

# TERMIČKO, RENGENSKO I UV ZRAČENJE

---

**Bićanić, Antonela**

**Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:105534>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-28**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel Sigurnosti i zaštite  
Specijalistički diplomski stručni studij sigurnosti i zaštite

Antonela Bićanić

# **TERMIČKO, RENDGENSKO I UV ZRAČENJE**

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2022.

Karlovac University of Applied Sciences  
Safety and Protection Department  
Professional graduate study of Safety and Protection

Antonela Bićanić

# **THERMAL, X-RAY AND UV RADIATION**

FINAL PAPER

Karlovac, 2022.

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel Sigurnosti i zaštite  
Specijalistički diplomski stručni studij sigurnosti i zaštite

Antonela Bićanić

# **TERMIČKO, RENDGENSKO I UV ZRAČENJE**

ZAVRŠNI RAD

Mentor: dr.sc. Slaven Lulić, prof.v.š.

Karlovac, 2022.



**VELEUČILIŠTE  
U KARLOVCU**  
Karlovac University  
of Applied Sciences

**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES  
Trg J.J.Strossmayera 9  
HR-47000, Karlovac, Croatia  
Tel. +385 - (0)47 - 843 - 510  
Fax. +385 - (0)47 - 843 - 579



## VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

Stručni / specijalistički studij: Specijalistički studij

(označiti)

Usmjerenje: Zaštita na radu

Karlovac, 2022.

## ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Student: Antonela Bićanić

Matični broj: 0422420021

Naslov: Termičko, rendgensko i UV zračenje

Opis zadatka:

U završnom radu pojašnjeno je što je to termičko, rendgensko i UV zračenje, njihova djelovanja kao i prolazak samog zračenja kroz materiju. Također objašnjene su različite metode zaštite, načini mjerenja zračenja. Jednako tako, prikazane su prevencije i mjere zaštite u području izloženosti te zakonske obveze svih izloženih zračenju.

Zadatak zadan:

02/22.

Rok predaje rada:

05/22.

Predviđeni datum obrane:

06/22.

Mentor:

dr.sc. Slaven Lulić, prof.v.š.

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

Ivan Štedul, v.pred.

## PREDGOVOR

Veliku zahvalnost, u prvom redu, dugujem svom mentoru dr.sc. Slavenu Luliću, prof.v.š. na podršci, razumijevanju te korisnim savjetima i sugestijama tijekom pisanja ovog rada kao i tijekom cijelog mog obrazovanja na Veleučilištu u Karlovcu.

Želim zahvaliti i svakom profesoru čiji se životni put barem na trenutak križao s mojim s nadom da će mala klica koju su mi podarili prerasti u drvo mudrosti.

Zahvaljujem se i svojim najboljim prijateljicama Luciji i Angelini uz koje je studiranje i putovanje do diplome bilo znatno lakše i zabavnije. Uz to, hvala i svim mojim kolegama i kolegicama koji su bili uz mene tijekom studiranja.

I na kraju, posebnu zahvalu dugujem svojim roditeljima i sestrama kao svojim najvjernijim pratiteljima kroz život.

Svima veliko hvala!

## SAŽETAK

Prilikom zračenja kroz neku materiju dolazi do zajedničkog međudjelovanja, a za posljedicu imaju mijenjanje svojstava samog zračenja. Zračenje je definirano kao postupak u kojem energetski valovi prolaze kroz vakuum. Tako postoje različite vrste zračenja, a u ovom radu objašnjene su tri vrste, i to termičko, rendgensko i ultraljubičasto zračenje. Općenito zračenje grupirali smo u dvije skupine, a to su ionizirajuće i neionizirajuće zračenje. Rendgensko zračenje spada u skupinu ionizirajućeg zračenja, dok ultraljubičasto i termičko zračenje pripadaju neionizirajućem zračenju. Oba zračenja treba koristiti oprezno, savjesno ali i profesionalno, a treba voditi računa o boljoj zaštiti svih izloženih osoba.

**Ključne riječi:** termičko zračenje, ultraljubičasto zračenje, rendgensko zračenje, zaštita od zračenja

## SUMMARY

When radiation through a substance, there is a joint interaction, and as a result they change the properties of the radiation itself. Radiation is defined as the process in which energy waves pass through a vacuum. Thus, there are different types of radiation, and in this paper, three types are explained, namely thermal, X-ray and ultraviolet radiation. In general, we grouped radiation into two groups, namely ionizing and non-ionizing radiation. X-rays belong to the group of ionizing radiation, while ultraviolet and thermal radiation belong to non-ionizing radiation. Both radiations should be used carefully, conscientiously but also professionally, and care should be taken to better protect all exposed persons.

**Keywords:** thermal radiation, ultraviolet radiation, X-ray radiation, radiation protection

## Sadržaj

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA .....	I
PREDGOVOR .....	II
SAŽETAK .....	III
Sadržaj .....	IV
1. UVOD .....	1
2. ZRAČENJE .....	2
2.1. Neionizirajuće zračenje .....	3
2.2. Ionizirajuće zračenje .....	3
2.3. Vrste ionizirajućeg zračenja .....	4
3. TERMIČKO (TOPLINSKO) ZRAČENJE .....	5
2.1. Infracrveno zračenje .....	6
2.2. Crno tijelo i zračenje crnog tijela .....	6
2.2.1. Wienov zakon .....	7
2.2.2. Stefan – Boltzmannov zakon .....	7
2.2.3. Planckov zakon .....	8
2.2.4. Rayleigh – Jeansov zakon .....	8
2.2.5. Ultraljubičasta katastrofa .....	9
3. RENDGENSKO ZRAČENJE .....	10
3.1. Priroda rendgenskih zraka .....	10
3.1.1. Kvaliteta rendgenskih zraka .....	11
3.1.2. Interakcija rendgenskog zračenja i materije .....	11
3.2. Primjena rendgenskog zračenja .....	14
4. ULTRALJUBIČASTO ZRAČENJE .....	15
4.1. Karakteristike ultraljubičastog zračenja .....	15
4.2. Priroda ultraljubičastog zračenja .....	16
4.2.1. Vidljivost UV zračenja .....	17
4.2.2. Tipovi UV zračenja .....	17
4.3. Primjena ultraljubičastog zračenja .....	19
5. UTJECAJ ZRAČENJA NA ZDRAVLJE LJUDI .....	20
5.1. Čimbenici koji utječu na stupanj oštećenja organizma .....	20
5.2. Karcinogeneza .....	21
5.3. Radiološki učinci .....	21



6. ZAŠTITA OD ZRAČENJA.....	22
6.1. Zakonodavna zaštita.....	23
6.2. Fizikalno – tehnička zaštita.....	23
6.3. Kemijska zaštita.....	23
6.4. Biološka zaštita.....	23
7. ZAKLJUČAK.....	24
8. LITERATURA .....	25
9. POPIS PRILOGA.....	27
9.1. Popis slika .....	27
9.2. Popis tablica .....	27

## 1.UVOD

Svake godine upotreba zračenja sve je veća zbog razvoja novih tehnologija. Upravo zbog tog razvoja nove tehnologije omogućena je struktura medicinskih uređaja odnosno rendgenskih uređaja. Međutim, prilikom upotrebe bilo kakve vrste zračenja imamo ogromne koristi, isto i dalje ima štetno djelovanje na okoliš, kao i za život i zdravlje ljudi, pa čak i životinja. Ako se ne upotrebljava na pravilan i propisan način mogu izazvati opasne posljedice po zdravlje ljudi. Stoga je važno poznavati te primjenjivati načela, zakone i propise za sigurno korištenje i pravilan rad samih izvora zračenja.

Mi kao ljudi smo svakodnevno izloženi zračenju mada toga i nismo svjesni. Jednako tako nemamo razvijenu percepciju o prepoznavanju samog zračenja i zbog toga ne možemo ni prepoznati kada i kolikim dozama zračenja smo izloženi. Posljedice istog osjećamo tek naknadno, otprilike od nekoliko dana do nekoliko godina, a to ovisi o vrsti i količini samog zračenja.

Opasnosti kojima smo izloženi prilikom zračenja ne mogu se u potpunosti otkloniti, ali njihove rizike možemo kontrolirati, ograničavati i smanjivati različitim mjerama. Upravo radi toga, svaka država mora imati uređeni sustav zaštite od zračenja.

## 2. ZRAČENJE

Radijacija odnosno drugim riječima zračenje označava postupak u kojem energetski valovi prolaze kroz vakuum to jest supstancu koja nije prijeko potrebna za njihovo gibanje. Za vodu koja je medij ili za nekakve zvučne valove ne možemo reći da se smatraju zračenjem kao takvim.

Radijaciju odnosno zračenje možemo grupirati u dvije skupine:

- Ionizirajuće zračenje
- Neionizirajuće zračenje

Zrake koje imaju veliku energiju iz svoje opne tj. ljuske samog atoma mogu izbaciti elektrone te na taj način ionizirati atom. Za ionizirajuće zrake možemo reći da su to rendgenske (X zrake), gama zrake, kozmičke zrake koje imaju opasno djelovanje na stanice.

Za neionizirajuće zrake možemo reći da su to radiovalovi, mikrovalovi, vidljiva svjetlost, infracrvene te ultraljubičaste zrake.

Djelovanje infracrvenih i ultraljubičastih zraka na čovjeka biti će opasno po zdravlje prilikom dužeg izlaganja, ali manje opasno od ionizirajućeg zračenja.

Zapravo, oba ova zračenja mogu štetno djelovati na žive organizme, a jednako tako mogu štetno djelovati i na okoliš. Za ultraljubičasto zračenje može se reći da se ono nalazi u sredini svih zračenja, iz razloga što ima svojstva oba zračenja mada svi spektri koji prodiru u Zemljinu atmosferu su neionizirajući, ali ono uzrokuje golemu štetu molekulama koje se nalaze u biološkim sustavima [1].

## 2.1. Neionizirajuće zračenje

Za ovo zračenje možemo reći da se odnosi elektromagnetsko zračenje bilo koje vrste, s nedovoljno energije po jednom kvantu kako bi uzrokovalo ionizaciju odnosno otklanjanje elektrona iz samog atoma. Elektromagnetsko zračenje ima onoliko energije koliko mu je potrebno samo za ekscitaciju, točnije za prijelaz elektrona na višu energetska ljusku. Izvori elektromagnetskog zračenja mogu biti svi uređaji koji proizvode jedno ili čak više tipova neionizirajućeg zračenja. Između svih uređaja koji proizvode ovo zračenje, jednako tako imamo i ono koje je prouzročeno prirodnim izvorima [2].

## 2.2. Ionizirajuće zračenje

Kada dolazi do pojave prijenosa energije u obliku fotona, kojeg još nazivamo kvantima elektromagnetskog zračenja, a energije ima onoliko koliko je potrebno da u interakciji sa nekom kemijskom tvari ionizira samu tvar.

Molekule i atomi nalaze se u stanju koje je neutralno odnosno broj pozitivnih protona koji se nalaze u jezgri isti je kao i broj negativnih elektrona koji se nalaze u ljusci. One čestice koje imaju onoliko energije da mogu izbaciti sami elektron iz ljuske nazivamo ionizirajućim zračenjem. Ono može biti rezultat nuklearne fizije ili fusije, radioaktivnog raspada ili nekakvih izuzetno toplih objekata.

Čestice moraju imati mogućnost reagiranja sa elektronima te moraju imati dovoljno energije kako bi samo zračenje moglo biti ionizirajuće. Fotoni koji imaju dostatne energije sami po sebi su ionizirajući jer oni snažno djeluju sa nabijenim česticama. Razina energije na kojoj fotoni mogu postati ionizirajući nalazi se u UV dijelu spektra. Jednako tako kao i fotoni, tako i elektroni, pozitroni i alfa čestice jako reagiraju sa elektronima. Međutim, neutroni pak slabije reagiraju sa elektronima stoga ne mogu izravno ionizirati atome. Oni mogu proizvoditi nestabilne jezgre koje su radioaktivne i koje pri svome raspadu proizvode ionizirajuće zračenje na način da reagiraju sa atomskom jezgrom. Da bi se jezgra atoma koji je radioaktivan mogla stabilizirati, ona proizvodi subatomske čestice i fotone sa visokom energijom. Taj cjelokupni proces nazivamo radioaktivnim raspadom [3].

### 2.3. Vrste ionizirajućeg zračenja

Osnovne vrste ionizirajućeg zračenja obično mogu nastati kao produkt neplaniranog raspada atoma koji su radioaktivni. Stoga jezgre upravo takvih atoma mogu mijenjati svoju konstrukciju i jednako tako mogu proizvoditi energiju koja ima tri glavne strukture:

- Alfa čestice
- Beta čestice
- Gama zrake

Alfa i beta čestice nazivamo atomima odnosno subatomske čestice koje imaju energiju, svoj naboj i samim time izravno reagiraju sa elektronima pomoću Columbove sile pa ih nazivamo i izravnim ionizirajućim zračenjem. Gama i X zrake nazivamo elektromagnetskim zrakama što znači da su one električki neutralne i automatski ne mogu reagirati sa elektronima pa ih nazivamo indirektnim ionizirajućim zračenjem [4].

Ionizirajuće zračenje može se sastojati od nekakvog snopa čestica koje imaju visoku energiju kao što su alfa ili beta čestice ili od elektromagnetskog zračenja koje ima visoku frekvenciju kao što je rendgensko zračenje, ultraljubičasto zračenje, gama zračenje.

### 3. TERMIČKO (TOPLINSKO) ZRAČENJE

Toplina je dio unutarnje energije nekog tijela koja prelazi iz područja više temperature u područje niže temperature. Taj prijelaz se može odvijati na 3 načina:

- Vođenjem ili kondukcijom – prijenos topline se ostvaruje gibanjem molekula dok samo sredstvo miruje.
- Strujanjem ili konvekcijom – to su fluidi (plinovi ili tekućine) – pri prijenosu topline giba se i sredstvo.
- Zračenjem ili radijacijom – toplinska energija se pretvara u elektromagnetsko zračenje koje tijelo može emitirati u okolni prostor, odnosno zračenje označava prijenos energije elektromagnetskim valovima na daljinu bez pomoći materije. Pri sobnoj temperaturi toplinsko zračenje tijela može se zanemariti u odnosu na druge načine izmjene topline, a pri temperaturi od 800K zračenje je glavni proces [5].

Elektromagnetsko zračenje svih tijela koji su na temperaturi koja je iznad 0K nazivamo toplinskim zračenjem. Infracrveno zračenje je primjer toplinskog zračenja koje emitira radiator ili nekakav električni grijač. Pri tome, energija koja je ozračena ovisi isključivo o temperaturi samog tijela kao i o stanju njegove površine. Zračenje savršeno crnog tijela moguće je samo ako je tijelo idealno crno te ako se nalazi u termodinamičkoj ravnoteži. Možemo reći da je zvijezda Sunce savršeno crno tijelo zato što u dobrom približenju emitira elektromagnetski spektar koji ima karakteristike savršeno crnog tijela.

Jednako tako, i Zemlja emitira toplinsko zračenje koje je slabijeg intenziteta iz razloga što je Zemlja hladnija. Proces koji definira ukupnu temperaturu Zemlje je ravnoteža između grijanja Sunčevog toplinskog zračenja i noćnog hlađenja izlazećim toplinskim zračenjem Zemlje [6].

## 2.1. Infracrveno zračenje

William Herschel je 1800. godine otkrio infracrveno zračenje tako što je tijekom svog eksperimentiranja uočio kako svjetla koja protječu kroz obojane filtere različitih boja također različito zagrijavaju ostale stvari. Svojim istraživanjem došao je do zaključka da postoji zračenje koje je ljudskom oku nevidljivo i stoga je to zračenje nazvao infracrveno zračenje.

Za infracrveno zračenje možemo reći da je to vrsta elektromagnetskog zračenja koja nastaje kada se atomi apsorbiraju, a nakon toga oslobađaju energiju.

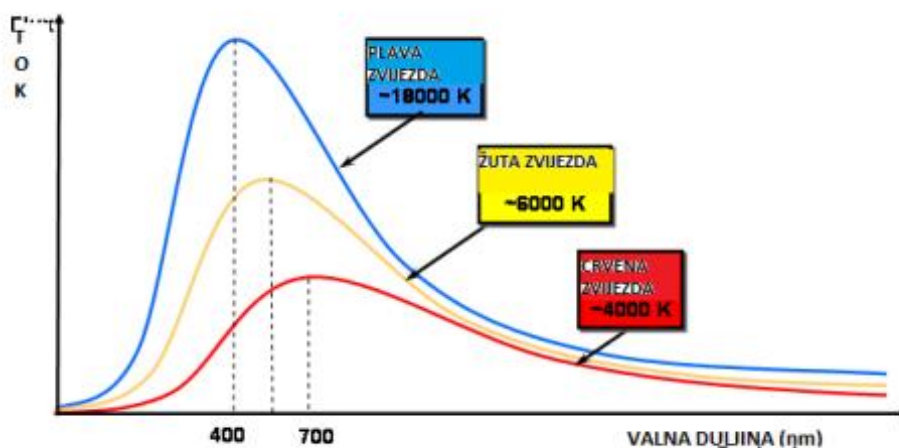
Kao što je već spomenuto, infracrveno zračenje nevidljivo je ljudskom oku, ali ga čovjek može osjetiti, i to kao toplinu. U elektromagnetskom spektru, infracrveno zračenje smješteno je ispod svjetlosti koja je vidljiva i iznad mikrovalova. Valna duljina infracrvenog zračenja proteže se od 700  $\mu\text{m}$  do 760 nm.

Ova vrsta zračenja primjenjuje se kod termičkog snimanja, meteorologije, kod senzora za toplinu, opreme za noćni vid i slično [7].

## 2.2. Crno tijelo i zračenje crnog tijela

Gustav Kirchhoff je 1860. godine uveo ideju o savršeno crnom tijelu uz pretpostavku kako možemo zamisliti neka tijela koja su neopisivo i jako male debljine i da ona mogu apsorbirati upadne zrake, a da ih neće transmitirati ni reflektirati. Takva tijela Gustav je nazvao crnim tijelima ili savršeno crnim tijelima. Novije definicije govore nam da savršena crna tijela dopuštaju ulaznom zračenju da ulazi u njega bez energije reflektiranja te da apsorbira cjelokupno upadno zračenje, što znači da transmisije energije kroz samo tijelo nema, a da to vrijedi za sveukupne upadne kutove i zračenje valnih duljina.

Stoga možemo zaključiti da je crno tijelo odličan apsorber za cjelokupno upadno zračenje. Pri konstantnoj temperaturi crno tijelo emitira elektromagnetsko zračenje koje ima karakterističan spektar, kojeg još nazivamo i spektar crnog tijela. Prema Planckovom zakonu se emitira zračenje, a po kojem spektar nije određen nekakvim oblikom ili sastavom nego samo temperaturom [8].



Slika 1. Krivulje zračenja crnog tijela na različitim temperaturama [9]

### 2.2.1. Wienov zakon

Prva osoba koja je htjela pojasniti koliki je raspon zračenja savršeno crnog tijela je upravo Wilhelm Wien. On je 1893. godine izveo tzv. zakon pomaka u kojem objašnjava da je valna duljina na onoj vrijednosti isključivo ovisi o temperaturi tog crnog tijela [9]. Wienov zakon kaže da će maksimum zračenja biti manji ako temperatura bude veća, i to prema formuli:

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

gdje je  $\lambda_{max}$  valna duljina, T je termodinamička temperatura crnog tijela, a b Wienova konstanta koja iznosi  $2.897768551 \times 10^{-3} m \times K$ .

### 2.2.2. Stefan – Boltzmannov zakon

Stefan-Boltzmannov zakon kaže da sveukupna količina energije koju savršeno crno tijelo zrači, na određenoj površini i u nekom određenom vremenu, proporcionalna s četvrtom potencijom temperature. Kod ovog zakona razvija se odnos između toplote zračenja i temperature, što znači će toplinsko zračenje biti veće ako tijelo ima što veću površinu [10].



Formula za Stefan – Boltzmannov zakon je:  $J = \sigma \times T^4$  gdje  $J$  označava energiju koja je izražena po jedinici površine savršeno crnog tijela,  $\sigma$  označava Stefan – Boltzmannovu konstantu koja ima svoj iznos od  $5.67 \times 10^{-8} J s^{-1} m^{-2} k^{-4}$  dok  $T$  označava temperaturu koja je izražena u Kelvinima.

### 2.2.3. Planckov zakon

Njemački fizičar Max Planck je 1900. godine postavio jednadžbu koju danas nazivamo Planckov zakon, kojom je objedinio sve zakone zračenja koji su poznati, a pri tome je izbjegao problem ultraljubičaste katastrofe. Ovaj zakon se temelji na pretpostavci oscilatora pomoću kojih je opisao crno tijelo. Stoga je zaključio da se energija može apsorbirati i emitirati jedino u diskretnim količinama, tzv. kvantima [11].

Planck je također pretpostavio da je  $E_1 - E_2 = h\nu$  što znači da je kvantno zračenje jednako produktu frekvencije zračenja koje je označeno kao slovo  $h$ , a Planckova konstanta slovom  $f$ .

Planckova konstanta iznosi  $h = 6.6262 \times 10^{-34} J \times s$ . Ona označava količinu energije koju nosi jedan foton, prema frekvenciji samog vala kojim ona prolazi.

### 2.2.4. Rayleigh – Jeansov zakon

John William Strutt Rayleigh i James Hopwood Jeans su 1900. godine donijeli zakon koji je poznatiji pod nazivom Rayleigh – Jeansov zakon [12]. Taj zakon, uz zadanu temperaturu, pokušava pobliže razjasniti gustoću energije prilikom zračenja crnog tijela. Pa tako formula ovog zakona za valnu duljinu je sljedeća:

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

gdje  $c$  označava brzinu svjetlosti od  $299\,792\,458 m^{-1}$ ,  $k$  označava Stefan-Boltzmannovu konstantu koja iznosi  $k = 1,380\,649 \times 10^{-23} J k^{-1}$ ,  $T$  označava temperaturu koja je izražena u Kelvinima,  $\lambda$  predstavlja valnu duljinu, dok  $B_{\lambda}$  predstavlja snagu koja je emitirana po jedinici površine.

### 2.2.5. Ultraljubičasta katastrofa

Rayleigh – Jeansova katastrofa ili ultraljubičasta katastrofa je bila predviđanje na temelju klasične fizike koja je tvrdila da će savršeno crno tijelo emitirati zračenje u svim frekvencijskim pojasevima, pri tome da emitira više energije uz povišenje frekvencije. Jednadžba se podudarala s pokusima koji su imali visoke valne duljine odnosno niske frekvencije dok se potpuno razlikovala od rezultata s niskim valnim duljinama odnosno visokim frekvencijama, ili točnije rečeno u ultraljubičastom (UV) području.

Kada bismo izračunali ukupnu koncentraciju energije zračenja odnosno kada bismo zbrojili sve emisije u frekvencijskim rasponima došli bismo do zaključka kako bi crno tijelo oslobodilo neograničenu količinu energije, što bi bilo u totalnoj suprotnosti sa zakonom o očuvanju energije [13].



Slika 2. Graf razlike između eksperimentalnih rezultata i krivulje dobivene Rayleigh Jeansovim zakonom [13]

### 3. RENDGENSKO ZRAČENJE

Nevidljive zrake koje izazivaju fluorescenciju 1895. godine otkrio je Wilhelm Conrad Röntgen. Zrake koje prolaze kroz materiju te se ne odbijaju u magnetskom polju Wilhelm je nazvao X – zrakama iz razloga zato što su nepoznate prirode. Iako je kasnije dokazano kako su takve zrake već postojale, Wilhelm ih je prvi proučavao, primijenio i razumio njihova svojstva. Odmah je zapazio kako X – zrake imaju puno sličnosti sa vidljivom svjetlošću [14]. Rendgenske zrake imaju izuzetnu probojnost, šire se u svim pravcima, bacaju oštre sjene kao što i izazivaju fluorescenciju u nekim tvarima. Da se rendgenske zrake mogu ogibati te da su one transverzalni elektromagnetski valovi jednako kao i vidljiva svjetlost dokazao je Max von Laue 1912. godine.

#### 3.1. Priroda rendgenskih zraka

Elektromagnetski valovi koji imaju kraću valnu duljinu od valne duljine vidljive svjetlosti nazivamo rendgenskim zrakama. Njihova valna duljina varira u rasponu od nekoliko nanometara do stotinki nanometara, te valne duljine nalaze se između ultraljubičastih zraka i spektra gama zraka. Rendgenske zrake se u vakuumu kreću velikom brzinom i to od  $3 \times 10^8 m / s$ , one su nevidljive i šire se pravocrtno. Iste se mogu zrcaliti na površini kristala, ali se ne mogu otklanjati u magnetskom i električnom polju, a jednako tako ne mogu prolaziti kroz nikakvu leću [15].

Svojstva koja imaju X – zrake:

- Ne mogu se otkriti pomoću ljudskih osjetila
- Kreću se brzinom svjetlosti
- Magnetska i električna polja ne utječu na njihovu orbitu
- Sve dok ne dođu do atomske čestice prolaze kroz materiju
- Imaju mali stupanj ogiba kada se nalaze na spoju dva materijala
- Sa svojom energijom mogu uništiti žive stanice i ionizirati tvari

### 3.1.1. Kvaliteta rendgenskih zraka

Rendgenske cijevi proizvode snopove rendgenskih zraka koje su kraće ili duže valne duljine. Zrake koje imaju kraću valnu duljinu imaju veću frekvenciju, a samim tim imaju i veću energiju što znači da mogu lakše prodrijeti u materijal. Naponom se određuje prodornosti rendgenskih zraka, a uz to i energija. Elektroni pri sudaru sa anodom imaju veću energiju ako je i napon veći, a samim time se oslobađa i veća energija. Materijali koji su različite debljine i imaju različita svojstva prilikom ispitivanja moraju koristiti zrake koje imaju različitu prodornost. Za kvalitetnu sliku materijala važna je količina samih rendgenskih zraka koja ovisi o broju svih elektrona koji lupaju anodu. Upravo tu količinu svih elektrona možemo regulirati jačinom struje.

### 3.1.2. Interakcija rendgenskog zračenja i materije

Intenzitet zraka se smanjuje kada rendgensko zračenje prolazi kroz materiju. Kod niskih vrijednosti energije i frekvencija rendgenskog zračenja izražena je apsorpcija. Gustoća tvari i atomski broj kroz koje prolaze su osnovne funkcije valnih duljina rendgenskih zraka. Iz toga zaključujemo, rendgensko zračenje sa kraćim valnim duljinama će biti manje apsorbirano odnosno zračenje sa većim valnim duljinama će biti prodornije. Kada rendgensko zračenje prolazi kroz nehomogenu materiju samo zračenje će se apsorbirati na mjestima gdje je veća gustoća i na onim mjestima gdje su elementi većeg atomskog broja. Sama ta apsorpcija nam osigurava da možemo vidjeti sliku kod rendgensko snimanja nekog tijela [16].

#### 3.1.2.1. Fotoelektrični efekt

Proces koji se događa kada se foton sudari sa atomom, a foton daje svu energiju atomu i nestaje nazivamo fotoelektrični efekt. U tom procesu elektron u atomu je izbačen iz samog atoma ili može doći do podizanja elektrona na višu ljusku, a upravo to podizanje razine elektrona dovodi do procesa emitiranja svjetlosti.

Energija koju foton ima utroši se na energiju vezanja samog elektrona i tako što daje kinetičku energiju elektronu koju je tad slobodan. Ukoliko je riječ o metalu tada vrijedi formula:

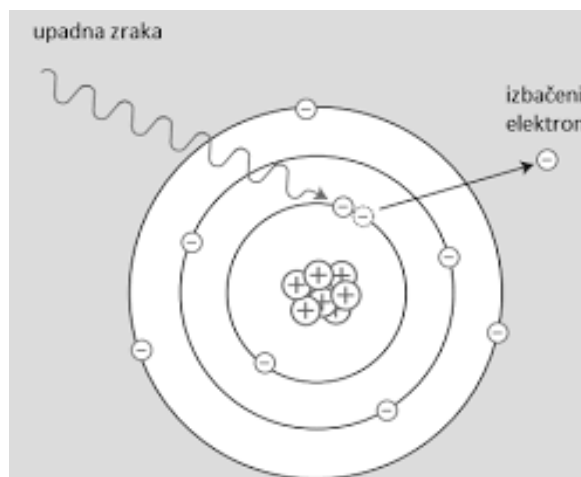
$$E_y = W + E_{kin}$$

$E_y$  nazivamo energijom fotona i ona je utrošena na rad izlaza koji je označen sa  $W$  i na kinetičku energiju samog elektrona. Taj rad, kada se radi o metalu, iznosi otprilike par elektronvolti, što je u konačnici zanemarivo obzirom na energije gama i X- zraka.

Za energiju fotona može se reći da je jednaka rezultatu Planckove konstante i frekvencije, što je pak dano sljedećom formulom:

$$E_y = h \times f$$

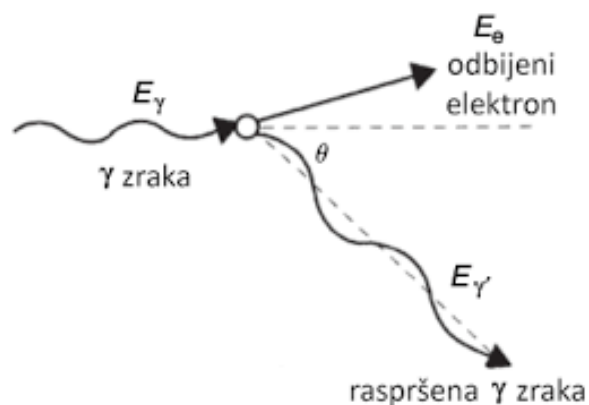
Iz formule je vidljivo da minimalna energija koja je potrebna za fotoelektrični efekt prvenstveno  $W$  kada elektron bude slobodan, ali ukoliko nema energije onda ne može doći do potpunog prijenosa energije fotona na elektronu koji je slobodan, odnosno kako bi uopće došlo do preuzimanja dijela količine energije elektron mora biti vezan za atom. Pri tome on preuzima relativno zanemarivu količina energije obzirom na njegovu masu i masu elektrona [17].



Slika 3. Fotoelektrični efekt [17]

### 3.1.2.2. Comptonov efekt

Smanjenje energije, to jest rast valne duljine fotona od X zraka prilikom interakcije sa tvari nazivamo Comptonovim efektom. Njega je 1923. godine uočio Arthur Holly Compton te za to dobio Nobelovu nagradu. Comptonov efekt nastaje kada se upadni foton rasprši ili odbija na elektronu. Vežu između visokoenergetskih fotona i samih elektrona možemo promatrati kao elastični sudar. U tom elastičnom sudaru foton predaje dio energije elektronu kojemu je kinetička energija jednaka nuli, a drugi dio energije foton proizvodi pod kutom  $\vartheta$  i sama ukupna količina gibanja cijelog sustava je konstantna. Izlazni foton ima manju energiju nego upadni foton za onaj iznos koji je prenesen elektronu koji je pogođen, a kreće se u različitom smjeru od smjera elektrona i upadnog fotona [18].



Slika 4. Comptonov efekt [18]

### 3.2. Primjena rendgenskog zračenja

Primjena rendgenskog zračenja u većini slučajeva temelji se na prodiranju samog zračenja kroz određenu tvar. Može se reći da se rendgensko zračenje primjenjuje najviše u medicini zatim u industriji i znanosti.

Rendgensko zračenje u medicini ima doista široku primjenu tijekom dijagnosticiranja bolesti, ozljeda ili raznih oblika liječenja. Ovo zračenje se može detektirati i pomoću istog stvoriti snimke ako se koristi odgovarajuća oprema. Količina zračenja koju pacijent primi tijekom nekog postupka koji zahtijeva ovo zračenje naziva se efektivna doza i izražavamo ju u sivertima (Sv). Jedan Sv je jako velika doza zračenja, stoga se u dijagnostičkog radiologiji koriste tisuću puta manje količine odnosno milisiverti, mSv. Doze koju prime pacijenti tijekom klasičnih pregleda su male i nisu zabrinjavajuće te nemaju veliki rizik od pojave štetnih učinaka.

U sljedećoj tablici navedeni su neki pregledi koji uključuju rendgensko zračenje, koja je efektivna doza te vrijeme izloženosti prirodnom pozadinskom zračenju kojem smo svakodnevno izloženi, a rezultira istom dozom [19].

Tablica br.1. Prikaz pregleda korištenjem rendgenskog zračenja i efektivne doze [19]

Postupak	Efektivna doza (mSv)	Vrijeme izloženosti prirodnom pozadinskom zračenju
<b>MALA DOZA</b>		
<ul style="list-style-type: none"><li>• Prsni koš</li></ul>	< 0.1	Nekoliko dana
<ul style="list-style-type: none"><li>• Udovi</li></ul>		
<b>SREDNJA DOZA</b>		
<ul style="list-style-type: none"><li>• Lumbalna kralježnica</li></ul>	1 – 5	Nekoliko mjeseci do nekoliko godina
<ul style="list-style-type: none"><li>• Abdomen</li></ul>		
<ul style="list-style-type: none"><li>• CT glave i vrata</li></ul>		
<b>VEĆA DOZA</b>		
<ul style="list-style-type: none"><li>• CT prsnog koša ili abdomena</li></ul>	5 – 20	Nekoliko godina
<ul style="list-style-type: none"><li>• Koronarografija</li></ul>		
<ul style="list-style-type: none"><li>• Irigografija</li></ul>		
<b>POZADINSKO ZRAČENJE</b>	2.4	

## 4. ULTRALJUBIČASTO ZRAČENJE

Njemački fizičar Johann Wilhelm Ritter je 1801. godine otkrio ultraljubičasto zračenje tako što je primijetio da zrake koje su ljudskom oku nevidljive potamnjuju papir koji je bio natopljen u srebrovom kloridu. Nakon tog otkrića, za ove zrake upotrebljavao se naziv „kemijske zrake“ iz razloga što je primijetio da one imaju utjecaj na kemijske reakcije.

### 4.1. Karakteristike ultraljubičastog zračenja

Elektromagnetsko zračenje koje ima spektar valne duljine između 10 nm i 400 nm, a nalazi se između ljubičaste boje vidljivog spektra i rendgenskog zračenja naziva se ultraljubičasto zračenje. Veliki dio kemijskih tvari apsorbira ultraljubičasto zračenje u otprilike 10% cjelokupnog elektromagnetskog zračenja samog sunca. Ultraljubičasto zračenje također može nastati kod električnih lukova i posebnih lampi kao što je živina svjetiljka ili solarij.

Kao što je ranije spomenuto, ultraljubičasto zračenje spada pod neionizirajuće zračenje te u tom dijelu spektra može izazivati kemijske reakcije, no jedan dio svog spektra pripada pod ionizirajuće zračenje gdje fotoni imaju energiju koja im je potrebna za ionizaciju samog atoma.

Jednako tako, ultraljubičasto zračenje ima široki spektar svoje primjene. Stoga, jedan dio spektra ultraljubičastog zračenja koji ima kraće valne duljine oštećuje DNK, a uz to i sterilizira one površine s kojima je u kontaktu [20]. Nama ljudima je poznat efekt djelovanja UV zračenja prilikom sunčanja ili korištenja solarija.

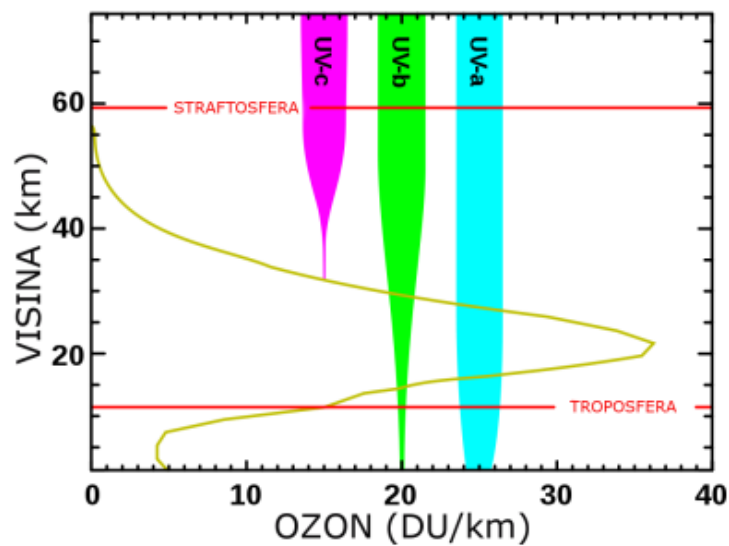


## 4.2. Priroda ultraljubičastog zračenja

Planet Zemlja podržava život na svojoj površini zahvaljujući atmosferi. Dakle, da nema atmosfere iznos UV svjetlosti koju zrači Sunce onemogućio bi život iznad same površine vode. Upravo atmosfera stopira UV svjetlo, točnije ona proizvodi dio spektra koji je kratkovalni odnosno ispod 121 nm.

Dio spektra koji je ekstremno u atmosferi upravo ionizira zrak u postotku koji je cijeli apsorbiran prije nego što dođe do površine planeta Zemlje naziva se UVC spektar.

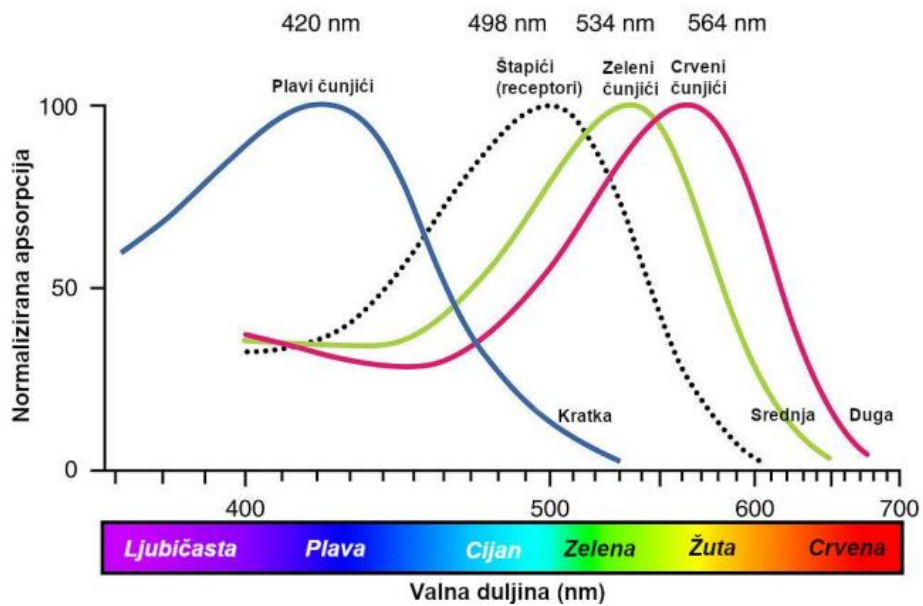
Dio spektra koji dolazi do površine zemlje, jedan između svih igra ulogu prilikom stvaranja vitamina D kod velike većine kralježnjaka, pa tako uključuje i ljude. Taj dio spektra nije vidljiv ljudskom oku.



Slika 5. Apsorpcija UV zračenja u atmosferi [20]

### 4.2.1. Vidljivost UV zračenja

Već ranije spomenuto, ultraljubičaste zrake nisu vidljive ljudskom oku. Leća koju imamo zaustavlja većinu svih zračenja koji su između 300 i 400 nm, dok rožnica zaustavlja sve valne duljine koje su kraće. Uz sve navedeno, važno je spomenuti da naše oko nema receptore koji su vidljivi spektru koji odgovara ultraljubičastoj svjetlosti.



Slika 6. Apsorbirani dio spektra vidljive svjetlosti [21]

### 4.2.2. Tipovi UV zračenja

Elektromagnetski spektar UV zračenja je onaj spektar koji se nalazi između 10 i 400 nm, a isti ovaj spektar može se podijeliti, i to prema valnoj duljini na kojoj se nalazi. Ta podjela dovodi do ultraljubičastog zračenja A (UVA), ultraljubičastog zračenja B (UVB) i ultraljubičastog zračenja C (UVC), te ultraljubičasto vakuum zračenje i ekstremno ultraljubičasto zračenje [21].

Ultraljubičasto zračenje svih valnih duljina emitira upravo Sunce s tim da je uključeno i ekstremno ultraljubičasto zračenje. Sunčeva svjetlost sastoji se od 50% infracrvenog zračenja, 40% vidljivog zračenja i 10% ultraljubičastog zračenja, i to prije nego što dođe do atmosfere. Dok je nakon atmosfere drugačija priča, osvjetljenje je 53% infracrveno zračenje, 44% infracrveno zračenje i svega 3% ultraljubičasto zračenje.

Tablica br.2. Tipovi ultraljubičastog zračenja prema normi ISO-21348 [22]

NAZIV ZRAČENJA	KRATICA NAZIVA	VALNA DULJINA (nm)	ENERGIJA FOTONA (eV)	DETALJI
<b>Ultraljubičasto A</b>	UVA	400 - 315	3.10 – 3.94	Duge valne duljine, ozon ih ne apsorbira
<b>Ultraljubičasto B</b>	UVB	315 – 280	3.94 – 4.43	Srednje valne duljine, ozon apsorbira većinu
<b>Ultraljubičasto C</b>	UVC	280 – 100	4.43 – 12.4	Kratke valne duljine, ubija bakterije, ozon ih u potpunosti apsorbira
<b>Vakuu ultraljubičasto</b>	VUV	200 – 100	6.20 – 124	Ozon apsorbira većinu (do 150nm)
<b>Ekstremno ultraljubičasto</b>	EUV	121 – 10	10.25 – 124	Ionizirajuće pod određenim uvjetima, ozon ih u potpunosti apsorbira

### 4.3. Primjena ultraljubičastog zračenja

Fotografije su jedne od temeljnih primjena ultraljubičastog zračenja. Fotografski film koji je izložen ultraljubičastom zračenju reagira s njim, a leća zaustavlja sva zračenja čije su valne duljine kraće od 350 nm.

Filteri blokiraju specifične dijelove spektra UV zračenja, a upotrebljavaju se kod fotografiranja u prirodi kako bi se eliminirali poremećaji kvalitete slike koja je nastala zbog spektra UV zračenja. UV fotografija upotrebljava se u zdravstvu, kod znanstvenih istraživanja ili u forenzici kako bi se zapazile ozljede na tijelu, jednako tako može se koristiti i kod provjere dokumenata ili kod restauracije vrijednih umjetnina.

UV zračenje koristi se i u elektronici kako bi se detektirao električni izboj, odnosno korone zato što je ona izvor samog UV zračenja. Koristi se i kod brisanja memorije kod EPROM-a, a oni služe za pohranu podataka.

UV zračenje jednako tako ima široku primjenu kod fluorescentnih boja. One se upotrebljavaju i u suzavcima koji imaju spremnik koji je izmiješan sa fluorescentnom bojom i napadača možemo prepoznati ukoliko je izložen pod ultraljubičastim svjetlom. Iste se koriste i u industriji kako bi se lakše prepoznale nekakve nečistoće tijekom proizvodnje.

U arheologiji ultraljubičasto zračenje omogućava čitanje zapisa koje nije moguće pročitati i nisu vidljivi ljudskom oku.

Ovo zračenje je važno za fotokemijski proces kako bi se pelud, plijesan ili drugo pretvorili su bezopasne produkte [22]. Važno je napomenuti kako UV zračenje koje ima kraće valne duljine oštećuje naš DNK.

## **5. UTJECAJ ZRAČENJA NA ZDRAVLJE LJUDI**

Znanstvena disciplina koja se bavi kako zračenje utječe na život i zdravlje živih bića naziva se radiobiologija ili radijacijska biologija. Ona pripada grani biofizike koja proučava koji su učinci svih vrsta zračenja na živa bića. I dan danas postoje brojne nepoznate činjenice u vezi biološkog učinka zračenja, a zbog primjene zračenja u medicini mnogi ljudi su svakodnevno izloženi malim i velikim dozama zračenja.

Kako bi neželjene učinke sveli na minimum važno je poznavati samu prirodu pojedinog zračenja, koja su njihova fizikalna svojstva, kako ih sigurno koristiti i na kraju kako se od istog najbolje zaštititi.

### **5.1. Čimbenici koji utječu na stupanj oštećenja organizma**

U velikim mjerama zračenja čimbenici koji utječu na oštećenje organizma su količina apsorbirane energije i raspodjela istog.

Jako važan čimbenik u cijeloj priči je životna dob i spol osobe. Fetus je zapravo najosjetljiviji na bilo kakva zračenja, zatim slijede mlađe osobe pa starije. Što se tiče spola, žene su osjetljivije na zračenja od muškaraca.

Jednako tako, oštećenje organizma ovisi i o veličini dijela tijela koji je ozračen, učinak zračenja će biti manji ako se ozrači manji dio tijela.

Uz sve navedeno, valja spomenuti i brzinu primanja doze zračenja. Ako je brzina primanja relativno mala, a razmaci primanja nešto duži tkivo će moći nadomjestiti izgubljene stanice.

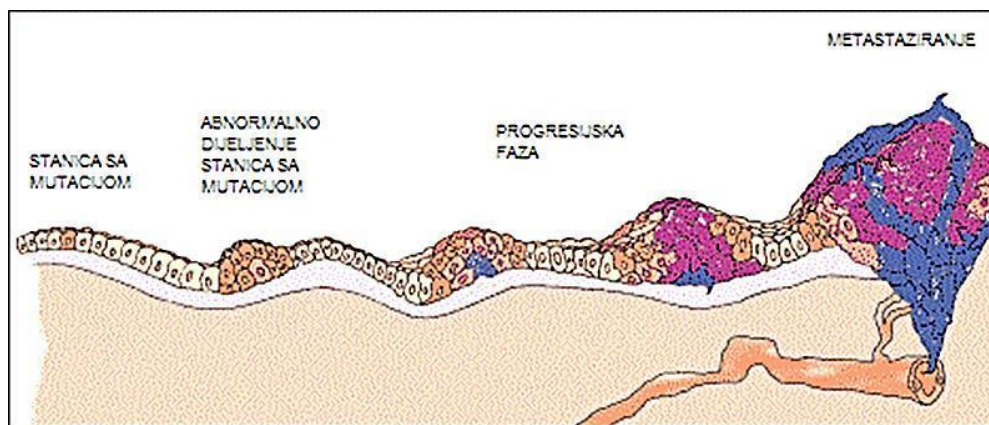
Zadnje, ali ne tako manje važno je osjetljivost pojedine vrste tkiva. Mišićne, koštane i živčane stanice su slabo osjetljive na zračenje, dok veću osjetljivost imaju stanice kože i sluznica [23].

## 5.2. Karcinogeneza

Karcinogeneza je proces nastajanja tumora, dok je karcinogenom tvar koja uzrokuje tumor u čovjeka ili životinja. Proces kada tumor nastaje i postepeno postaje zloćudan sastoji se od tri stadija, a to su:

- Inicijacija tumora
- Progresija tumora
- Metastaziranje tumora

Bilo koja vrsta zračenja u velikim dozama djeluju na način da oštećuju molekulu DNA te tako uzrokuju mutacije. Mutacija je promjena u samoj molekuli DNA koja nastaje unutar stanice kada dođe do djelovanja nekih kemijskih, bioloških ili fizikalnih faktora.



Slika 7. Faze nastajanja tumora [23]

## 5.3. Radiološki učinci

Radiološke učinke zračenja možemo podijeliti na stohastičke i determinističke.

Deterministički učinci nastaju zbog gubitka ogromnog broja stanica zato što osoba primi velike doze zračenja. Oni su brzo vidljivi poslije ozračivanja te je potrebna određena količina zračenja kako bi učinak bio vidljiv.

Stohastički učinci su promjene koje su nasljedne ili tumori, a vidljivi su nakon nekog određenog vremena. Njih može izazvati čak i mala doza zračenja. Lako se prenose na potomstvo jer mogu nastati i u spolnim stanicama.

## 6. ZAŠTITA OD ZRAČENJA

Skup svih mjera i postupaka pomoću kojih se može smanjiti izlaganje samom zračenju možemo nazvati zaštitom od zračenja.

Postoje tri glavna načina kako se zaštititi od zračenja:

- Dovoljna udaljenost od izvora zračenja
- Što kraće vrijeme izlaganju zračenja
- Korištenje zaštite



Slika 8. Načini zaštite od zračenja [24]

Kako zračenje prolazi kroz materiju tako zračenje slabi, stoga je vrlo važno da osobe koje su izložene zračenju imaju zaštitu. Jednako tako važno je od čega je zaštita napravljena.

## **6.1. Zakonodavna zaštita**

Zakonodavna zaštita je propisana je zakonima i propisima te obuhvaća ukupnu tematiku zaštite od zračenja.

Osnovni akti kojima je propisana zaštita od zračenja u RH jesu:

- Zakon o zaštiti od zračenja i sigurnosti izvora zračenja (NN 64/2006)
- Pravilnik o uvjetima i mjerama zaštite od zračenja za obavljanje djelatnosti s izvorima zračenja (NN 58/2015)
- Pravilnik o ustroju i provedbi mjera za zaštitu od zračenja (NN 28/2015.)
- Pravilnik o uvjetima za primjenu izvora zračenja u medicini (NN 89/2013.)
- Pravilnik o zdravstvenim uvjetima izloženih radnika zračenju (NN 66/2018.)

## **6.2. Fizikalno – tehnička zaštita**

Fizikalno – tehnička zaštita obuhvaća:

- Zaštita zidova, prozora i vrata u radiološkim prostorijama
- Zaštita podova u radiološkim prostorijama
- Projektiranje i izgradnja dijagnostičkih prostorija
- Nadzor prilikom izvršavanja zakona i propisa

## **6.3. Kemijska zaštita**

Kemijske tvari koje mogu smanjivati učinke koji su štetni nazivaju se kemijski radioprotektori. Oni se uzimaju prije samog izlaganja zračenju, a u novije vreme mogu se uzimati i nakon zračenja.

## **6.4. Biološka zaštita**

Kako bi podignuli biološku otpornost našeg organizma na zračenje važno je uzimati vitamine, šećere, čajeve s taninom, umjetnim snižavanjem temperature onog dijela tijela koji je zahvaćen zračenjem, smanjivanjem prokrvljenosti, mirovanjem, pravilnom prehranom i slično.

Znanstvenim istraživanjima postiže se smanjenje dopuštenih doza za osoblje koje je profesionalno te za pučanstvo koji zračenju mogu biti često izloženi [24].



## 7. ZAKLJUČAK

Termičko i ultraljubičasto zračenje pripadaju spektru elektromagnetskog zračenja, a relativno je blizak ljudima. Iz razloga što su nam bliski i korisni lako zaboravljamo na njihove štetne učinke koje imaju, kako na ljude tako na životinje i okoliš. Rendgensko zračenje pokazalo je kako čak i male doze zračenja uzrokuju velike posljedice, a jedno od njih je povećanje rizika od nastanka karcinoma.

Za vrijeme pisanja ovog rada osobno sam izložena različitim vrstama zračenja, a smatram da će razna svjetska istraživanja doprinosti tome da u budućnosti bude što manje štetnog djelovanja zračenja, a puno veće koristi istog. Jednako tako, mišljenja sam da stanovništvo nije dovoljno educirano po pitanju negativnih učinaka te da smatraju kako se to događa nekom drugom.

Velika većina znanstvenika zalaže se za rješavanje ovog problema koji nije dovoljno istražen, a uz fiziku potrebno je uključiti i druge tehničke znanosti kako bi se dobili što točniji rezultati kako zračenje stvarno utječe na život i zdravlje ljudi.

## 8. LITERATURA

- [1] Centers for Disease Control and Prevention - <https://www.cdc.gov/>, pristupljeno: 25.02.2022.
- [2] Ionizing radiation - [https://en.wikipedia.org/wiki/Ionizing\\_radiation#Health\\_effects](https://en.wikipedia.org/wiki/Ionizing_radiation#Health_effects), pristupljeno: 25.02.2022.
- [3] Nonionizing radiation - [https://en.wikipedia.org/wiki/Non-ionizing\\_radiation](https://en.wikipedia.org/wiki/Non-ionizing_radiation), pristupljeno: 26.02.2022.
- [4] Radiation Protection of the Public and the Environment, [www.iaea.org](http://www.iaea.org), pristupljeno: 26.02.2022.
- [5] Novaković M.: „Zaštita od ionizirajućih zračenja: propisi u Republici Hrvatskoj s komentarima“, Ekoteh-dozimetrija, Zagreb (2001.), ISBN: 953-98623-0-2
- [6] E.Generalic; Spektar elektromagnetskog zračenja; dostupno na: [www.glossary.periodni.com/preuzimanje\\_slike.php?name=spektar\\_elektromagnetskog\\_zracenja.png&source=spektar+elektromagnetskog+zracenja](http://www.glossary.periodni.com/preuzimanje_slike.php?name=spektar_elektromagnetskog_zracenja.png&source=spektar+elektromagnetskog+zracenja), pristupljeno: 26.02.2022.
- [7] H. Glavaš, T. Barić, M. Stojkov, Primjena infracrvene termografije: Strojarski fakultet u Slavanskom Brodu, Osijek, 2017.
- [8] Zračenje crnog tijela - <http://www.phy.pmf.unizg.hr/events/qm100/dk/crnotijelo.html>, pristupljeno: 27.02.2022.
- [9] Wienov zakon pomaka - <https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/a985a697-8949-410e-af32-bfd69b605dd6/kvanti-elektromagnetskog-zracenja.html>, pristupljeno: 27.02.2022.
- [10] Stefan-Boltzmannov zakon zračenja - [https://www.pmf.unizg.hr/download/repository/4.Stefan Boltzmann zakon zracenja.pdf](https://www.pmf.unizg.hr/download/repository/4.Stefan_Boltzmann_zakon_zracenja.pdf), pristupljeno: 28.02.2022.
- [11] Planckov zakon - <https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=48572>, pristupljeno: 01.03.2022.
- [12] Rayleigh – Jeansov zakon - [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), pristupljeno: 01.03.2022.
- [13] Ultraljubičasta katastrofa - <http://www.mathos.unios.hr/~mdjunic/uploads/diplomski/NEM12.pdf>, pristupljeno: 02.03.2022.

- [14] Rendgensko zračenje - Hebrang, A., Klarić-Čustović, R., „Radiologija“, Medicinska naklada Zagreb, Zagreb, 2007., ISBN: 953-176-338-0
- [15] Priroda rendgenskih zraka - [https://www.gemeasurement.com/sites/gemc.dev/files/industrial\\_radiography\\_image\\_forming\\_techniques\\_english\\_4.pdf](https://www.gemeasurement.com/sites/gemc.dev/files/industrial_radiography_image_forming_techniques_english_4.pdf), pristupljeno: 02.03.2022.
- [16] Interakcija rendgenskog zračenja i materije - [https://www.fer.unizg.hr/download/repository/interakcija\\_fotona.pdf](https://www.fer.unizg.hr/download/repository/interakcija_fotona.pdf), pristupljeno: 03.03.2022.
- [17] Fotoelektrični efekt - [http://phy.grf.unizg.hr/media/download\\_gallery/4\\_Fotoelektrici%20efekt.pdf](http://phy.grf.unizg.hr/media/download_gallery/4_Fotoelektrici%20efekt.pdf), pristupljeno: 03.03.2022.
- [18] Comptonov efekt - [http://phy.grf.unizg.hr/media/download\\_gallery/4\\_Comptonov%20efekt%20predavanje.pdf](http://phy.grf.unizg.hr/media/download_gallery/4_Comptonov%20efekt%20predavanje.pdf), pristupljeno: 03.03.2022.
- [19] Primjena rendgenskog zračenja - <https://civilna-zastita.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/Radioloska%20i%20nuklearna%20sigurnost/Uputstva/Izlaganje%20rendgenskom%20zra%C4%8Denju.pdf>, pristupljeno: 04.03.2022.
- [20] Karakteristike UV zračenja - [https://en.wikipedia.org/wiki/Ultraviolet#/media/File:Ozone\\_altitude\\_UV\\_graph.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/Ultraviolet#/media/File:Ozone_altitude_UV_graph.svg), pristupljeno: 04.03.2022.
- [21] UV zrake - <https://www.eau-thermale-avene.com.hr/rjecnik/definition-uv-zrake>, pristupljeno: 04.03.2022.
- [22] Primjena UV zračenja - [https://hr.wikipedia.org/wiki/Ultraljubi%C4%8Dasto\\_zra%C4%8Denje](https://hr.wikipedia.org/wiki/Ultraljubi%C4%8Dasto_zra%C4%8Denje), pristupljeno: 05.03.2022.
- [23] Učinci zračenja na zdravlje ljudi - <https://repozitorij.mef.unizg.hr/islandora/object/mef%3A1330/datastream/PDF/view>, pristupljeno: 05.03.2022.
- [24] Zaštita od zračenja - <https://zdravlje.gov.hr/o-ministarstvu/djelokrug-1297/javnozdravstvena-zastita/zastita-od-zracenja/1353>, pristupljeno: 05.03.2022.

## 9. POPIS PRILOGA

### 9.1. Popis slika

Slika 1. Krivulje zračenja crnog tijela na različitim temperaturama .....	7
Slika 2. Graf razlike između eksperimentalnih rezultata i krivulje dobivene Rayleigh Jeansovim zakonom .....	9
Slika 3. Fotoelektrični efekt.....	12
Slika 4. Comptonov efekt.....	13
Slika 5. Apsorpcija UV zračenja u atmosferi .....	16
Slika 6. Apsorbirani dio spektra vidljive svjetlosti .....	17
Slika 7. Faze nastajanja tumora .....	21
Slika 8. Načini zaštite od zračenja .....	22

### 9.2. Popis tablica

Tablica br.1. Prikaz pregleda korištenjem rendgenskog zračenja i efektivne doze... 14
Tablica br.2. Tipovi ultraljubičastog zračenja prema normi ISO-21348.....18