

# OSNOVNE KARAKTERISTIKE I PRIMJENA IC I UV ZRAČENJA

---

**Janković, Jakov**

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

**2020**

*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:128:103284>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-27**



**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

Jakov Janković

**OSNOVNE KARAKTERISTIKE I PRIMJENA IC I UV  
ZRAČENJA**

Završni rad

Karlovac, 2020.

Karlovac University of Applied Sciences  
Safety and Protection Department

Professional graduate study of Safety and Protection

Jakov Janković

**CHARARACTERISTICS AND APLICATION OF IR AND  
UV RADITATION**

Final paper

Karlovac, 2020.

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel Sigurnosti i zaštite

Stručni diplomski studij sigurnosti i zaštite

Jakov Janković

**OSNOVNE KARAKTERISTIKE I PRIMJENA IC I  
UV ZRAČENJA**

Završni rad

Mentor: dr.sc. Slaven Lulić, v.pred.

Karlovac, 2020.



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Trg J.J. Strossmayera 9  
HR-47000, Karlovac, Croatia  
Tel. +385 -(0)47-84 -510  
Fax. +385 - (0)47-84 -579



## **VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**

Specijalistički studij: Specijalistički diplomski stručni studij sigurnosti i zaštite  
Usmjerenje: Sigurnost i zaštita na radu

Karlovac: 02./2020.

### **ZADATAK ZAVRŠNOG RADA**

Student: Jakov Janković

Matični broj: 0248048596

Naslov: Osnovne karakteristike i primjena IC i UV zračenja

Opis zadatka: Razrada i pojašnjenje osnovnih karakteristika IC i UV zračenja te njihova primjena i učinci na ljudski organizam.

Zadatak zadan:  
obrane:

Rok predaje rada:

Predviđeni datum

02./2020.

06./2020.

06./2020.

Mentor:  
povjerenstva:

dr.sc. Slaven Lulić, v.pred.

Predsjednik Ispitnog

Ivan Štedul, v.pred.

## **PREDGOVOR**

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno služeći se stečenim znanjem i navedenom literaturom.

Ovim putem se želim zahvaliti mentoru kao i ostalim profesorima Veleučilišta u Karlovcu na pažnji, strpljenju i pomoći za trajanja mog studiranja.

Posebno se zahvaljujem svojim roditeljima koji su mi pružili uvjete potrebne za uspješno ispunjavanje studentskih obaveza.

## **SAŽETAK**

U ovom završnom radu obrađujem osnovne karakteristike ultraljubičastog i infracrvenog zračenja te njihovu primjenu. Ultraljubičasto i infracrveno zračenje stavljam u povijesni kontekst, dajem primjere i fizikalna objašnjenja njihovih primjena u suvremenom svijetu te objašnjavam njihove fizikalne mehanizme u prirodi kao i utjecaj na ljudski organizam.

**KLJUČNE RIJEČI:** ultraljubičasto zračenje, infracrveno zračenje, fizika, fotokemija, biologija, čovjek

## **SUMMARY**

Subject of this final paper about ultraviolet and infrared radiation is presented through their respective applications in the modern world as well as through their historical context, examples and explanations of their physical properties and mechanisms. This work is coupled with a presentation about their respective effects on human biology.

**KEY WORDS:** ultraviolet radiation, infrared radiation, physics, photochemistry, human biology

# SADRŽAJ

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA.....	I
PREDGOVOR.....	II
SAŽETAK.....	III
SADRŽAJ.....	IV
1. UVOD.....	1
2. KARAKTERISTIKE ULTRALJUBIČASTOG ZRAČENJA .....	3
2.1. Otkriće UV zračenja .....	5
2.2. Priroda UV zračenja .....	6
2.2.1. Vidljivost UV zračenja .....	7
2.2.2. Tipovi UV zračenja .....	9
3. KARAKTERISTIKE INFRACRVENOG ZRAČENJA.....	10
3.1. Otkriće IC zračenja.....	11
3.2. Priroda IC zračenja .....	12
3.2.1. Vidljivost IC zračenja.....	13
3.2.2. Tipovi IC zračenja .....	14
4. PRIMJENA UV I IC ZRAČENJA.....	15
4.1. Primjena ultraljubičastog zračenja.....	16
4.1.1. Opća primjena ultraljubičastog zračenja .....	16
4.1.2. Primjena ultraljubičastog zračenja u analitici.....	19
4.1.3. Primjena ultraljubičastog zračenja u biologiji.....	20
4.2. Primjena infracrvenog zračenja.....	21
4.2.1. Primjena infracrvenog zračenja u termografiji .....	21
4.2.2. Primjena infracrvenog zračenja u komunikacijama .....	23
4.2.3. Primjena infracrvenog zračenja u meteorologiji .....	24



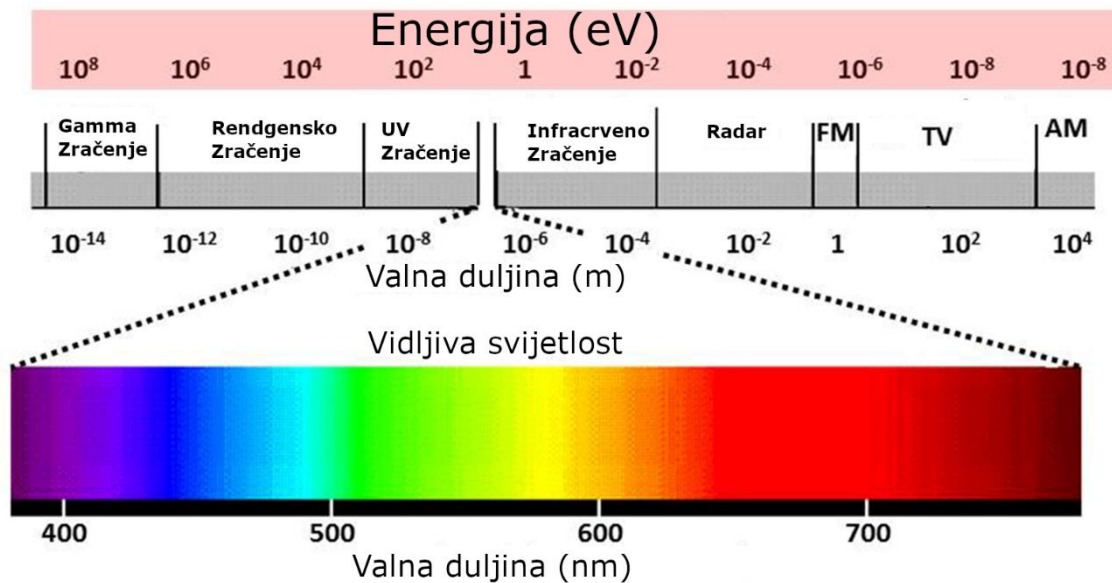
5. DJELOVANJE NA LJUDSKI ORGANIZAM.....	25
5.1. Djelovanje ultraljubičastog zračenja na ljudski organizam .....	27
5.1.1. Osnove molekulskih orbitala i njihova svojstva .....	27
5.1.2. Osnove apsorpcije UV zračenja .....	30
5.1.3. Apsorpcija UV zračenja kod bjelančevine, RNK i DNK .....	32
5.2. Djelovanje infracrvenog zračenja na ljudski organizam.....	37
6. ZAKLJUČAK .....	40
7. LITERATURA.....	41

# 1. UVOD

Fizika definira zračenje, odnosno radijaciju, kao prijenos energije putem čestica ili valova. Te čestice ili valovi spadaju u određeni energetski spektar, što uključuje i razlike u valnim duljinama valova i samoj brzini i veličini čestica.

Zbog spektra koji pokriva, zračenje može, ovisno o dijelu spektra kojem pripada, interagirati sa vezama atoma i jezgri atoma. Ta interakcija se događa između zračenih čestica ili valova i atoma koji svojim vezama čine spojeve koji čine elemente, odnosno cijeli svijet.

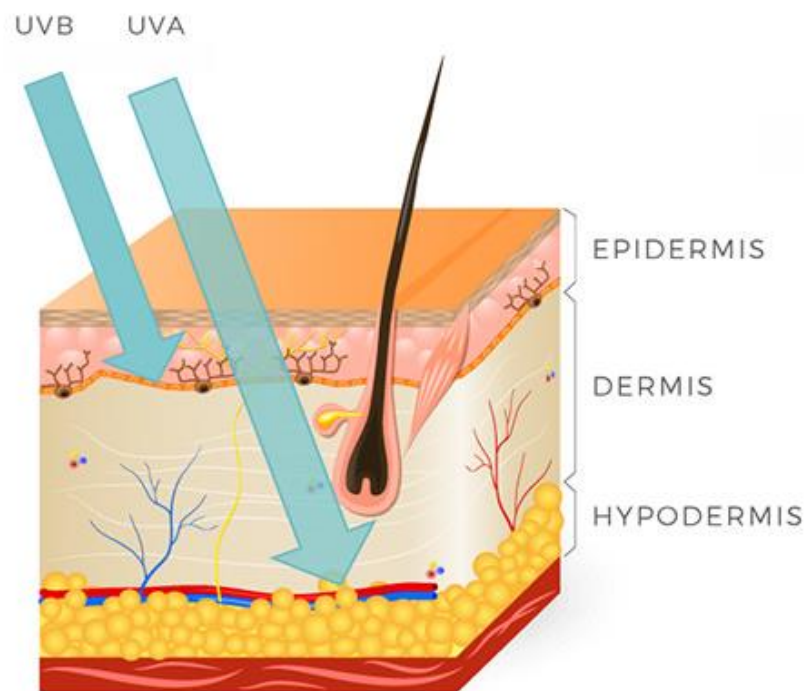
Pošto prijenos zračenjem nije jedino što opisujemo spektrom, možemo prikazati kakvu će energiju takav prijenos imati na određenim valnim duljinama. (Slika 1.)



Slika 1.: Spektar energija i valnih duljina zračenja [1]

Prijenos zračenjem može biti ionizirajući ili neionizirajući ovisno o tome na koji način se prijenos energije odvija te o tome kojim medijem se prijenos odvija. Ionizirajuće zračenje energije uzrokuje ionizaciju atomske materije medija kroz kojeg prolazi. Primjerice ionizirajuće zračenje (npr. dio UV zračenja) prolaskom kroz organsku tvar (npr. ljudska koža) interaktira sa vezama atoma koji čine

kožu. Narušavanje ravnoteže tih spojeva može rezultirati raspadom cijelog sustava koji čini stanicu kože, samim time može uzrokovati lančanu reakciju koja utjecajem na ravnotežu spojeva na atomskoj razini rezultira rakom te na kraju i smrću bića koje te stanice čine. (Slika 2.)



Slika 2.: Interakcija UV zračenja i kože [2]

Zračenje je svugdje oko nas, također nije svako zračenje sposobno interagirati na način koji šteti ljudskom organizmu, barem ne na način na koji to radi UV zračenje. Zbog te razlike između zračenja postoje različiti učinci na tkivo; stohastički učinci (lančana reakcija koja rezultira urušavanjem sustava) u koje ubrajamo rak, i deterministički učinci (trenutna oštećenja u dijelovima sustava koji ne uzrokuju lančanu reakciju) primjerice opekline. [3]

Neionizirajuće zračenje nema dovoljno energije uzrokovati ionizaciju atoma koji čine tkivo. Primjeri ovog zračenja su vidljiva svjetlost, infracrveno zračenje i ostala elektromagnetska zračenja u koje spada drugi dio ultraljubičastog zračenja.

## 2. KARAKTERISTIKE ULTRALJUBIČASTOG ZRAČENJA

Ultraljubičasto (lat. *Ultra* – više, izvan) ustvari znači više od ljubičastog, ili van granica koje označavamo nazivom „ljubičasta“. Kad govorimo o valovima, frekvencija je obrnuto proporcionalna valnoj duljini, što znači da valovi visoke frekvencije imaju kratke valne duljine. Kod vidljive svjetlosti ljubičasta boja ima najvišu frekvenciju pa, ako idemo dalje u tom smjeru, iza nje imamo ultraljubičasto zračenje.

Ultraljubičasto zračenje je elektromagnetsko zračenje spektra valne duljine između  $10\text{ nm}$  ( $3\text{ eV}$ ) i  $400\text{ nm}$  ( $124\text{ eV}$ ), te se time nalazi između rendgenskog zračenja i ljubičaste boje vidljivog spektra.

Većina kemijskih tvari jako apsorbira ultraljubičasto zračenje, uz to je prisutno u sunčevom zračenju, u oko 10% ukupnog elektromagnetskog zračenja sunca. Ono također nastaje kod električnih lukova i specijalnih lampi kao na primjer živinih svjetiljki, crnih svjetala ili solarija.



Slika 3.: Živina ulična rasvjeta, elektrolučno varenje i solarij [4]

Ultraljubičasto zračenje jednim dijelom svog spektra spada u ionizirajuća zračenja, gdje fotoni imaju energiju potrebnu za ionizaciju atoma, no većim dijelom se nalazi pod neionizirajućim zračenjem iako i u tom dijelu spektra može izazvati kemijske reakcije. Za potrebe ovog rada ultraljubičasto zračenje je u daljnjem tekstu svrstano pod neionizirajuće zračenje da bi se izbjegla ponavljana digresija tijekom rada.

Zbog interakcija koje ima sa organskim molekulama ultraljubičasto zračenje ima širok spektar primjene. Shodno tome kemijski i biološki učinci ultraljubičastog zračenja imaju posljedice veće od termalnih promjena.

Dio spektra ultraljubičastog zračenja kraćih valnih duljina oštećuje DNK te sterilizira površine s kojima dođe u kontakt. Čovjeku je poznat efekt ultraljubičastog zračenja kod „dobivanja boje“ ili kad „izgori na suncu“ te je rak kože općepoznati rezultat izlaganja ultraljubičastom zračenju.

Proces pretvorbe Sunčeve energije izravno u električnu odvija se upotrebom fotonaponskih ćelija izrađenih od poluvodičkih materijala. Fotoni iz solarnog zračenja izbijaju elektrone iz poluvodiča stvarajući parove elektron-šupljina. Nastali elektroni i šupljine skupljaju se na suprotnim krajevima i na taj način stvaraju elektromotorni potencijal.

Spajanjem trošila na takav sustav poteći će struja. Ovaj fotofizikalni proces uspješno se koristi za dobivanje struje u manjim sustavima (npr. umjetni sateliti), ali još uvijek nije ekonomski konkurentan ostalim izvorima energije za širu upotrebu. Jedan od razloga je niska iskoristivost fotona tj. niska kvantna učinkovitost. Ovo je samo jedan od brojnih procesa iskorištavanja energije svjetla u komercijalne svrhe, a za svaki proces je od velike važnosti učinkovitost iskorištavanja apsorbiranih fotona za željeni proces. Ovaj proces ima svoju inačicu i sa molekulama koje čine živo tkivo, biomolekulama.

## 2.1. Otkriće UV zračenja

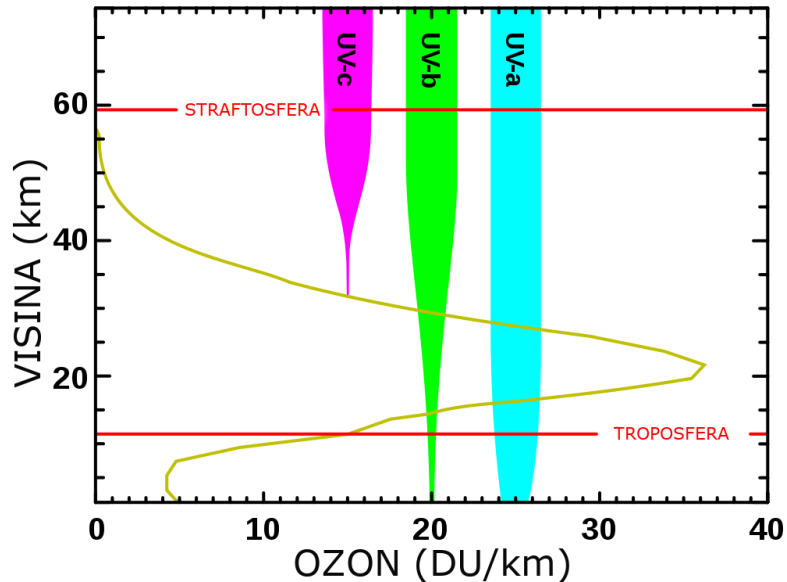
Ultraljubičasto zračenje otkrio je njemački fizičar Johann Wilhelm Ritter 1801. godine kada je primijetio da oku nevidljive zrake potamnjaju papir natopljen u srebrovu kloridu ( $AgCl$ ). Nakon njihovog otkrića za njih se koristio naziv „kemijske zrake“, pošto je primijetio da utječu na kemijske reakcije.



Slika 4.: Johann Wilhelm Ritter [5]

Naziv ultraljubičasto zračenje nije korišten sve do pred kraj 19. stoljeća kada je uveden i naziv „infracrveno zračenje“. Godine 1878. otkriveno je da UV zračenje ima sposobnost steriliziranja na način da „ubija“ bakterije. 1893. godine otkriveno je i postojanje UV zračenja valne duljine ispod 200 nm, prozvano „vakuum ultraljubičasto“ jer kisik u zraku apsorbira taj dio zračenja te ga je bilo moguće primijetiti jedino u vakuumu. 1960. godine otkriven je utjecaj UV zračenja na DNK.

## 2.2. Priroda UV zračenja



Slika 5.: Apsorpcija UV zračenja u atmosferi [6]

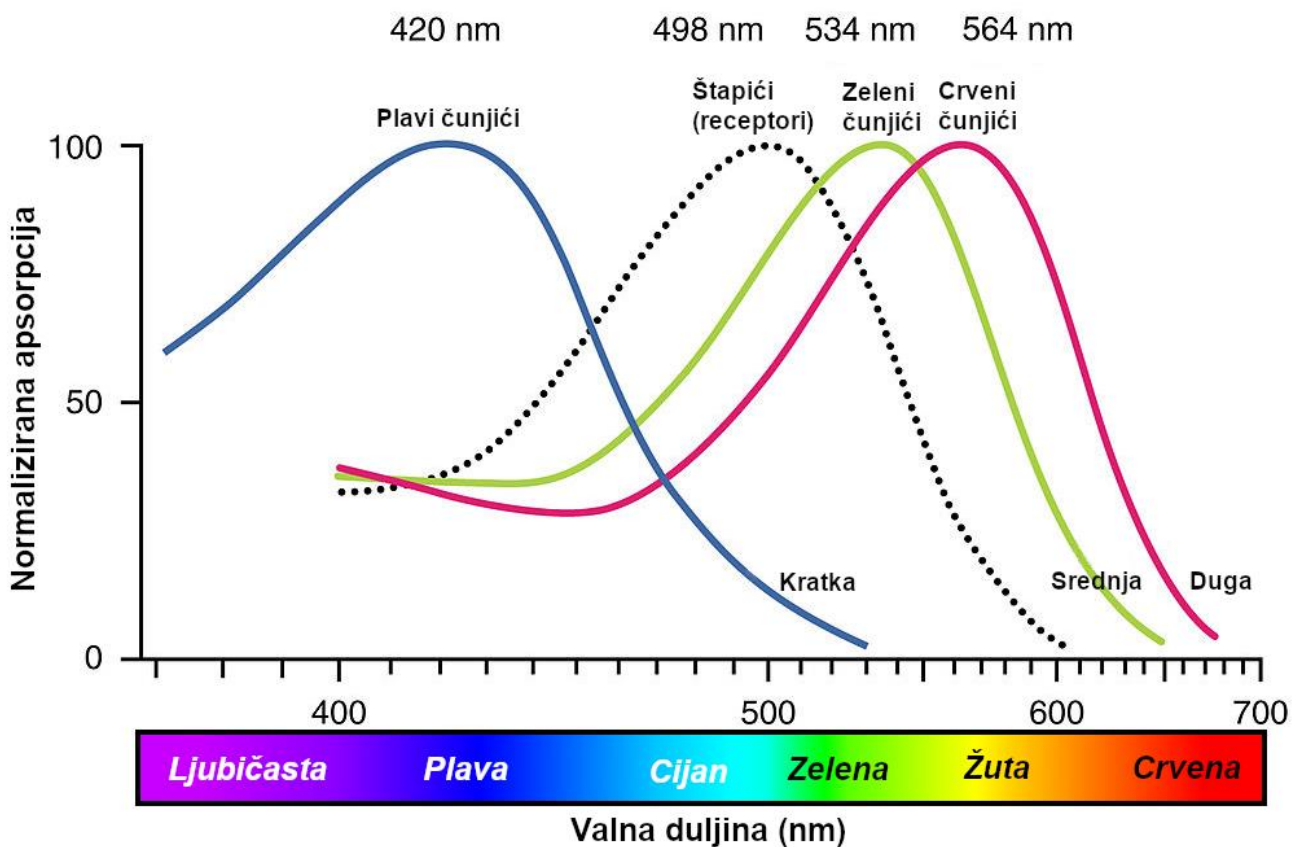
Zahvaljujući atmosferi, planet Zemlja podržava život na svojoj površini. Naime, količina ultraljubičaste svjetlosti koju Sunce zrači onemogućila bi život iznad površine vode. No, atmosfera ne zaustavlja svo UV svjetlo, ona apsorbira energetski jače valove, odnosno kratkovalni dio spektra (ispod 121 nm).

Ekstremni dio spektra (UV $\underline{C}$ ) ionizira zrak u atmosferi u toliko velikom postotku da je sav apsorbiran prije nego stigne do površine Zemlje.

Ostatak spektra prolazi do površine zemlje te jedan dio njih (UV $\underline{B}$ ) igra ulogu u stvaranju vitamina D kod većine kralježnjaka, uključujući i ljude. Ovaj dio spektra nije vidljiv ljudskom oku (kojem je donja granica spektra na oko 400 nm), no jedan je dio vidljiv drugim bićima na Zemlji.

### 2.2.1. Vidljivost UV zračenja

UV zrake su nevidljive ljudskom oku. Leća blokira većinu zračenja između 300 nm i 400 nm dok rožnica blokira kraće valne duljine. Uz to, ljudsko oko nema receptore osjetljive na spektar koji odgovara UV svjetlosti. (Sl.6.)

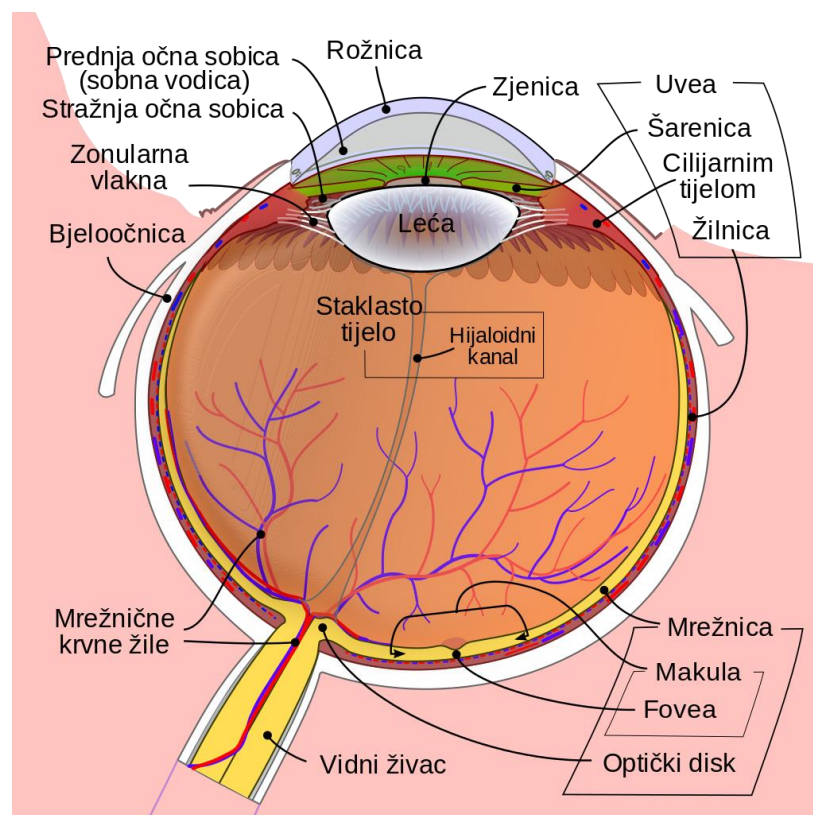


Slika 6.: Prikaz apsorbiranog dijela spektra vidljive svjetlosti [7]

(Preporuča se koristiti Sliku 5. i kod razumijevanja kasnijeg teksta o infracrvenom zračenju, pošto se oba dijela stavljaju u isti kontekst.)



U isto vrijeme neki fotoreceptori na mrežnici jesu osjetljivi na dio spektra koji se nalazi uz UV zračenje, zbog ovoga ljudi koji nemaju leću (*afakija*) mogu „osjetiti“ taj vanjski rubni dio vidljivog spektra. Također postoje drugi čimbenici koji i kod djece i kod odraslih iz genetskih ili drugih razloga mogu rezultirati recepcijom valnih duljina do 310 *nm*.



Slika 7.: Oko [8]

Kod životinja se vidljivost UV zračenja često javlja kod insekata (leptir, pčela), nekih sisavaca (sob, jež) i ptica (sova, vrsta vrane). Neke male ptice imaju četvrti receptor koji apsorbira spektar UV zračenja, te im daje potpunu UV vidljivost.

## 2.2.2. Tipovi UV zračenja

Elektromagnetski spektar ultraljubičastog zračenja nalazi se između 10 nm i 400 nm, ovaj spektar možemo dalje podijeliti prema valnoj duljini na kojoj se nalaze.

Takvom podjelom imamo ultraljubičasto zračenje A (UVA), ultraljubičasto zračenje B (UVB), ultraljubičasto zračenje C (UVC), vakuum ultraljubičasto zračenje i ekstremno ultraljubičasto zračenje.

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

Tablica 1.: Tipovi UV zračenja prema ISO-21348 [9]

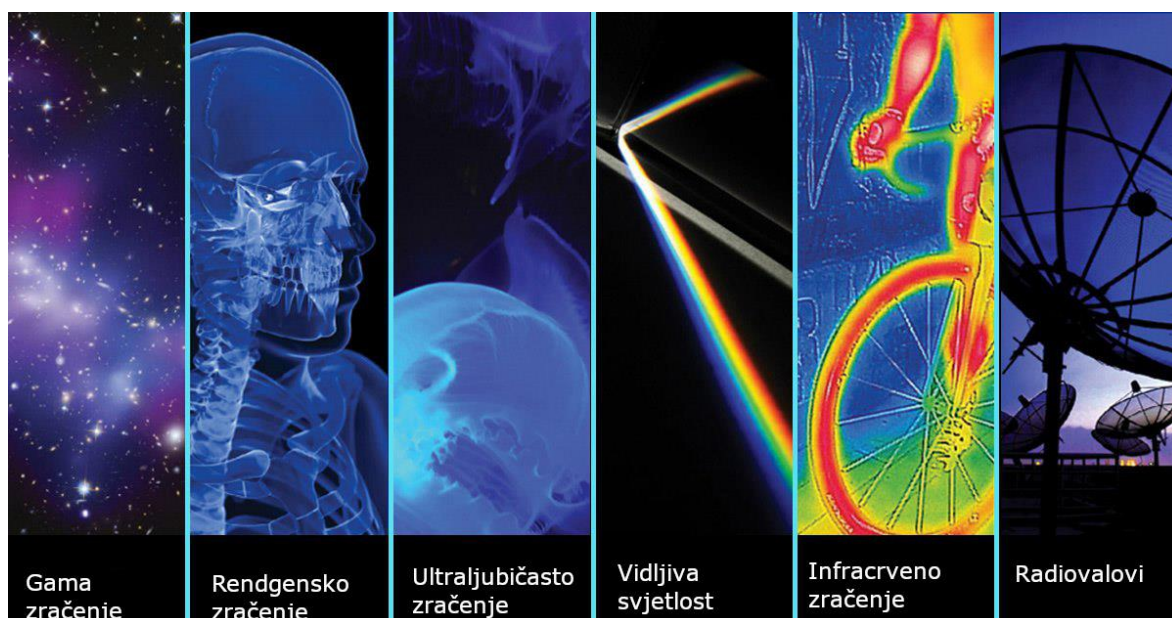
Sunce emitira ultraljubičasto zračenje svih valnih duljina, uključujući i ekstremno UV zračenje. Prije nego dođe do atmosfere, sunčeva svjetlost se sastoji od 50% infracrvenog, 40% vidljivog i 10% ultraljubičastog zračenja. Nakon

atmosfere osvijetljenje je 53% infracrveno, 44% vidljivo i 3% ultraljubičasto zračenje.

### 3. KARAKTERISTIKE INFRACRVENOG ZRAČENJA

Infracrveno (*lat. Infra - ispod*) ustvari znači ispod crvenog, ili van granica koje označavamo nazivom „crvena“. Kod vidljive svjetlosti crvena boja ima najnižu frekvenciju, odnosno najveću valnu duljinu. Ako idemo dalje van spektra vidljive svjetlosti doći ćemo do infracrvenog zračenja.

Infracrveno zračenje je elektromagnetsko zračenje spektra valne duljine između  $700\text{ nm}$  ( $430\text{ THz}$ ) i  $1\text{ mm}$  ( $300\text{ GHz}$ ). Većina termalnog zračenja emitiranog od strane tijela oko sobne temperature je upravo infracrveno zračenje. Kao i svi drugi dijelovi elektromagnetskog zračenja, infracrveno zračenje je dualne prirode, što znači da se prijenos energije uzrokovano zračenjem odvija na način čestica (fotona) i valova istovremeno.



Slika 8.: Ilustracija spektra elektromagnetskog zračenja [10]

### 3.1. Otkriće IC zračenja

Infracrveno zračenje otkrio je njemačko britanski astronom William Herschel 1800. godine. Primijetio je tip nevidljivog zračenja u spektru niže energije od onog crvene boje pri eksperimentiranju sa sunčevom svjetlošću, prizmom i termometrom. Otkriveno zračenje je prozvao „kalorične zrake“, pojam „infracrveno zračenje“ uveden je krajem 19. stoljeća.



Slika 9.: William Herschel [11]

Infracrveno zračenje je od otkrića konstantno istraživano te i danas donosi pomake u znanosti. 1830. godine izumljen je prvi IC detektor. 1901. godine Max Planck objavio je svoju jednadžbu crnog tijela. 1905. godine Albert Einstein razvija teoriju fotoelektričnog efekta. 2013. godine znanstvenici su uspješno

ugradili implantat u mozak štakora koji im je omogućio da vide IC spektar što je prvi slučaj „proširivanja“ sposobnosti živog bića.

### 3.2. Priroda IC zračenja

Molekule emitiraju ili apsorbiraju infracrveno zračenje kod promjene rotacijsko-vibracijskog kretanja što je ustvari toplina, odnosno ukupna unutarnja energija kretanja molekula koje čine promatrano tijelo.

Pošto se radi o vibracijama možemo ih mjeriti frekvencijom. Taj postupak se zove infracrvena spektroskopija (molekularna spektroskopija). Infracrvena spektroskopija koristi osnovno svojstvo infracrvenog zračenja a to je toplinski utjecaj na molekulu koja apsorbira infracrveno zračenje. Svaka molekula ima svoju specifičnu frekvenciju, molekule čine tvari a tvari čine tijela. Promatranjem vibracija koje emitiraju ili apsorbiraju molekule (odnosno tijela) možemo na temelju izmjerenih frekvencija zaključiti koji je sastav tih tvari.

Površina sunca ima temperaturu od  $5780\text{ K}$  ( $5510\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) koja emitira sunčevu svjetlost u obliku „termalnog“ zračenja koje je u svom sastavu većinski infracrveno zračenje. U najvišoj točki, sunčeva svjetlost zrači preko  $1\text{ kW}/\text{m}^2$  na srednjoj razini mora. Od te energije,  $527\text{ W}$  spada u infracrveno zračenje,  $445\text{ W}$  je vidljiva svjetlost i  $32\text{ W}$  je ultraljubičasto zračenje. Gotovo svo infracrveno zračenje koje dolazi od sunca je valne duljine oko  $4\text{ }\mu\text{m}$ . [12]

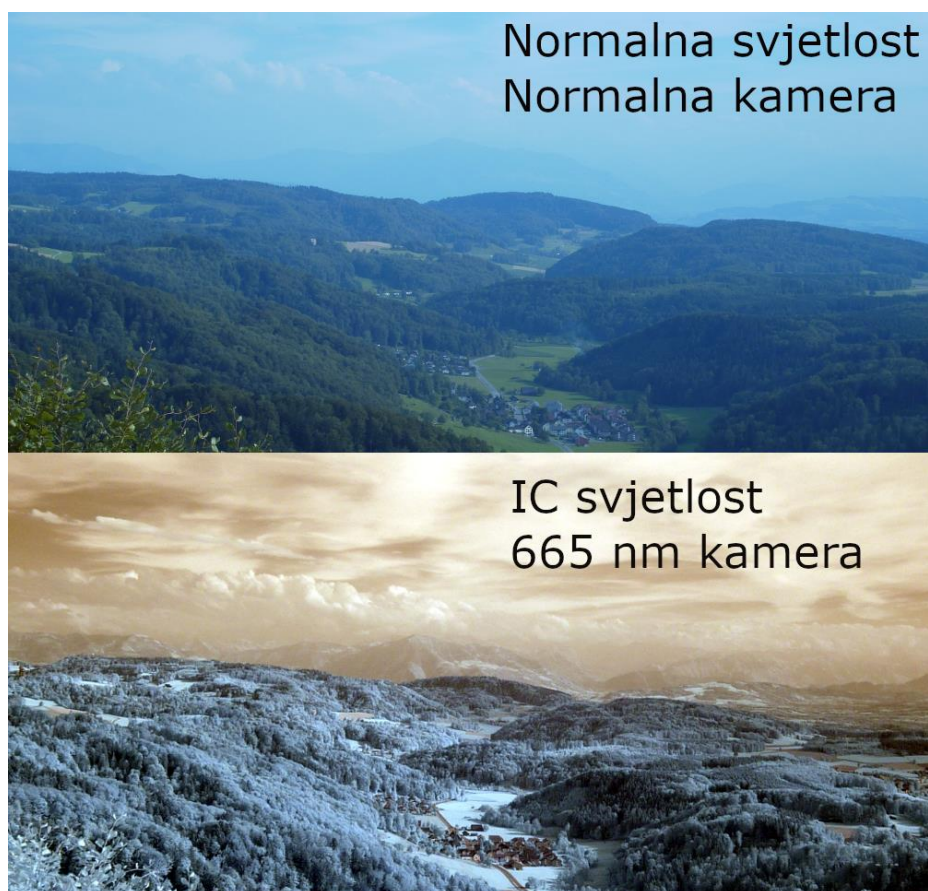
No na površini Zemlje, gdje je temperatura daleko niža od one na Suncu, dio „termalnog“ zračenja se sastoji od infracrvenog zračenja iz srednjeg dijela spektra, što je veća valna duljina od one u sunčevoj svijetlosti.

Zračenje crnog tijela, ili „termalno“ zračenje, je kontinuirano: zrači energiju u svim valnim duljinama. Od takvih prirodnih izvora zračenja na Zemlji imamo grmljavinu i vatru koji su sposobni putem „termalnog“ zračenja zračiti u vidljivom spektru, uz to vatra zrači više u infracrvenom nego u vidljivom spektru.

### 3.2.1. Vidljivost IC zračenja

Infracrvene zrake su nevidljive ljudskom oku pošto se nalaze izvan spektra vidljive svjetlosti. No tehnologija nam omogućuje da koristimo karakteristike infracrvenog zračenja, detektiramo ih te ih onda pretvorimo u spektar vidljive svjetlosti. Ovakva primjena infracrvenog zračenja nam pruža da vidimo u mraku, detektiramo toplinu i temperaturu te odredimo sastav tvari koje čine snimano tijelo (infracrvena spektroskopija).

Jedna od karakteristika infracrvenog zračenja je da omogućuje višu razinu razlučivosti od one kod vidljive svjetlosti, primjerice kod maglovitog vremena. Na sunčan dan, uporabom IC tehnologije, povećava se i udaljenost na kojoj kamera može snimiti detalje. (Slika 10.)





Slika 10.: Razlika detaljnosti između normalne i IC kamere [13]

### 3.2.2. Tipovi IC zračenja

Infracrveno zračenje se najčešće dijeli na sljedeće tipove:

<b>NAZIV ZRAČENJA</b>	<b>KRATICA NAZIVA</b>	<b>VALNA DULJINA (<math>\mu m</math>)</b>	<b>ENERGIJA FOTONA (<math>meV</math>)</b>	<b>TEMPERATURA (<math>^{\circ}C</math>)</b>
<b>Blisko Infracrveno zračenje</b>	NIR IR-A	0.75 - 1.4	886 - 1653	3 591 do 1 797
<b>Kratkovalno Infracrveno zračenje</b>	SWIR IR-B	1.4 - 3	413 - 886	1 797 do 693
<b>Srednje Infracrvenog zračenje</b>	MWIR IR-C MidIR	3 - 8	155 - 413	693 do 89
<b>Dugo Infracrveno zračenje</b>	LWIR IR-C	8 - 15	83 - 155	89 do -80
<b>Daleko Infracrveno zračenje</b>	FIR	15 - 1000	1.2 - 83	-80.15 do -270.15

Tablica 2.: Podjela infracrvenog zračenja [3]

NIR i SWIR se još nazivaju i „reflektirano infracrveno zračenje“, a MWIR i LWIR se nazivaju i „termalno infracrveno zračenje“ zbog prirode zračenja crnog tijela kada je promatrano kroz infracrvene kamere.

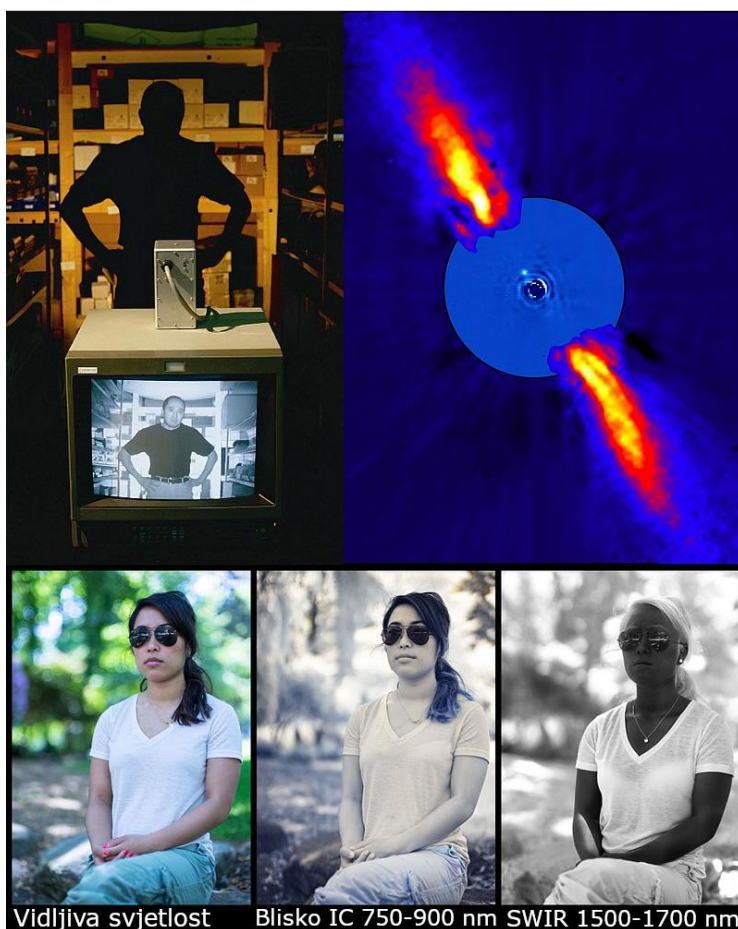
Također postoje i druge podjele spektra infracrvenog zračenja ovisno o njihovoj primjeni, primjerice za astronomiju, industriju rasvjete, ISO, telekomunikacije itd.

#### 4. PRIMJENA UV I IC ZRAČENJA

Ultraljubičasto i infracrveno zračenje jesu prirodna pojava no danas imaju svoj izvor te široku primjenu u industriji, zdravstvu, vojsci, istraživanju, umjetnosti, komunikacijama i znanosti.

Ta široka primjena je moguća zahvaljujući znanosti o njihovim karakteristikama koja nam je omogućila razumijevanje mehanizama koji dovode do određenih pojava kod eksperimentiranja sa zračenjem i tvarima (tijelima) u određenim okolnostima.

Sve te okolnosti i reakcije potvrđene eksperimentima su zbog svojih preciznih i relativno jednostavno ponovljivih karakteristika u modernom svijetu doživjele široku primjenu.[14]





Slika 11.: Primjeri primjene IC zračenja [15]

## 4.1. Primjena ultraljubičastog zračenja

Ultraljubičasto zračenje uzrokuje kemijske reakcije i fotoluminiscenciju pri interakciji sa tvarima, ove karakteristike su izvor primjene ultraljubičastog zračenja koja dalje ovisi o valnim duljinama jer ovisno o njima imamo različite učinke.

### 4.1.1. Opća primjena ultraljubičastog zračenja

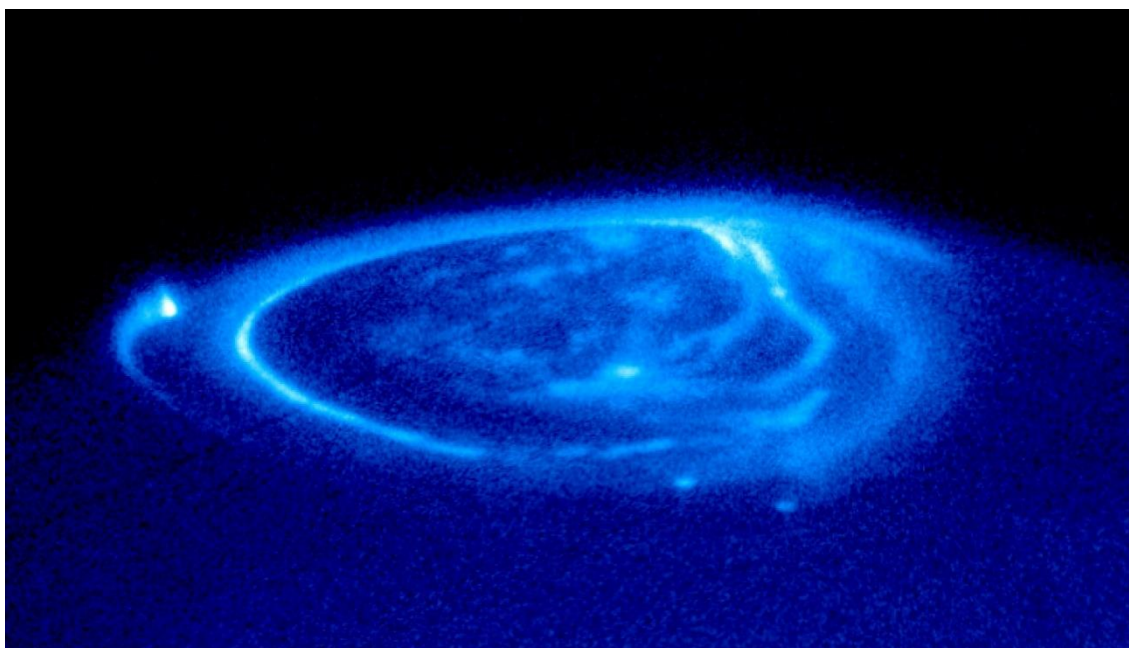
Fotografija je jedna od osnovnih primjena UV zračenja, fotografski film izložen UV zračenju reagira s njim, dok leća blokira zračenja valnih duljina kraćih od 350 nm. Filteri koji blokiraju određene dijelove UV spektra koriste se kod fotografiranja u prirodi u svrhu eliminiranja poremećaja kvalitete fotografije koja je uzrokovana dijelom spektra UV zračenja. (Primjerice ako fotografija ima previše plave boje koja umanjuje ukupnu čistoću slike.) Također postoje specijalne vrste kamera koje mogu fotografirati u bliskom UV spektru. Za one ispod 350 nm potrebna je upotreba posebnih leća načinjenih od kvarca koje ne apsorbiraju UV zračenje. Senzori u digitalnim kamerama imaju digitalne filtere koji mogu blokirati dio UV zračenja u svrhu pospješivanja kvalitete boje i njene preciznosti. Također postoje kamere osmišljene za fotografiranje u potpunosti unutar UV spektra.



Slika 12.: UV fotografija oku nevidljive oznake na kreditnoj kartici [16]

UV fotografija koja se bazira na reflektiranom UV zračenju koristi se u zdravstvu, znanstvenim istraživanjima ili forenzici kod zapažanja ozljeda na tijelu, provjera dokumenata ili restauracija umjetnina. Fotografija također koristi fluorescenciju, koja se javlja pri UV zračenju, da bi stvorila sliku u vidljivom spektru kako bi je ljudsko oko moglo vidjeti.

U ultraljubičastoj astronomiji UV zračenje se koristi kako bi se detektirao kemijski sastav međuzvezdanog prostora kao i temperatura i sastav zvijezda. Između površine Zemlje i svemira stoji ozonski omotač koji blokira ultraljubičasto zračenje pa se iz tog razloga ovakva detekcija odvija u svemiru pomoću teleskopa koji se nalaze na satelitima ili drugim uređajima. (Sl.13.)



Slika 13.: UV fotografija polarne svjetlosti na Jupiteru slikana svemirskim teleskopom Hubble [17]

Ultraljubičasto zračenje se također koristi u elektrotehnici kod detekcije električnog izboja, točnije korone jer je ona izvor UV zračenja. Korona svojom pojavom uzrokuje raspad dielektrika (npr. zrak) pri čemu se emitiraju ozon i dušikov oksid.

Uz to UV zračenje se koristi kod brisanja memorije kod EPROM-a koji se koriste kao privremeni pohranjivači podataka. To su elektronički elementi u obliku čipova koji na sebi imaju „prozor“ načinjen od kvarca koji propušta UV zračenje koje interakcijom sa unutrašnjim elementima rezultira brisanjem memorije.

Fluorescentne boje su također područje u kojem UV zračenje ima široku primjenu. Fluorescencija je posljedica oku nevidljivog UV zračenja koje interakcijom sa fluorescentnom tvari za produkt ima fotone u vidljivom spektru. Koriste se kao optički posvjetlivači najčešće s papirom ili tkaninom. Vidljivo svjetlo koje se javlja kada je tretirani dio papira ili tkanine obasjan UV svjetlom služi primjerice za provjeru autentičnosti dokumenata ili novčanica.

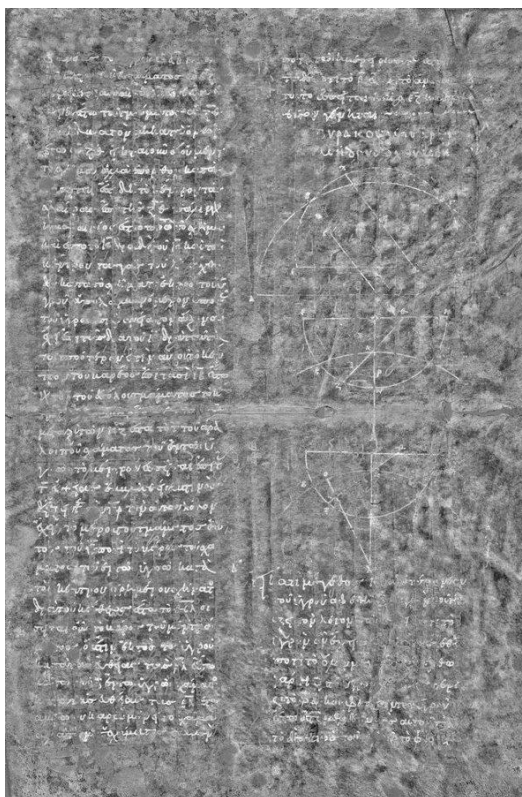
Druga česta primjena fluorescentnih boja je kod suzavaca, gdje je u spremniku suzavac pomiješan sa fluorescentnom bojom pa se napadač može lako prepoznati ako je izložen UV svjetlu, bez da sam sazna da je obilježen. Slična primjena se može naći u raznim rješenjima kod protuprovalnih ili protuprepadnih sustava.

Fluorescentne boje se koriste u proizvodnoj industriji na način da se obrađivani materijali ili poluproizvodi tretiraju slojem fluorescentne boje da bi se pod UV svjetlom lakše prepoznale nečistoće ili drugi nepoželjni nedostaci.

#### 4.1.2. Primjena ultraljubičastog zračenja u analitici

Ultraljubičasto zračenje se koristi kao alat u istraživačkom radu, primjerice forenzici, gdje zbog interakcije sa UV svjetlom možemo lakše primijetiti tjelesne tekućine. Tjelesne tekućine obasjane UV svjetlom reflektiraju fotone valne duljine koje ih čine izuzetno vidljivima u vidljivom spektru te ih je zbog ovoga lakše uočiti bez obzira na kojoj se površini ili pozadini nalaze.

U arheologiji UV zračenje služi za čitanje zapisa koji su nevidljivi ljudskom oku ili se nalaze na površinama koje ne bi mogle zadržati početni oblik ako bi ih pokušali manipulirati na mehanički način. To se postiže putem niza fotografiranja predmeta koristeći drugačije valne duljine UV zračenja kako bi se njihovim spajanjem kasnije uočile promjene u sastavu predmeta koje kasnije možemo prepoznati kao zapis.



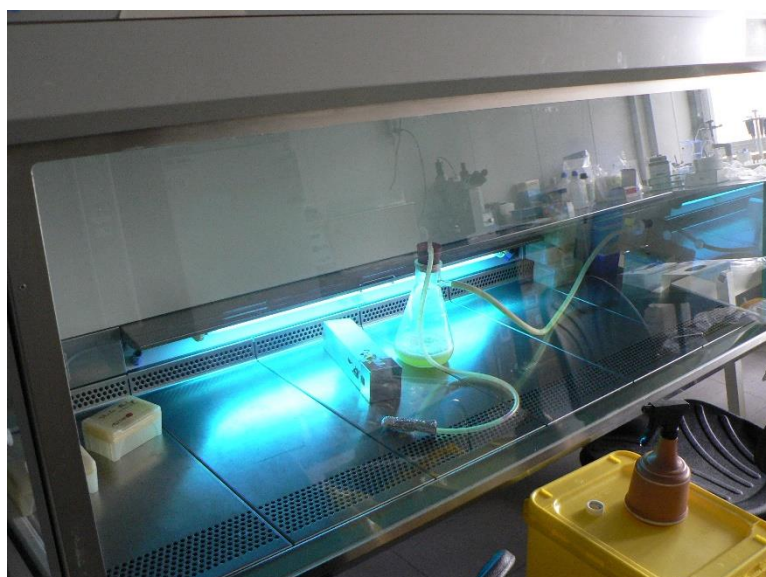
Slika 14.: UV snimak kopije Arhimedovog palimpsesta iz 10. st.[18]

#### 4.1.3. Primjena ultraljubičastog zračenja u biologiji

Ultraljubičasto zračenje (UVC) je ključno za fotokemijski proces koji uzrokuje oksidaciju organskih tvari putem kojega razne patogene, pelud i plijesan pretvara u inertne i bezopasne produkte. Kontaminanti koji se nalaze u nekom prostoru su uglavnom organski spojevi na bazi ugljika koji se raspadaju kada su izloženi UV zračenju između 240 *nm* i 280 *nm*. UV zračenje kraćih valnih duljina oštećuje DNK.

Iz ovakvih reakcija proizlazi najraširenija primjena UV zračenja u biologiji, a to je dezinfekcija prostora i radnih površina u laboratorijima i zdravstvenim ustanovama. UV svjetla koja se koriste u ove svrhe većinski su u rasponu od 254 *nm* i 265 *nm*, u tom rasponu je dezinfekcija na živih organizama najdjelotvornija.

Način na koji dezinfekcija u ovom slučaju funkcionira je oštećenje DNA ili RNA živih mikroorganizama koji se nalaze na nekoj površini, što onemogućuje njihovu reprodukciju te ih čini bezopasnima, iako i dalje mogu ostati živi. Također ova vrsta dezinfekcije nije savršena pošto mikroorganizmi mogu biti skriveni u mikropukotinama do kojih UV zračenje ne može doprijeti. Zbog toga je UV dezinfekcija suplementarni a ne primarni način dezinfekcije prostora i površina.



Slika 15.: Radna površina obasjana UV svjetlom [19]

## 4.2. Primjena infracrvenog zračenja

Infracrveno zračenje kao oku nevidljiva svjetlost, koju tijela zrače u svim smjerovima ovisno o njihovoj temperaturi, pruža velik broj primjena kada se koristi zajedno sa modernom tehnologijom. Upravo moderna tehnologija pruža da IC zračenje postane vidljivo ljudskom oku te da posluži kojoj god svrsi je potrebna.

### 4.2.1. Primjena infracrvenog zračenja u termografiji

Infracrveno zračenje ima najširu primjenu u termografiji. Termografija (*grč. thermos* - toplo, vruće; *grč. graphia* - opis) je princip znanstvene primjene detektiranja infracrvenog zračenja nekog tijela, snimanje tog zračenja termografskom kamerom te prikaz termografske „slike“, odnosno termograma, u spektru koji je vidljiv ljudskom oku. (Sl.16.)



Slika 16.: Termogram mačke [20]



Termografske kamere detektiraju infracrveno zračenje ( $0.9 \mu m - 14 \mu m$ ) i stvaraju njegov prikaz. Uzmemo li u obzir činjenicu da sva tijela emitiraju infracrveno zračenje ovisno o njihovoj temperaturi, neovisno o tome da li se nalaze u vidljivom spektru ili ne, to znači da nam termografija omogućuje da „vidimo“ prostor i tijela u njemu čak i ako nema svjetla u vidljivom spektru. Iz ovoga proizlazi neznanstvena primjena termografije a to je ona u sigurnosnim i vojnim sektorima.

Naravno termografija ima svoju ulogu u zdravstvu, točnije u dijagnostici, kao i u veterini. No postoji i druga, jednostavnija, strana termografije koja je još više raširena a naziva se pirometrija. Najpoznatiji primjer pirometrije su infracrveni termometri. (Sl.17.)



Slika 17.: Infracrveni termometar [21]

Infracrveni termometri su pojednostavljena verzija termografskih kamera. Temeljeni na Seebeckovom efektu, reverzibilnom procesu u kojem promjena

temperature na jednom kraju spoja dva različita metala uzrokuje pojavu električne struje na drugom kraju. Termometar ima spojeve tih termoelektričnih elemenata koji se zovu termoparovi koji se nalaze iza leće koja fokusira svjetlost, zajedno s infracrvenim zračenjem. Rezultat je električna struja koja se mijenja ovisno o temperaturi te je ista na ekranu pretvorena u stupnjeve.[22]

#### **4.2.2. Primjena infracrvenog zračenja u komunikacijama**

Prijenos informacija putem infracrvenog zračenja može se odvijati na kratkim udaljenostima gdje ih nalazimo u kućanstvu, preko vanjskih primjena na udaljenostima do 3 *km* sve do onih vanzemaljskih na udaljenostima od više od 300 000 *km*. [23]

Najraširenija primjena prijenosa informacija infracrvenim zračenjem je upravo u kućanstvu, gdje, izuzev posebnih slučajeva, svi daljinski upravljači koriste infracrveno zračenje. Način na koji daljinski upravljač komunicira informaciju prijemniku, primjerice kod televizora, je putem signala u obliku pulsirajućeg infracrvenog zračenja. IC dioda u daljinskom upravljaču ovisno o aktiviranoj tipki stvara svjetlost u spektru IC zračenja koje prijatelj registrira kao pokretač određene funkcije koju će obaviti. Razlog zbog kojeg se najčešće koristi IC zračenje je nevidljivost ljudskom oku i niska cijena proizvodnje.

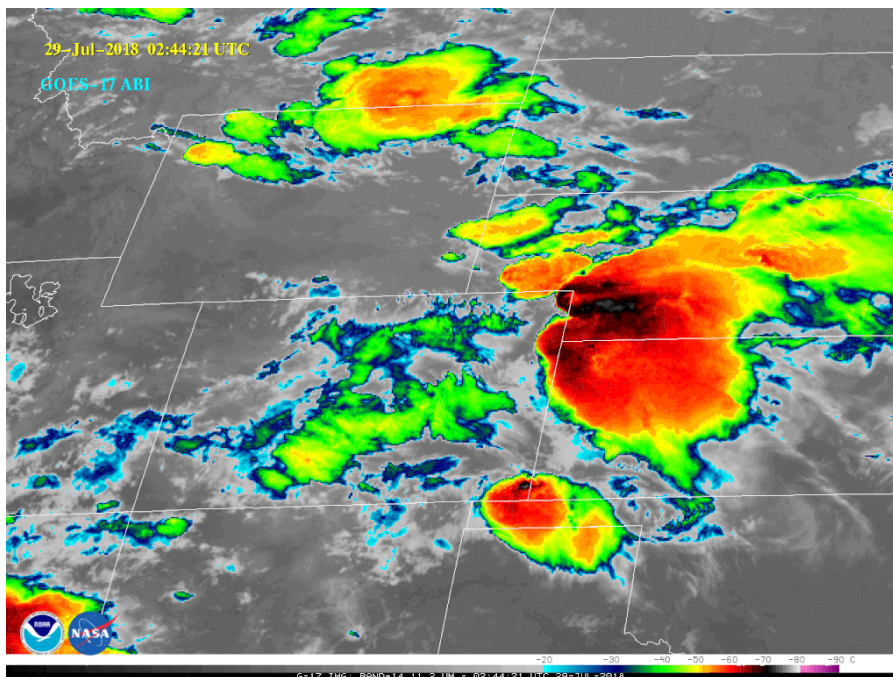




Slika 18.: IC svjetlost je jasno vidljiva ako koristimo digitalnu kameru [24]

#### 4.2.3. Primjena infracrvenog zračenja u meteorologiji

Meteorološki sateliti su opremljeni radiometrima koji omogućuju snimanje u infracrvenom spektru. Meteorolozi te snimke obrađuju i prema njima određuju brzinu, smjer, visinu i vrste oblaka, temperaturu kopna i mora te pomoću njih prate promjene na površini mora. Sateliti snimaju u rasponu od  $10.3 \mu\text{m}$  do  $12.5 \mu\text{m}$ . [25]



Slika 19.: IC satelitska snimka središnje Amerike [25]

Glavna prednost IC snimanja je da se precizno snimanje može provoditi i tijekom noći kada je prirodna svjetlost minimalna. Uz snimanje oblaka, IC snimanje omogućuje precizno praćenje promjena u morskim i oceanskim strujama putem promatranja miješanja morske vode različitih temperatura

prema kojima stručnjaci mogu proizvesti modele koji su imperativ u prekooceanskom prometu ali i ribarskoj industriji. Osim na otvorenom moru ova tehnologija koristi se i u poljoprivredi, za koju su meteorološke prognoze neizostavne.

## **5. DJELOVANJE NA LJUDSKI ORGANIZAM**

Ultraljubičasto i infracrveno zračenje su do ovog dijela diplomskog rada uzeti kao predmet promatranja kako bi se prezentiralo i razumjelo njihovu prirodu, izvore i primjene, a sve to da bi bilo jednostavnije objasniti djelovanje na čovjeka.

Ultraljubičasto i infracrveno zračenje spadaju u optički spektar zračenja, koji spada pod neionizirajuća zračenja koja dalje spadaju pod elektromagnetska zračenja.

Elektromagnetsko zračenje možemo podijeliti na ionizirajuće (rendgensko zračenje, gama zračenje) i neionizirajuće zračenje (ultraljubičasto zračenje, infracrveno zračenje, vidljiva svjetlost). Razlika između ionizirajućeg i neionizirajućeg zračenja je da ionizirajuće zračenje ima dovoljno veliku energiju fotona da kod interakcije s atomom uzrokuju da atom dobije ili izgubi elektron, odnosno da postane pozitivno ili negativno nabijen (anion ili kation). []

Optički spektar spada u neionizirajuća zračenja, pa za ovaj rad nema potrebe ulaziti u dublje objašnjavanje kvantne mehanike ionizacije na atomskoj i subatomskoj razini, barem ne u tom smjeru.

Daljnja podjela optičkog spektra dijeli se na niz spektralnih pojaseva koji su definirani ovisno o stajalištu s kojih ih je potrebno definirati. Primjerice postoje različito definirani spektralni pojasevi za optiku, meteorologiju, fotobiologiju i druge grane tehničke ili prirodoslovne primjene. Jedan od primjera je fotobiološka definicija optičkog zračenja navedena u Tablici 3. koja se bavi

interakcijom optičko zračenja i živog tkiva odnosno utjecaja optičkog zračenja i prirode. [26]

<b>CIE naziv spektralnog pojasa</b>	<b>Valna duljina</b>	<b>Karakteristike</b>
<b>UV<math>\underline{C}</math></b>	100 <i>nm</i> - 280 <i>nm</i>	Površinska apsorpcija kod tkiva, značajna apsorpcija bjelančevina 250-280 <i>nm</i>
<b>UV<math>\underline{B}</math></b>	280 <i>nm</i> - 315 <i>nm</i>	Penetrirajuće, fotokancerogeno zračenje
<b>UV<math>\underline{A}</math></b>	315 <i>nm</i> - 400 <i>nm</i>	Dublja penetracija, manja apsorpcija, fotoni interagiraju termički
<b>Vidljiva svjetlost</b>	380 <i>nm</i> - 780 <i>nm</i>	Dnevna i noćna vidljivost
<b>IR-A</b>	780 <i>nm</i> - 1400 <i>nm</i>	Duboka penetracija, voda prenosi zračenje
<b>IR-B</b>	1.4 $\mu m$ - 3.0 $\mu m$	Voda jako apsorbira, slaba penetracija (1 <i>mm</i> )
<b>IR-C</b>	3 $\mu m$ - 1 000 $\mu m$	Slaba površinska apsorpcija (0.1 <i>mm</i> )

Tablica 3.: Fotobiološka podjela optičkog zračenja Međunarodne komisije za osvjetljenje [26]

Ova podjela spaja one ranije navedene u tablicama diplomskog rada, te služi kao sjedinjenje do sada razdvojenog promatranja optičkog zračenja. Utjecaj ultraljubičastog i infracrvenog zračenja na čovjeka zapravo promatramo s biokemijskog stajališta, preciznije s onog fotobiologije i fotokemije.

## **5.1. Djelovanje ultraljubičastog zračenja na ljudski organizam**

Iz biološke perspektive, valne duljine ultraljubičastog zračenja ispod 180 *nm* (vakuum UV) su praktički beznačajne pošto ih zrak u potpunosti apsorbira.

Valne duljine UVC zračenja su fotokemijski aktivnije pošto se u ovom pojasu javlja najveći broj fotona koji su značajno apsorbirani u određenim aminokiselinama, pa samim time i u većini bjelančevina. [3]

Valne duljine UVB zračenja su nešto manje fotokemijski aktivne no penetriraju dublje u tkivo. [26]

Valne duljine UVA zračenja su najslabije u pogledu fotobiološke aktivnosti no penetriraju dublje od onih kod UVB zračenja te često interaktiraju u tkivu kada dođu u kontakt s njima nakon UVB zračenja. [26]

### **5.1.1. Osnove molekulskih orbitala i njihova svojstva**

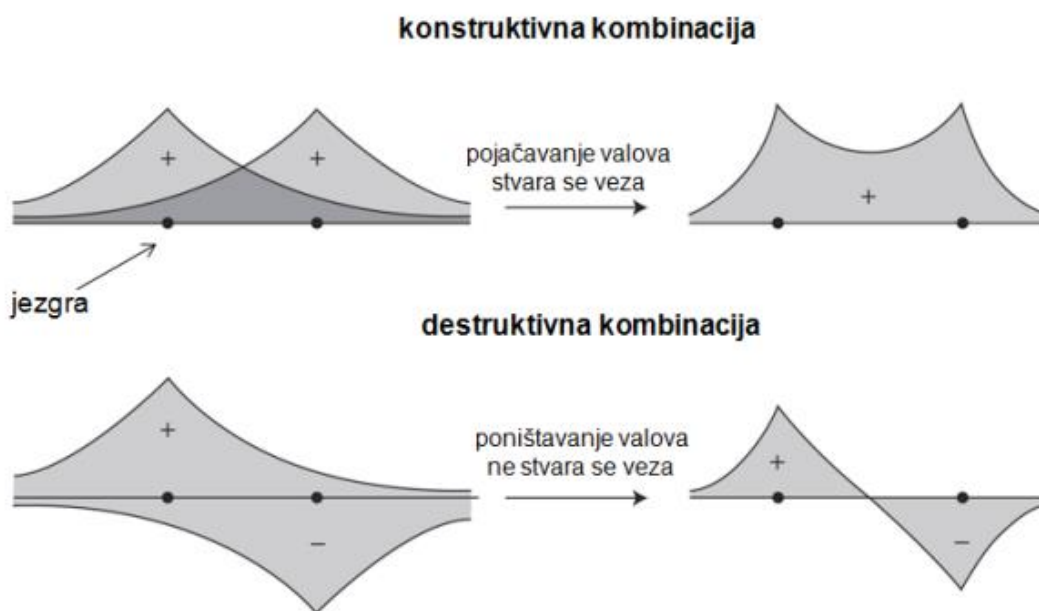
Iza svih bioloških učinaka ultraljubičastog zračenja stoji apsorpcija fotona ultraljubičastog zračenja u molekule koje čine stanicu, te molekule zovemo biomolekule. Biomolekule svojim daljnjim spajanjem čine bjelančevine, masti, nukleinske kiseline itd. One su zapravo molekule koje imaju biološko podrijetlo.

No, u svrhu razumijevanja principa apsorpcije UV zračenja potrebno je razumjeti prirodu zračenja, koja je objašnjena ranije, ali i prirodu tvari sa kojom to zračenje interaktira.

Tvari su načinjene od atoma i molekula. Molekule su načinjene od atoma, a atomi se sastoje od jezgre u kojoj se nalaze pozitivno nabijeni protoni i neutralni neutroni, dok su oko jezgre u različitim orbitalama nalaze negativno nabijeni elektroni.

Kada se atomi spajaju u molekule nastaju molekulske orbitale u kojima se mogu naći njihovi elektroni koji su ranije bili u njihovima atomskim orbitalama. Broj i priroda tih orbitala ovisi o vrsti molekule koja je tvorena, odnosno ovisi o atomima koji čine molekulu. Također, ukupan broj atomskih orbitala jednak je broju molekulskih orbitala. [26]

Zbrajanjem i oduzimanjem atomskih orbitala tj. linearnom kombinacijom atomskih orbitala nastaju molekulske orbitale te se ovaj proces predložuje promatranjem elektrona kao valova. Kombiniranje valova može biti konstruktivno međudjelovanje, odnosno međusobno pojačavanje, ili destruktivno međudjelovanje, odnosno međusobno poništavanje. Drugim riječima valovi su u fazi ili su izvan faze. [26]



Slika 20.: Međudjelovanje valnih funkcija dva vodikova atoma [26]

Kod molekule koju čine 2 atoma vodika, od kojih svaki ima po jednu orbitalu, molekula također ima 2 orbitale. Što je dano pravilom o očuvanju broja orbitala u molekularnoj teoriji. Konstruktivna kombinacija valova čini orbitalu niže energetske razine dok destruktivna čini orbitalu više energetske razine. Konstruktivna i destruktivna kombinacija postoje istovremeno. Ovakav sustav je „sklon“ ostati stabilan tako da elektroni ostaju u stanju niže energetske razine. Pošto kod molekularskih spojeva postoji više orbitala i više elektrona, elektroni mogu prelaziti iz orbitale u orbitalu. Kada elektron prelazi iz stanja više energije u stanje niže energije emitira energiju. Kada elektron prelazi iz stanja niže energije u stanje više energije apsorbira energiju. [3]

Kada elektron prijeđe iz stanja niže energije u stanje više energije, molekula je pobuđena jer je poremećena ravnoteža rasporeda elektrona po orbitalama te će sustav molekule biti „sklon“ vratiti se natrag u stanje niže energije nakon nekog vremena. Te će pritom emitirati energiju. [3]

Elektron je „sklon“ prijeći u stanje niže energije no da bi prešao iz niže u višu mora primiti energiju kemijskom reakcijom ili na način da apsorbira kvant svjetla (foton).

Ono što je bitno za ovaj diplomski rad je da postoje orbitale više i niže energije, da su elektroni „skloni“ ostati ili prijeći u orbitale u kojima bi se nalazili u stanju niže energije. Te da se prelazak elektrona iz niže orbitale u višu orbitalu javlja kada elektron apsorbira energiju fotona te da će emitirati energiju kada se bude vraćao natrag u nižu orbitalu. Ovaj proces je bitan jer je usko vezan sa fotokemijom apsorpcije svjetla u organskim molekulama. Fotokemija je grana znanosti koja objašnjava kako svjetlost interaktira i uzrokuje kemijske procese.

Prvi zakon fotokemije kaže da samo svjetlo koje molekula apsorbira može uzrokovati fotokemijsku promjenu. [26]

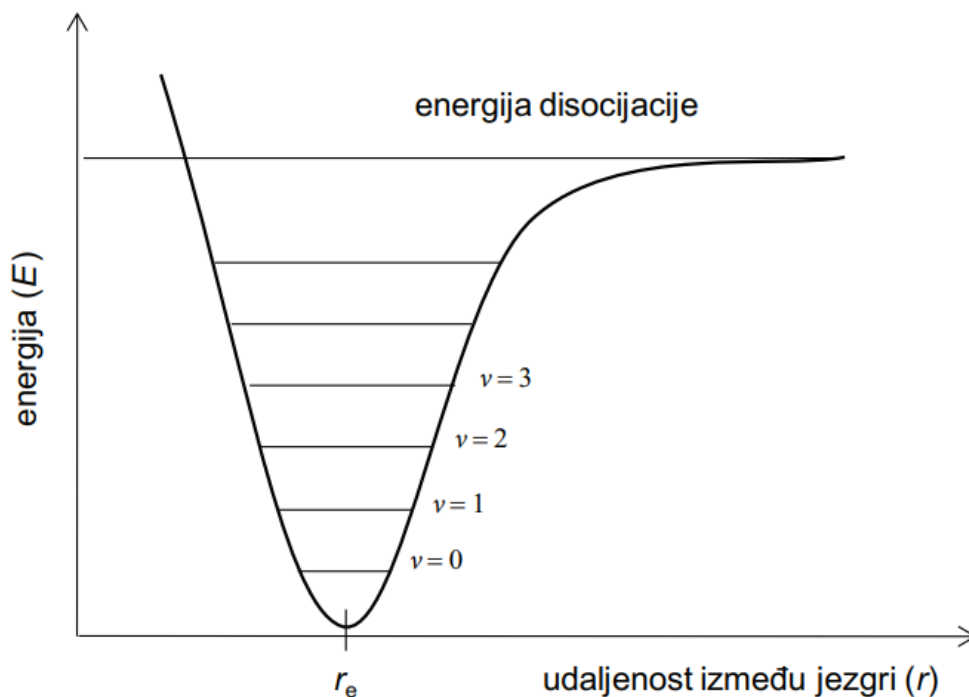
Hoće li molekula apsorbirati ultraljubičasto zračenje ovisi o energiji fotona i o elektronskoj konfiguraciji molekule, odnosno o energijskim razlikama između elektronskih stanja u molekuli. Pošto postoje različite orbitalne strukture, različite molekule će različito apsorbirati ultraljubičasto zračenje.

### 5.1.2. Osnove apsorpcije UV zračenja

Drugi zakon fotokemije definira da je apsorpcija svjetla kvantizirani proces i da jedna molekula apsorbira jedan foton. [26]

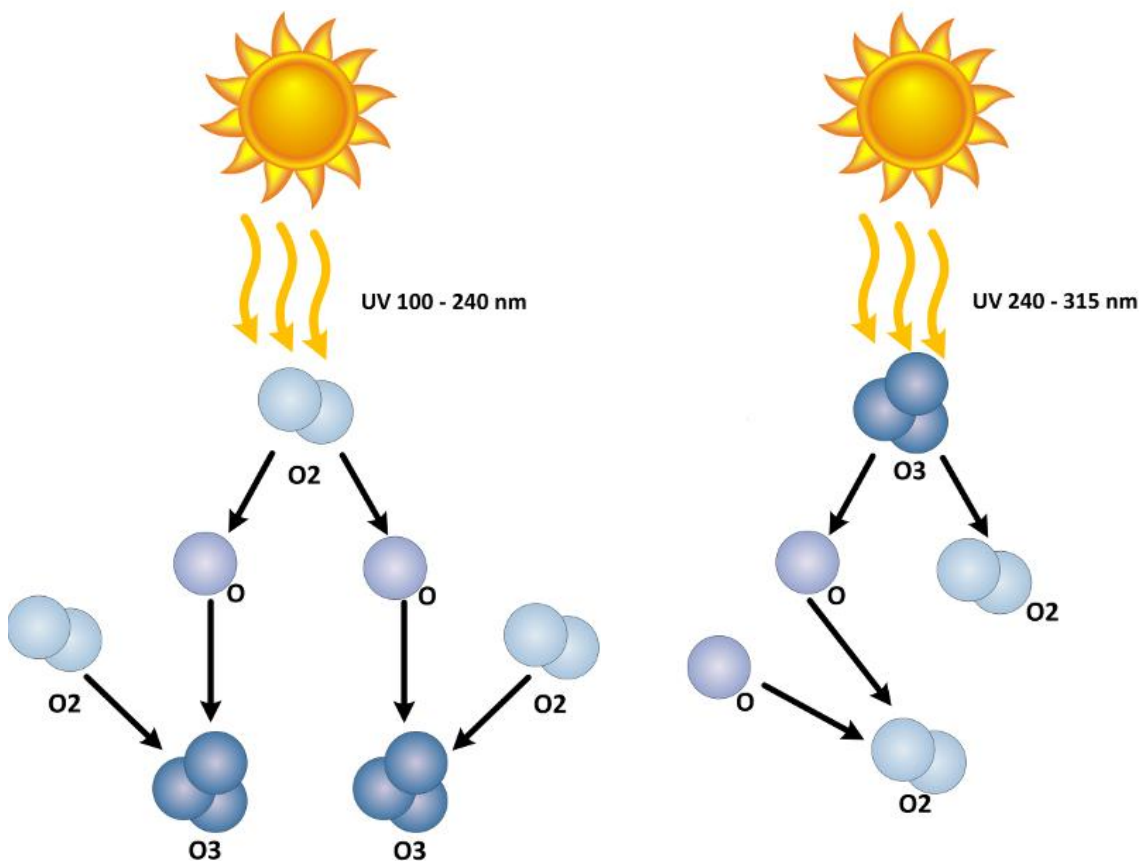
Apsorpcija ultraljubičastog zračenja uzrokuje prelazak elektrona iz orbitale niže energije u orbitalu više energije. Ultraljubičasto zračenje se može apsorbirati samo ako se energija pobuđivanja podudara s energijom fotona. ( $\Delta E = h\nu$ ) Kada se te energije podudaraju omogućen je proces koji se naziva rezonancija.

Apsorpcijom fotona molekula prelazi u pobuđeno stanje, a energija fotona postaje dio ukupne energije molekule. Sa svakim sljedećim prijelazom na višu energetska razinu povećava se i udaljenost jezgri (Sl.21.), odnosno smanjuje se stabilnost molekule. Kada raste ukupna energija pobuđene molekule tada opada njena stabilnost. Ovakva pobuđena molekula se vraća natrag u osnovno, i stabilno, stanje.



Slika 21.: Morseova krivulja prikazuje udaljavanje jezgara u odnosu na razine energije [26]

Najpoznatiji primjer ovog procesa odvija se u atmosferi, gdje intenzivno UV zračenje, koji imaju za to potrebnu energiju, pogađaju elektrone u pozitivnim molekulama kisika ( $O_2$ ). Izbačeni elektron pogađa susjednu molekulu kisika ( $O_2$ ) koja sada ima elektron viška i postaje negativno nabijena. Zbog promjene naboja molekula se raspada te se negativno nabijeni kisik s viškom elektrona veže sa drugom pozitivnom molekulom kisika ( $O_2$ ) te zajedno tvore ozon ( $O_3$ ). (Sl.21.)



Slika 22.: Ciklus ozona u atmosferi [27]



Ta molekula ozona ( $O_3$ ) je kasnije pogođena drugim fotonom koji ima dovoljnu energiju da tu molekulu razdvoji natrag u jedan kisik ( $O$ ) i molekulu kisika ( $O_2$ ). Ovaj ciklus se ponavlja i stvara ozonski omotač te štiti površinu Zemlje od štetnog ultraljubičastog zračenja.

### 5.1.3. Apsorpcija UV zračenja kod bjelančevina, RNK i DNK

Spektar valnih duljina ultraljubičastog zračenja koji dopire do površine Zemlje je 290 - 400 nm. Prvi zakon fotokemije kaže da je samo apsorbirani foton sposoban pokrenuti fotokemijski proces dok u isto vrijeme znamo da foton može biti apsorbiran jedino ako ima energiju potrebnu za rezonanciju. (Njegova energija se mora poklapati sa energijom pobuđivanja.)

Bjelančevine, ribonukleinska kiselina (RNK) i deoksiribonukleinska kiselina (DNK) apsorbiraju upravo fotone spektra valne duljine 290 - 400 nm.[]

Apsorpcijom fotona molekula prelazi u pobuđeno stanje gdje se zadržava određeno vrijeme, nakon čega se vraća u osnovno stanje. Ako pobuđeno stanje vodi u konačnici do strukture različite konstitucije i konfiguracije od one početnog stanja, došlo je do fotokemijskog procesa koji se zove fotokemijska deaktivacija.[]

Ako se molekula vraća u osnovno stanje bez kemijske promjene, proces aktivacije je fotofizikalni.

Primjer deaktivacije pobuđenog stanja uz zračenje zove se fotoluminiscencija. Fluorescencija i fosforescencija su pojedinačni slučajevi luminiscencije, a razlikuju se po tome je li dolazi do promjene spina. Dio molekule koji apsorbira energiju određene valne duljine te emitira energije druge specifične valne duljine zove se fluorofor.

Iz primjera fotoluminiscencije možemo primijetiti da se tijekom „smirivanja molekule“ mogu dogoditi različite emisije energije. Kada govorimo o bjelančevinama, a one čine RNK i DNK, možemo zaključiti kako UV fotoni apsorbirani u biomolekule koje čine bjelančevine mogu poremetiti veze koje čine RNK i DNK.

Kod vraćanja u nepobuđeno stanje dolazi do fotokemijski uzrokovanih promjena u vezama između bjelančevina koje čine DNK, ako te promjene zahvate ključne veze tada dolazi do grešaka u DNK sekvenci koja, ako se nije u mogućnosti popraviti, vodi do raka. Greške mogu biti neopasne i benigne ili mogu rezultirati destruktivnim spojevima između dijelova molekule koji svojim spajanjem imaju destruktivne učinke na same sebe ili okolinu. DNK ima sustav koji detektira greške te ih ispravlja, no unatoč tome postoje spojevi koji nadilaze rekonstrukcijske mogućnosti DNK sustava.

Izveden je velik broj istraživanja koje pokazuju da se bjelančevine mogu deaktivirati kod izlaganja ultraljubičastom zračenju. Prepoznate su i bjelančevine kod čijih se deaktivacija emitira energija u spektru energije apsorpcije (one potrebne za rezonanciju) jednakih ili drugih bjelančevina. Deaktivacija tih bjelančevina dovodi do lančanih reakcija sa vezama susjednih bjelančevina.

Ako se ovakav lančani proces dogodi u vezama bjelančevina koje čine DNK tada postoji velika šansa da se lančani proces proširi na makromolekule DNK što svojim nastavkom može uzrokovati rak.

U svim ovim situacijama postoji sustav koji štiti DNK na način da „provjerava“ i briše pogrešne spojeve unutar DNK te umjesto njih „kopira“ ispravne. No, postoji i situacija u kojoj je promjena u bjelančevini dovoljno malena da se ne detektira kod „provjere“. Ako su benigne nema velikog problema, no ako su maligne, kada ih sustav kopira, one se počinju kopirati cijelim lancem DNK jer

sada spadaju u „kopirane“. Ovo uzrokuje greške na makromolekularnoj razini gdje maligni model postaje stanični standard te tako mijenja identitet tkiva koje te, maligne, stanice čine u maligno tkivo - rak.

Ovisno o bjelančevinskoj DNK vezi koja je kompromitirana u samom temelju, tkivo koje sada ima rak može biti ono tkivo koje čini neki organ. Što je organ veći to ima više tkiva, što je više tkiva to je više stanica odnosno više molekula DNK. Ukratko, što je organ veći, veća je vjerojatnost da se izlaganjem energiji razvije rak. Incidentno, najveći organ u ljudskom tijelu je koža.

Nezaštićena koža izložena UV zračenju ima relativno višu vjerojatnost razvijanja raka od drugih organa jer je prva i najveća linija ljudskog tijela. Nakon ovoga nije teško zaključiti koji organi su sljedeći na redu kada se radi o utjecaju UV zračenja.

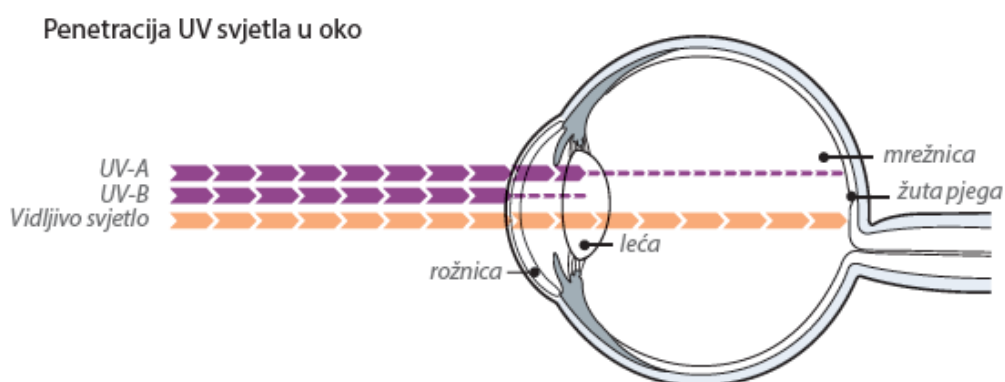
Ovo je sažetak realnog stanja koje nije u potpunosti istraženo, no činjenice koje su do danas dokazane pokazuju da postoji dug niz uvjeta i situacija koje utječu na razvoj raka kože. Od genetskih predispozicija do igre slučaja leži dug put na kojem mnogo toga može poći krivo, UV zračenje je samo dio mogućih uzroka raka kože, ne samo izravnom interakcijom sa DNK nego i kao pokretač genetski predispoziranih mehanizama koji uzrokuju rak, kože ali i bilo koji drugi.

Osim kože, organ najizloženiji UV zračenju je oko. Oko je organ koji se, kao i koža, nalazi na površini ljudskog tijela, iako je dobar dio vremena zaštićen kožom. No za razliku od kože, oko je organ čija je osnovna zadaća da interaktira sa određenim optičkim spektrom elektromagnetskog zračenja, a taj spektar graniči sa ultraljubičastim zračenjem.

Kada govorimo o utjecaju UV zračenja na oko potrebno je spomenuti da se razina izloženosti oka UV zračenju mjeri količinom zračenja koja prelazi prag

dovoljan da se razvije aktinički keratitis, ili fotokeratitis. Fotokeratitis je upala oka, poznata još i kao „varilačko oko“ ili „snježno sljepilo“ čiji su simptomi bol, suzenje, crvenilo, osjećaj „pijeska u očima“ te nekontrolirano treptanje i otekline očnog kapka koje može u potpunosti zatvoriti oko. Prag izloženosti UV zračenju potreban za fotokeratitis je definiran kao 10 minutna izloženost normalnom globalno prisutnom UV zračenju na sunčevom svjetlu u sredini ljetnog dana.

Oko je sačinjeno od više dijelova no troje ih je izloženo štetnom utjecaju UV zračenja pa su mu samim time ti dijelovi najčešće i podložni. Radi se o rožnici, mrežnici i leći. (Sl.23.)



Slika 23.: Prikaz penetracije UV svjetla u oko [3]

Zahvaljujući evoluciji oko ima zaštitu u svojoj blizini, kao kapak, trepavice i obrve, no također su se razvile zaštitne strukture unutar oka. Iako su ti dijelovi i dalje podložni oštećenju ako su previše izloženi i dalje štite od kratkotrajnih utjecaja.

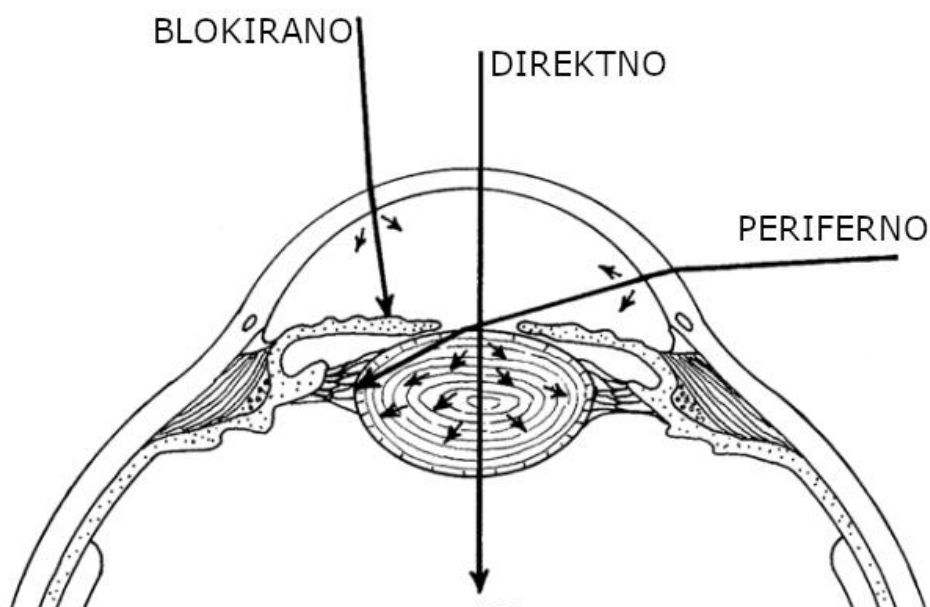
Oko ima prosječan promjer od 25 mm dok je fokalna duljina oko 17 mm. Mali dio UV zračenja dolazi do mrežnice. Rožnica propušta zračenja od 295 nm na više dok leća apsorbira sve do 400 nm. Iz ovog opisa možemo zaključiti da oko ima zaštitnu vrstu filtracije spektra zračenja kojemu je izloženo. Kod normalne

funkcije (neizravno izlaganje oka UV zračenju) do mrežnice dolazi do 1% UV zračenja u odnosu na kontaktno.

Kod mladih osoba neke od struktura još nisu u potpunosti razvijene pa ih čini podložnijima oštećenjima ali im može i omogućiti da detektiraju dijelove optičkog spektra koji su nevidljivi odraslima.

Akutni fototoksični učinci UV zračenja, koje smo ranije prepoznali kao fotokeratitis, javljaju se kod produženog izlaganja oka UV zračenju, primjerice kod varenja bez zaštitne opreme ili gledanja u sunčevu svjetlost (direktnu ili reflektiranu). No izloženost ima i druge učinke koji nisu očiti, one kronične. Ovi učinci događaju se u starijoj dobi zbog cjeloživotne izloženosti te zahvaćaju rožnicu zajedno sa ostalim vanjskim dijelovima oka te leću, ovi učinci su ovisni o geografskom položaju osobe tijekom njenog života. Zbog starosti oboljelih jako je teško dokazati u kolikom postotku je UV zračenje odgovorno za promjene u strukturama ovog dijela oka no ne može se niti isključiti njegov akumulirani utjecaj na stanice u rožnici.

Ostale moguće posljedice štetnog utjecaja UV zračenja na oko su eritem, odnosno opekline na koži kapka i oftalmohelioza koja se ne javlja kod direktnog kontakta već kada zračenje dolazi periferno u oko te se „potkopa“ pod leću i stvara oštećenja. (Sl.24.) Zanimljivo je da kod ljudi ne postoje primjeri oboljenja od raka oka izazvanog izloženošću UV zračenju, dok su dobro dokumentirani kod goveda.

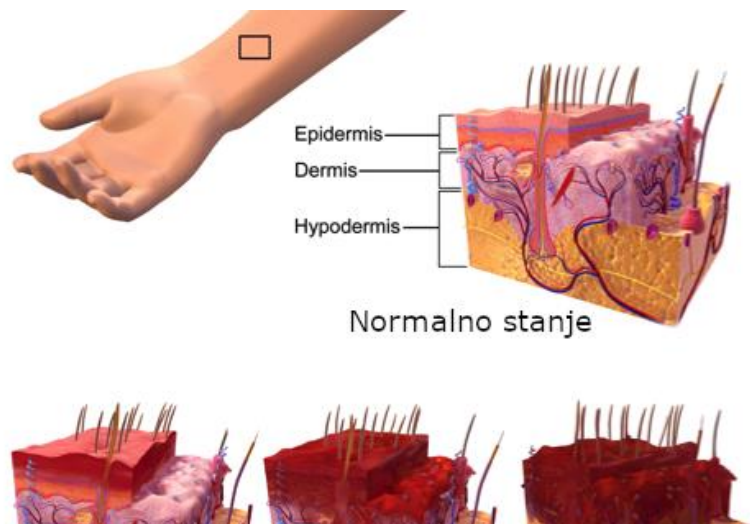


## 5.2. Djelovanje infracrvenog zračenja na ljudski organizam

Općepoznato djelovanje infracrvenog zračenja na ljudski organizam je ono termalno. Treba uzeti u obzir da ono prati svako od ostalih djelovanja, bilo osjetno ili ne. Infracrveno zračenje ima termalne učinke na površini ljudskog tijela jer nema dovoljnu energiju da prodiro unutar tijela. Sam termički učinak se širi nakon početnog djelovanja zračenja na površini no samo zračenje ne dopijeva unutar tijela osim ako se tkivo ne počne „raspadati“.

Čovjek može osjetiti toplinu iz infracrvenog izvora već od  $4.2 \text{ mW/cm}^2$  u trajanju od 1 s, pri čemu se temperatura poveća za samo  $0.035 \text{ }^\circ\text{C}$ . [28] Također treba uzeti u obzir da osjetljivost na infracrveno zračenje ovisi jačini i valnoj duljini kao i o mediju kroz koji prolazi prije nego dopije do kože.

Infracrveno zračenje ne spada u ionizirajuća zračenja, nema dovoljnu energiju provesti ionizaciju molekula kao dio ultraljubičastog zračenja, pa kod većih valnih duljina izaziva samo termalne promjene. Te promjene se nastavljanjem izlaganja šire na susjedne molekule te se zahvaćeno područje (tkivo) zagrijava. Ako se ovaj proces nastavi pojačavati dolazi do opekline. (Sl.25.)



Biološki učinak infracrvenog zračenja na kožno tkivo ovisi o ukupnoj dozi zračenja koja dalje ovisi o intenzitetu, valnoj duljini zračenja i trajanju izloženosti zračenju. S druge strane ovisi o specifičnim značajkama tkiva na koje infracrveno zračenje djeluje neki od kojih su boja, debljina i zdravlje kože. Na kraju ovisi i o tome koliko duboko zračenje uspije prodrijeti u tkivo. Može se zadržati na površinskom tkivu kože ili prodrijeti do unutarnjih slojeva gdje se nalaze žile, živci i ostali potkožni dijelovi tkiva kao dlake, nokti i kožne žlijezde (znojnice i lojnice).[28]

Akutno ozračivanje IR-A i IR-B zračenjem izaziva infracrveni ili toplinski eritem koji nastaje vrlo brzo, već za vrijeme izlaganja zračenju. Ne javlja se odgođeno djelovanje kao kod izlaganja ultraljubičastom zračenju. Također ovaj učinak nije specifičan samo infracrvenom zračenju već se javlja kod svih termalnih utjecaja na kožu. Prestankom izlaganja zračenju prestaje i ovaj učinak. U određenim količinama zračenja dolazi do opuštanja i proširivanja krvožilnih i mišićnih tkiva koja se nalaze u dubljim slojevima tkiva te se infracrveno zračenje za ovaj učinak koristi u terapeutske svrhe.

Kod dugotrajno svakodnevnog izlaganja infracrvenom zračenju dolazi do eritematoznih promjena kože kao smeđa pigmentacija mramornog uzorka, apigmentacija mrežastog uzorka te ljuštenje kože i slične atrofične promjene. Iako su većinom prolazne, dobar dio promjena na koži koje nastaju izlaganjem infracrvenom zračenju su dugotrajne dok su neke i trajne.[28]

Infracrveno zračenje također ima utjecaj i na DNK, zbog svoje destruktivne prirode na izloženo potkožno tkivo. IC na toj razini utječe na kromosome te stvara mutacije i ostale neželjene, pa time i štetne, promjene u vezama koje čine DNK.

Glavnina učinaka koje ima u tom slučaju moguća su već u spektralnom pojasu IR-A, od oko 780 nm (0.06 eV), pa na dalje gdje je energija fotona IC zračenja dovoljno velika da utječe na veze vodika u biomolekulama DNK. [28]

Djelovanje infracrvenog zračenja na oko promatramo na isti način kao i djelovanje ultraljubičastog zračenja jer se i dalje radi o djelovanju zračenja na jedno te isti organ. Iz toga slijedi da se djelovanje omogućuje kod istih struktura koje čine oko pod istim uvjetima koji su navedeni i kod utjecaja ultraljubičastog zračenja.

Također treba uzeti u obzir da se sada radi o zračenju koje izaziva opekline ovisno o uvjetima koji su navedeni na prethodnoj stranici. Uzevši istovjetnosti i razlike u obzir, možemo dalje promotriti koja su djelovanja specifična infracrvenom zračenju.

Dijelovi oka koji su najmanje zahvaćeni specifičnim djelovanjem infracrvenog zračenja su oni koji reflektiraju ili propuštaju zračenje. Prema tome, za određene valne duljine, dio infracrvenog zračenja nema specifične posljedice na bjeloočnicu, rožnicu i leću. No jednom kada se nađe u unutrašnjosti oka, odnosno na mrežnici, počinje djelovati termički te se dugotrajna izloženost ispoljava kroz isušenost unutarnjih struktura oka. Ako se uvjeti promjene, odnosno ako povećamo izloženost i jačinu zračenja, specifično djelovanje infracrvenog zračenja postaje destruktivno jer se povećava njegovo termalno djelovanje na oko koje svojim nastavkom uzrokuje opekline i nekrozu oka. Početni utjecaj je privremen no kada uvjeti postaju rigorozniji tada i učinci postaju trajniji, pa i nepovratni.



Oštećenja oka tako ovise o vrsti infracrvenog zračenja:

IR-A - upala kože kapaka, konjuktivitis,

IR-B - oštećenje rožnice, zagrijavanje vode u oku i

IR-C - oštećenje rožnice, opekline te katarakta. [28]

## 6. ZAKLJUČAK

Ultraljubičasto i infracrveno zračenje spadaju u spektar elektromagnetskog zračenja koji je blizak ljudima. Ne samo zato jer su susjedni našem vidljivom spektru već i zbog potencijala kojem duguju toliku prisutnost i široku primjenu.

Pošto su nam bliski i korisni, kako u prirodi tako i u tehnologiji, lako je zaboraviti na njihove učinke na čovjeka. Čovjek tehnologijom vlada prirodom, uzima njene dijelove i čini ih svojim, no i priroda ima iste mogućnosti spram čovjeka. Zakoni nas čuvaju od prekoračenja u ovom pogledu dok nas edukacija uči o detaljima da bismo mogli sigurno vladati ovom čovjeku specifičnom situacijom.

Čovjek je uz pomoć znanosti od prirode uzeo i ova zračenja te ih u suvremenom svijetu sveo na svakodnevne spomenice koje prosječnoj osobi ne predstavljaju određenu opasnost. U isto vrijeme je čovjekov utjecaj na površini Zemlje uzeo maha i danas imamo prilike slušati upozorenja o globalnom zatopljenju i njegovim posljedicama koje se ispoljavaju erozijom prirodnih zaštitnih mehanizama od ultraljubičastog i infracrvenog zračenja.

Ova dva spektra susjedna su našem vidljivom spektru, našem pogledu. I kao što naš pogled može imati ljudske posljedice koje su mnogo veće od samog detektiranja svjetla tako i prirodni pogled ovih susjednih spektara može imati svoje biološke učinke na nas.

## 7. LITERATURA

- [1][https://en.wikipedia.org/wiki/Ionizing\\_radiation#Health\\_effects](https://en.wikipedia.org/wiki/Ionizing_radiation#Health_effects) 03.04.2020.
- [2]<https://www.mydocuc.com/ultra-violet-rays/> 03.04.2020.
- [3] (NATO science series. IV. Earth and environmental sciences 57) Francesco Ghetti, Giovanni Checcucci, Janet F. Bornman - Environmental UV radiation impact on ecosystems and human health and predictive, IOS Press, Amsterdam, Springer (former Kluwer Academic Publishers) and NATO Public Diplomacy Division, 2001. ISBN-10 1-4020-3696-5 (PB)
- [4]<https://i.ytimg.com/vi/CoHVA7nr82A/maxresdefault.jpg> 10.04.2020.
- [5][https://www.researchgate.net/figure/Diagram-showing-how-different-types-of-UV-radiation-penetrate-or-interact-with-the-ozone\\_fig1\\_285056396](https://www.researchgate.net/figure/Diagram-showing-how-different-types-of-UV-radiation-penetrate-or-interact-with-the-ozone_fig1_285056396) 14.04.2020.
- [6][https://hr.wikipedia.org/wiki/Oko#/media/Datoteka:Schematic\\_diagram\\_of\\_the\\_human\\_eye\\_hr.svg](https://hr.wikipedia.org/wiki/Oko#/media/Datoteka:Schematic_diagram_of_the_human_eye_hr.svg) 14.04.2020.
- [7][https://en.wikipedia.org/wiki/Photoreceptor\\_cell](https://en.wikipedia.org/wiki/Photoreceptor_cell) 14.04.2020.
- [8][https://www.researchgate.net/figure/Johann-Wilhelm-Ritter-1776-1810\\_fig2\\_236197969](https://www.researchgate.net/figure/Johann-Wilhelm-Ritter-1776-1810_fig2_236197969) 14.04.2020.
- [9] [http://www.spacewx.com/pdf/SET\\_21348\\_2004.pdf](http://www.spacewx.com/pdf/SET_21348_2004.pdf) 14.04.2020.
- [10][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) 14.04.2020.

- [11][https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/36/William\\_Herschel01.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/36/William_Herschel01.jpg) 14.04.2020.
- [12]<https://en.wikipedia.org/wiki/Infrared> 17.05.2020.
- [13]<https://kolarivision.com/articles/infrared-visibility/> 17.05.2020.
- [14] <https://en.wikipedia.org/wiki/Infrared> 17.05.2020.
- [15][https://en.wikipedia.org/wiki/Infrared#/media/File:Infrared\\_portrait\\_comparison.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Infrared#/media/File:Infrared_portrait_comparison.jpg) 17.05.2020.
- [16]<https://www.writework.com/essay/visa-s-promotional-message> 17.05.2020.
- [17]<https://en.wikipedia.org/wiki/File:Jupiter.Aurora.HST.UV.jpg> 17.05.2020.
- [18][https://en.wikipedia.org/wiki/Archimedes\\_Palimpsest#/media/File:ArPalimTyp2.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Archimedes_Palimpsest#/media/File:ArPalimTyp2.jpg) 17.05.2020.
- [19][https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/13/UV-ontsmetting\\_laminaire-vloeikast.JPG](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/13/UV-ontsmetting_laminaire-vloeikast.JPG) 17.05.2020.
- [20][https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8e/Termografia\\_kot.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8e/Termografia_kot.jpg) 25.05.2020.
- [21][https://en.wikipedia.org/wiki/Infrared\\_thermometer#/media/File:1024\\_Pyrometer-8445.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Infrared_thermometer#/media/File:1024_Pyrometer-8445.jpg) 25.05.2020.
- [22]<https://www.youtube.com/watch?v=YWUhwmmZa7A&feature=youtu.be&t=541> 25.05.2020.
- [23]<https://en.wikipedia.org/wiki/Sun> 25.05.2020.
- [24][https://en.wikipedia.org/wiki/Infrared#/media/File:Blue\\_infrared\\_light.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Infrared#/media/File:Blue_infrared_light.jpg) 25.05.2020.
- [25][https://en.wikipedia.org/wiki/Weather\\_satellite#/media/File:NOAA\\_Shares\\_First\\_Infrared\\_Imagery\\_from\\_GOES-17\\_\(43904870711\).gif](https://en.wikipedia.org/wiki/Weather_satellite#/media/File:NOAA_Shares_First_Infrared_Imagery_from_GOES-17_(43904870711).gif) 28.05.2020.
- [26] Organska fotokemija - Principi i primjena, Odak Škorić
- [27]<http://www.hoya.hr/zanimljivost/sto-bi-trebali-znati-o-uv-svjetlosti/82/> 25.05.2020.
- [28] Dejstvo infracrvenog zračenja na organizam čoveka, M. Hrnjak, Institut za medicinu rada, Zavod za preventivnu medicinu, Vojnomedicinska akademija, Beograd, Arh. Hig. Rada toksikol., 36 (1985) 201-218

## 8. POPIS SLIKA I TABLICA

Slika 1.: Spektar energija i valnih duljina zračenja [1].....	1
Slika 2.: Interakcija UV zračenja i kože [2] .....	2
Slika 3.: Živina ulična rasvjeta, elektrolučno varenje i solarij [4] .....	3
Slika 4.: Johann Wilhelm Ritter [5] .....	5
Slika 5.: Apsorpcija UV zračenja u atmosferi [6].....	6
Slika 6.: Prikaz apsorbiranog dijela spektra vidljive svjetlosti [7].....	7
Slika 7.: Oko [8] .....	8
Slika 8.: Ilustracija spektara elektromagnetskog zračenja [10] .....	10
Slika 9.: William Herschel [11].....	11
Slika 10.: Razlika detaljnosti između normalne i IC kamere [13] .....	14
Slika 11.: Primjeri primjene IC zračenja [15].....	16
Slika 12.: UV fotografija oku nevidljive oznake na kreditnoj kartici [16].....	17
Slika 13.: UV fotografija polarne svjetlosti na Jupiteru slikana svemirskim teleskopom Hubble [17] .....	17
Slika 14.: UV snimak kopije Arhimedovog palimpsesta iz 10. st.[18] .....	19
Slika 15.: Radna površina obasjana UV svjetlom [19] .....	21
Slika 16.: Termogram mačke [20] .....	21
Slika 17.: Infracrveni termometar [21] .....	22
Slika 18.: IC svjetlost je jasno vidljiva ako koristimo digitalnu kameru [24] .....	24
Slika 19.: IC satelitska snimka središnje Amerike [25].....	24
Slika 20.: Međudjelovanje valnih funkcija dva vodikova atoma [26].....	28

Slika 21.: Morseova krivulja prikazuje udaljavanje jezgara u odnosu na razine energije [26] .....	31
Slika 22.: Ciklus ozona u atmosferi [27] .....	31
Slika 23.: Prikaz penetracije UV svjetla u oko [3] .....	35
Slika 24.: UV zračenje ovisno o kutu izlaganja [3] .....	36
Slika 25.: Stupnjevi opekline [29] .....	37
Tablica 1.: Tipovi UV zračenja prema ISO-21348 [9] .....	9
Tablica 2.: Podjela infracrvenog zračenja [3].....	14
Tablica 3.: Fotobiološka podjela optičkog zračenja Međunarodne komisije za osvjetljenje [26].....	26