



2023

## 14. Svjetlo

R2: SCRAPY Vodič

Broj projekta: **2021-1-FR01-KA220-SCH-000031617**



 **Co-funded by  
the European Union**

Podrška Europske komisije za izradu ove publikacije ne znači odobravanje sadržaja, koji odražava samo stavove autora, a Komisija se ne može smatrati odgovornom za bilo kakvu upotrebu informacija sadržanih u njoj.

ECAM EPMI  
30/04/2023

## Sadržaj

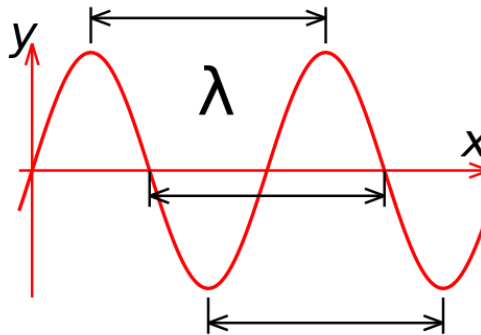
1 Uvod.....	2
2 Valna duljina.....	2
3 Intenzitet .....	2
4 Vidljiva svjetla nasuprot nevidljivom svjetlu .....	3
5 Ultraljubičasto svjetlo.....	3
5.1 Ultraljubičasto-A.....	4
5.2 Ultraljubičasto-B.....	4
5.3 Ultraljubičasto-C .....	5
6 Ljudsko oko.....	6
6.1 Percepcija boje .....	6
6.2 Percepcija intenziteta.....	8
6.3 Sljepilo za boje.....	8
7 Infracrveno svjetlo .....	9
8 Blisko infracrveno područje .....	9
9 Infracrveno dugovalno svjetlo .....	10
10 Zaključak.....	12

## 1 Uvod

Manipulacija svjetlom vrlo je korisna vještina za svakog petljača u elektronici. Od osvjetljenja do mjerenja udaljenosti, svjetlost premošćuje elektroničko i fizičko na bezbroj korisnih načina.

## 2 Valna duljina

Ključna značajka koja definira snop svjetlosti je njegova valna duljina. Svjetlost putuje prostorom kao val, a udaljenost između dva vrha vala je valna duljina te zrake svjetlosti. U ljudskim terminima, valna duljina je ono što određuje boju svjetlosnog snopa.

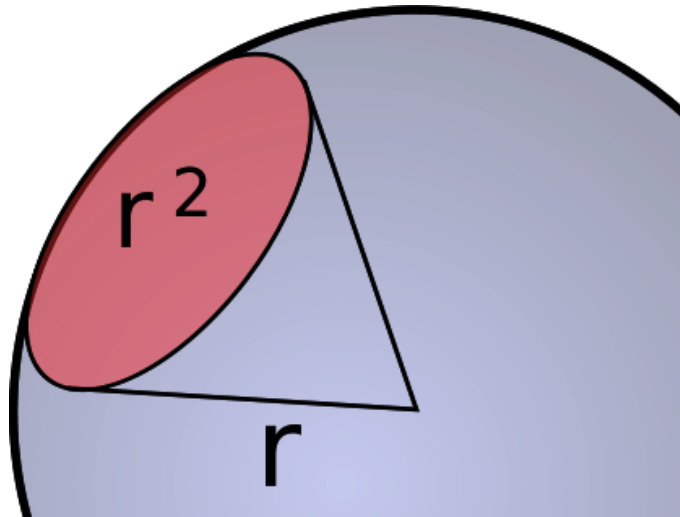


*Valna duljina obično se označava grčkim znakom  $\lambda$  (izgovara se "lamb-da") (slika korisnika Wikipedije Dicklyona).*

Budući da ništa u fizici ne može biti jednostavno, svjetlosna zraka također se ponaša kao struja čestica ili fotona (zainteresirani se mogu pozvati na ovaj članak o dualnosti vala/čestica svjetlosti). [https://en.wikipedia.org/wiki/Wave%E2%80%93particle\\_duality](https://en.wikipedia.org/wiki/Wave%E2%80%93particle_duality)  
Svjetlost kraće valne duljine ima više energije po fotonu.

## 3 Intenzitet

Druga karakteristika snopa svjetlosti je njegov intenzitet. Intenzitet zračenja mjeri se brzinom kojom energija siječe površinu sfere omeđene tim krugom na vrhu korneta sladoleda, u vatima po steradianu. Da biste ovo razumjeli, zamislite sferu s malom, sićušnom zvijezdom u središtu. Svjetlost se širi od zvijezde u svim smjerovima jednako. Sada dodajte kornet sladoleda s vrhom u središtu zvijezde, koji se proteže do površine sfere. Kut pri dnu stošca je jedan radijan (u krugu ima  $2\pi$  radijana; jedan radijan je približno  $57,3^\circ$ ). Područje definirano ovim zamišljenim kornetom sladoleda naziva se steradian.



*Grafički prikaz steradijana. Intenzitet zračenja snopa svjetlosti opisuje se snagom snopa svjetla podijeljenom ovom površinom (Slika je ustupljena Wikimedia Commons.)*

#### 4 Vidljiva svjetla nasuprot nevidljivom svjetlu

Kada govorimo o svjetlu, općenito mislimo na vidljivo svjetlo - na prekrasnu stvar duge i sunčeve svjetlosti. Svjetlost, međutim, obuhvaća vrlo, vrlo širok raspon valnih duljina. To se naziva elektromagnetski spektar.

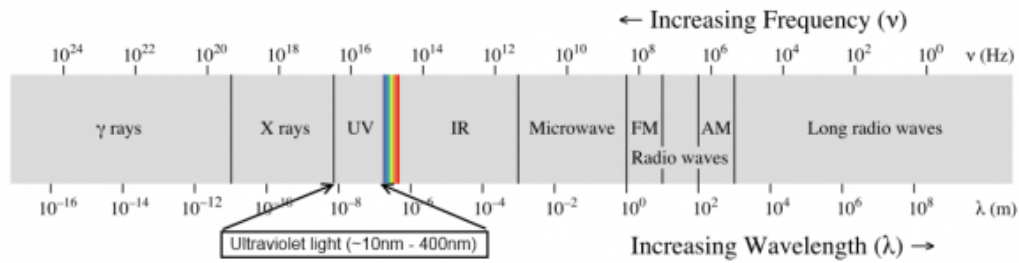
Na jednom kraju nalaze se gama zrake i X-zrake, koje su neugodno, visokoenergetsko ionizirajuće elektromagnetsko zračenje koje je fundamentalno nekompatibilno sa životom. S druge strane, radio valovi vrlo niske frekvencije i dugih valnih duljina prenose informacije na goleme udaljenosti, dajući uvid u samo porijeklo svemira.

U ovom članku ćemo se držati vidljive svjetlosti i područja koja su joj najbliža: infracrveno i ultraljubičasto. Od ultraljubičastog do dalekog infracrvenog, svjetlo se ponaša prilično slično onome što smo navikli vidjeti s vidljivim svjetlom: stvaraju se sjene, leće ga mogu fokusirati, može se raspršiti, recimo, bijelim listom papira itd. Jednom kada se pomaknete u dulje i kraće valne duljine, stvari počinju biti čudne, a raspravu o tome rezervirat ćemo za drugu lekciju.

Raspravljat ćemo o svjetlu u tri različite skupine: ultraljubičasto, vidljivo i infracrveno. Ultraljubičasto svjetlo je svjetlo čija je valna duljina samo malo kraća od vidljive svjetlosti; infracrveno, samo je nešto duže. Od tri skupine, vidljivi i infracrveni su nešto korisniji i uobičajeni u elektronici, te ćemo im dati odgovarajuće više vremena.

#### 5 Ultraljubičasto svjetlo

Ultraljubičasto svjetlo je svjetlo između 10 nm i 400 nm, što ga svrstava između X-zraka i vidljivog svjetla. Ultraljubičasto zračenje može biti vrlo štetno za oblike života - vjerojatno ste upoznati s njegovim učincima u obliku opekline od sunca.



### Ultraljubičasto svjetlo

#### 5.1 Ultraljubičasto-A

UVA (valna duljina od 315 nm do 400 nm) najniži je energetska pojas ultraljubičastog svjetla. Ljudima je gotovo vidljiv, a mnogi kukci, pa čak i neke ptice, mogu vidjeti u ovu svjetlosnu traku. Bijele, fluorescentne žarulje i bijele LED diode rade izlažući materijal UVA svjetlu, koje apsorbira UVA fotone i emitira fotone u vidljivom spektru, koji nam se čine bijelima.

UVA se također često koristi za otkrivanje krivotvorenih dokumenata; kao zaštita od krivotvorenja, mnogi dokumenti (putovnice, vozačke dozvole i novčanice, da spomenemo samo neke) uključivat će vodeni žig koji svijetli pod UVA zračenjem. Blacklight plakati još su jedan primjer stvari koje reagiraju na UVA svjetlo, a izbjeljivač, sapun i mnogi biološki materijali također će svijetliti kada su izloženi UVA.



*Značajke protiv krivotvorenja na novčanicama od 20 američkih dolara koje otkriva 400nm UVA LED.*

Većina UVA svjetla u sunčevoj zruci dopire do Zemljine površine.

#### 5.2 Ultraljubičasto-B

UVB (280nm do 315nm) je viša energetska razina svjetlosti od UVA. Nalazi se na sunčevoj svjetlosti i odgovoran je ne samo za oštećenje kože koje uzrokuje opekline od sunca i rak kože, već i za sintezu vitamina D u ljudskom tijelu. Također se proizvodi u plamenicima za zavarivanje; čak i kratka izloženost baklji plamenika za zavarivanje, čak i na razumnoj udaljenosti, može uzrokovati ozbiljno oštećenje oka ako promatrač nije zaštićen.



*Baklje za zavarivanje stvaraju puno UVB i UVC svjetla. Zavarivači moraju smanjiti izloženost kako bi izbjegli opekline od sunca i oštećenje očiju (slika - Wikipedija).*

UVB svjetlo prilično dobro blokira normalno prozorsko staklo; zbog toga vissenje ruke kroz otvoreni prozor automobila može rezultirati opeklinama od sunca koje zahvaćaju samo tu ruku. Richard Feynman (dobitnik Nobelove nagrade i poznati bongo glazbenik) promatrao je nuklearnu pokusnu eksploziju Trinity koristeći vjetrobansko staklo kamioneta kako bi se zaštitio od ultraljubičastog zračenja koje je emitirala eksplozija.

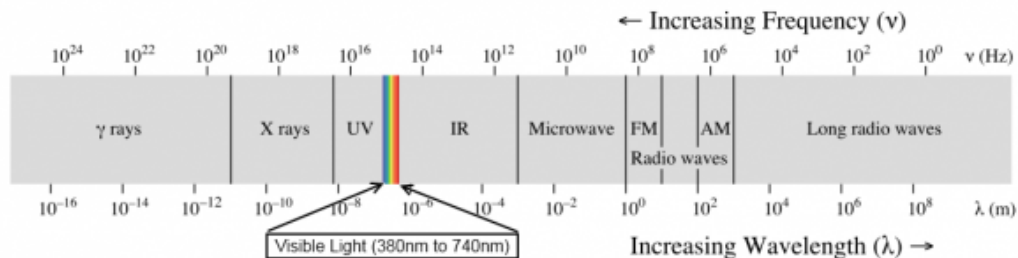
Samo oko 10% UVB svjetlosti koju emitira Sunce dopire do Zemljine površine; ostalih 90% apsorbira atmosfera (prvenstveno ozonski omotač).

### 5.3 Ultraljubičasto-C

UVC (100 nm do 280 nm) obično je granica zanimljivog UV svjetla za nas. Gotovo ništa od Sunčevog UVC-a ne dopire do Zemljine površine; atmosfera radi vrlo učinkovit posao odbijanja.

U stara vremena, prije EEPROM memorije i flash memorije (koja se može brisati i ponovno pisati elektronički), jedino trajno, nemagnetsko sredstvo elektroničke pohrane podataka bio je EPROM. Nakon što je EPROM zapisan, mogao se izbrisati samo izlaganjem jakom izvoru UVC svjetlosti 20-30 minuta. Za hobistu, to je dugo vrijeme za čekanje da sazna jesu li promjene koje ste napravili u svom kodu ispravile grešku!

**Vidljiva svjetlost** je svjetlost u rasponu od (približno) 380 nm do 740 nm. Ovo može varirati; oči nekih ljudi moći će detektirati svjetlost nižih ili viših valnih duljina od ove, ali općenito su oči većine ljudi osjetljive na ovo područje.



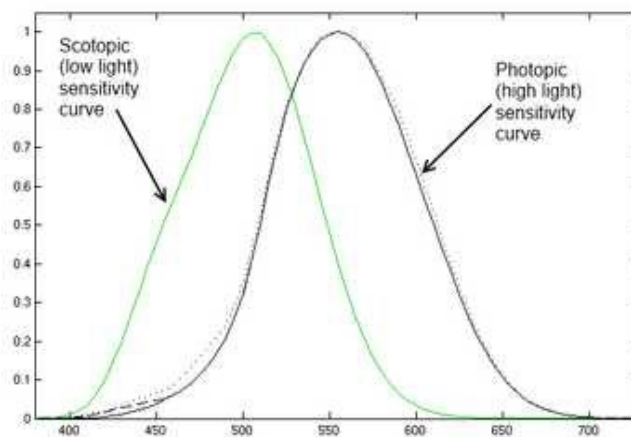
### Vidljivo svjetlo

## 6 Ljudsko oko

Postoje dvije osobitosti u načinu na koji ljudsko oko percipira svjetlost: naše su oči osjetljive na različite valne duljine u različitim količinama i naše oči percipiraju intenzitet svjetlosti logaritamski, a ne linearno.

### 6.1 Percepcija boja

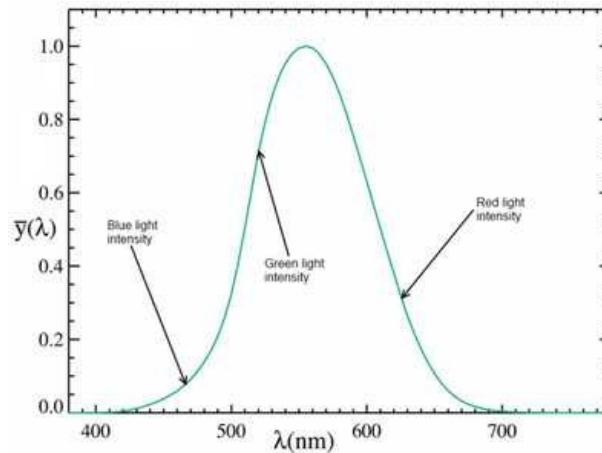
Kao što možete vidjeti na ovoj tablici, naše oči hvataju različite valne duljine svjetlosti s različitom učinkovitošću, miješajući percipirane intenzitete da bi se dobilo ono što nazivamo "bojom". Nadalje, također možete vidjeti da pri niskim razinama osvjetljenja naša percepcija boja postaje iskrivljena.



*Skotopične i fotopičke krivulje luminoziteta za ljudsko oko. Ove krivulje pokazuju percipirani intenzitet izvora svjetlosti prema valnoj duljini, pod pretpostavkom da je intenzitet zračenja svih izvora svjetlosti jednak.*

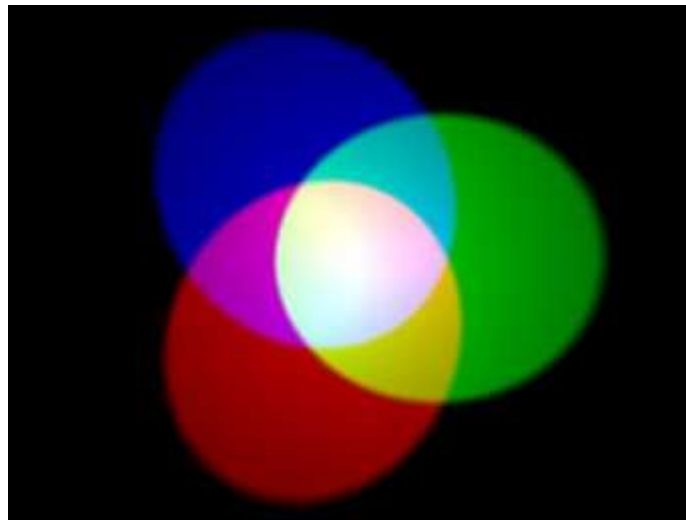
Zbog toga je razvijena posebna jedinica za jačinu svjetlosti, kandela. Kandela odmjerava intenzitet izvora svjetlosti prema njegovoj boji; ljudsko oko će percipirati izvor svjetlosti od jedne kandeke kao svjetlinu slične drugoj izvoru svjetlosti od jedne kandeke, bez obzira na valnu duljinu. Svjetlina LED-a obično se daje u milikandelama (mcd), a sjajna demonstracija percipirane razlike u intenzitetu između boja može se vidjeti kada se uzme u obzir intenzitet RGB LED-a kao što je ovaj: 800 mcd za crvenu, 4000 mcd za zelenu, i 900mcd za plavu. Označio sam valne duljine te tri boje (625nm, 520nm i 467,5nm) na donjoj tablici.





*Relativni intenziteti plave, zelene i crvene LED diode u trobojnoj LED diodi označeni su na ovoj fotopskoj krivulji. Usporedite relativne intenzitete (0,3 za crvenu, 0,7 za zelenu i 0,15 za plavu) s ocjenama milikandela za tri boje navedene u podatkovnoj tablici LED dioda (800 mcd, 4000 mcd i 900 mcd). Omjeri nisu točni. Dok plava ima malo veći mcd od crvene, plava je niža na krivulji. Mcd ocjena za zelenu je viša od obje boje na krivulji.*

Oko se može prevariti da detektira valne duljine svjetlosti koje nisu prisutne miješanjem različitih valnih duljina; po tom principu radi većina zaslona u boji. Dostupne su samo tri boje (neki oblik crvene, zelene i plave); miješanjem te tri svijetle boje različitih intenziteta može se simulirati velika većina prirodnih boja (barem što se tiče naših očiju).

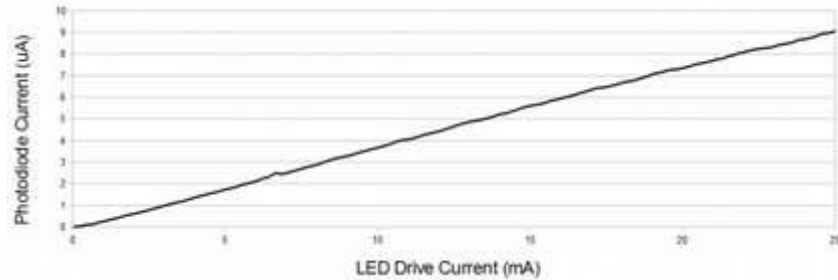


*Miješanje boja crvenih, zelenih i plavih izvora svjetlosti. Podešavanjem razina svjetla može se simulirati velik broj drugih svjetlosnih boja.*



## 6.2 Percepcija intenziteta

Prirodno smo skloni razmišljati o svjetlosti kao o linearnom fenomenu. S obzirom na dva izvora svjetlosti, možemo razumno shvatiti da je jedan dvostruko svjetliji od drugog. Već smo vidjeli kako na to može utjecati boja; sada razmotrimo intenzitet svjetlosti jedne boje u odnosu na našu percepciju iste. Intenzitet LED-a varira linearno sa strujom koja se koristi za pokretanje.



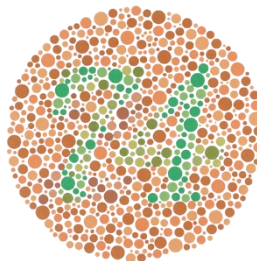
*Stvarni podaci prikupljeni su usmjeravanjem LED-a na fotodiodu i linearnim povećanjem struje LED pogona od 0-25mA.*

Zašto je tako teško? Svjetlosni izlaz LED-a je linearan, tako da udvostručenje struje kroz LED udvostručuje količinu svjetlosne energije koju emitira. Međutim, vaše oko ne reagira linearno, ono reagira logaritamski. Razlog za to je jednostavan: naše oči nam trebaju pružiti korisne informacije u cijelom rasponu svjetlosnih uvjeta, od zvjezdane svjetlosti do dnevne svjetlosti. U noći bez oblaka pod punim mjesecom, intenzitet svjetlosti je samo 1/440 000 intenziteta svjetla sunčanog dana, ali naše oči moraju dobro funkcionirati u obje te krajnosti i svugdje između! To čini procjenu relativne svjetline linearnog izvora svjetlosti vrlo teškom.

## 6.3 Sljepilo za boje

Sljepilo za boje nije, kao što bi ime sugeriralo, jednostavna nesposobnost percepcije boja. Postoje mnoge vrste sljepoće za boje; najčešći, crveno-zeleni daltonizam, u određenoj mjeri pogađa gotovo 10% muške populacije.

Sljepoća za boje može se dijagnosticirati jednostavnim testom, gdje se od ispitanika traži da identificira uzorke ili simbole stvorene od točaka različite boje na pozadini točaka slične veličine.

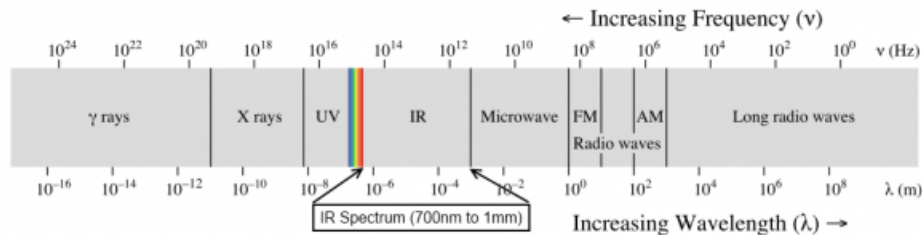


*Testna pločica iz Ishihara testa sljepoće za boje. Osoba s normalnim vidom boja vidjet će broj 74; osobe slijepe za boje mogu vidjeti broj 21 ili uopće ne vidjeti broj, ovisno o vrsti prisutnog nedostatka.*

Kao ljubaznost prema onima među nama sa daltonizmom, pokušajte ne koristiti boju za prenošenje informacija. Dobri primjeri lošeg dizajna uključuju LED diode koje mijenjaju boju kako bi označile stanje (zeleno znači "u redu", crveno znači "kvar"), karte koje koriste raspon boja za povezivanje numeričke vrijednosti s regijom i boje teksta koje nisu bijele-na-crno ili crno-na-bijelo.

## 7 Infracrveno svjetlo

Infracrveno svjetlo je svjetlo veće valne duljine od vidljive svjetlosti, ali kraće od mikrovalne. Proizvoljno je odabrano da počinje na 700 nm i završava na 1 mm



### Infracrveno svjetlo

(1.000.000 nm), što ga čini daleko većim segmentom spektra od ultraljubičastog ili vidljivog svjetla. Otprilike 55% svjetlosne energije koja od Sunca dopire do Zemljine površine je infracrveno.

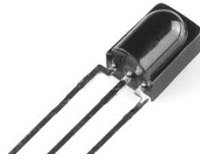
## 8 Blisko infracrveno područje

Blisko infracrveno područje je od velikog interesa za elektroniku: ovo je područje unutar kojeg rade infracrveni daljinski upravljači, senzori objekata i detektori udaljenosti. Tek je jedva iznad vidljivog raspona i iznimno ga je lako stvoriti i detektirati pomoću solid-state tehnologija.



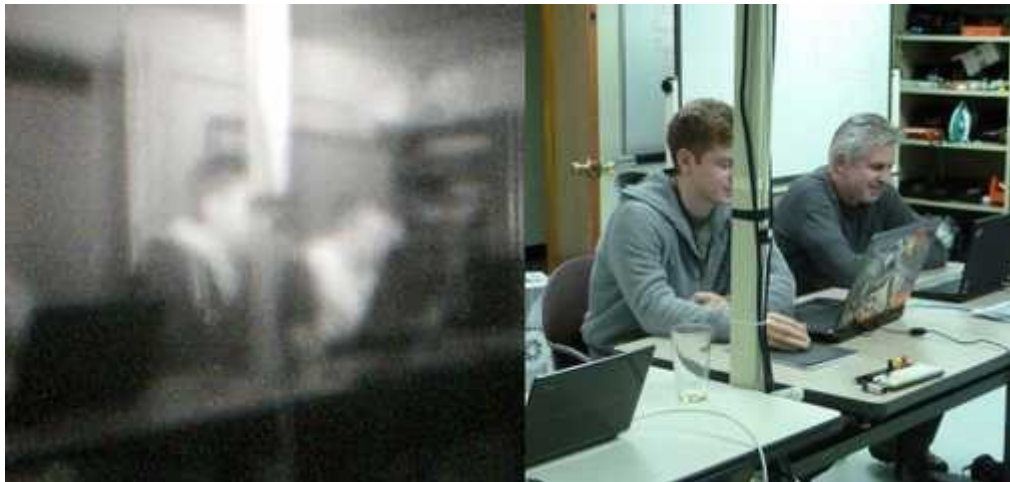
*par infracrveni emiter/detektor. Jeftin, ali izuzetno osjetljiv na smetnje vidljivog i infracrvenog svjetla u okolini.*

Bliski infracrveni pojas proteže se do 1400 nm. Uobičajene valne duljine emitera su 850nm i 950nm. Cijelo vrijeme nas okružuje ogromna količina bliskog infracrvenog svjetla; mogućnost interferencije s infracrvenim signaliziranjem i senzorima je velika. Većina infracrvenih signalnih sustava (kao što su infracrveni daljinski upravljači to rješavaju moduliranjem zrake na fiksnoj frekvenciji, umjesto da pokušavaju filtrirati svjetlost koja nije željene valne duljine.



*Modulirani modul IR prijemnika. Ovaj mali IC traži infracrveno svjetlo koje pulsira na 38 kHz i pokušava ga protumačiti kao podatkovni signal.*

Blizu infracrvenu svjetlost dobro detektiraju i digitalne kamere. Toliko dobro otkriveno da većina digitalnih fotoaparata ima fizički filter za blokiranje infracrvenih valnih duljina. Ovaj filter se može ukloniti, omogućujući veću osjetljivost u infracrvenom području. Jednostavan filter koji propušta infracrveno svjetlo, ali blokira vidljivo svjetlo može se izraditi od negativa filma od 35 mm; kraj s oznakom filma na kojem nema slika savršen je za to.



*Dvije slike iste scene. Slika lijevo snimljena je u zamračenoj prostoriji s jeftinom web kamerom kojoj je uklonjen infracrveni filter i zamijenjen filmskim negativima, a slika desno snimljena je standardnom usmjeri i snimaj kamerom.*

## 9 Infracrveno dugovalno svjetlo

Infracrveno svjetlo dugih valnih duljina je u rasponu od 8000nm-15000nm. Ovo je zona toplinske slike, odakle dolaze sve te nevjerojatne slike lažnih boja koje detaljno prikazuju relativnu temperaturu stvari.



*Ista scena u vidljivom spektru i infracrvenom dugom valnom spektru. Primijetite da je plastična vrećica neprozirna za vidljivo svjetlo, ali gotovo prozirna za infracrveno (slika - NASA Spitzer Infracrvenog teleskopa).*

Uobičajena je pogreška da ljudi krivo shvaćaju razliku između bliskog infracrvenog snimanja i dugovalnog infracrvenog snimanja. Snimanje u blizini infracrvenog zračenja prilično je lako postići - standardni CMOS i CCD čipovi za slikanje mogu lako detektirati svjetlost u području bliskom infracrvenom. Dugovalni IR zahtijeva posebne senzore jer svjetlosni snop ima valnu duljinu 1000 puta dužu od bliskog IR. To zahtijeva odgovarajuću veću geometriju senzorskih elemenata.



*Dugovalni IC senzor temperature. Duža valna duljina zahtijeva veće područje osjeta od vidljivih ili bliskih IR aplikacija.*

Druga sve poznatija upotreba ove regije je lasersko jetkanje i rezanje. Većina laserskih rezača oslanja se na CO<sub>2</sub> lasersku cijev za generiranje laserske zrake na valnoj duljini od 10640 nm.

## 10 Zaključak

Svjetlost je fascinantna i složena stvar, a ovom smo lekcijom samo zagrebali po površini. Ako želite saznati više, evo nekoliko izvrsnih resursa koje možete pogledati:

- IR komunikacija
- Vodič za spajanje kompleta IR kontrole
- Vodič za priključivanje senzora osvjetljenja TSL2561
- Članak na Wikipediji o ultraljubičastom svjetlu
- Wikipedia članak o vidljivom svjetlu
- Članak na Wikipediji o infracrvenom svjetlu
- Članak o različitim valnim duljinama laserskog rezača
- Vidljivo svjetlo i trikovi okom
- Test "IQ boja" - Koliko je blizu "normalnog" vaš vid boja?