovisi o temperaturi. Max Planck izradio je zakon 1900. godine, izvorno samo s empirijski određenim konstantama, a kasnije je pokazao da je to, izraženo kao distribucija energije, jedinstvena stabilna distribucija zračenja u termodinamičkoj ravnoteži. Kao distribucija energije, ona je jedna od obitelji distribucija termičke ravnoteže koja uključuje distribuciju Bose-Einsteina, distribuciju Fermi-Diracovu i Maxwell-Boltzmannovu distribuciju [9].

### 3.7. Planckova konstanta

Planckova konstanta je temeljna fizikalna konstanta a pojavljuje se u matematičkim formulacijama kvantne mehanike, koje opisuju ponašanje čestica i valova na (sub)atomskej razini. Značenje Planckove konstante u tom kontekstu je da se zračenje, kao što je svjetlost, emitira, prenosi i apsorbira u diskretnim energijskim paketima ili kvantima, određeno frekvencijom zračenja i vrijednošću Planckove konstante. Kemija nam govori da je najmanja količina vode molekula vode, a svaki spremnik vode sastoji se od velikog broja jednakih molekula vode. Kako bi riješio temeljni problem u teoriji raspodjele energije, Planck se zapitao: Što ako energija djeluje na isti način? Što ako postoji najmanja jedinica energije, baš kao što

postoji i najmanja jedinica vode? Ideja da se energija može izraziti u diskretnim jedinicama ili "kvantizirati" bila je temeljna za razvoj kvantne teorije. Doista, mogli biste reći da je Planck stavio "kvante" u kvantnu mehaniku. Planck je postavio hipotezu o postojanju konstante, poznate kao Planckova konstanta, ili  $h$ , koja povezuje frekvenciju vala ili čestice s ukupnom energijom:

$$h = 6.6262 * 10^{-34} \text{ J*s}$$

Planckova konstanta definira količinu energije koju foton može nositi, prema frekvenciji vala u kojem putuje. Energija  $E$  svakog kvanta ili svakog fotona jednaka je Planckovoj konstanti pomnoženoj s frekvencijom zračenja  $\nu$ , ili jednostavno  $E = h*\nu$  [10].

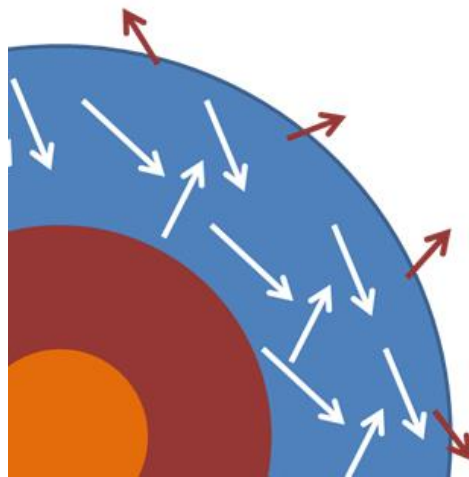
Planckova konstanta imala je duboke posljedice u tri važna područja: našoj tehnologiji, našem razumijevanju stvarnosti i našem razumijevanju samog života. Planckova konstanta također je omogućila izgradnju tranzistora, integriranih krugova i čipova koji su revolucionirali naše živote.

Za mjerenje Planckove konstante, znanstvenici su upotrijebili dva različita eksperimenta. Prvi je Kibbleova vaga. Kibbleova vaga je iznimno precizna vaga koja je na početku korištena za točnije određivanje Ampera (jedinica za jakost struje). Drugi način je mjerenje gustoće kristala pomoću X-zraka (XRCD). Ova metoda svodi se na precizno određivanje Avogadrove konstante iz koje se zatim računa Planckova konstanta [10].



## 4. ZVIJEZDE I PLANETI KAO CRNA TIJELA

Zvijezde ili planete često modeliramo kao crno tijelo. Neki fotoni „pobjegnu“ i emitiraju se u Svemir, ali energija koju oni odnesu zamjenjuje se energijom unutar zvijezde tako da je temperatura fotosfere gotovo stabilna. Promjene koje nastaju u jezgri dovode do promjene energije u fotosferi, ali takve promjene možemo ovdje zanemariti. Pod pretpostavkom da zanemarimo te promjene vanjski sloj zvijezde možemo promatrati kao šupljinu s rupom, pri čemu je rupa zamijenjena ograničenim propuštanjem u Svemir s vanjske strane fotosfere. Uz sve ove pretpostavke zvijezda emitira zračenje crnog tijela na temperaturi fotosfere. Idealizirani presjek zvijezde možemo vidjeti na slici ispod [3].



Slika 4.1. Idealizirani presjek zvijezde

### 4.1 Kozmičko mikrovalno pozadinsko zračenje

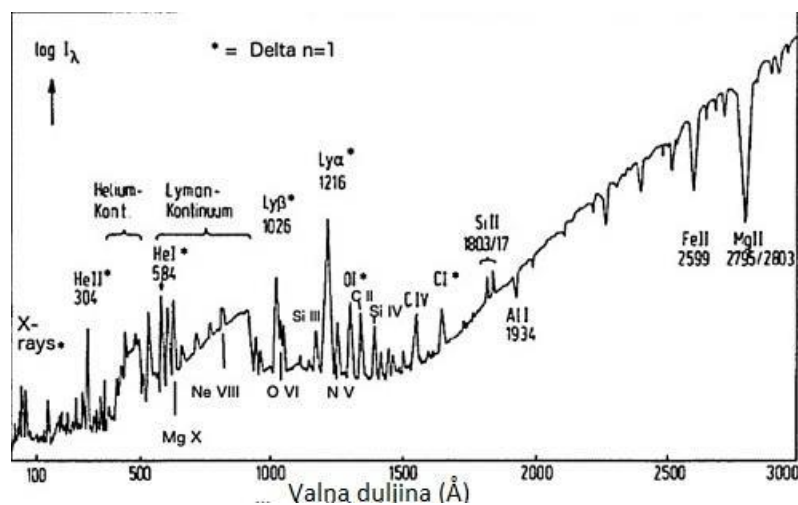
Teorija Velikog praska temelji se na kozmološkom principu, koji kaže da je na velikoj prostornoj skali distribucija materije u Svemiru homogena i izotropna. Prema teoriji, Svemir je otprilike sekundu nakon nastanka bio gotovo idealno crno tijelo u toplinskoj ravnoteži na temperaturi iznad  $10^{10}$  K. Temperatura je opadala kako se Svemir širio, a tvar i zračenje u njemu hladili. Kozmičko pozadinsko mikrovalno zračenje "najsavršenije je crno tijelo ikad izmjereno u prirodi". Ima gotovo idealan Planckov spektar na temperaturi od oko 2,7 K [3].

Još jedno gotovo idealno crno tijelo u svemiru je crna rupa. Crna rupa je područje prostor-vremena u kojem je velika masa zbijena u malu točku iz koje ništa ne izmiče pa čak ni elektromagnetsko zračenje. Oko crne rupe postoji matematički definirana površina koju nazivamo horizont događaja koji označava točku bez povratka. Nazvana je crnom jer apsorbira svu svjetlost koja dolazi do horizonta, a da pritom ništa ne reflektira, što ju čini gotovo idealnim crnim tijelom (zračenje s valnom duljinom jednakom ili većom od promjera crne rupe možda se neće apsorbirati pa zato nije posve idealno) [3].

## 4.2. Rezultantni spektar Sunčevog zračenja

Sunčev elektromagnetski spektar sastoji se u svojoj osnovi od spektra zračenja crnog tijela koji čini kontinuum te od mnoštva apsorpcijskih i emisijskih linija načičkanih po njemu.

Apsorpcijske linije nastaju prelaskom elektrona unutar različitih energijskih nivoa u atomu [12].



Slika 4.2. Prikaz Sunčevog spektra s istaknutim emisijskim i apsorpcijskim karakteristikama po cijeloj Sunčevoj atmosferi.

## 5. SUNCE I ZEMLJA

Sunčevo zračenje predstavlja ukupno elektromagnetsko zračenje koje emitira Sunce. Sunčevo zračenje se sastoji od različitih valnih duljina i većina (99%) otpada na spektar  $0,275 \mu\text{m} < \lambda < 4,6 \mu\text{m}$ . Maksimum mu je na  $0,48 \mu\text{m}$  te se sastoji od ultraljubičastog ( $0,12 \mu\text{m} < \lambda < 0,4 \mu\text{m}$ ), vidljivog ( $0,4 \mu\text{m} < \lambda < 0,76 \mu\text{m}$ ) i infracrvenog dijela ( $\lambda > 0,76 \mu\text{m}$ ). Na ultraljubičasti dio otpada 8,3%, na vidljivi oko 41,5% i na infracrveni oko 49,5% ukupne energije Sunčevog elektromagnetskog zračenja [11].

Solarna konstanta je ukupna izračena energija primljena sa Sunca u jediničnom vremenu po jediničnoj površini, na površini udaljenoj  $1 \text{ AJ}^1$  od Sunca i okomitoj na Sunčeve zrake. Približna vrijednost ove konstante je 1.366 kilowatta po kvadratnom metru. Tijekom 11-godišnjeg Sunčevog ciklusa ova konstanta porasta za samo 0.2% [13].

### 5.1. Važnost Sunčevog zračenja za Zemlju

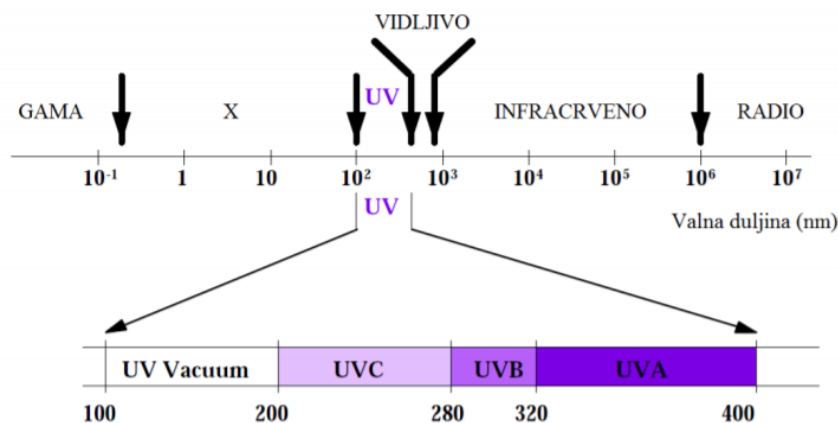
Sunčevo zračenje osigurava toplinu, svjetlost i energiju neophodnu za sve žive organizme. Infracrveno zračenje opskrbljuje sva staništa toplinom, na kopnu i u vodi. Grabežljivci ne bi mogli učinkovito loviti plijen bez svjetlosti Sunca i plijen ne bi mogao iskoristiti tamna područja da su grabežljivci prilagođeni mračnim staništima. Ljudske oči prilagođene su vidljivom spektru, iako neke druge vrste osim boja mogu vidjeti ultraljubičasto ili infracrveno svjetlo. Posebno je važna razina fotosintetski aktivnog zračenja (FAR) koju Zemlja prima. To je zato što različite biljke reagiraju na različite valne duljine fotosintetski aktivnog zračenja. Većina biljaka reflektira zelene valne duljine dok apsorbira ostatak vidljivog svjetlosnog spektra. Iako je glavna prednost fotosinteze energija za biljke ona ima i druge važne posljedice. Kisik je nusprodukt fotosinteze. Proces osigurava da se proizvede više kisika nego što ga koriste organizmi u okolini. Ako fotosinteza ne proizvede dovoljno otopljenog kisika pod vodom, može stvoriti uvjete u kojima ribe i drugi organizmi ne mogu živjeti. Fotosinteza također koristi ugljični dioksid, smanjujući tako razinu ugljičnog dioksida u zraku i vodi [1].

---

<sup>1</sup> AJ – astronomska jedinica (prosječna udaljenost Zemlje od Sunca)

## 5.2. Ultraljubičasto zračenje

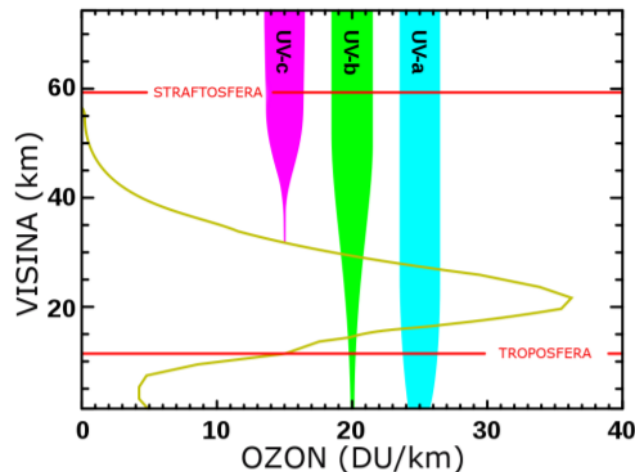
Godine 1801. Johann Ritter proveo je eksperiment kako bi istražio postojanje energije izvan ljubičastog kraja vidljivog spektra. Znajući da će fotografski papir postati crn brže u plavom svjetlu nego u crvenom svjetlu, on je izložio papir svjetlosti izvan ljubičastog. Naravno, papir je postao crn, dokazujući postojanje ultraljubičastog svjetla. UV zračenje predstavlja širok raspon valnih duljina, od X zračenja (0,03 nm) do vidljivog zračenja (400 nm) (slika 5.1.) [1].



Slika 5.1. Raspon UV zračenja u elektromagnetskom spektru

Ultraljubičasto zračenje može se podijeliti na tri raspona valnih duljina: UV-A, UV-B i UV-C. Sve valne duljine ultraljubičastog svjetla mogu izravno utjecati na DNK vodenih stanovnika te stvarati štetne foto-kemikalije. Što je duljina valova kraća, to je veća šteta koju može nanijeti. UV-C obuhvaća valne duljine između 100 i 280 nm. Ovaj raspon zračenja čini samo 0,5% svih Sunčevih zračenja, ali može nanijeti najveću štetu organizmima. Međutim, većinu tog kratkovalnog zračenja apsorbiraju stratosferni plinovi (ozon), a vrlo malo doseže površinu Zemlje. UV-B zračenje (280-320 nm) je dio zračenja koji se samo djelomično apsorbira u stratosferi. Ovo područje zračenja poznato je kao uzrok raka kože kod ljudi i može narušiti fotosintezu u mnogim biljkama. Dubina do koje štetno UV-B zračenje prodire u vodu ovisi o mutnosti i vrsti vode. UV-B će doći do većih dubina u slanoj vodi nego u slatkoj vodi i može doseći čak 20 metara ispod površine oceana. Izloženost UV-B zrakama povećava rizik od oštećenja DNK i drugih stanica živih organizama. Srećom, oko 95% UV-B zraka apsorbira ozon u Zemljinoj atmosferi. UV-A zračenje prolazi kompletno kroz ozonski omotač i čini 96% ukupnog UV zračenja koje dolazi do Zemljine površine, što možemo vidjeti na slici 6. UV-A (320-400 nm) ima manje energije od UV-B i premda se ne apsorbira u ozonu, može biti

blokirano oblacima. UV-A se naziva i crnom svjetlošću te je poznata po svojoj sposobnosti izazivanja fluorescencije u nekim materijalima. UV-A je odgovorna za opekline od sunca kod ljudi. UV-A također može biti jako štetno za biljni svijet jer može smanjiti fotosintezu za više od 70%. Razlog tome je što UV-A smanjuje učinkovitost elektronskog transporta koji smanjuje proizvodnju fotosinteze [1].

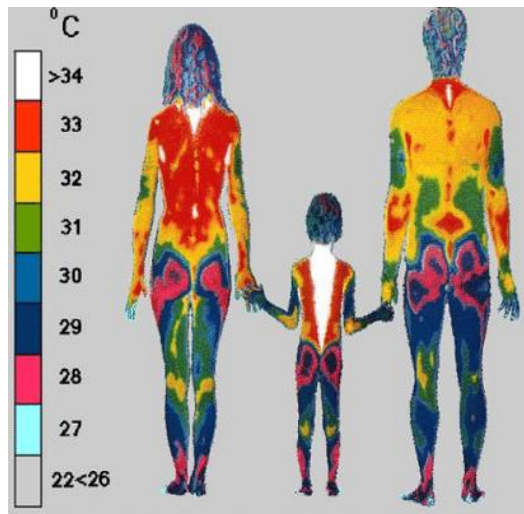


Slika 5.2. Apsorpcija UV zračenja u atmosferi

### 5.3. Infracrveno zračenje

Infracrveno zračenje otkrio je njemačko britanski astronom William Herschel 1800. godine. Infracrveno zračenje je vrsta zračenja energije koja je nevidljiva ljudskom oku, ali koju možemo osjetiti kao toplinu. Svi objekti u svemiru emitiraju neku razinu infracrvenog zračenja, a najvažniji izvor za nas je Sunce. Unutar elektromagnetskog spektra infracrveni valovi pojavljuju se na frekvencijama iznad mikrovalova i neposredno ispod onih crvenog vidljivog svjetla, odakle i naziv „infracrveno”. Slično vidljivom spektru svjetlosti, koji se kreće od ljubičastog (najkraća valna duljina vidljive svjetlosti) do crvenog (najdulja valna duljina), infracrveno zračenje ima svoj raspon valnih duljina. Kraći valovi, koji su bliže vidljivom svjetlu na elektromagnetskom spektru, ne emitiraju nikakvu mjerljivu toplinu i svakodnevno ih koristimo u daljinskim upravljačima TV-a kako bi promijenili kanale. Dulji infracrveni valovi, koji su bliže mikrovalnom području na elektromagnetskom spektru, mogu se osjetiti u obliku topline. Infracrveno svjetlo nalazi se na suprotnoj strani spektra od ultraljubičastog svjetla. Ovo zračenje ima valnu duljinu  $> 700$  nm i osigurava 49,4% sunčeve energije. Infracrveno zračenje lako se apsorbira molekulama vode i ugljičnog dioksida i pretvara u toplinsku energiju. Infracrveno se

svjetlo reflektira više od UV ili vidljivog svjetla zbog svojih duljih valnih duljina. Ova refleksija omogućava infracrvenom zračenju prijenos topline između površine, vode i zraka [1].

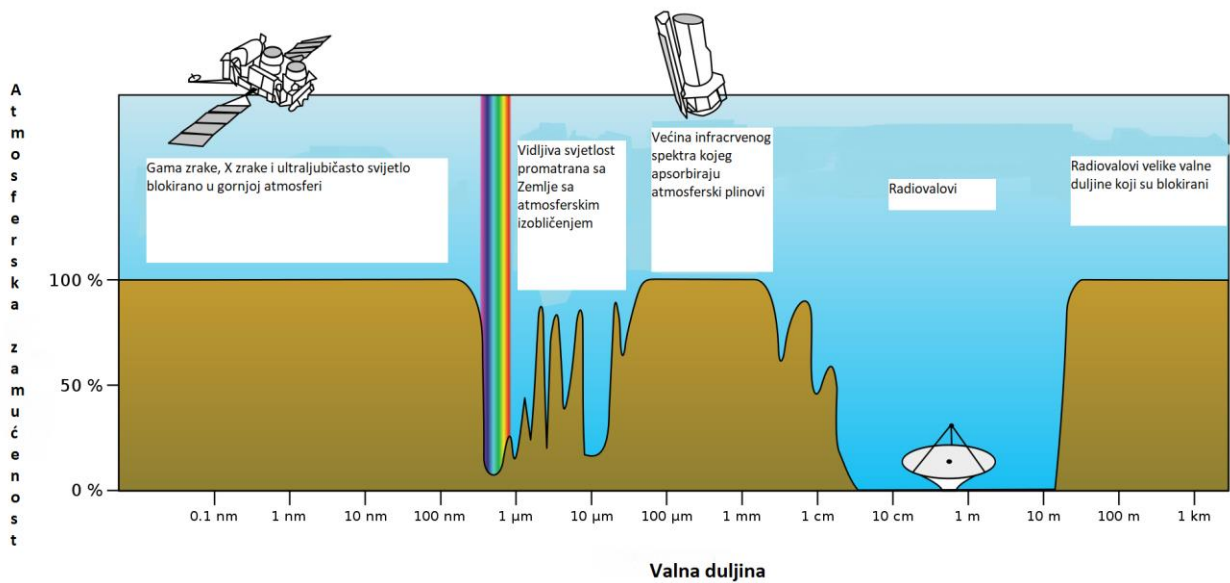


Slika 5.3. Prikaz ljudi dobiven korištenjem infracrvene kamere

## 5.4. Radio zračenje

Od svih vrsta elektromagnetskog zračenja radio valovi imaju najnižu frekvenciju i najveću valnu duljinu. Zemljina atmosfera propušta radiovalove valnih duljina od par milimetara do oko dvadeset metara, tako na na tlu možemo graditi i radio teleskope. Radio astronomija započela je u 1930-ima, no svoj puni razvoj doživjela je tek nakon Drugog svjetskog rata. Brojni svemirski izvori radiovalova su otkriveni, kao npr. radio galaksije, kvazari, emisije iz središta Mliječne Staze te radio emisija povezana sa Sunčevom aktivnošću [14].

Mikrovalovi imaju velike valne duljine, a frekvencije su im u rasponu od 300 MHz do 300 GHz. Zemljina atmosfera propušta i neke valne duljine mikrovalnog zračenja. Veće valne duljine, slične radio valovima, lakše su propušteni kroz Zemljinu atmosferu [14].



Slika 5.4. Radio-prozor je raspon radio-frekvencija koje Zemljina atmosfera propušta do tla.

## 5.5. Vidljivo zračenje

Vidljivo zračenje obuhvaća spektar od 400 – 700 nm. Vidljivo zračenje obuhvaća elektromagnetski spektar od vidljivog plavog/ljubičastog do crvenog svjetla. Plavo svjetlo ima veću energiju i kraću valnu duljinu od zelenog ili crvenog svjetla. Crveno svjetlo ima najnižu energiju u vidljivom spektru. Kako vidljiva svjetlost dopire do Zemlje, površina će apsorbirati ili odražavati različite valne duljine, proizvodeći vidljivu boju. Spektar vidljivog zračenja se sastoji od: ljubičaste boje (koja ima najveću frekvenciju i najkraću valnu duljinu), plave boje, zelene boje, žute, narančaste i crvene boje (koja ima najmanju frekvenciju i najdulju valnu duljinu). Znamo da ljusko oko reagira samo na vrlo ograničen raspon valnih duljina, koji nazivamo vidljiva svjetlost. Naše oči mogu raspoznati vrlo male razlike unutar tog raspona, a upravo te male razlike nazivamo bojama. Dakle boje predstavljaju male razlike u frekvenciji vidljive svjetlosti. Sve boje koje vidimo su ustvari rezultat faktora refleksije svjetlosti, pa tako recimo vegetacija upija crvenu i plavu svjetlost, a reflektira zelenu, pa nam stoga biljke izgledaju zeleno. Tijela koja upijaju plavo a reflektiraju crveno, izgledaju nam crvene boje, dok je tvar koja podjednako reflektira svjetlost u svim bojama bijela, crna ili siva [15].

## 6. SUNČEVO ZRAČENJE NA ZEMLJI

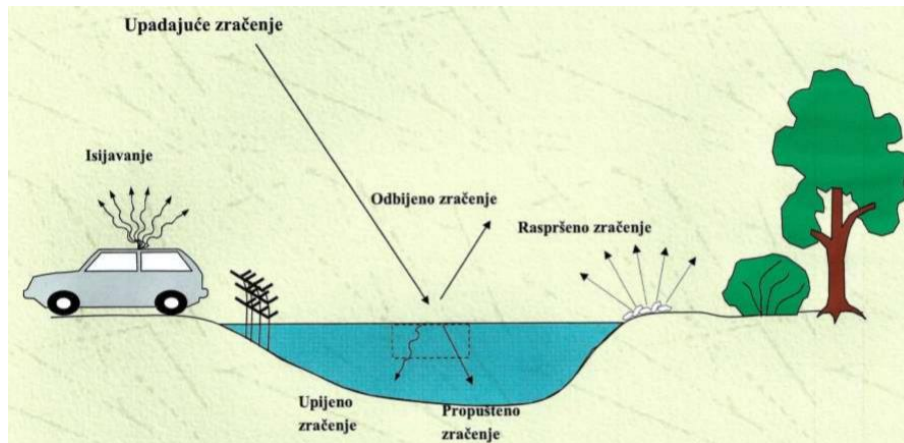
Sunčevo zračenje na određenoj lokaciji na Zemlji ovisi o nadmorskoj visini, kutu Sunca (zbog zemljopisne širine, godišnjeg doba i vremena tijekom dana) i elementima raspršenja kao što su oblaci. Što se tiče ovisnosti Sunčevog zračenja o nadmorskoj visini, jasno je da se s povećanjem nadmorske visine smanjuje put koji zračenje mora proći od atmosfere do površine Zemlje. To može značiti veće zračenje, iako ne i veće temperature. Takvo intenzivno zračenje doprinosi sušnim klimama, a tanji zrak znači da više ultraljubičastog zračenja dolazi do površine na tim visinama [1].

Druga bitna stavka koja utječe na količinu zračenja na Zemlji je kut Sunca. Što je kut Sunca manji, to je veća količina ozona kroz koju svjetlost mora proći. Upravo zato je kut Sunca također važan čimbenik koji utječe na količinu ultraljubičastog zračenja koje dopiše na Zemlju jer ozon upija UV svjetlost i može smanjiti intenzitet zračenja. Kut Sunca ovisi o zemljopisnoj širini, dijelu godine i vremenu u danu. Udaljenost koju zračenje mora prijeći biti će najkraća kada je Sunce direktno iznad glave. Zato je godišnje neto Sunčevo zračenje veće iznad ekvatora nego preko sjevernih i južnih geografskih širina jer je hemisfera nagnuta od Sunca [1].

Tijekom dana, kut Sunca do bilo koje lokacije na Zemlji smanjivati će se od izlaska Sunca do podneva, a zatim će se povećavati do zalaska Sunca. Pri većim kutovima (ujutro i navečer) Sunčevo zračenje mora proći kroz više atmosfere, što smanjuje njegov intenzitet. Zato se Sunčevo svjetlo osjeća manje intenzivno u večernjim satima nego u podne [1].

Naoblaka i zagađenje zraka također mogu smanjiti količinu zračenja koja dolazi do Zemljine površine jer oblaci i aerosoli u atmosferi mogu raspršiti i apsorbirati zračenje. Kako se naoblaka povećava, kut Sunca postaje manje važan za mjerenje zračenja. Razlog tome je povećanje difuzije zračenja (raspršivanje). Povećana naoblaka smanjuje zračenje, zbog čega se Sunčevo zračenje osjeća manje intenzivno [1].





Slika 6.1. Ponašanje elektromagnetskog vala u doticaju sa površinom Zemlje

Slika 6.1. pokazuje ponašanje elektromagnetskog vala u doticaju sa površinom Zemlje. Možemo vidjeti da se dio upadnog zračenja koji prođe kroz atmosferu upija u različite površine ovisno o njihovim karakteristikama, dok se dio zračenja reflektira zagrijavajući zrak.

## 6.1. Mjerenje Sunčeve svjetlosti

Tek kada se zapitamo koliko svjetla Sunce stvarno proizvodi shvatimo koliko je to pitanje uistinu složeno jer postoje različiti načini razmišljanja i mjerenja svjetlosti. Sunčeva svjetlost obično se definira u jedinicama zračenja, jer je samo polovica Sunčevog zračenja koje dopire do Zemlje vidljiva svjetlost, a znamo da energija ne dolazi samo od vidljive svjetlosti već od ukupnog zračenja. Energija zračenja može se mjeriti u džulima (J), iako se češće mjeri kao tok zračenja ili zračena energija, koja se izražava kao energija tijekom vremena. Osnovna jedinica snage je watt (J/sekunda). Sunce emitira 384,600,000,000,000,000,000,000 vata ( $3.846 \cdot 10^{26}$  W). Ta energija se izračuje od Sunca u obliku sfere, gdje će samo jedan dio pasti na Zemlju. Energija koja dopire do Zemlje mjeri se kao Sunčevo zračenje. Obzirom na procijenjenu snagu zračenja Sunca, intenzitet solarne energije koja doseže vrh Zemljine atmosfere (izravno prema Suncu) iznosi  $1.360 \text{ W/m}^2$  [1].

Količina zračenja koja dolazi do površine Zemlje može varirati zbog Zemljine eliptične orbite, Sunčevih bljeskova i količine atmosfere kroz koju zračenje mora proći (zbog kuta Sunca prema površini ili prisutnosti oblaka).

Lumen (lm) je standardna mjera vidljive „svjetlosti” koju vidi ljudsko oko. Lumeni se mogu mjeriti samo preko raspona vidljivog svjetla. Jedan lumen svjetla po jednom kvadratnom metru je jednak jednom luksu (lx) ( $\text{lm}/\text{m}^2$ ), koji je jedinica SI sustava za osvjetljenje. Pri direktnoj Sunčevoj svjetlosti, kada je Sunce na zenitu (direktno iznad glave), izmjereni luks može biti i do 130,000. U većini sunčanih dana (bez direktnog svjetla), osvjetljenje je obično 10,000-25,000 lx [13].

Sunčevo zračenje na ulazu u Zemljinu atmosferu nazivamo ekstraterestičkim zračenjem. Kako se udaljenost Zemlje od Sunca mijenja tijekom godine i ekstraterestičko ozračenje (iradijancija) se mijenja od najmanje vrijednosti  $1321 \text{ W}/\text{m}^2$  do najveće  $1412 \text{ W}/\text{m}^2$ . Ekstraterestičko ozračenje okomito na Sunčeve zrake za srednju udaljenost Zemlje od Sunca naziva se Sunčeva (solarna) konstanta. Određivanje solarne konstante započelo je na prijelazu u 20. stoljeće. Iako se naziva solarnom konstantom, na temelju rezultata nekoliko desetljeća satelitskih mjerenja, može se utvrditi da Sunčeva konstanta i nije konstanta već se mijenja zajedno s promjenom Sunčeve aktivnosti. Sunčeva aktivnost ima u prosjeku 11-godišnji ciklus (tzv. Schwabe-ov ciklus), a na zračenje utječu i drugi fenomeni, kao što je 27-dnevna diferencijalna rotacija Sunca oko svoje osi, Sunčeve pjege, prominencije i baklje. Svjetska meteorološka organizacija je 1981. godine standardizirala Solarnu konstantu u iznosu od  $I_0=1367 \text{ W}/\text{m}^2$  [13].

## 7. UTJECAJ SUNČEVOG ZRAČENJA NA ŽIVOT NA ZEMLJI

Sunčeva svjetlost je odgovorna za zagrijavanje Zemlje, oceana i atmosfere djelovanjem infracrvenog zračenja. I voda i kopno reflektiraju dio tog zračenja i zagrijavaju atmosferu. Općenito, što su tijelo ili površina tamniji, brže će apsorbirati svjetlost i toplinu. Temperatura zraka indirektno ovisi o Sunčevom zračenju. Iako sam zrak ne apsorbira infracrveno zračenje, dobiva toplinu sa Zemljine površine. Taj učinak nastaje prijenosom topline kondukcijom i konvekcijom. Zemlja upija infracrveno zračenje i pretvara ga u toplinsku energiju. Kako površina upija toplinu Sunca ona postaje toplija od okolne atmosfere. Toplina se zatim prenosi kondukcijom od toplije Zemlje u hladniju atmosferu. Sam zrak je loš vodič topline, tako da uspon i pad toplog i hladnog zraka, zagrijava ostatak atmosfere koji nije u dodiru s površinom. Kako se topli zrak uzdiže, hladniji zrak tone na površinu, gdje se zagrijava i proces se nastavlja [16].

Zemljina površina također reflektira dio infracrvenog zračenja natrag u zrak. To reflektirano zračenje može biti zarobljeno i apsorbirano plinovima u atmosferi, ili ponovno zračeno natrag na Zemlju. Ovaj proces se zove efekt staklenika. Bez efekta staklenika, prosječna temperatura površine Zemlje bila bi oko 18 °C umjesto sadašnjih +18 °C [1].

Infracrveno Sunčevo zračenje apsorbira se u vodenim površinama i pretvara u toplinsku energiju. Ovo nisko-energetsko zračenje pobuđuje elektrone i zagrijava gornji sloj vode. Gotovo svo infracrveno zračenje apsorbira se unutar jednog metra površine. Ta se toplina zatim prenosi na veće dubine kretanjem struja i konvekcijom [1].

### 7.1 Utjecaj Sunca na fotosintezu

Jedan od najvažnijih procesa na koji Sunce ima utjecaj je fotosinteza. Fotosinteza je proces kojim biljke i drugi organizmi, poznati i kao fotoautotrofi, koriste energiju iz Sunčeve svjetlosti za proizvodnju glukoze. Kako se proces fotosinteze može odvijati i na kopnu i pod vodom Sunce ima ogroman utjecaj na naš biljni i životinjski svijet, ali i na život nas samih jer se procesom fotosinteze proizvodi kisik. Glavna karakteristika Sunca koja utječe na fotosintezu je toplina pošto fotosinteza zahtijeva toplinu za aktiviranje procesa. Kako toplina povećava kinetičku energiju, viša temperatura može ubrzati kemijske reakcije uz pokretanje procesa [16]. Iako

povišene temperature mogu ubrzati fotosintezu, prevelika toplina može biti štetna. Na određenoj temperaturi enzimi postaju promijenjeni i gube svoj oblik. Takvi enzimi više ne ubrzavaju kemijske reakcije i umjesto toga usporavaju fotosintezu. Temperatura je stoga važan čimbenik u fotosintetskoj proizvodnji, kako u aktiviranju, tako i u održavanju procesa. Zbog toga postoje različite optimalne temperature fotosinteze za različite organizme [1].

## **7.2 Utjecaj Sunca na život u vodi**

Kada je voda izložena prekomjernim količinama Sunčeve svjetlosti, infracrveno zračenje zagrijava vodu. Što je voda toplija, brže će ispariti. To može smanjiti razinu i protok vode. Osim toga, topla voda ne može sadržavati toliko otopljenog kisika koliko hladna voda. To znači da je u toplijoj vodi manje otopljenog kisika dostupnog za vodene organizme. Previše infracrvenog svjetla također može uzrokovati denaturaciju enzima koji se koriste u fotosintezi, što može usporiti ili zaustaviti proces fotosinteze. S druge strane zračenje se može ograničiti oblačnim danima, izvorima hladovine ili niskim kutovima Sunca. Ako je zračenje Sunca niže nego obično tijekom duljeg vremenskog razdoblja, fotosintetska produkcija može se smanjiti ili u potpunosti zaustaviti. Bez Sunčeve svjetlosti, fitoplankton i biljke konzumirat će kisik umjesto da ga proizvode. Ta stanja mogu uzrokovati pad razine otopljenog kisika u vodi, što može uzrokovati pomor ribe [16].

## **7.3 Utjecaj Sunca na zdravlje ljudi**

Sunčeva svjetlost igra ključnu ulogu u zdravlju i dobrobiti ljudi. premalo izlaganje Suncu može utjecati na naše raspoloženje te povećati rizik od nedostatka vitamina D. Dok s druge strane prekomjerno izlaganje Suncu može negativno utjecati na kožu, oči i imunološki sustav.

Stručnjaci vjeruju da se četiri petine karcinoma kože može spriječiti jer se štete uzrokovane ultraljubičastim zrakama obično mogu izbjeći. UV indeks međunarodni je standard koji mjeri intenzitet ultraljubičastog zračenja koje uzrokuje opekline na određenom mjestu u određeno vrijeme. Mnoge nacionalne meteorološke agencije obavještavaju građane i izdaju upozorenja o razinama UV zraka, te surađuju sa zdravstvenim tijelima kako bi javnosti prenijele sigurnosne preporuke. Opekline nastaju zbog pretjerane izloženosti kože ultraljubičastom zračenju. Zaštita

od Sunca vrlo je važna jer prekomjerno ultraljubičasto zračenje izravno oštećuje DNK u stanicama naše kože. Obrambeni sustav tijela često nije u stanju u potpunosti popraviti oštećenja uzrokovana Sunčevom svjetlošću. Ona s godinama postupno dovodi do starenja kože i može dovesti do raka kože. Ultraljubičasto zračenje može ozbiljno utjecati na stanje naših očiju i oštetiti površinska tkiva očiju, rožnicu i leću. Poput površine kože, ultraljubičasto zračenje može uzrokovati opekline na površini oka. Dugotrajna izloženost ultraljubičastom zračenju može imati i teže posljedice. Izloženost ultraljubičastom zračenju važan je čimbenik rizika za nastanak očne mrežnice koja je glavni uzrok sljepoće u svijetu. Nekoliko sati Sunčeve svjetlosti povećat će proizvodnju serotonina u tijelu, čime će utjecati na to kako se osjećamo. Taj učinak se vidi u sezonskim promjenama mentalnih pojava povezanih s izlaganjem više ili manje Sunčeve svjetlosti, osobito u simptomima i tjeskobi povezanim s raspoloženjem. Sunčeva svjetlost također je potrebna za proizvodnju vitamina D, koji pomaže u regulaciji razine kalcija i fosfata u tijelu, kao i minerala potrebnih za održavanje zdravih kostiju i zubi [16].

## 8. UTJECAJ ATMOSFERE NA SUNČEVO ZRAČENJE

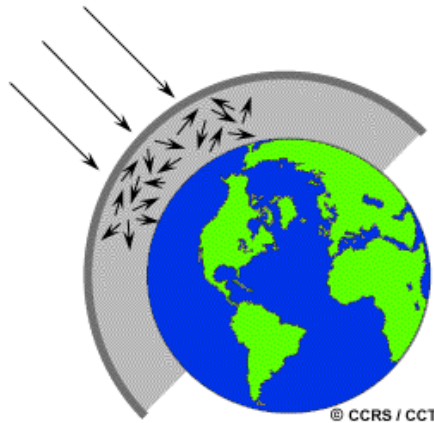
Prije nego što Sunčevo zračenje dođe do Zemljine površine, mora proći kroz Zemljinu atmosferu. Čestice i plinovi u atmosferi mogu utjecati na dolazeću svjetlost i zračenje, a ti su učinci uzrokovani mehanizmima raspršenja i apsorpcije [17].

Raspršivanje se događa kada čestice ili velike plinske molekule prisutne u atmosferi međusobno djeluju i uzrokuju preusmjeravanje elektromagnetskog zračenja s njegovog izvornog puta. Količina raspršenja ovisi o nekoliko čimbenika, uključujući valnu duljinu zračenja, količinu čestica ili plinova, te udaljenost koju zračenje mora proći kroz atmosferu. U atmosferi se događaju tri vrste raspršenja:

- Rayleighovo raspršenje
- Mie raspršenje
- Neselektivno raspršenje

### 8.1. Rayleighovo raspršenje

Rayleighovo raspršenje nastaje kada su čestice vrlo male u usporedbi s valnom duljinom zračenja. To mogu biti čestice kao što su sitne čestice prašine ili dušika te molekule kisika. Rayleighovo zračenje djeluje na način da se kraće valne duljine zračenja rasprše mnogo više od duljih valnih duljina. Rayleighovo raspršenje je dominantan mehanizam raspršenja u gornjoj atmosferi. Činjenica da se nebo tijekom dana čini „plavim” je posljedica ovog raspršenja. Kako Sunčevo svjetlo prolazi kroz atmosferu, kraće valne duljine (tj. plave boje) vidljivog spektra raspršene su više od drugih (dužih) vidljivih valnih duljina. Pri izlasku i zalasku Sunca svjetlost mora putovati dalje kroz atmosferu nego u podne, a raspršenje kraćih valnih duljina je potpunije, što ostavlja veći udio duljih valnih duljina za prodor u atmosferu [17].



Slika 8.1. Prikaz mehanizma raspršenja Sunčevog zračenja prolaskom kroz atmosferu

## 8.2 Mie raspršenje

Mie raspršenje nastaje kada su čestice koje uzrokuju raspršenje približno iste veličine kao i valna duljina zračenja. Prašina, pelud, dim i vodena para česti su uzroci Mie raspršenja koje utječe na raspršivanje većih valnih duljina od onih na koje utječe Rayleighovo raspršenje. Ova vrsta raspršenja se uglavnom događa u nižim dijelovima atmosfere gdje su veće čestice prisutne u većoj količini i dominira kada su oblačni uvjeti [17].

## 8.3 Neselektivno raspršenje

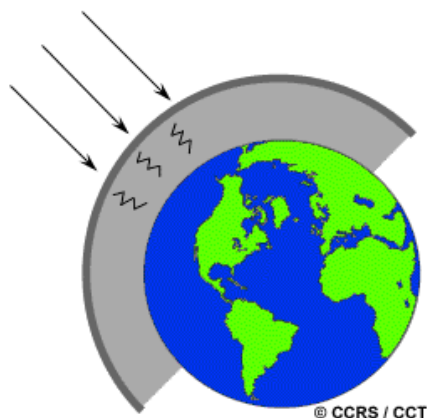
Posljednji mehanizam raspršivanja koji ćemo ovdje spomenuti naziva se neselektivno raspršenje. Ono se događa kada su čestice koje uzrokuju raspršenje mnogo veće od valne duljine zračenja. Kapljice vode i velike čestice prašine glavni su uzroci ove vrste raspršenja. Neselektivno raspršenje dobilo je ime po tome što su sve valne duljine raspršene približno jednako [17].



Slika 8.2. Ova vrsta raspršenja uzrokuje da nam magla i oblaci izgledaju bijeli jer su plavo, zeleno i crveno svjetlo raspršeni u približno jednakim količinama (plavo + zeleno + crveno svjetlo = bijelo svjetlo).

#### 8.4. Apsorpcija zračenja u atmosferi

Apsorpcija (Slika 8.3.) je drugi glavni mehanizam koji djeluje kada elektromagnetsko zračenje stupa u interakciju s atmosferom. Za razliku od raspršenja, ovaj fenomen uzrokuje da molekule u atmosferi apsorbiraju energiju na različitim valnim duljinama. Ozon, ugljični dioksid i vodena para tri su glavna sastojka atmosfere koji apsorbiraju zračenje [17].



Slika 8.3. Prikaz mehanizma apsorpcije Sunčevog zračenja prolaskom kroz atmosferu

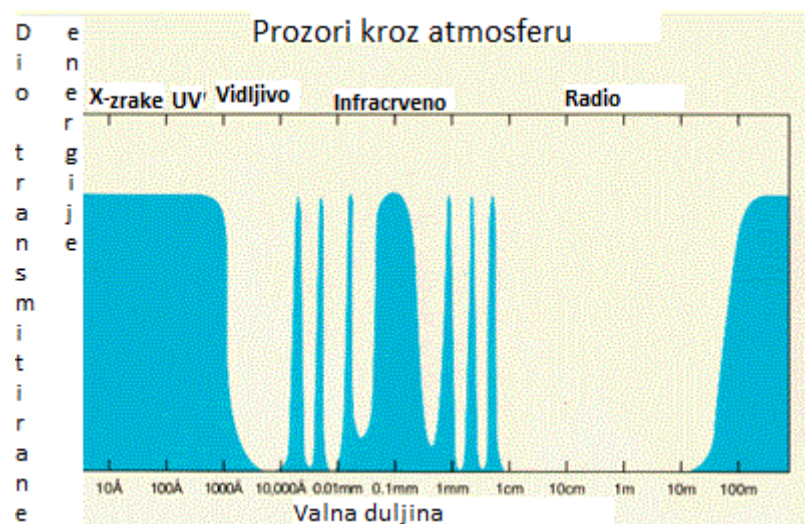
Ozon je izuzetno važan za život na Zemlji jer služi za upijanje štetnog (za većinu živih bića) ultraljubičastog zračenja Sunca. Bez ovog zaštitnog sloja u atmosferi naša bi koža izgorjela pri izlaganju Sunčevoj svjetlosti [17].



Poznato je da se ugljični dioksid naziva i stakleničkim plinom. To je zato što ima tendenciju snažnog upijanja zračenja u dalekom infracrvenom dijelu spektra, području povezanom s toplinskim zagrijavanjem, koje služi za zadržavanje topline unutar atmosfere [16].

Vodena para u atmosferi apsorbira veliki dio dolaznog dugovalnog infracrvenog i kratkovalnog mikrovalnog zračenja (između 22  $\mu\text{m}$  i 1 m). Prisutnost vodene pare u donjim slojevima atmosfere uvelike varira od mjesta do mjesta, te također ovisi i o godišnjem dobu. Na primjer, zračna masa iznad pustinje ima vrlo malo vodene pare za apsorpciju energije, dok tropska područja imaju visoku koncentraciju vodene pare [16].

Atmosfera, zbog mnogo različitih plinova i čestica koje se u njoj nalaze, apsorbira i prenosi mnogo različitih valnih duljina elektromagnetskog zračenja. Valne duljine koje prolaze kroz atmosferu neapsorbirane tvore takozvane "atmosferske prozore" [17].



Slika 8.4. Prikaz „atmosferskih prozora“ kroz Zemljinu atmosferu

Atmosferski prozori mogu se vidjeti na slici iznad koja prikazuje linije prijenosa zračenja kroz atmosferu. Doline su, poput lijevog kraja ljestvice za vidljivo svjetlo, "prozori" u kojima postoji vrlo malo slabljenja zračenja djelovanjem medija kroz koje ono prolazi.

## 9. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu opisan je Sunčev elektromagnetski spektar zračenja, krećući od zračenja crnog tijela, preko apsorpcijskih i emisijskih karakteristika koje se pojavljuju pa do propusnosti Zemljine atmosfere na pristigli spektar.

Opisano je crno tijelo i Planckov zakon koji fizikalno objašnjava njegov karakteristični spektar zračenja. Skicirani su i Wienov zakon, Stefan-Boltzmannov zakon te Rayleigh-Jeansov zakon koji su omogućili Plancku formulaciju tog zakona.

Ukratko su dane i apsorpcijske i emisijske linije koje se zbog prolaska zračenja vanjskim slojevima Sunca pojavljuju na tom spektru, potom je opisana apsorpcija i propusnost Zemljine atmosfere. Objasnjeno je kako se mjeri solarna konstanta. Opisane su i vrste raspršenja elektromagnetskog zračenja u atmosferi.

Frekvencijski prozori zračenja koji dopiru do tla su zasebno opisani, te je skiciran njihov osnovni utjecaj u prirodi, njihova uloga u procesu fotosinteze te život na kopnu i u vodi.

## SAŽETAK

U ovom završnom radu opisuju se karakteristike Sunčevog elektromagnetskog spektra krećući od spektra crnog tijela i emisijskih i apsorpcijskih linija koje potječu iz vanjskih slojeva Sunca, do apsorpcije i raspršenja u Zemljinoj atmosferi. Frekvencijski prozori prisutni na tlu razmotreni su pod vidikom njihovog osnovnog utjecaja u prirodi.

## **ABSTRACT**

In this final paper characteristics of the solar electromagnetic spectrum are presented. Starting from the blackbody spectrum and emission and absorption lines originating in the outer layers of the Sun, till the absorption and scattering in the Earth's atmosphere. Frequency windows present on the ground are discussed in regard to their influence on the natural world.

## LITERATURA

- [1] Fondriest Environmental, Inc. "Solar Radiation and Photosynthetically Active Radiation." Fundamentals of Environmental Measurements. 21.03.2014., dostupno na: <https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/weather/photosynthetically-active-radiation/#PAR1>, pristup ostvaren 25.07.2021.
- [2] Toplinsko zračenje, 28.08.2021., dostupno na: [https://hr.wikipedia.org/wiki/Toplinsko\\_zra%C4%8Denje](https://hr.wikipedia.org/wiki/Toplinsko_zra%C4%8Denje), pristup ostvaren 31.08.2021.
- [3] Black body, dostupno na: [https://www.wikiwand.com/en/Black\\_body#/google\\_vignette](https://www.wikiwand.com/en/Black_body#/google_vignette), pristup ostvaren 28.08.2021.
- [4] Zračenje crnog tijela, dostupno na: [http://phy.grf.unizg.hr/media/download\\_gallery/2\\_3\\_%20zracenje%20crnog%20tijela.pdf](http://phy.grf.unizg.hr/media/download_gallery/2_3_%20zracenje%20crnog%20tijela.pdf), pristup ostvaren 26.07.2021.
- [5] Stefan-Boltzmann Law Examples in Daily Life, dostupno na: <https://studiousguy.com/stefan-boltzmann-law-examples/>, pristup ostvaren 26.07.2021.
- [6] Rayleigh–Jeans law, 24.08.2021., dostupno na: [https://en.wikipedia.org/wiki/Rayleigh%E2%80%93Jeans\\_law](https://en.wikipedia.org/wiki/Rayleigh%E2%80%93Jeans_law), pristup ostvaren: 10.09.2021.
- [7] Ultraviolet Catastrophe – Rayleigh-Jeans Catastrophe, dostupno na: <https://www.nuclear-power.com/nuclear-engineering/heat-transfer/radiation-heat-transfer/ultraviolet-catastrophe-rayleigh-jeans-catastrophe/>, pristup ostvaren 26.07.2021.
- [8] R. H. Stuewer, Max Planck, dostupno na: <https://www.britannica.com/biography/Max-Planck>, pristup ostvaren 26.07.2021.
- [9] Planck's radiation law, dostupno na: <http://www.jiwaji.edu/pdf/ecourse/physics/Planck%20Radiation%20law.pdf>, pristup ostvaren 27.07.2021.
- [10] P. J. Kiger, What Is Planck's Constant, and Why Does the Universe Depend on It?, 10.12.2019., dostupno na: <https://science.howstuffworks.com/dictionary/physics-terms/plancks-constant.htm>, pristup ostvaren 26.07.2021.

- [11] M. Rupčić, Utjecaj naoblake na vrijednost prizemnog UV indeksa, diplomski rad, Zagreb, veljača 2012.
- [12] H. Scheffler, H. F. Elsässer, 1974. Physik der Sterne und der Sonne.
- [13] Sunčeva konstanta, 13.08.2021., dostupno na:  
[https://hr.wikipedia.org/wiki/Sun%C4%8Deva\\_konstanta](https://hr.wikipedia.org/wiki/Sun%C4%8Deva_konstanta) , pristup ostvaren 26.07.2021.
- [14] Radio wave, 21.08.2021., dostupno na: [https://en.wikipedia.org/wiki/Radio\\_wave](https://en.wikipedia.org/wiki/Radio_wave),  
Pristup ostvaren 25.07.2021.
- [15] Radioastronomija, dostupno na: [https://www.rkp.hr/rkpedu/rkpedu\\_radioastronomija.pdf](https://www.rkp.hr/rkpedu/rkpedu_radioastronomija.pdf),  
pristup ostvaren 13.08.2021.
- [16] Sunce, Zemlja i vrijeme, dostupno na:  
[https://meteo.hr/objave\\_najave\\_natjecaji.php?section=onn&param=objave&el=dogadjanja&daj=smd18032019#na2](https://meteo.hr/objave_najave_natjecaji.php?section=onn&param=objave&el=dogadjanja&daj=smd18032019#na2), pristup ostvaren 25.07.2021.
- [17] Interactions with the Atmosphere, 02.03.2016., dostupno na:  
<https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-publications/satellite-imagery-air-photos/remote-sensing-tutorials/introduction/interactions-atmosphere/14635>, pristup ostvaren 26.07.2021.

## POPIS SLIKA

Slika 2.1. [https://www.fondriest.com/environmental-](https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/weather/photosynthetically-active-radiation/#PAR1)

[measurements/parameters/weather/photosynthetically-active-radiation/#PAR1](https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/weather/photosynthetically-active-radiation/#PAR1)

Slika 3.1. <https://astronomy.swin.edu.au/cosmos/b/blackbody+radiation>

Slika 3.2. [https://www.wikiwand.com/en/Black\\_body#/google\\_vignette](https://www.wikiwand.com/en/Black_body#/google_vignette)

Slika 3.3. [https://www.wikiwand.com/en/Black\\_body#/google\\_vignette](https://www.wikiwand.com/en/Black_body#/google_vignette)

Slika 3.4. <http://www.mathos.unios.hr/~mdjumic/uploads/diplomski/%C4%86UP01.pdf>

Slika 4.1. . [https://www.wikiwand.com/en/Black\\_body#/google\\_vignette](https://www.wikiwand.com/en/Black_body#/google_vignette)

Slika 4.2. <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/solar-spectra>

Slika 5.1. [572473.Diplomski\\_rad\\_-\\_Mladen\\_Rupcic%20\(2\).pdf](572473.Diplomski_rad_-_Mladen_Rupcic%20(2).pdf)

Slika 5.2. <https://repositorij.vuka.hr/islandora/object/vuka%3A1553/datastream/PDF/view>

Slika 5.3. [https://www.researchgate.net/figure/Infrared-image-of-the-human-body-and-Heat-transfer-over-the-body\\_fig3\\_346057276](https://www.researchgate.net/figure/Infrared-image-of-the-human-body-and-Heat-transfer-over-the-body_fig3_346057276)

Slika 5.4. [https://www.wikiwand.com/bs/Elektromagnetno\\_zra%C4%8Denje](https://www.wikiwand.com/bs/Elektromagnetno_zra%C4%8Denje)

Slika 6.1.

<https://www.unizd.hr/Portals/6/nastavnici/Sanja%20Lozic/Daljinska%20istra%C5%BEivanja%2002.pdf>

Slika 8.1. <https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-publications/satellite-imagery-air-photos/remote-sensing-tutorials/introduction/interactions-atmosphere/14635>

Slika 8.2. <https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-publications/satellite-imagery-air-photos/remote-sensing-tutorials/introduction/interactions-atmosphere/14635>

Slika 8.3. <https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-publications/satellite-imagery-air-photos/remote-sensing-tutorials/introduction/interactions-atmosphere/14635>

Slika 8.4. <https://www.everythingweather.com/atmospheric-radiation/absorption.shtml>