

ZRAČENJE SUNCA, ZEMLJE I ATMOSFERE

Upoznavanje sa osnovnim zakonima zračenja na početku ovog poglavlja će vam pomoći da razumete zašto Sunce zrači više energije nego Zemlja i zašto je to zračenje kraćih talasnih dužina. Biće objašnjeno i šta se sve dešava sa Sunčevim zračenjem pri prolasku kroz atmosferu, zašto je nebo plave, oblaci bele, a Sunce pri zalasku narančaste ili crvene boje. Saznaćete kako nastaju duga i drugi fotometeori, zbog čega se javljaju optičke varke, gde se može videti aurora, a gde se mogu doživeti bele noći. Saznaćete kako i zašto se menja intenzitet i spektralni sastav Sunčevog zračenja sa upadnim uglom, zašto postoje godišnja doba i kakve veze ima albedo sa time da je teško leti hodati po asfaltu bos. Još jednom, ovoga puta detaljnije, biće objašnjeno zbog čega nastaje efekat staklene baštne. Saznaćete i kako Sunčeve zračenje utiče na biljni svet.

Sunce, Zemlja, vazduh, biljke, ljudsko telo, knjiga, kao i sva druga tela čija je temperatura veća od apsolutne nule, zrače. Sa stanovišta meteorologije najznačajniji je deo elektromagnetskog spektra koji obuhvata zračenje Sunca i Zemlje. Krive zračenja Sunca i Zemlje se gotovo uopšte ne preklapaju, tako da je uobičajeno da se odvojeno posmatra kratkotalasno Sunčev zračenje i dugotalasno Zemljino zračenje. Atmosfera, kao i Zemlja, zrači u dugotalasnom delu spektra.

crveno zračenje, mikrotalasi i radio-talasi (slika 3.1). Vidljivo zračenje (svetlost) obuhvata najuži opseg talasnih dužina³ i to je jedini deo elektromagnetskog spektra koje ljudsko oko može da registruje, pa se zato i naziva vidljivim.

Zračenje Sunca i Zemlje obuhvata deo elektromagnetskog spektra između 0,1 i 100 μm ⁴. Kratkotalasno ili Sunčev zračenje je talasnih dužina između 0,1 i 3 μm , a dugotalasno ili Zemljino zračenje između 3 i 100 μm .

Zračenjem se smanjuje unutrašnja energija, odnosno temperatura tela. Telo bi emitovalo, tj. gubilo energiju sve dok mu temperatura ne bi postala jednaka apsolutnoj nuli, da istovremeno i ne dobija energiju od svoje okoline. Energija koja dospe na neko telo može biti apsorbovana, reflektovana ili propuštena u zavisnosti od osobina i temperature tela, kao i talasne dužine zračenja. Pri apsorpciji (upijanju) zračenja može se povećati temperatura tela, dok se pri refleksiji (odbijanju) i transmisiji (propuštanju) zračenja temperatura tela ne menja.

3.1 Osnovni zakoni zračenja

Zračenje ili radijacija¹ je prenos energije brzim oscilacijama elektromagnetskog polja koje se mogu predstaviti kao struja fotona² ili kao elektromagnetski talasi koji se prostiru brzinom svetlosti ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$). Spektar elektromagnetskog zračenja čine gama zraci, X zraci, ultraljubčasto zračenje, vidljivo zračenje, infra-

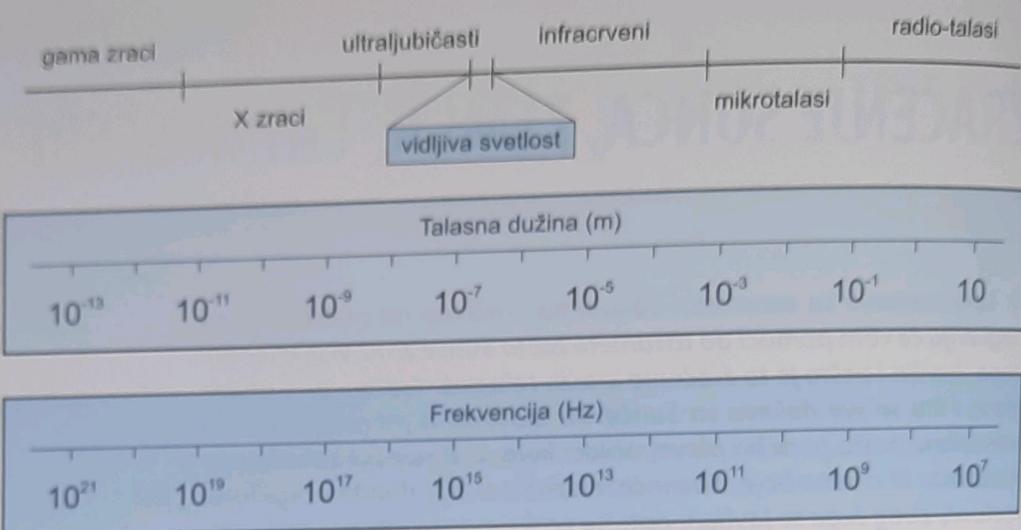
¹ radijacija (lat. radiatio) – zračenje.

² foton – nedeljiva najmanja količina (kvant) elektromagnetske energije; smatra se česticom bez mase i nanelektrisanja.

³ talasna dužina – najkraće rastojanje između dva susedna vrha talasa.

⁴ mikrometar, $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$.

Slika 3.1
Elektromagnetski spektralni zračenja



Dakle, sva tla istovremeno emituju i apsorbuju zračenje. Zračenje nekog tla zavisi samo od njegove temperature, a ne i od temperature okolnih tla. Ako je temperatura tela viša od temperature okoline, onda ono emituje više energije nego što apsorbuje, zbog čega gubi energiju i njegova temperatura opada sve dok se ne izjednači sa temperaturom okoline. I obrnuto, ako je temperatura tela niža od temperature okoline, onda telo apsorbuje više energije nego što emituje, pa njegova temperatura raste. Kada se telo nalazi u toplotnoj ravnoteži sa okolinom, onda ono emituje onoliko energije koliko i apsorbuje, pa se ne menja temperatura ni tla ni okoline.

Fizička veličina koja karakteriše zračenje tela naziva se spektralna emisiona moć. Ona zavisi od temperature tela i talasne dužine, odnosno frekvencije⁵ zračenja i definiše se kao energija koju emituje jedinična površina tela u jediničnom intervalu frekvencije u jedinici vremena na datoj temperaturi.

Apspciona moć je bezdimenzionalna veličina, jednaka odnosu energije zračenja koju apsorbuje jedinična površina tela u jediničnom intervalu frekvencije i energije iste frekvencije koja dospe na tu površinu.

Telo koje apsorbuje sve zračenje bilo koje frekvencije na bilo kojoj temperaturi naziva se *apsolutno crno telo*. Na sličan način definisu se i *apsolutno belo telo* i *apsolutno providno telo*. To su tla koja reflektuju, odnosno propuštaju, celokupno upadno zračenje. Stvarna tla nisu ni „crna“ ni „bela“ ni „providna“, već „siva“ i njihova apsorptivnost, emisivnost i refleksivnost zavise od talasne dužine.

Apsolutno crna tla emituju maksimalnu moguću količinu energije pri datoј temperaturi. Emisivnost ostalih tla, tzv. sivih tla definiše se kao odnos između energije koju emituje jedinična površina datog tela u jediničnom intervalu frekvencije u jedinici vremena pri određenoj temperaturi i energije koju emituje jedinična površina absolutno crnog tela pri istim uslovima.

Tela čija su apspciona i emisiona moć različite za različite talasne dužine zračenja nazivaju se *selektivni apsorberi* i *emiteri*. Radijacione osobine tela najčešće se prikazuju kao srednje vrednosti za kratkotalasni i dugotalasni deo spektra. U selektivne apsorbere i emitere spadaju npr. gasovi staklene bašte koji propuštaju vidljivo zračenje, a apsorbuju i emituju infracrveno zračenje, kao i sneg koji reflektuje gotovo sve kratkotalasno zračenje (ima osobine absolutno belog tela u tom delu elektromagnetnog spektra), a apsorbuje gotovo sve dugotalasno zračenje koje i emituje (ponaša se kao absolutno crno telo u infracrvenom delu spektra).

O tome kako temperatura utiče na ukupnu energiju i spektralni sastav zračenja absolutno crnog tela

⁵ frekvencija – broj punih oscilacija u jedinici vremena (broj vrhova talasa koji prođu kroz posmatranu tačku u jedinici vremena); jedinica u u SI sistemu je herc (1 Hz = 1/s); veza između frekvencije (ν) i talasne dužine elektromagnetog zračenja (λ): $\nu = c/\lambda$, c – brzina svetlosti.

govore Štefan–Bolcmanov i Vinov zakon. Kirhovov zakon zračenja govori o tome da ako je apsorpciona moć tela velika za neke talasne dužine, velika je i emisiona moć tela u tom delu spektra i obrnuto – ako telo ima malu apsorpcionu moć u određenom delu elektromagnetskog spektra i njegova emisiona moć je mala za te talasne dužine.

■ KIRHOFOV ZAKON ZRAČENJA

Odnos emisione i apsorpcione moći je isti za sva tela na datoј temperaturi i jednak je emisionoj moći crnog tela na istoj temperaturi:

$$\frac{e(v, T)}{a(v, T)} = \frac{E(v, T)}{1} = E(v, T),$$

gde je: $e - (v, T)$ emisiona moć tela,
 $a - (v, T)$ apsorpciona moć tela,
 v – frekvencija,
 T – apsolutna temperatura,
 $E - (v, T)$ emisiona moć crnog tela,
 a – apsorpciona moć crnog tela je po definiciji jednaka jedinici.

Drugim rečima, to znači da telo emituje samo zračenje onih talasnih dužina koje pri istoj temperaturi i apsorbuje.

■ ŠTEFAN–BOLCMANOV ZAKON

Ukupna emisiona moć crnog tela (E_T) srazmerna je četvrtom stepenu apsolutne temperature:

$$E_T = \sigma T^4$$

gde je: $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^4$.

Znači, što je telo toplije ono zrači više energije. Zbog stepene zavisnosti, male promene temperaturu tela rezultiraju znatno većom promenom emisione moći.

Štefan (1835–1893) je prvo eksperimentalnim putem pronašao da je ukupno zračenje crnog tela srazmerno četvrtom stepenu njegove temperature, da bi nešto kasnije taj zakon teorijski dokazao Boltzman (1844–1906) polazeći od prvog i drugog zakona termodinamike.

Za tela koja nisu absolutno crna tela, Štefan–Bolcmanov zakon ima oblik:

$$E_T = \epsilon \sigma T^4$$

gde je: ϵ – emisivnost tela koja je uvek manja od jedan.

■ VINOV ZAKON POMERANJA

Za svaku temperaturu postoji maksimum spektralne emisione moći, a talasna dužina koja nosi najviše energije (λ_{\max}) obrnuto je proporcionalna apsolutnoj temperaturi (T):

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

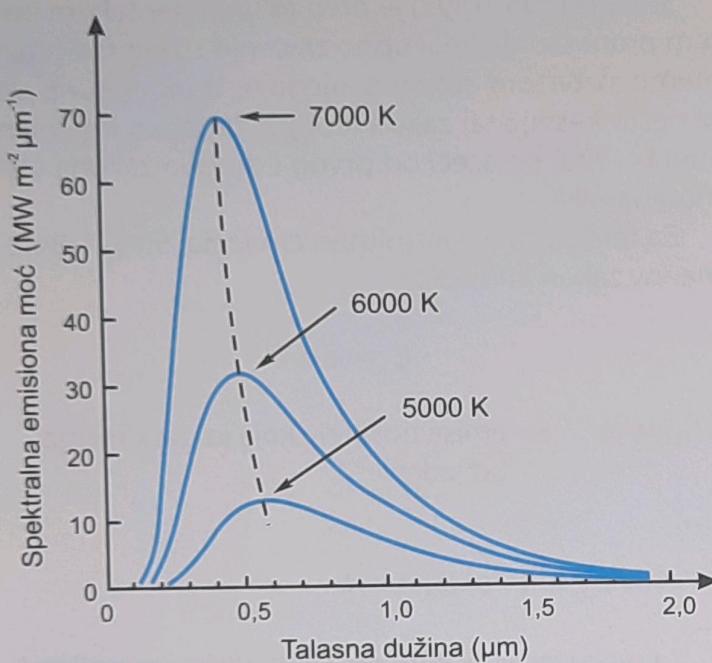
gde je: $b = 2,898 \times 10^{-3} \text{ m K}$.

Dakle, što je temperatura tela viša, maksimum zračenja se pomera ka kraćim talasnim dužinama.

Štefan–Bolcmanov zakon i Vinov zakon pomeranja, mogu se izvesti i matematički iz Plankovog zakona zračenja. Plank (1858–1947) je 1900. godine definisao spektralnu emisionu moć crnog tela kao funkciju temperature i frekvencije i uspeo da objasni zašto je raspodela zračenja crnog tela takva kao što je merenjima utvrđeno, uvodeći revolucionarnu ideju o kvantu energije.

■ PLANKOV ZAKON ZRAČENJA

Na slici 3.2 prikazan je emisioni spektar apsolutno crnog tela za različite vrednosti temperature. Grafici su nacrtani na osnovu Plankove jednačine za spektralnu emisionu moć crnog tela i na njima se može videti da:



Slika 3.2 Emisioni spektar apsolutno crnog tela za različite temperature

- spektar zračenja apsolutnog crnog tela sadrži talase svih talasnih dužina, koji nose različite količine energije u zavisnosti od temperature tela;
- ukupna, kao i energija pojedinih delova spektra zračenja apsolutno crnog tela, raste sa porastom temperature (Štefan–Bolcmanov zakon);

- zraci malih talasnih dužina, kao što su npr. X zraci, imaju veoma mali udeo u ukupnoj energiji zračenja crnog tela;
- sa porastom talasne dužine raste i energija zračenja sve do maksimalne vrednosti;
- u kom delu spektra će biti maksimum zračenja zavisi od temperature tela (Vinov zakon);
- počev od talasne dužine koja odgovara maksimumu, energija zračenja apsolutno crnog tela se smanjuje sa porastom talasne dužine (sporije nego što je rasla do maksimuma).

3.2 Zračenje Sunca

Sunce je naša najbliža zvezda, udaljena oko 150 miliona kilometara od Zemlje. Na više od 250 000 puta većem rastojanju je sledeća Zemlji najbliža zvezda, Alfa Kentauri. Iako do površine Zemlje dospe samo dva milijardita dela ukupnog zračenja Sunca, svi ostali izvori energije (zvezde, planete, Mesec, kosmičko zračenje, usijano jezgro i procesi radioaktivnog raspada u površinskim slojevima) su praktično beznačajni za Zemlju i njenu atmosferu u poređenju sa Suncem. Sunčeva energija, koja dospeva na Zemljinu površinu zračenjem, izvor je života na Zemlji, ali i pokretač gotovo svih vazdušnih kretanja i procesa koji se odvijaju u atmosferi.

AKO ŽELITE DA SAZNATE NEŠTO VIŠE O SUNCU

Sunce, jedna od nekoliko milijardi zvezda u svemiru, je zvezda prosečne veličine, temperature i sjaja. Spada u tzv. žute patuljke i nalazi se na polovini svog životnog ciklusa. Prečnik Sunca je 109 puta veći od Zemljinog. Sunce kao telo izvrši jednu rotaciju za 27 dana, ali sve tačke na njegovoj površini ne rotiraju istom brzinom – brzina rotacije opada od ekvatora ka polovima. To govori da Sunce nije kruto telo. Sunce je sačinjeno od

vrele plazme⁶ i oko 3/4 njegove mase čini vodonik, a skoro 99% vodonik i helijum. Ostatak, manje od 2%, čine kiseonik, ugljenik, gvožđe, neon, azot i drugi elementi.

Unutrašnjost Sunca se sastoji od jezgra, zone radijacije i zone konvekcije. Jezgro Sunca je najgušći i najto-

⁶ plazma (grč. plasma – tvorevina) – ionizovan gas koji se zbog jedinstvenih osobina smatra četvrtim agregatnim stanjem materije.

pliji deo Sunca sa temperaturom od 15×10^6 K. Tu se odvijaju termonuklearni procesi fuzije u kojima se četiri jezgra vodonika spajaju u jezgro helijuma uz oslobađanje ogromne količine energije. Energija nastala u jezgru se prenosi ka spoljniosti Sunca prvo kroz radiacioni sloj zračenjem (uglavnom u oblasti gama i X zraka), a potom kroz sledeći sloj konvekcijom⁷

⁷ konvekcija (lat. con – sa, vehere – nositi) – označava vertikalno kretanje.

- kretanjem velikih masa Sunčeve materije, toplijih ka površini a hladnijih ka unutrašnjosti. Blizu površine Sunca, zbog male gustine, efikasnost konvektivnog prenosa energije naglo se smanjuje, pa se energija ponovo prenosi zračenjem, ali sada uglavnom u optičkom delu elektromagnetskog spektra. Između radijacionog i konvektivnog sloja nalazi se, nedavno otkriven, sloj sučeljavanja (eng. interface layer) ili kako se drugačije naziva *tahoklina*⁸ (eng. tachocline). Pretpostavlja se da u ovom sloju nastaje magnetno polje Sunca, koje je odgovorno za sva dešavanja na Suncu i u njegovoj atmosferi.

Najveći deo Sunčeve energije koji stiže do Zemlje emitovan je sa Sunčeve površine, iz sloja debljine nekoliko stotina kilometara, koji se naziva fotosfera (svetlosna, vidljiva sfera). Srednja temperatura fotosfere je oko 6 000 K. Na površini fotosfere mogu se videti *granule*, koje predstavljaju vrhove konvektivnih struja koje izbijaju iz unutrašnjosti na površinu Sunca. One se stvaraju i nestaju u roku od desetak minuta. *Supergranule* su većih dimenzija, odlikuju ih jača konvektivna strujanja i mogu trajati nekoliko sati, pa čak i dana.

Iznad fotosfere nalazi se **hromosfera**⁹ (obojena sfera), sloj debljine nekoliko hiljada kilometara. Temperatura hromosfere je reda veličine 10^4 K, a pri dnu oko 4 300 K. Hromosfera ne emituje belu svetlost, već crvenu i još nekoliko karakterističnih linija u ultraljubičastom, ljubičastom i radio-frekventnom delu spektra.

⁸ tahoklina (grč. tachys – brz, klinein – nagnut).

⁹ hromo- (grč. chroma) – predmetak u složenicama sa značenjem: boja.

Zbog visoke temperature, u ovom sloju se odvijaju intenzivna konvektivna kretanja, zbog kojih hromosfera izgleda kao da gori crvenim plamenom kada se posmatra tokom potpunih pomračenja Sunca ili pomoću posebnih filtera.

Korona je najviši sloj Sunčeve atmosfere koji se prostire milionima kilometara i prelazi u međuplanetarni prostor. Temperatura korone je reda veličine 10^6 K. Između vrele korone i dosta hladnije hromosfere nalazi se *prelazni (tranzicioni) sloj* u kome se temperatura veoma brzo menja i odakle se emisija zračenje iz ultraljubičastog dela spektra. Iako mnogo toplija od fotosfere, korona zrači mnogo manje energije zbog male gustine. Zračenje gornjeg sloja hromosfere i korone je iz dela spektra kome pripadaju X zraci i razliku od zračenja fotosfere koje je, može se reći, stabilno i nepromjenjivo, zračenje hromosfere i korone se znatno uvećava kada je povećana aktivnost Sunca, mada je i tada daleko manje od zračenja koje emituje fotosfera. Korona može da se vidi pri potpunom pomračenju Sunca, kao slaba beličasta svetlost oko Sunčevog diska.

Sunce prolazi kroz svoje „mirne“ i „aktivne“ periode. U najznačajnije oblike Sunčeve aktivnosti ubrajaju se Sunčeve pege, protuberance i erupcije.

Na površini Sunca mogu da se osmotre tamna mesta nepravilnog oblika koja se nazivaju *Sunčeve pege*. To su mesta sa temperaturom nižom za 1 000 do 1 500 K od temeprature ostalih delova fotosfere i jakim magnetnim poljem. Sunčeve pege su uglavnom po nekoliko puta veće od poluprečnika Zemlje i životni ciklus

im traje od nekoliko dana do nekoliko nedelja, pa čak i meseci. Sunčeve pege prati pojava *fakula*¹⁰, svetlih mesta na Sunčevu površini sa takode jakim magnetnim poljem, ali suprotnog polariteta. Broj Sunčevih pega menja se ciklično u periodu od 11 godina. Maksimum broja Sunčevih pega odgovara i maksimalnom zračenju Sunca. Međutim, promene u ukupnom zračenju Sunca koje je stizalo do vrha Zemljine atmosfere u vreme maksimalnog i minimalnog broja Sunčevih pega u poslednjim ciklusima iznosile su svega 0,1%. Ipak, pretpostavlja se da promene u aktivnosti Sunca utiču na vreme i klimu na Zemlji, ali još uvek za to ne postoje naučno utemeljeni dokazi i objašnjenja.

Jedna od najatraktivnijih pojava na Suncu su *protuberance (prominenije)*. To su izlivи užarenih gasova crvenkaste boje, koji mogu da traju više dana i nedelja u mirnoj fazi. Međutim, kada dođe do njihove nagle pojave usled promena u magnetnom polju, onda traju svega nekoliko minuta ili najviše nekoliko sati, dostižu visinu od nekoliko stotina hiljada kilometara i za vreme potpunog pomračenja Sunca mogu se videti golim okom.

Erupcije se u vidljivom delu spektra manifestuju kao iznenadni bljesak. Maksimum sjaja se dosiže za nekoliko minuta, dok smanjivanje intenziteta traje nekoliko časova. Praćene su jakim γ, X, ultraljubičastim, vidljivim i radio-frekventnim zračenjem i oslobođanjem nanelektrisanih čestica koje imaju veliku energiju.

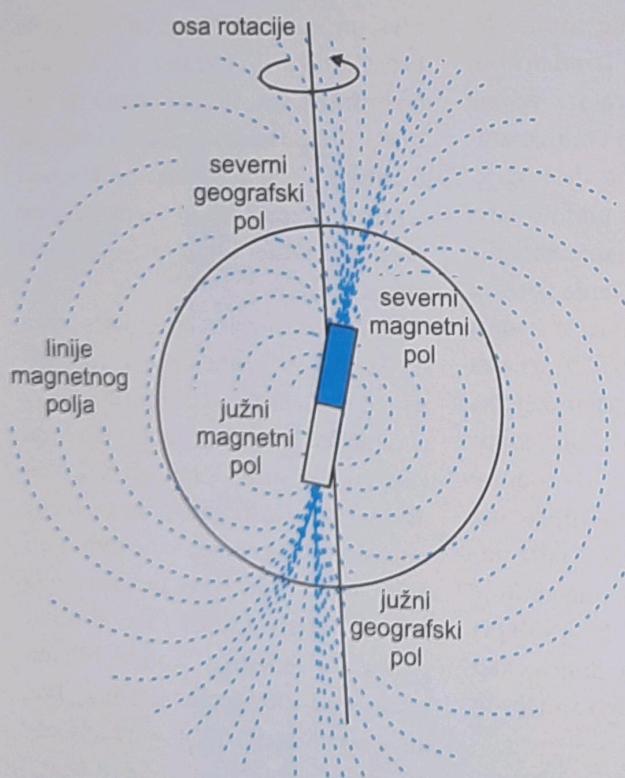
Postoje službe koje se bave prognoziranjem svemirskog vremena

¹⁰ fakula (lat. facula) – mala baklja.

(eng. space weather), jer pojačana aktivnost Sunca može dovesti do jonosferskih i magnetnih bura, koje ometaju avio-saobraćaj, rad satelita, telekomunikacionih, navigacionih i elektroenergetskih sistema na Zemlji. Dramatičan primer uticaja svemirskog vremena je događaj iz marta 1989. godine, kada je u kanad-

skoj provinciji Kvebek, zbog oluje na Suncu, u roku od 92 sekunde pao ceo elektroenergetski sistem, a 6 miliona ljudi ostalo bez struje 36 sati. Međutim, to nije najsnažnija zabeležena svemirska oluja. Godine 1859. desila se višestruko snažnija magneta bura, kada je došlo do izbijanja velikih požara zbog kratkih spojeva

na telegrafskim žicama, a polarna svetlost se mogla videti u Rimu i na Havajima. Međutim, ljudsko društvo je tada bilo na daleko nižem tehnološkom nivou, tako da je svemirsko vreme imalo mnogo manji uticaj na svakodnevni život ljudi, nego što ga ima danas i što će ga imati u budućnosti.

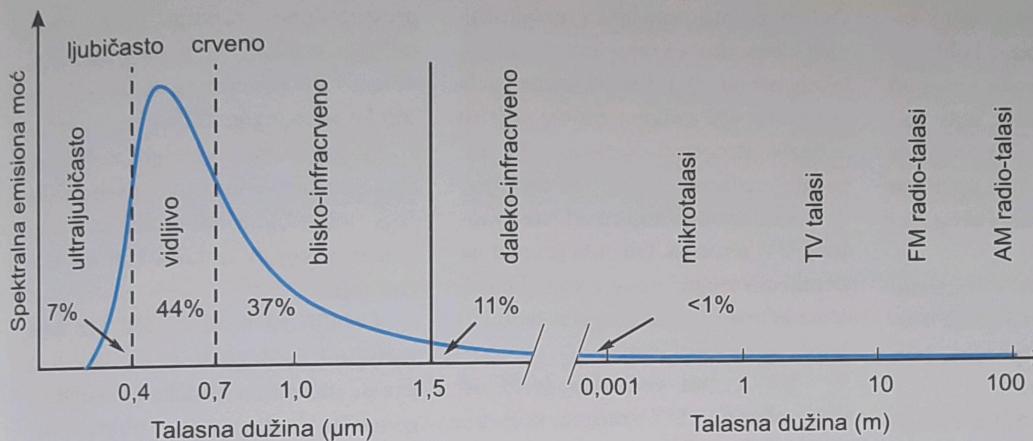


Slika 3.3 Magnetno polje Zemlje

Elektromagnetno zračenje i ionizovane čestice stalno napuštaju Sunce. Struja ionizovanih čestica koja velikom brzinom napušta najviše slojeve Sunčeve atmosfere i odlazi u vlasionski prostor naziva se **Sunčev vetar**. Ove čestice dospevaju i do Zemlje putujući brzinom od oko 500 km s^{-1} . Magnetno polje koje okružuje Zemlju (slika 3.3), štiti našu planetu od direktnog uticaja Sunčevog vетра, menjajući pravac kretanja čestica. Sunčev vetar utiče na elektroma-

gnetsko polje Zemlje, menja oblik linija geomagnetskog polja i uzrokuje niz geofizičkih pojava.

Aurora ili polarna svetlost je jedina vidljiva geofizička pojava. Nastaje kada čestice velikih energija dospeju sa Sunca u atmosferu, gde se sudsaraju sa molekulima atmosferskih gasova, uglavnom kiseonika i azota. Pobuđeni molekuli emituju svetlost, koja se može videti noću kao neobična svetlost različitih boja i oblika. Ako se javi na severnoj polulopti naziva se **aurora borealis (severna aurora)**, a na južnoj **aurora australis (južna aurora)**. Aurora se javlja na visinama od 100 pa do više od 400 km. Može trajati od nekoliko minuta do više časova. Najčešće je bledozelene, ali može biti i crvene, plave, ljubičaste, roze ili bele boje. Kada molekule kiseonika pogode čestice velikih energija onda oni emituju zelenu svetlost, a kada ih pogode čestice manjih energija crvenu. Pobuđeni molekuli azota uglavnom emituju plavu svetlost, a ostale boje nastaju mešanjem ove tri. Najveća šansa da jonizujuće čestice dospeju u atmosferu je u blizini magnetnih polova, gde se susiću linije magnetnog polja (slika 3.3). Magnetni polovi su menjali svoj položaj i polaritet tokom geološke istorije, a danas se nalaze na oko 78° južne i severne geografske širine. Zbog toga ova svetlosna pojava ima veću čestinu i intenzitet na većim geografskim širinama, dok se na manjim geografskim širinama znatno ređe može videti. U Evropi polarna svetlost se najčešće javlja iznad severne Skandinavije i Islanda. Najbolje se vidi tokom dugih zimskih noći, bez mesečine i van urbanih oblasti. Fotografija aurore može se videti u dodatku VI, koji se nalazi na kraju knjige.



Slika 3.4
Elektromagnetski
spektrar
Sunčevog
zračenja

ELEKTROMAGNETNI SPEKTAR SUNČEVOG ZRAČENJA

Sunce emituje talase u širokom spektru talasnih dužina (slika 3.4), ali 88% zračenja je talasnih dužina manjih od $1,5 \mu\text{m}$, a 99% manjih od $3 \mu\text{m}$. Elektromagnetski spektrar Sunčevog zračenja može da se podeli na tri dela: ultraljubičasti, vidljivi i infracrveni.

Ultraljubičasto zračenje je talasnih dužina između $0,1$ i $0,4 \mu\text{m}$ i ono čini oko 7% ukupne energije Sunčevog zračenja.

Veliki deo (oko 44%) ukupne Sunčeve energije koju dospeva do površine Zemlje čini **vidljivo zračenje**. Talasne dužine svetlosti se nalaze u opsegu od $0,40$ do $0,70 \mu\text{m}$ sa maksimumom za talasnu dužinu $0,48 \mu\text{m}$. Ljubičasta boja ima najmanju, a crvena najveću talasnu dužinu (tabela 3.1).

Oko 48% Sunčevog zračenja je iz infracrvenog dela spektra, od čega 37% je talasnih dužina od $0,7$ do $1,5 \mu\text{m}$ (**blisko infracrveno zračenje**) a ostatak

od 11% je većih talasnih dužina (**infracrveno zračenje**).

Infracrveno zračenje ljudski organizam detektuje preko receptora u koži kao toplotu, vidljivo zračenje, kao što je već rečeno, preko organa vida kao svetlost, dok UV zračenje ljudski organizam nije u stanju da registruje putem svojih čula.

Tabela 3.1 Talasne dužine različitih boja svetlosti

Boja	Talasna dužina (μm)
ljubičasta	0,40–0,44
plava	0,45–0,49
zelena	0,50–0,53
žuta	0,54–0,58
narandžasta	0,59–0,64
crvena	0,65–0,70

AKO ŽELITE DA SAZNATE NEŠTO VIŠE O ULTRALJUBIČASTOM ZRAČENJU

Ultraljubičasto (UV) zračenje emituju tela visokih temperatura. UV zračenje spada u nejonizujuća zračenja, iako fotoni UV zračenja manjih talasnih dužina imaju dovoljno energije da ionizuju veliki broj atoma i

molekula. Na osnovu talasne dužine i biološkog dejstva, ultraljubičasto zračenje je podeljeno na:

- UV-A zračenje (315–400 nm¹¹)

¹¹ nanometar, $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$.

– najmanje opasno za živi svet od svih tipova UV zračenja; na njega ne utiče smanjenje koncentracije ozona u atmosferi.

- UV-B zračenje (280–315 nm) – uzročnik najviše oštećenja i oboljenja

živog sveta; veći deo (oko 90%) apsorbuje stratosferski ozon, a koliko će dospeti do površine Zemlje zavisi od sadržaja ozona u atmosferi, ugla pod kojim padaju Sunčevi zraci i prisustva oblaka koji delimično štite površinu Zemlje od štetnog delovanja ovog zračenja.

- UV-C (100–280 nm) – smrtonosno, ali bez obzira na smanjenje stratosferskog ozona u potpunosti biva apsorbovano u atmosferi.

UV-C zraci imaju veliku energiju i deluju destruktivno na DNK¹². UV-C zračenje talasnih dužina oko 250 nm, koje emituju veštački izvori tzv. germicidne lampe, koristi se za dezinfekciju vazduha, vode i različitih površina. Zvuči skoro neverovatno, ali UV-C je zaslužno za postojanje ozona u stratosferi, pa je na taj način, iako smrtonosno, doprinelo nastanku života na Zemlji. Naime, prvobitna atmosfera nije sadržala kiseonik. Pre oko milijardu godina, prvi vodeni organizmi koji su vršili fotosintezu, počeli su da stvaraju molekularni kiseonik (O_2). Kako je rastao sadržaj kiseonika, tako se smanjivao sadržaj ugljen-dioksida u atmosferi, što je predstavljalo pravu ekološku katastrofu za tadašnje anaerobne organizme¹³. Izvestan broj molekula kiseonika (O_2) koji su se nalazili u višim slojevima atmosfere delili su se na atome kiseonika (O) pod dejstvom UV zračenja.

¹² DNK (dezoksiribonukleinska kiselina) – sastavni deo svake žive ćelije i nosilac celokupnog genetskog materijala jedinke.

¹³ anaerobe (grč. an – ne + aer – vazduh + bios – život) – organizmi kojima nije neophodan kiseonik za normalno obavljanje životnih funkcija; mogu da imaju negativnu reakciju ili čak da uginu u prisustvu kiseonika.

Ovi atomi su se spajali sa molekularnim kiseonikom i tako formirali molekule ozona (O_3). Pretpostavlja se da je pre oko 600 miliona godina sadržaj ozona u atmosferi dostigao 10% današnje vrednosti, što je bilo dovoljno da zaštitи život na kopnu od smrtonosnog UV zračenja. Do tada je život na Zemlji bio moguć samo u vodi. Dakle, ozon je imao važnu ulogu u evoluciji života na našoj planeti.

UV-A čini veći deo (više od 95%) ukupnog UV zračenja koji dosegava do površine Zemlje. Iako od svih tipova UV zračenja ima najmanju energiju, UV-A zračenje prodiže najdublje u kožu. Pod dejstvom UV-A zraka, dolazi do proizvodnje melanina, pigmenta zbog koga koža tamni. Na taj način se ljudski organizam brani od štetnog dejstva UV zračenja. UV-A zračenje ima široku primenu u medicini, kako u dijagnostici, tako i u lečenju. Važno je znati da UV-A zraci stimulišu sintezu vitamina D i kalcifikacionog hormona (kalcioferola) zahvaljujući kome se ugrađuje kalcijum u kosti. Duže izlaganje UV-A zračenju dovodi do starenja kože, pojave bora. Dugo se smatralo da ne izaziva neka ozbiljnija i trajnija oštećenja. Međutim, novija istraživanja ukazuju na to da i UV-A zraci doprinose nastanku raka kože i to onog najsmrtonosnijeg – melanoma.

UV-B zraci imaju više energije i bioliški su aktivniji od UV-A zraka i mogu oštetići ćelijski DNK. Tokom evolucije razvili su se efikasni unutrašnji mehanizmi za popravku nastalih oštećenja, ali ponekad ovi mehanizmi nisu u stanju to da učine i tada dolazi do pojave ćelija mutanata. Zbog toga pri dužem izlaganju UV-B zračenju, pored pojave opeketina,

prevremenog starenja kože, imunološke reakcije tj. pada imuniteta, dolazi i do povećanog rizika od nastanka raka kože. UV-B zračenje takođe doprinosi stvaranju melanina, ali i zadebljavanju površinskog sloja kože, još jednom odbrambenom mehanizmu kojim se koža štiti od UV zračenja.

Osetljivost kože na UV zračenje zavisi od velikog broja činilaca kao što su su rasna i etnička pripadnost, genetske predispozicije (pigmentisanost), starost i opšte stanje organizma.

Apsorbovano UV zračenje, posred promena na koži, može izazivati i promene u oku. Te promene su vezane za ubrzani proces starenja, ali i nekoliko ozbiljnih oboljenja oka, kao što su katarakta (očna mrena), makularna degeneracija (oštećenje žute mrlje) itd. Nošenje naočara za sunce, štiti oko od štetnih UV zraka, ali samo ako stakla apsorbuju ove zrake. U suprotnom zatamljene naočare imaju kontraefekat, jer se zenica širi usled smanjenog intenziteta svetlosti i u oko prodire više UV zračenja.

Treba imati na umu, kada se izlazežemo suncu ili odlazimo u solarijum, da štetni efekti UV zračenja, nisu trenutni i odmah vidljivi (osim crvenila

Tabela 3.2

Kategorije UV indeksa

Kategorija	Vrednost UV indeksa
Niska	<2
Umerena	3 do 5
Visoka	6 do 7
Veoma visoka	8 do 10
Ekstremna	>11

i opeketina na koži), već se akumuliraju u organizmu i ispoljavaju godinama kasnije.

UV indeks je veličina koja povezuje intenzitet UV zračenja sa efektom koji izaziva na ljudskoj koži

(tabela 3.2). Kada je vrednost UV indeksa manja od 2, nije potrebna zaštita od Sunčevog zračenja, dok veće vrednosti zahtevaju zaštitu od Sunca. Kada je vrednost UV indeksa veća od 8, neophodne su pojačne mere zaštite,

te, koje uključuju na prvom mestu izbegavanje boravka na suncu oko podneva, zatim obavezno nošenje šešira, pokrivanje izloženih delova tela, korišćenje krema sa zaštitnim faktorom, nošenje zaštitnih naočara i sl.

O čemu govore oznake SPF na kremama za sunčanje i CPF na odeći?

Navedene oznake govore o stepenu zaštite koju pružaju kreme i odeća. SPF (engl. Sun Protective Factor) ima skalu od 1 do 60. Ako je npr. vrednost faktora 20 to znači da se nanošenjem kreme vreme za koje koža izgori na suncu produžava 20 puta ili možda tačnije rečeno 20 puta se smanjuju efekti Sunčevog zračenja. Vrednosti CPF (engl. Cloth Protective Factor) se kreću od 1 do 50. Ovaj faktor označava koji procenat UV zračenja odeća propušta. Tako npr. CPF 20 znači da materijal propušta 5% UV zraka ($1/20 = 0,05$).

Da li treba da se štitimo od UV zračenja ako smo u hladu ili vodi, ili samo onda kada smo direktno izloženi Sunčevom zračenju?

UV zračenja ima manje za 50% u hladu nego na suncu, ali treba imati na umu i da se UV zračenje reflektuje od različitih površina. Tako npr. pesak reflektuje oko 15%, a morska pena 25% UV zračenja. UV zračenje prođe kroz vodu. Na pola metra dubine njegov intenzitet je za 60% manji nego na površini. To znači da se pri visokim položajima Sunca (između 10 i 14 h), kada su vrednosti UV indeksa najveće, treba štititi od UV zračenja ili još bolje izbegavati ne samo izlaganje suncu, već i boravak na plaži pod suncobranom i kupanje. Takođe treba znati da ni oblaci ne štite u potpunosti od UV zračenja. Tanki oblaci, čak mogu i povećati intenzitet UV zračenja zbog rasipanja.

Gde je veći intenzitet UV zračenja na planini ili na moru?

Količina UV zračenja koja dospeva na jediničnu površinu Zemlje opada sa geografskom širinom, ali raste sa nadmorskom visinom, jer je tanji sloj vazduha kroz koji prolaze Sunčevi zraci. Na svakih 1 000 m nadmorske visine količina UV zračenja se poveća za 10 do 12%. Kada ima snega, opasnost je još veća, jer sneg

reflektuje i do 80% UV zračenja. Dakle, intenzitet UV zračenja je veći na planini nego na moru.

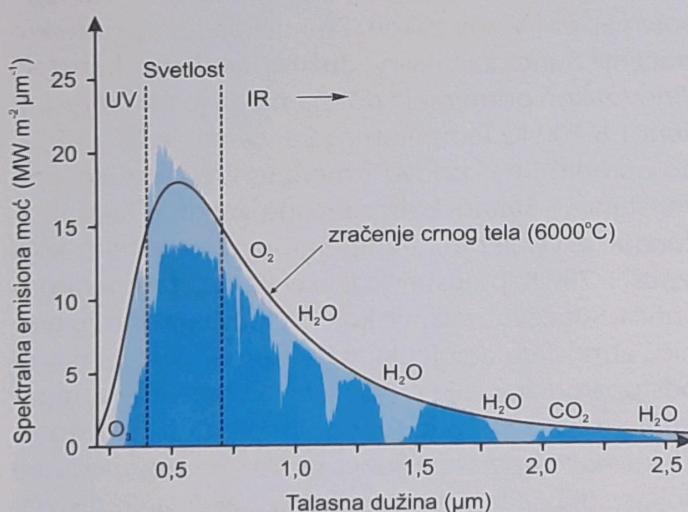
Zračenje Sunca približno odgovara zračenju crnog tela čija temperatura iznosi oko 6 000 K. Temperaturu Sunca možemo proceniti koristeći Štefan–Bolcmanov i Vinov zakon. Znajući da je maksimalno zračenje Sunca za talasnu dužinu $0,475 \text{ } \mu\text{m}$, koristeći Vinov zakon pomeranja dobijamo da je temperatura Sunca 6 100 K. Temperaturu Sunca možemo približno odrediti i na osnovu izmerene vrednosti solarne konstante i Štefan–Bolcmanovog zakona. Tako izračunata ekvivalentna temperatura crnog tela, koja iznosi 5 780 K, predstavlja tzv. efektivnu temperaturu Sunca. Sunčev zračenje koje dospeva na gornju granicu atmosfere u pojedinim delovima spektra znatno odstupa od zračenja crnog tela ekvivalentne temperature (slika 3.5). To je između ostalog i razlog što se efektivna temperatura Sunca razlikuje od temperature koja se dobija iz Vinovog zakona zračenja. Razlike između Sunčevog zračenja i zračenja crnog tela ekvivalentne temperature naročito su velike za X i najkraće ultraljubičaste talase.

3.3 Sunčev zračenje pri prolasku kroz atmosferu

Sunčev zračenje prvo dospeva na gornju granicu atmosfere, a zatim prolazeći kroz atmosferu stiže do površine Zemlje. Količina Sunčeve energije koja pada pod pravim uglom na jediničnu površinu gornje granice atmosfere u jedinici vremena pri srednjem rastojanju Zemlje od Sunca naziva se **solarna konstanta**. Ova veličina nije konstanta u pravom smislu reči, već zavisi od aktivnosti Sunca. Prosečna vrednost solarnе konstante prema novijim satelitskim merenjima iznosi

si 1367 W/m^2 . Količina energije koja dospeva do vrha atmosfere u vreme „mirnog“ i „aktivnog“ Sunca je vrlo promenjiva u oblasti radio-talasa i u oblasti zračenja najkraćih talasnih dužina, dok su promene u opsegu od 0,3 do $10 \mu\text{m}$ veoma male.

Pri prolasku kroz atmosferu jedan deo Sunčevog zračenja biva apsorbovan, jedan deo reflektovan, a najveći deo Sunčevog zračenja atmosfera propušta. U atmosferi kao optički nehomogenoj sredini dolazi i do odstupanja od pravolinijskog prostiranja svetlosti, koje se manifestuje kroz niz optičkih pojava u atmosferi. Količina Sunčeve energije koja dospe do površine Zemlje i padne na jediničnu horizontalnu površinu u jedinici vremena naziva se **insolacija**.



Slika 3.5 Sunčev zračenje na gornjoj (svetloplava kriva) i donjoj granici atmosfere (plava kriva)

Na slici 3.5 je prikazan spekter Sunčevog zračenja na gornjoj granici atmosfere (označen svetlijom plavom bojom) i na Zemljinoj površini (označen tamnjom plavom bojom) za prosečne atmosferske uslove kada je Sunce u zenitu¹⁴. Površina između dve krive predstavlja deo zračenja koji se izgubi pri prolasku kroz atmosferu zbog apsorpcije i refleksije zračenja od strane gasovitih sastojaka, oblaka i aerosola.

¹⁴ zenith – tačka na nebeskoj sferi koja se nalazi na pravcu, a u suprotnom smeru od delovanja sile Zemljine teže u određenom mestu; na nebeskoj sferi se na istom pravcu, ali u smeru delovanja Zemljine teže nalazi nadir.

3.3.1 Apsorpcija Sunčevog zračenja u atmosferi

Pri prolasku kroz atmosferu, deo Sunčevog zračenja absorbuju gasovi koji čine atmosferu, oblaci i različite primeće koje se mogu naći u atmosferi. Svi sastojci atmosfere ne apsorbuju zračenje na isti način.

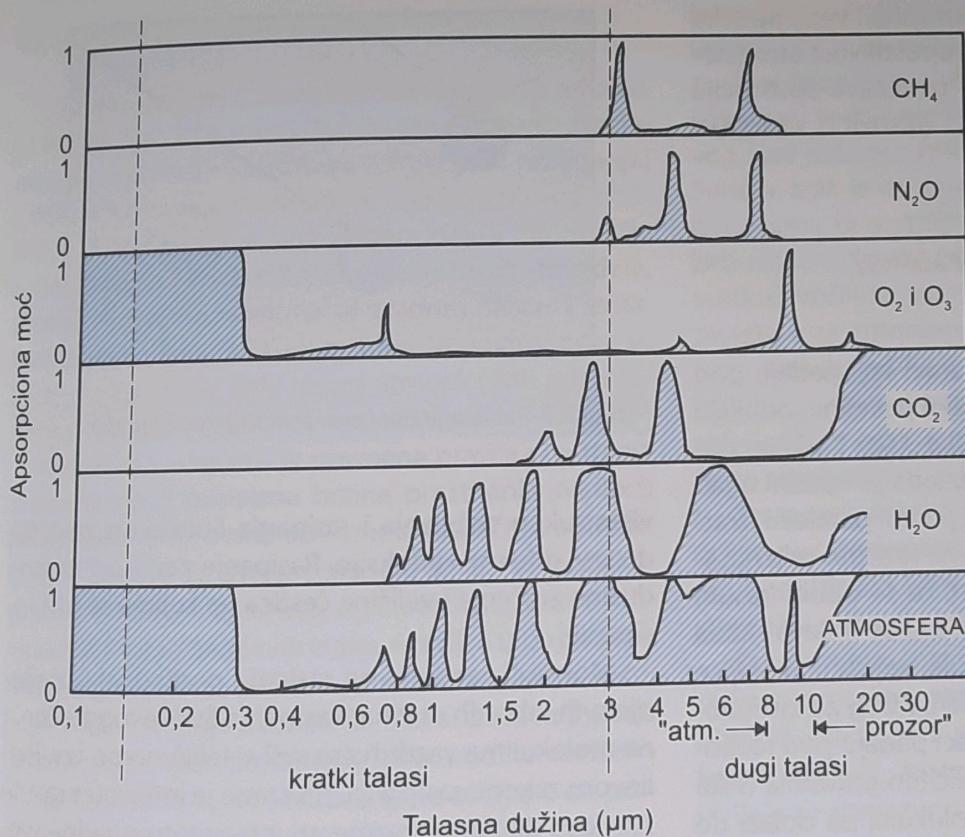
Pojedini gasoviti sastojci atmosfere upijaju samo zračenja određenih talasnih dužina. Ova pojava se naziva **selektivna apsorpcija**. Na slici 3.6 prikazana je selektivna apsorpcija različitih gasova u spektru zračenja koji obuhvata, pored talasnih dužina zračenja Sunca, i talasne dužine zračenja Zemlje, koje će biti razmatrano nešto kasnije. Gasoviti sastojci atmosfere imaju svoje karakteristične apsorpcione linije i oblasti. Od svih sastojaka u atmosferi vodena para apsorbuje najviše Sunčevog zračenja i to u infracrvenom delu spektra. Ugljen-dioksid i ostali gasovi staklene bašte takođe selektivno apsorbuju u infracrvenom delu spektra. Ozon i kiseonik apsorbuju ultraljubičasto zračenje. Sveukupno, atmosfera propušta zračenje iz vidljivog dela spektra, a apsorbuje gotovo sve ultraljubičasto i jedan deo infracrvenog zračenja Sunca.

Oblaci, čvrste i tečne primeće u atmosferi vrše ne-selektivnu apsorpciju Sunčevog zračenja, što znači da podjednako apsorbuju sve talasne dužine. Apsorpcija Sunčevog zračenja od strane oblaka zavisi od visine, sastava i debljine oblaka. Najviše Sunčevog zračenja apsorbuju niski debeli oblaci sastavljeni od vodenih kapljica.

3.3.2 Propustljivost atmosfere za Sunčev zračenje

Koliko će Sunčevog zračenja biti propušteno kroz atmosferu zavisi od njene prozračnosti i od optičke mase.

Prozračnost atmosfere zavisi od gustine i sastava vazduha. Gustina vazduha je najveća u donjim slojevima atmosfere, pa je tu i najveća koncentracija gasovith sastojaka atmosfere, koji vrše apsorpciju i refleksiju Sunčevog zračenja. Takođe, površina Zemlje predstavlja izvor vodene pare i drugih promenljivih sastojaka atmosfere, te je njihov sadržaj i zbog toga



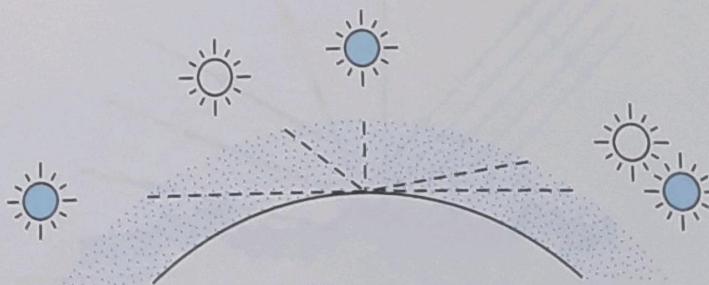
Slika 3.6
Apsorpcija zračenja od strane pojedinih gasova i atmosfere kao celine (Oke, 1983)

veći u prizemnom sloju vazduha. Smanjena prozračnost, odnosno povećana zamućenost vazduha, je posledica prisustva čestica prašine, soli, čadi, peska i drugih primesa u atmosferi, kojih takođe ima najviše blizu površine Zemlje. Dakle, prozračnost atmosfere je najmanja u prizemnom sloju, jer je tu najveća gustina vazduha i najveća koncentracija promenljivih gasovitih sastojaka vazduha i primesa.

Prozračnost atmosfere se menja i u toku dana i u toku godine. U toku dana najveća je u jutarnjim časovima, nešto manja u večernjim, a najmanja sredinom dana, kada su, zbog najjačeg zagrevanja, najintenzivnija uzlazna strujanja vazduha. Prosečne vrednosti prozračnosti atmosfere su veće u zimskim mesecima, a manje u letnjim iz istog razloga. Prozračnost atmosfere se povećava sa nadmorskom visinom mesta, ali i sa geografskom širinom. Međutim, te tvrdnje važe samo ako nema oblaka, magle ili padavina. Deblji oblačni sloj, gusta magla i padavine jačeg intenziteta veoma smanjuju propustljivost atmosfere za Sunčevu zračenje, kao i peščne oluje,

vulkanske erupcije, veliki požari i drugi događaji vezani za emisiju aerosola.

Optička masa atmosfere pokazuje koliko duži put prelazi zrak koji pada koso od zraka koji pada pod pravim uglom na Zemljinu površinu. Zavisi od visine Sunca iznad horizonta i nadmorske visine mesta. Optička masa atmosfere povećava se u početku sporo, a kasnije sve brže sa smanjenjem visine Sunca (slika 3.7). Put koji pređe Sunčev zrak u trenucima kad Sunce izlazi i zalazi je veći više od 30 puta nego kada je Sunce u zenitu.

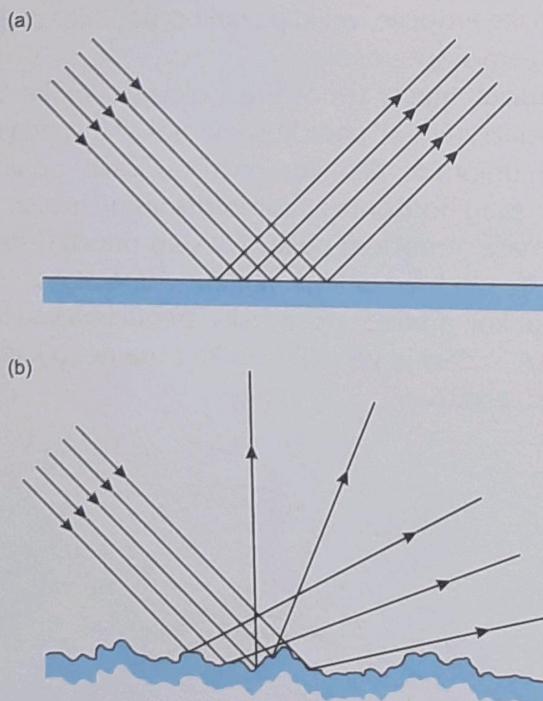


Slika 3.7 Dužina puta kroz atmosferu koji prelazi Sunčev zrak u zavisnosti od visine Sunca

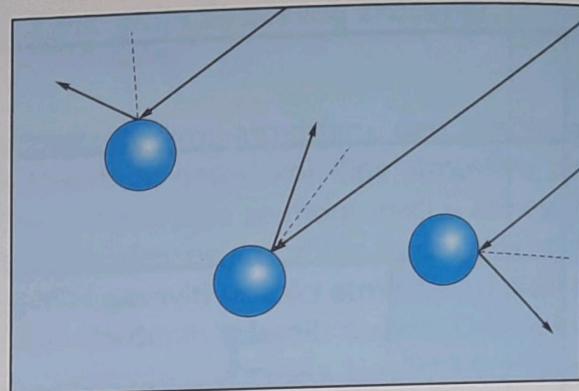
Što je manja prozračnost vazduha i veća optička masa atmosfere to je manja propustljivost atmosfere za Sunčevu zračenje, jer se povećava apsorpcija i refleksija od strane primesa i gasovitih sastojaka atmosfere.

3.3.3 Rasipanje Sunčevog zračenja u atmosferi

Iz optike je poznato da se zraci koji padaju pod određenim uglom na ravnu glatku površinu, odbijaju (reflektuju) pod istim uglom (slika 3.8a). Kada se zraci odbijaju sa neravne površine, tada je upadni ugao takođe jednak odbojnom, ali pošto paralelni zraci padaju pod različitim uglovima na različito orijentisane delove neravne površine, oni će se odbiti (rasutti) u različitim pravcima (slika 3.8b). Isto se dešava i kada Sunčevi zraci najdu na molekule vazduha, kapljice vode i različite čestice u atmosferi. Zbog zakrivljenosti sfernih površina, paralelni zraci padaju pod različitim uglovima i odbijaju se u različitim pravcima (slika 3.9). Potom nailaze na nove molekule, pa dolazi do



Slika 3.8 Odbijanje svetlosnih zraka od (a) ravne i (b) neravne površine



Slika 3.9 Rasipanje Sunčevih zraka na molekulima

višestrukog odbijanja i rasipanja Sunčevog zračenja do tzv. **difuzne refleksije**. Rasipanje zavisi od talasne dužine zračenja i veličine čestica na kojima se vrši rasipanje.

Molekuli vazduha ne rasipaju podjednako zračenje svih talasnih dužina. Rasipanje Sunčevog zračenja na molekulima vazduha se vrši selektivno po tzv. Rejlijevom zakonu rasipanja, po kome je intenzitet rasute svetlosti direktno сразмерan intenzitetu upadne svetlosti, a obrnuto сразмерan četvrtom stepenu talasne dužine zračenja. To znači da će se npr. tamnopla va svetlost rasuti 3,5 puta više od crvene, a ljubičasta čak 16 puta više od crvene. U oko posmatrača, zbog većeg difuznog rasipanja svetlosti manjih talasnih dužina, sa svih strana dolazi ljubičasta i plava svetlost, što stvara utisak plavog neba. Pošto se ostale boje mnogo više rasipaju u atmosferi, direktno sa Sunca dolazi najviše svetlosti žute, narandžaste i crvene boje, što čini da Sunce izgleda žuto kada je visoko iznad horizonta, a narandžasto ili crveno pri niskim položajima.

Rasipanje Sunčevog zračenja na kišnim kapima, oblačnim kapljicama i kristalićima leda je približno isto za sve talasne dužine i obavlja se po zakonima geometrijske optike. Zbog toga što se sve talasne dužine svetlosti koja pada na oblake podjednako rasipaju, oblaci izgledaju beli.

Za čestice koje su po veličini između molekula vazduha i oblačnih ili kišnih kapi važi tzv. Miov režim rasipanja. Ugaona raspodela rasutog zračenja je veoma komplikovana, pri čemu je rasipanje unapred dominantno. Na ovakav način Sunčevu zračenje se rasipa na česticama prašine, dima i smoga.

3.3.4 Optičke pojave u atmosferi

Optičke pojave u atmosferi nastaju zbog refleksije (odbijanja), apsorpcije (upijanja), refrakcije (prelamanja), disperzije (selektivne refrakcije ili razlaganja) i difrakcije (savijanja) Sunčeve svetlosti. Pored neobične lepote, optičke pojave nam daju i informacije o stanju atmosfere kao što su: prozračnost atmosfere, promena gustine vazduha sa visinom, sastav i struktura oblaka. Osmatranjem svetlosnih pojava može se lokalno predviđati dalji razvoj atmosferskih poremećaja i procesa.

Refrakcija svetlosti je promena pravca prostranja svetlosti, zbog promene brzine prostiranja svetlosti pri prolasku kroz dve ili više sredina različitih optičkih gustina. Koliko će biti prelamanje zavisi od optičkih gustina sredina i upadnog ugla svetlosti. Što je manji upadni ugao Sunčevih zraka, a razlika u gustinama sredina tj. brzinama prostiranja svetlosti u njima veća, to je veće savijanje svetlosnih zraka. Zrak koji pada normalno na granicu između dve sredine različitih optičkih gustina se ne prelama tj. ne odstupa od pravolinijskog prostiranja.

Disperzija svetlosti je pojava do koje dolazi zbog nejednakog prelamanja svetlosti različitih talasnih dužina, odnosno boja. Kada zrak bele svetlosti padne na graničnu površinu dve sredine različitih optičkih gustina dolazi do razlaganja bele svetlosti na pojedinačne boje spektra, zbog toga što indeks prelamanja svetlosti zavisi od talasne dužine zračenja. Najviše se prelama svetlost ljubičaste, a najmanje svetlost crvene boje. Pojava disperzije svetlosti jasno se može uočiti pri propuštanju svetlosti kroz staklenu trostranu prizmu. Na zaklonu postavljenom iza prizme vidi se bela svetlost razložena na boje vidljivog spektra porедane po sledećem redosledu: crvena, narandžasta, žuta, zelena, plava, ljubičasta.

Difrakcija svetlosti je pojava nejednakog savijanja svetlosnih zraka različitih talasnih dužina pri nailasku na male otvore ili oštре ivice predmeta. U vidljivom delu spektra crvena svetlost najviše odstupa od pravolinijskog prostiranja, a ljubičasta najmanje, tako da je u difrakcionom spektru obrnut raspored boja u odnosu na disperzionalni spektrar.

O tome zašto je nebo plavo, oblaci beli, a Sunce žute ili pri zalasku crvene boje bilo je već reči u odelj-

ku o difuznoj refleksiji u atmosferi. Nebo, inače providno i bez boje, izgleda plavo, jer u oko posmatrača posle velikog broja odbijanja indirektno sa svih strana stižu zraci iz dela spektra od ljubičastog do svetloplavog. Kad je Sunce nisko na horizontu, put koji pređe Sunčev zrak je mnogo duži nego u bilo koje drugo doba dana, te se gotovo sve boje manjih talasnih dužina raspu, a do oka posmatrača direktno dolazi samo svetlost većih talasnih dužina. Zbog toga Sunce pri zalasku ima žutonaranđastu boju kada je prozračnost vazduha velika, a crvenu, nekada čak i purpurnu, kada je atmosfera zamućena. Zbog prisustva čestica soli i vodene pare u vazduhu, na obali mora možemo često videti crvene zalaške Sunca.

Zbog rasipanja svetlosti smena dana i noći nije trenutna, već postepena. Nebo je svetlo čak i posle zalaska i pre izlaska Sunca, pa se javljaju **sutan (večernji sumrak)** i **svitanje (jutarnji sumrak)**.

Zbog prelamanja Sunčevih zraka pri prolasku kroz slojeve atmosfere različitih gustina javljaju se astronomска i zemaljska refrakcija, kao i optičke iluzije ili fatamorgane¹⁵. **Astronomска i zemaljska refrakcija** javljaju se zbog normalne (uobičajene) promene gustine vazduha sa visinom. Ove svetlosne pojave proširuju horizont za posmatrača na Zemlji, jer zbog savijanja svetlosti objekte ne vidimo na njihovim istinskim položajima, već izmeštene. **Optičke iluzije** nastaju u uslovima abnormalne promene gustine vazduha u pravcu prostiranja svetlosti, kada gustina vazduha raste ili neobičajeno brzo opada sa visinom, usled nagnuti promena temperature.

Fotometeori su svetlosne pojave koje se javljaju pri nailasku Sunčeve ili Mesečeve svetlosti na kapljice vode, ledene kristaliće ili litometore u atmosferi. U fotometeore spadaju: halo, lažna Sunca, svetlosni stubovi, duga, korona, Bišopov prsten, irizacija i glorija.

¹⁵ Fatamorgana (ital. fata Morgana) – vila Morgana, čijoj čarobnoj moći su pripisivane optičke varke prema verovanju naroda na Mediteranu.

AKO ŽELITE DA SAZNATE NEŠTO VIŠE O OPTIČKIM POJAVAMA

SUMRAK

Period, kada difuzna svetlost nastala rasipanjem svetlosti u atmosferi osvetjava nebeski svod i posle zalaska i pre izlaska Sunca, naziva se sumrak. Postoje tri vrste sumraka: građanski, nautički i astronomski (slika 3.10).

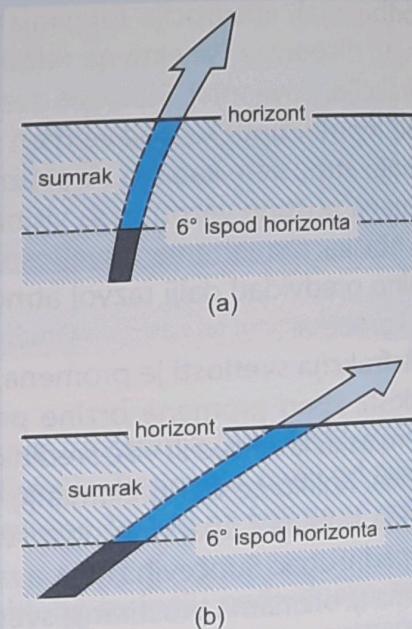
Građanski sumrak je period u toku koga se centar Sunčevog diska nalazi između 0,5 i 6° ispod linije horizonta. Za vreme građanskog sumraka čovek sa normalnim vidom može da čita, a intenzitet difuzne svetlosti je toliki da svetlost i punog Meseca ne utiče na osvetljenost Zemljine površine. Tokom građanskog sumraka mogu se videti svetlige planete, od kojih je najsvetlijia Venera, u narodu poznata kao zornjača ili zvezda Danica.

Tokom **nautičkog sumraka** centar Sunčevog diska se nalazi između 6° i 12° ispod horizonta i moguće je još uvek videti konture objekata na Zemlji. Kraj nautičkog sumraka je trenutak kada navigacija prema liniji horizonta više nije moguća.

Astronomski sumrak je period u toku koga se centar Sunčevog diska nalazi između 12° i 18° ispod

horizonta. Tokom astronomskog sumraka moguće je vršiti osmatranja skoro svih nebeskih tela, osim onih difuznih, kao što su npr. magline i galaksije. Noć zvanično traje od završetka večernjeg do početka jutarnjeg astronomskog sumraka. Tokom noći moguće je videti golim okom i zvezde slabog sjaja, naravno ako je vedro i van urbanih sredina, na mestima gde nema svetlosnog zagadeњa. Običnom osmatraču je teško da napravi razliku između astronomskog sumraka i noći.

Sumrak na manjim geografskim širinama traje znatno kraće nego na većim, zbog većeg ugla pod kojim Sunce izlazi i zalazi (slika 3.11). Građanski sumrak u ekvatorijalnim oblastima traje dvadesetak minuta, a u našim krajevima tridesetak minuta. Pri oblačnom vremenu trajanje večernjeg sumraka se skraćuje, a trajanje svitanja produžava. Trajanje sutona i svitanja zavisi od doba godine, naročito na većim geografskim širinama. Na geografskim širinama većim od $48,5^{\circ}$ dolazi do spajanja sutona i svitanja, do pojave tzv. *belih noći* u periodu oko letnje dugodnevice, kada se Sunce ne spušta mnogo ispod linije horizonta. Sumrak može

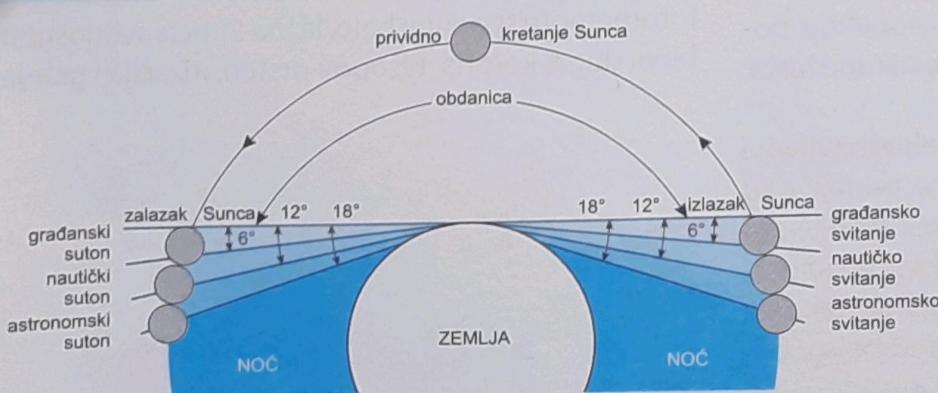


Slika 3.11 Trajanje sumraka (a) u tropima i (b) na većim geografskim širinama

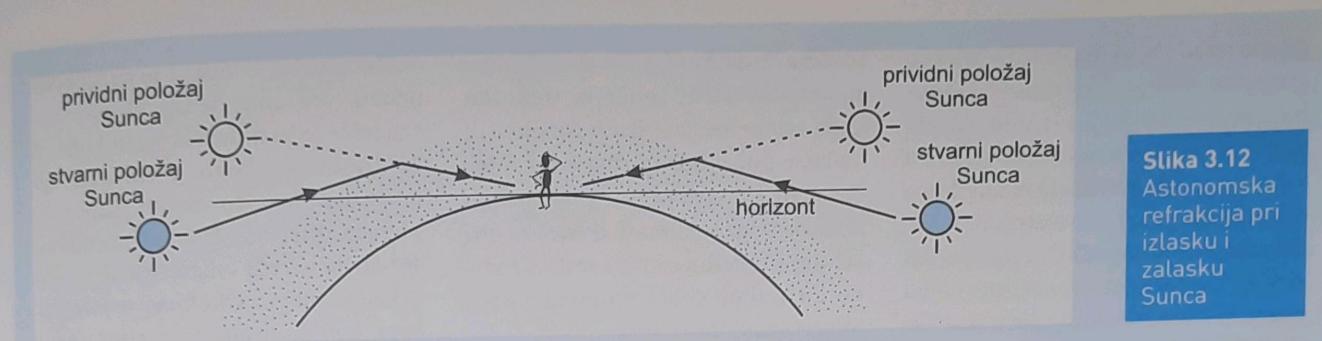
trajati i 24 sata na geografskim širinama većim od 81° , bliže polu čak i nedeljama.

ASTRONOMSKA I ZEMALJSKA REFRAKCIJA

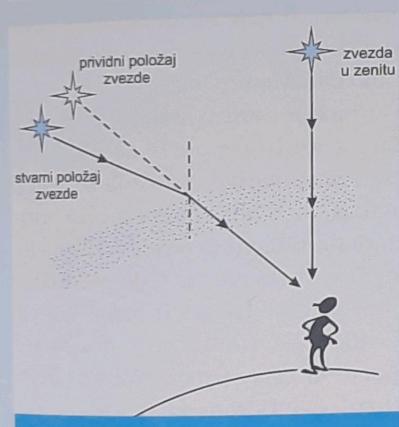
Astronomska refrakcija uzrokuje da sva nebeska tela (zvezde, Sunce, Mesec) koja se ne nalaze u zenitu, zauzimaju na nebeskom svodu prividno viši položaj od stvarnog za posmatrača na Zemlji (slike 3.12 i 3.13). Što je nebesko telo bliže horizontu, efekat refrakcije je izrazitiji. Zbog pojave refrakcije, Sunce i Mesec ranije izlaze i kasnije zalaze nego što se to stvarno dešava (slika 3.12). Kada se Sunce nalazi na horizontu, savijanje svetlosnih zraka iznosi nešto više od pola lučnog stepena, koliko iznosi i prečnik Sunca za posmatrača



Slika 3.10 Građanski, nautički i astronomski sumrak



Slika 3.12
Astronomска
refrakcija pri
izlasku i
zalasku
Sunca



Slika 3.13 Astronomска refrakcija

na Zemlji. Tako da kada posmatrač vidi Sunce iznad same linije horizonta, ono se u potpunosti nalazi ispod linije horizonta. Takođe, pri zalasku i izlasku Sunca, Sunčev disk često izgleda spljošten na donjem delu, zbog toga što se Sunčevi zraci sa donjeg dela diska više savijaju nego oni koji dolaze sa gornjeg dela.

Zemaljska refrakcija je pojava prividnog uzdizanja objekata na Zemljinoj površini koji se nalaze ispod linije horizonta (npr. broda na morskoj pučini).

OPTIČKE ILUZIJE

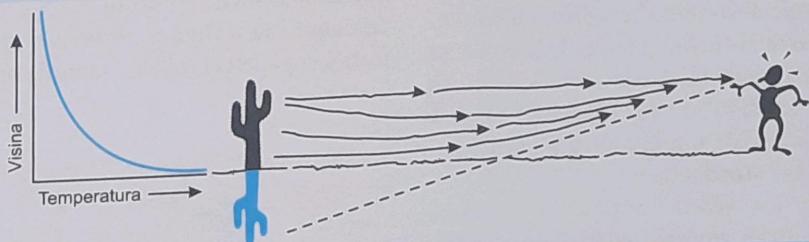
Donje optičke varke (slika 3.14) se javljaju kada je prizmeni sloj vazduha mnogo topliji od vazduha iznad. To se naročito često dešava leti u pustinjama, kada se sloj vazduha u kontaktu sa peščanim ili kamenim

tim tlom jako zagreje, a slojevi iznad mnogo manje zbog slabe toplotne provodljivosti vazduha. Tada su donji slojevi vazduha redi od gornjih, pa se svetlostni zrak koji dolazi sa nekog udaljenog predmeta savija na takav način da se praktično odbija od donjeg sloja vazduha kao od ravnog ogledala. Lik predmeta je izvrnut i nalazi se ispod stvarnog predmeta. Neki svetlosni zraci putuju pravolinijski kroz sloj vazduha iste gustine, tako da posmatrač koji se nalazi dovoljno daleko od objekta vidi i predmet i njegov izvrnut lik, koji kao da se ogleda u vodi. Podloga od koje se svetlost

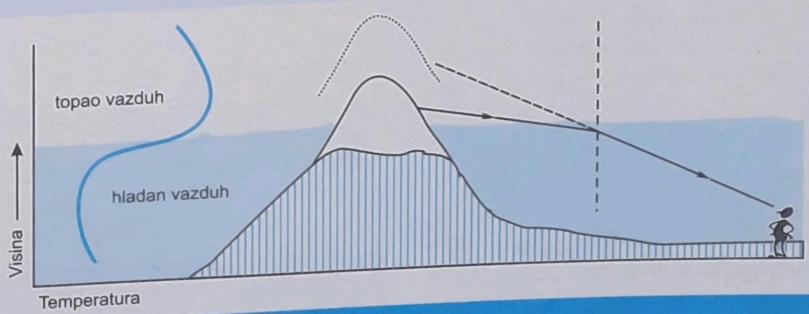
odbija dobija plavu boju, zbog izvnutnog lika nebeskog svoda koji se na nju projektuje, što upotpunjava sliku o lažnoj vodenoj površini.

Zbog odbijanja plavih zraka nebeskog svoda u sloju ređeg vazduha pri zagrejanom tlu, asfaltna površina tokom vrelih letnjih dana izgleda mokra. Vozač u daljini vidi lokve na putu, koje, kada im se približi, nestaju. Ista optička iluzija javlja se i u pustinjama. Putnici u daljini vide vodene površine, kojima nikako ne uspevaju da se približe.

Gornje optičke varke se javlaju u ekstremno hladnim oblastima,



Slika 3.14 Donja optička varka



Slika 3.15 Gornja optička varka

gde je vazduh uz ledenu ili snežnu površinu mnogo hladniji od vazduha iznad (slika 3.15). U tom slučaju Sunčevi zraci se savijaju ka normali tako da je lik predmeta uzdignut u odnosu na njegov stvarni položaj. Pojava gornjih optičkih varki je najčešća u polarnim oblastima, a na manjim geografskim širinama se javljaju kada dođe do prodora toplog vazduha iznad tla prekrivenog snežnim pokrivačem ili iznad hladne morske površine.

Bočne optičke varke se javljaju kada se gustina vazduha menja u horizontalnom pravcu, usled mešanja toplog i hladnog vazduha ili usled različitog zagrevanja vazduha iznad različitih vrsta podloga.

Kada je termička stratifikacija vazduha složena, može se videti i po nekoliko lažnih likova objekata.

SINTILACIJA I ZELENI ZRAK

Pri prolasku kroz nehomogenu atmosferu dolazi do promene intenziteta svetlosnog zraka koji dolazi sa udaljenih tačkastih izora kao što su zvezde, pa se zbog toga dobija utisak da zvezde trepere. Ova pojava naziva se **sintilacija**.

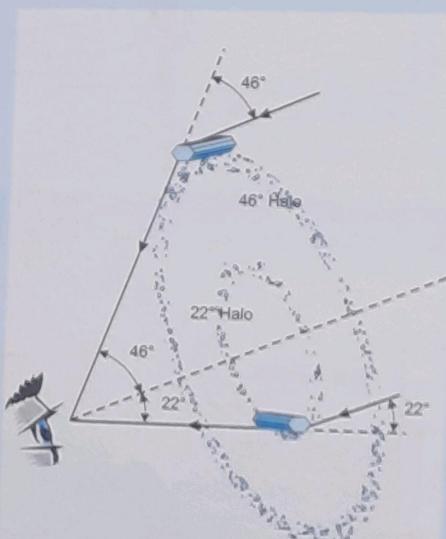
Još jedna veoma interesantna optička pojava, poznata pod nazivom **zeleni zrak**, vezana je za rasipanje i refrakciju Sunčeve svetlosti pri prolasku kroz atmosferu. Zeleni zrak se veoma retko može osmotriti i to obično iznad površine mora ili prostrane ravnice pri zalasku ili izlasku Sunca, kada je atmosfera veoma prozračna. Tada se, zbog niskog položaja Sunca, zraci najmanjih talasnih dužina u najvećoj meri rasipaju, dok zraci najvećih talasnih dužina ne prelaze liniju horizonta, zbog manjeg ugla refrakcije, pa

se dešava da Sunčeva svetlost bude smaragdnozelene boje u trenutku kada Sunce nestaje iza horizonta ili kada se pojavljuje gornja ivica Sunčevog diska. Ova pojava traje veoma kratko, svega sekund ili dva, ali u polarnim predelima može trajati znatno duže zbog spore promene visine Sunca iznad horizonta.

HALO, LAŽNA SUNCA I SVETLOSNI STUBOVI

Halo i lažna Sunca nastaju zbog prelamanja svetlosti, a svetlosni stubovi zbog odbijanja svetlosti na kristalićima leda.

Halo je svetli prsten oko Sunca ili Meseca. Nastaje prelamanjem svetlosti na kristalićima leda cirusnih oblaka (slika 3.16). Halo pojave mogu biti različite u zavisnosti od oblika, strukture i gustine ledenih kristalića, kao i ugla pod kojim padaju Sunčevi zraci. Prsten je najčešće beo, ali može biti sastavljen i od spektralnih boja sa crvenom unutrašnjom ivicom. Unutrašnjost prstena je obično tamnija od



Slika 3.16 Nastanak haloa prelamanjem svetlosti na kristalićima leda

okolnog neba. Ponekad se ne vidi ceo prsten, već samo jedan njegov deo. Najčešće se javlja halo s prečnikom od 22° (ugao pod kojim posmatrač vidi rastojanje između centra Sunca ili Meseca i prstena). Halo sa prečnikom 46° javlja se ređe i slabijeg je sjaja. Ponekad se mogu javiti *tangencijalni lukovi*, koji dodiruju (tangiraju) prsten najčešće u najvišoj ili najnižoj tački, dok je ispušćena strana okrenuta ka Suncu ili Mesecu.

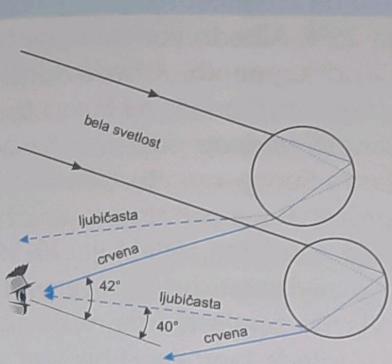
Lažna Sunca nastaju zbog prelamanja i disperzije Sunčevih zraka na kristalićima leda, kada se Sunce nalazi blizu horizonta i u istoj horizontalnoj ravni sa posmatračem i lednim kristalićima. Tada posmatrač može videti dve svetle mrlje, koje se javljaju levo i desno od Sunca, sa bojama od crvene na strani ka Suncu do plave na strani od Sunca.

Halo pojave se javljaju mnogo češće od duge. U Evropi se mogu osmotriti prosečno oko dva puta nedeljno. Najčešće se javlja halo s prečnikom od 22° , potom lažna Sunca, pa zatim gornji tangencialni lukovi.

Svetlosni stubovi predstavljaju snopove svetlosti koji se prostiru od Sunca naviše ili naniže. Javlju se najčešće pri zalasku i izlasku Sunca zbog refleksije svetlosti na kristalićima leda koji sporo padaju.

DUGA

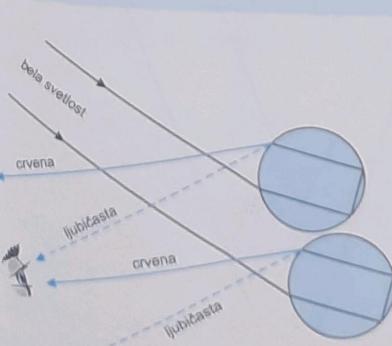
Duga je svetlosni luk koji nastaje zbog refrakcije, disperzije i refleksije svetlosti, mnogo češće Sunčeve nego Mesečeve, na kapljicama vode (slika 3.17). Da bi video dugu, posmatrač mora da se nalazi između izvora svetlosti i vodenih kapi. Zrak bele svetlosti koji nailazi na vodenu kap se prelama, jer ulazi u optički gušču sredinu i pri tom se razlaže na spektralne boje, jer se ljubičasta boja prelama najviše,



Slika 3.17 Nastanak duge prelamanjem i odbijanjem svetlosti na kapljicama vode

a crvena najmanje. Najveći deo svetlosti prolazi kroz kapljicu i posmtrač je ne vidi, ali onaj deo koji se odbije od zadnje strane kapi pod takvim uglom da nakon odbijanja ostane u kapljici vode, dospeva u oko posmatrača (slika 3.17). Iz jedne kapljice osmatrač vidi samo jednu boju, tako da je potreban veoma veliki broj kapljica na kojim će doći do refrakcije, disperzije i refleksije svetlosti da bi se video dugin luk.

Spoljašnji luk duge je crvene boje, koja je najizraženija od svih dugih boja. Ostale boje su slabije izražene, posebno plava i ljubičasta,



Slika 3.18 Nastanak sporedne duge prelamanjem i dvostrukim odbijanjem svetlosti na kapljicama vode

koje se najčešće i ne vide. Duga obično ima jasno vidljive samo tri boje: crvenu, žutu i zelenu. Često se pored glavne javlja i sporedna duga sa obrnutim rasporedom slabije izraženih boja. *Sporedna duga* se javlja usled dvostrukog odbijanja svetlosti u kapljicama vode (slika 3.18).

Duga se može videti i na kapljicama vode oko vodopada, fontana, rasprskivača. Bela duga sa jedva vidljivim bojama na spoljašnjoj i unutrašnjoj ivici nastaje disperzijom i odbijanjem svetlosti na kapljicama magle veoma malih dimenzija.

KORONA, BIŠOPOV PRSTEN, IRIZACIJA I GLORIJA

Uzrok ovih svetlosnih pojava je difrakcija svetlosti.

Korona ili **venac** je svetli oreol oko Sunčevog ili Mesečevog diska, koji nastaje usled difrakcije svetlosti na vodenim kapljicama ili kristaličima leda u oblacima. Kada su dimenzije oblačnih kapljica i kristaliča leda približno jednake i bliske talasnoj dužini svetlosti, tada oblak predstavlja prirodnu difrakcionu rešetku, gde kapljice vode predstavljaju otvore a kristalići leda pukotine. Difrakcionu rešetku mogu formirati i polenova zrca ili neke druge čestice koje lebde u vazduhu. Unutrašnjost venca je obično beličaste, plavičaste ili žučkaste boje, a ponekad mogu biti vidljive i spektralne boje, od plave unutrašnje do tamnocrvene spoljašnje ivice. Veličina i izraženost venca zavise od dimenzija vodenih kapljica i ledenihi kristaliča. Ponekad se može javiti i više venaca, s tim da su boje onih spoljašnjih slabije izražene. Venac oko Meseca je češće vidljiv nego venac oko Sunca, zbog jačine Sunčeve svetlosti koja zaslepljuje posmatrača.

Bišopov prsten je prsten ružičaste ili tamnocrvene boje, koji se javlja zbog difrakcije svetlosti pri prolasku kroz oblak sastavljen od sićušnih čestica vulkanskog pepela.

Irizacija je svetlosna pojava koja se javlja kada je nebeski svod prekriven oblacima kroz koji se vidi Sunce. Delovi oblaka obojeni su pastelnim bojama, najčešće zelenom ili ružičastom sa postepenim prelazima. Nastaje zbog difrakcije Sunčeve svetlosti pri prolasku kroz oblak koji su sastavljeni od kapljica i kristaliča leda različitih dimenzija.

Glorija se javlja oko senke posmatrača ili nekih drugih objekata (aviona, zgrada itd.) u obliku jednog ili više koncentričnih obojenih prstenva. Nastaje zbog difrakcije odbijenih Sunčevih zraka od gornjeg sloja oblaka i magle, koji se uglavnom sastoje od vodenih kapljica. Da bi se ova svetlosna pojava mogla osmotriti, posmatrač treba da se nalazi iznad sloja magle ili oblaka i između ovog sloja i izvora svetlosti, pa se zbog toga najčešće može videti na planinskim vrhovima ili iz aviona. Glorija se mnogo češće javlja danju pri Sunčevoj svetlosti nego noću pri svetlosti Meseca. Unutrašnja ivica je ljubičaste, a spoljašnja crvene boje. Kada je senka posmatrača groteskno izdužena, ova pojava se naziva *Brokenka utvara*, zbog njene relativno česte pojave na planinskom vrhu Broken u Nemačkoj. Pojava slična gloriji može se javiti oko izdužene posmatračeve senke na travi prekrivenoj rosom, kada je posmatrač okrenut ledima jutarnjem Suncu. Svetli oreol oko glave senke posmatrača poznat je pod nazivom „*Heiligschein*”¹⁶.

Fotografije većine gore opisanih fotometeora mogu se pronaći u dodatku VI na kraju knjige.

¹⁶ Heiligschein (nem. Heilige – svetac, Schein – sjaj, oreol)

3.4 Apsorpcija i refleksija Sunčevog zračenja na površini Zemlje

Sunčev zračenje koje dospe na Zemljinu površinu biva apsorbovano ili reflektovano od strane različitih vrsta podloge: vode, kopna ili večitog snega i leda.

Na apsorptivnu moć kopna utiču: boja i hrapavost zemljišta, sadržaj vlage, biljni i snežni pokrivač i dr. Tamna i hrapava zemljišta apsorbuju više od svetlih i manje hrapavih, dok sneg, naročito svež i rastresit, apsorbuje vrlo malo Sunčeve energije. Kao i apsorptivnost, i refleksivnost Zemljine površine zavisi od fizičkih svojstava i stanja tla. Refleksivnost neke površine obično se izražava preko albeda.

Albedo¹⁷ je količnik reflektovanog zračenja sa neke površine i ukupnog zračenja koje padne na tu površinu, izražen u procentima. Vrednost albeda varira od 5 do preko 90% u zavisnosti od vrste i stanja podloge (tabela 3.3).

Tabela 3.3 Albedo različitih površina u kratkotalasnom delu spektra

Površina	Albedo(%)
sneg (suv i čist)	75-95
sneg (mokar i/ili prljav)	25-75
voda (visina Sunca veća od 25°)	< 10
voda (visina Sunca manja od 25°)	10-70
led	30-40
pesak	25-40
svetlo zemljište	20-30
tamno zemljište	10-15
trava	15-25
poljoprivredne kulture	15-25
voćnjaci	15-20
listopadna šuma	15-20
četinarska šuma	5-20
asfalt	5-10

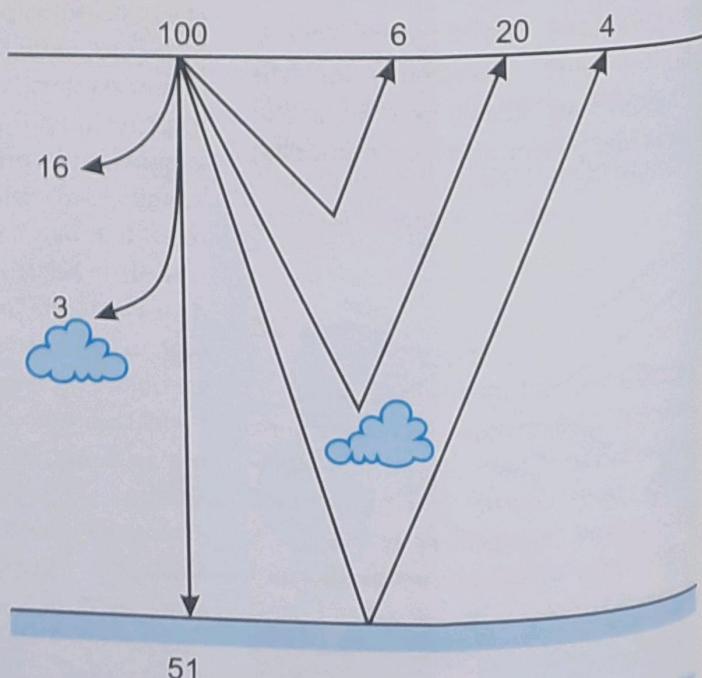
Najveći albedo ima sneg, posebno svež i rastresit. Sneg koji je tek pao može da ima albedo čak 95%. Stari sneg, koji je vlažniji i prljaviji, ima znato manju

¹⁷ albedo (lat. albus – beo)

refleksivnu moć, tako da vrednost njegovog albeda može iznositi svega 25%. Albedo vodenih površina je u proseku manji od kopnenih. Albedo vodenih površina varirara u zavisnosti od visine Sunca iznad horizonta i ustalasanosti vodene površine. Kada je voda mirna, bez talasa a Sunce u zenitu, albedo iznosi svega nekoliko procenata, a pri niskom položaju Sunca čak 70%. Golo zemljište reflektuje 10-30% Sunčevog zračenja u zavisnosti od tipa zemljišta i njegove vlažnosti. Vlažno zemljište ima manji albedo od suvog i zato i izgleda tamnije. U biljnog pokrivaču procesi apsorpcije, refleksije i transmisije su vrlo komplikovani, a vrednost albeda zavisi od spektralnog sastava i upadanog ugla Sunčevog zračenja, orientacije lišća, optičkih karakteristika i strukture biljnog pokrivača.

3.5 Raspodela Sunčevog zračenja u sistemu Zemlja-atmosfera

Samo deo ukupnog Sunčevog zračenja koje stigne na gornju granicu atmosfere, dospe i do površine Zemlje. Raspodela Sunčeve energije nije ravnomerna, već zavisi od geografske širine mesta i doba godine.



Slika 3.19 Bilans zračenje u sistemu Zemlja-atmosfera (prema podacima Wallace and Hobs, 2006)

3.5.1 Srednji godišnji bilans zračenja

Na slici 3.19 dati su procentualni odnosi prosečnih godišnjih vrednosti reflektovanog i apsorbovanog zračenja od strane Zemlje i atmosfere. Atmosfera apsorbuje 16% a reflektuje 6%, dok oblaci apsorbuju 3%, a reflektuju 20% Sunčevog zračenja koje stigne na gornju granicu atmosfere. Dakle, do površine Zemlje dospe ukupno 55%, od čega površina Zemlje apsorbuje 51% a reflektuje 4%.

Albedo Zemlje kao planete (zajedno sa atmosferom) predstavlja onaj deo energije dospele na gornju granicu atmosfere koji se vrati u međuplanetarni prostor. Njegova srednja godišnja vrednost je 30% (slika 3.19).

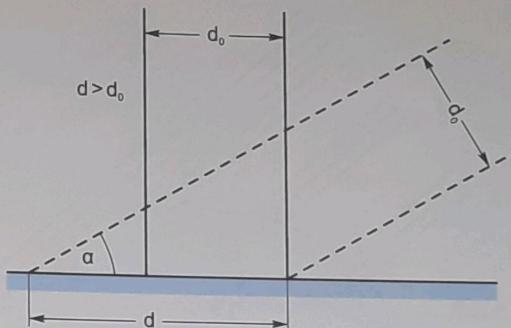
3.5.2 Direktno, difuzno i globalno Sunčev zračenje

Difuzno Sunčev zračenje dolazi do površine Zemlje posle rasipanja (difuzne refleksije) u atmosferi, dok **direktno Sunčev zračenje** dolazi do površine Zemlje bez rasipanja na molekulima vazduha. Zbir direktnog i difuznog Sunčevog zračenja naziva se **globalno Sunčev zračenje**. Od ukupnog Sunčevog zračenja koje dospe do površine Zemlje, oko 40% čini direktno, a oko 60% difuzno zračenje. U spektru difuznog zračenja ima više talasa manjih talasnih dužina, zbog većeg rasipanja kraćih talasa.

Intenzitet globalnog Sunčevog zračenja nekog mesta, kao i intenziteti difuznog i direktnog zračenja zavise od:

- upadnog ugla zračenja,
- nadmorske visine,
- količine vodene pare u vazduhu,
- oblačnosti,
- prozračnosti vazduha.

Sunčevi zraci koji padaju koso obasjavaju veću površinu od zraka koji padaju pod pravim uglom, pa je zbog toga intenzitet zračenja manji jer se ista količina energije raspoređuje na veću površinu (slika 3.20). Koristeći osnovna trigonometrijska pravila, lako se dolazi do Lambertovog zakona koji opisuje promenu intenziteta zračenja sa promenom upadnogугла:



Slika 3.20 Zavisnost intenziteta zračenja od upadnog ugla

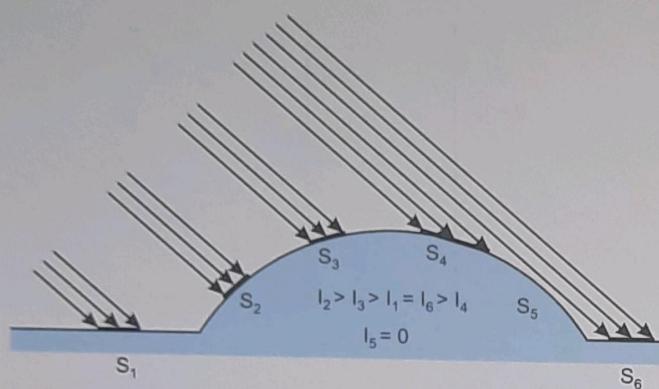
$$I = I_0 \sin \alpha$$

gde je: I – količina energije koja pada na horizontalni presek jedinične površine,
 I_0 – količina energije koja prolazi kroz normalni presek jedinične površine,
 α – upadni ugao zračenja.

Upadni ugao, kao i intenzitet globalnog, direktnog i difuznog zračenja koje dospeva na horizontalnu površinu, raste sa porastom visine Sunca iznad horizonta. Intenzitet difuznog zračenja sporije raste od intenziteta direktnog Sunčevog zračenja, jer se sa porastom visine Sunca smanjuje dužina puta Sunčevih zraka kroz atmosferu, a time i rasipanje zračenja. Porastom visine Sunca procentualno se smanjuje udeo difuznog u ukupnom, globalnom zračenju, iako se njegova absolutna vrednost povećava.

Promenom upadnog ugla menja se i spektralni sastav Sunčevog zračenja. Smanjenjem visine Sunca vrši se i preraspodela energije ka većim talasnim dužinama. Pri malim visinama Sunca veći deo ukupnog Sunčevog zračenja koje dospeva na površinu Zemlje je iz infracrvenog dela spektra, a sa porastom visine Sunca povećava se udeo vidljivog i ultraljubičastog zračenja. Što se tiče vidljivog dela spektra, sa smanjenjem visine Sunca povećava se udeo crvene, a opada udeo plave i ljubičaste svetlosti, dok se količina žute svetlosti veoma мало menjala sa promenom visine Sunca.

Kod nagnutih površina ugao pod kojim padaju Sunčevi zraci ne zavisi samo od visine Sunca iznad horizonta, već i od nagiba i ekspozicije terena. Na slici 3.21 može se videti da različito orijentisane površi-



Slika 3.21 Uticaj ekspozicije terena na intenzitet Sunčevog zračenja

ne primaju i različite količine Sunčeve energije. Lako Sunce nije u zenithu, na površinu S_2 zraci padaju pod pravim uglom, pa je i intenzitet zračenja tu najveći. Prisjone strane, tj. strane okrenute ka Suncu, primaju više Sunčeve energije od osojnih strana, okrenutih suprotno od Sunca. Tako pri istom položaju Sunca na površinu S_5 , koja ima isti nagib kao i površina S_2 , direktno Sunčev zračenje uopšte ne dospeva.

Sa porastom nadmorske visine mesta raste globalno i direktno Sunčev zračenje, dok udeo difuznog zračenja opada, jer Sunčevi zraci prelaze manji put kroz atmosferu. Osim toga npr. na planinskim vrhovima vazduh je mnogo prozračniji i sadrži manje pri-

mesa nego u dolinama, pa je i zbog toga smanjena apsorpcija i rasipanje Sunčevog zračenja.

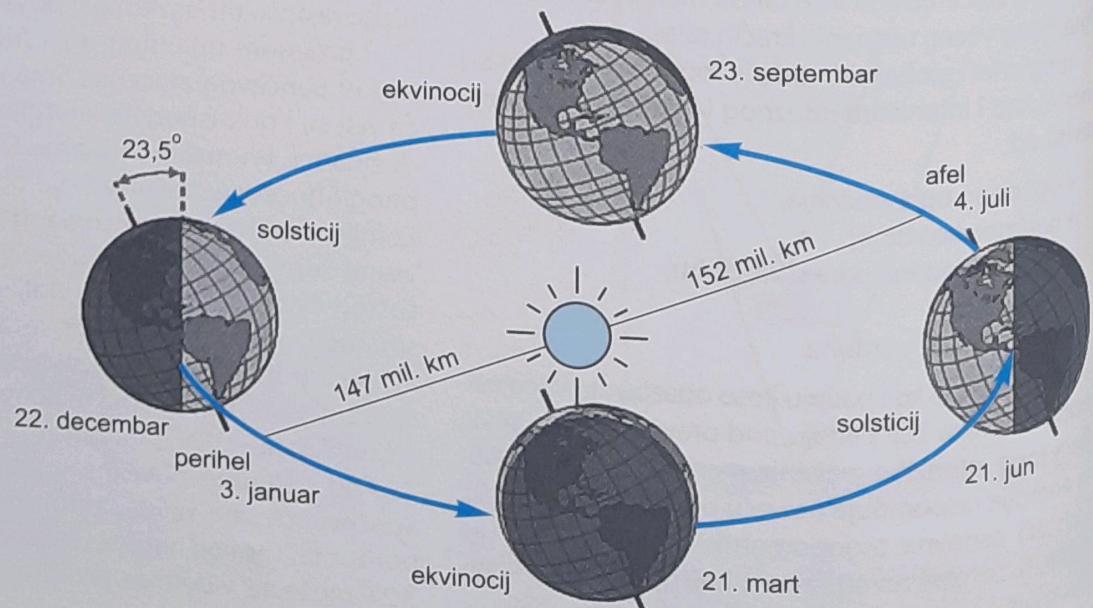
Povećana oblačnost i prisustvo veće količine vodene pare i primesa u atmosferi umanjuju intenzitet globalnog i direktnog zračenja zbog povećane apsorpcije i difuzne refleksije zračenja. Sa druge strane, rasipanje zračenja na česticama i oblacima povećava intenzitet difuznog zračenja.

Intenzitet difuznog zračenja atmosfere pri oblačnom vremenu može biti i za tri do četiri puta veći nego pri vedrom vremenu. Različiti rodovi oblaka koji imaju različitu debljinu, visinu i strukturu, različito i propuštaju Sunčevu zračenje. Oblaci u velikoj meri umanjuju intenzitet direktnog i globalnog Sunčevog zračenja, posebno niski oblaci koji se sastoje od vodenih kapi, dok visoki oblaci, koji se sastoje od ledenih kristalića, to čine u znatno manjoj meri.

3.5.3 Godišnji i dnevni hod Sunčevog zračenja

Količina Sunčeve energije koja dospe na neko mesto na Zemljinoj površini zavisi u prvom redu od ugla pod kojim padaju Sunčevi zraci i dužine obdanice. Upadni ugao i trajanje dana i noći određuju geografska širina mesta i doba godine. Promene dužine obdanice i ugla pod kojim padaju Sunčevi zraci na površinu Zemlje u toku godine i menjanje ovih veli-

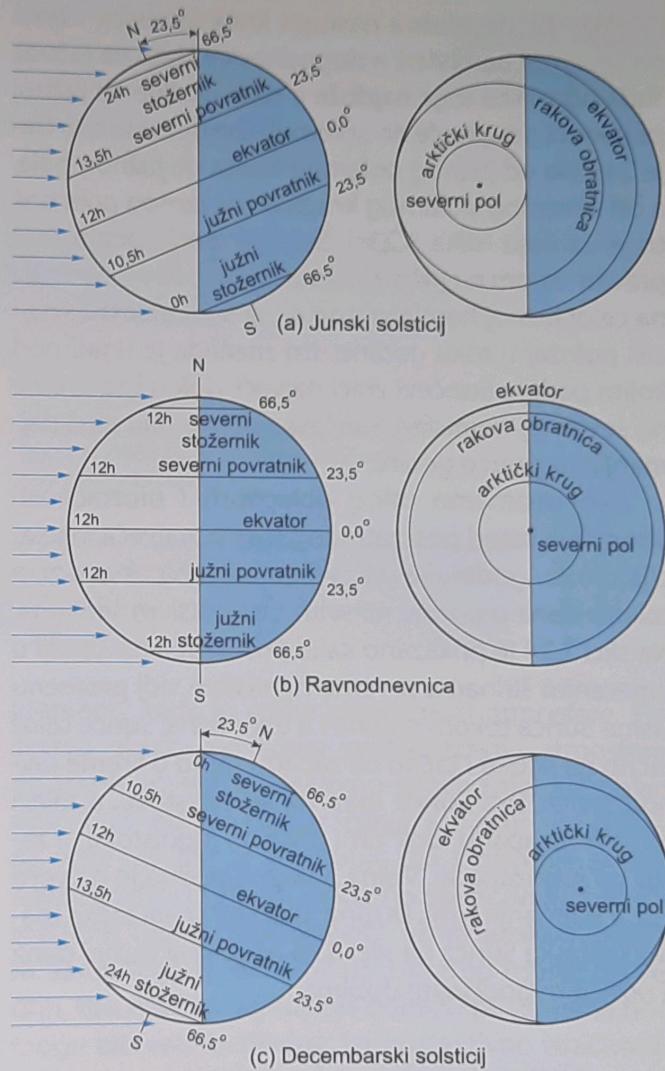
Slika 3.22
Kretanje Zemlje
oko Sunca



čina sa geografskom širinom, direktna su posledica činjenice da naša planeta kruži oko Sunca po eliptičnoj putanji, a istovremeno se i okreće oko svoje ose, koja ima otklon od $23,5^\circ$ od normale na ravan putanje (slika 3.22). Najudaljenija tačka putanje Zemlje oko Sunca, zove se afel, a najbliža perihel. Zemlja prolazi kroz afel požetkom jula, a kroz perihel početkom januara (slika 3.22). Datum kada se Zemlja nalazi u afelu ili perihelu, variraju za nekoliko dana od godine do godine. Udaljenost između Zemlje i Sunca ne utiče na to koje će biti godišnje doba (za to je odgovorna nagnutost Zemljine ose rotacije), već utiče na prosečne temperature tokom godine. Tako kada bi Zemlja bila najbliža Suncu u julu, a najdalja u januaru, tada bi leta bila toplija a zime hladnije nego što su sada na severnoj hemisferi, a obrnuto bi bilo na južnoj polulopti.

Na svom putu oko Sunca Zemlja prolazi kroz četiri važne tačke, koje označavaju početke godišnjih doba i nazivaju se solsticij¹⁸ i ekvinocij¹⁹ (slika 3.22). Solsticiji su najviša i najniža tačka u kojoj se Sunce nađe tokom godine pri svom prividnom kretanju po nebeskom svodu. Ekvinoceji ili ravnodnevnevice su dve tačke u kojima putanja po kojoj se Sunce prividno kreće preseca nebeski ekvator i tada dan i noć svuda na Zemlji traju po 12 sati. Trenuci nastupa solsticija i ekvinocija se menjaju od godine do godine, u kraćim vremenjskim razdobljima za 1–2 dana, a u dužim ne za više od 3–4 dana.

Letnji solsticij ili dugodnevica na severnoj hemisferi nastupa oko 21. juna. Tada Sunčevi zraci padaju pod najvećim uglom na površinu Zemlje u toku godine na severnoj polulopti i dužina dana je najveća u svim tačkama severne hemisfere (slika 3.23a). Sunce se tog dana nalazi u zenitu (zraci padaju pod pravim uglom) iznad uporednika geografske širine $23,5^\circ$ (severni povratnik ili rakova obratnica). Što idemo severnije od ekvatora dani su sve duži, a počev od severnog stožernika ili polarnog kruga, kako se drugačije naziva uporednik geografske širine $66,5^\circ$, dan traje 24 časa. Za južnu hemisferu 21. juna nastupa zimski solsticij ili kratkodnevica. Tada Sunčevi zraci padaju pod najmanjim uglom, a dan traje najkraće u



Slika 3.23 Ugao pod kojim padaju Sunčevi zraci na Zemljinu površinu i dužina obdanice u vreme solsticija i ravnodnevica

godini na južnoj polulopti (slika 3.23a). Trajanje dana se smanjuje sa porastom geografske širine, a počev od južnog stožernika noć traje 24 časa.

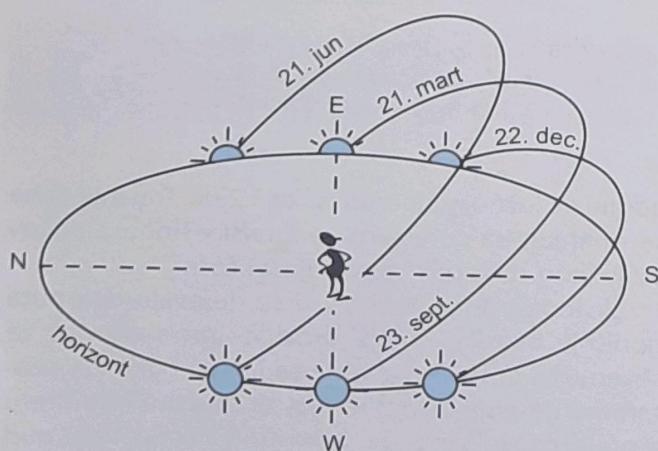
Ekvinoceji ili ravnodnevnevice se dešavaju dva puta godišnje oko 21. marta (prolećna ravnodnevica za severnu hemisferu a jesenja za južnu) i oko 23. septembra (jesenja ravnodnevica za severnu hemisferu a prolećna za južnu). Tada Sunčevi zraci padaju pod pravim uglom na ekvatoru, dok se upadni ugao smanjuje sa geografskom širinom i ka severnom i ka južnom polu, a obdanica traje 12 sati na svim geografskim širinama (slika 3.23b).

¹⁸ solsticij(um) (lat. Sol – Sunce i sistere – stati, zastati)

¹⁹ ekvinocij(um) (lat. aequus – jednak, isti i nox – noć)

Oko 22. decembra nastupa kratkodnevica i zima na severnoj hemisferi, a dugodnevica i leto na južnoj. Tada obdanica traje najduže u toku godine na južnoj polulopti, a najkraće na severnoj. Tog datuma dan traje 24 časa od južnog polarnog kruga do južnog pola, a od severnog polarnog kruga do severnog pola noć traje 24 časa (slika 3.23c). Sunčevi zraci padaju pod pravim uglom na južni povratnik (jarčevu obratnicu) i na celoj južnoj hemisferi tog dana Sunce dostiže najviši položaj u toku godine, što znači da je ugao pod kojim padaju Sunčevi zraci najveći, dok u isto vreme na severnoj hemisferi Sunčevi zraci padaju pod najmanjim uglom u godini.

Ako izuzmemos uticaj oblačnosti i prozračnosti atmosfere iznad posmatranog mesta, najveća insolacija u toku godine je leti, svuda osim na ekvatoru, a tokom dana u podne na svim geografskim širinama. Na slici 3.24 je prikazano kako posmatrač na Zemlji u umerenim širinama severne hemisfere vidi promenu visine Sunca tokom godine i u toku dana. Sunce izlazi tačno na istoku i tačno na zapadu samo u vreme ravnodnevica. Leti Sunce izlazi na severoistoku, a zalazi na severozapadu, dok zimi izlazi na jugoistoku, a zalazi na jugozapadu. Visina Sunca u podne je najveća leti, a najmanja zimi. Dužina luka koji spaja tačke izlaska i zalaska Sunca na slici 3.24 odgovara dužini dana u različitim godišnjim dobima.

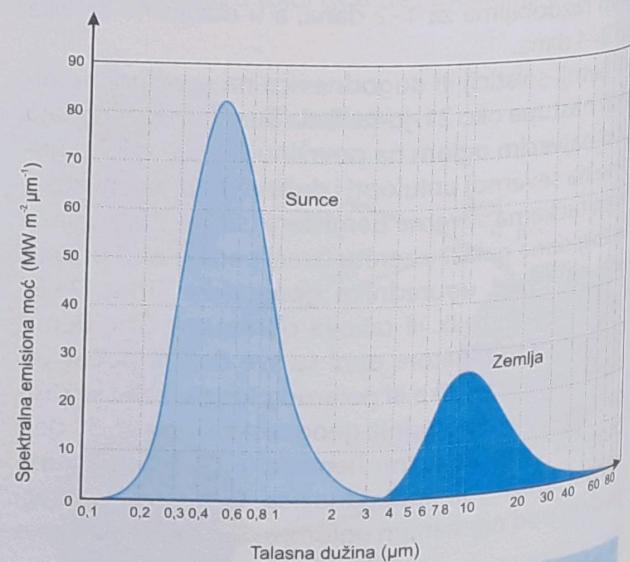


Slika 3.24 Podnevna visina i tačke izlaska i zalaska Sunca u toku godine u umerenim širinama

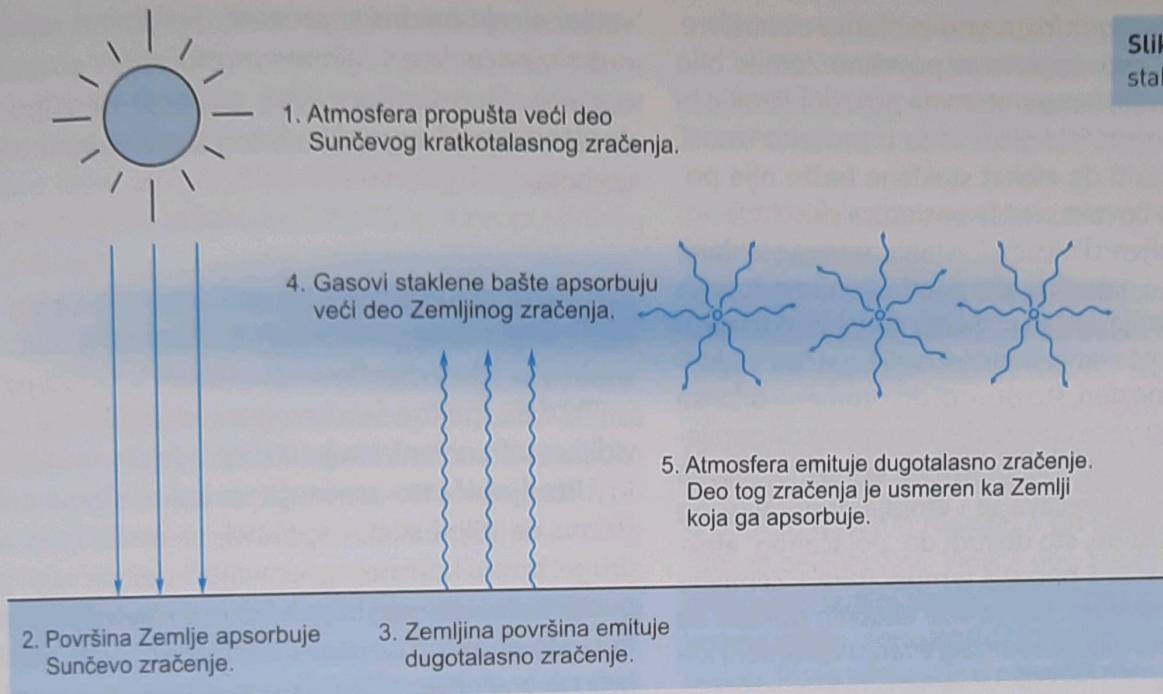
Stvarno trajanje Sunčevog sjaja predstavlja dužnu vremenskog perioda u kome je Sunce sijalo iznad nekog mesta i određuje se instrumentalnim merenjima. **Potencijalno trajanje Sunčevog sjaja** zavisi samo od geografske širine mesta i datuma, tj. uzajamnog položaja Zemlje i Sunca u tom trenutku. **Relativno trajanje Sunčevog sjaja** izražava se u procentima i predstavlja količnik stvarnog i potencijalnog trajanja Sunčevog sjaja. Stvarno trajanje Sunčevog sjaja jednak je potencijalnom samo u slučaju kada je nebo bez oblaka i kada je ekspozicija terena takva da se posmatrano mesto ne nalazi u senci npr. planine ili nekog objekta.

3.6 Zračenje Zemlje i atmosfere, efekat staklene baštne

Zemlja kao i svako drugo telo zrači i to zračenje se naziva **Zemljino izračivanje**, **Zemljina radijacija** ili **terestrijsko zračenje**. Zračenje Zemlje, mnogo hladnijeg tela od Sunca, znatno je većih talasnih dužina od Sunčevog zračenja (slika 3.25). Najveći deo zračenja Zemlje je u infracrvenom delu spektra između talasnih dužina 3 i 25 μm sa maksimumom oko 10 μm .



Slika 3.25 Krive zračenja Sunca i Zemlje



Slika 3.26 Efekat staklene bašte

Atmosfera, koja u velikoj meri propušta kratkotrasno Sunčeve zračenje, apsorbuje veći deo dugotrasnog zračenja koje emituje Zemljina površina. Najviše dugotrasnog zračenja Zemlje apsorbuju vodena para i ugljen-dioksid (slika 3.6). Deo spektra između 8 i 11 m naziva se **atmosferski prozor**, jer zračenje iz tog dela spektra atmosfera bez oblaka skoro uopšte ne apsorbuje, izuzev uskog ospega talasnih dužina između 9,6 i 9,8 μm koje apsorbuje ozon. Kroz atmosferski prozor prolazi najveći deo dugotrasnog Zemljinog zračenja koje odlazi u vazionski prostor.

Pored toga što apsorbuju, vodena para, ugljen-dioksid i ostali gasovi staklene baštice i emituju zračenje i to u dugotrasnom delu spektra. Atmosfera na svim visinama apsorbuje i emituje naviše i naniže dugotrasno zračenje srazmerno sadržaju prisutnih apsorbenata i u zavisnosti od temperature i emisivnosti sloja. Zbog najveće koncentracije vodene pare i ugljen-dioksida, najviše dugotrasnog zračenja se apsorbuje i emituje u prizemnim slojevima atmosfere. Sveukupno atmosfera veći deo infracrvenog zračenja emituje ka Zemljinoj površini, a manji deo u vazionu. Dugotrasno zračenje atmosfere usmereno ka Zemlji naziva se **protivzračenje ili kontrazračenje atmosfere**.

Razlika između zračenja Zemlje i kontrazračenja atmosfere naziva se **efektivno ili stvarno zračenje Zemlje**. Efektivno izračivanje najveće je pri vedrom

vremenu, kada je velika prozračnost atmosfere, prisustvo oblaka povećava protivzračenje atmosfere, odnosno smanjuje efektivno izračivanje, jer oblačni sloj debljine veće od 100 m apsorbuje čak i zračenje iz dela spektra od 8 do 11 μm , dodatno povećavajući efekat staklene baštice „zatvaranjem“ atmosferskog prozora. Zbog toga su oblačne noći znatno toplige od vrednih, bez obzira na godišnje doba. U pustinjama noći mogu biti veoma hladne, jer je efektivno izračivanje veliko zbog odsustva oblačnosti i male količine vode-ne pare u vazduhu.

Dakle, atmosfera ne vraća Zemljino dugotrasno zračenje nazad ka Zemlji, tako što ga reflektuje (odbiјa), već ga prvo apsorbuje (upije), a onda emituje zračenje u skladu sa svojom temperaturom kao i svako drugo telo. Zbog ovog kontazračenja atmosfere, dolazi do **efekta staklene baštice** (slika 3.26). Sličan proces se dešava i u staklenicima, ali ne i u potpunosti isti. Staklo, kao i atmosfera, propušta kratkotrasno Sunčeve zračenje a ne propušta dugotrasno zračenje koje dolazi sa tla i biljaka. Međutim, u staklenicama do povećanja temperature dolazi u velikoj meri i zbog odsustva cirkulacije i mešanja vazduha zbog postoja-nja fizičke barijere.

Dakle, postoje dva izvora toplote za površinu Zemlje – jedan je kratkotrasno Sunčeve zračenje, a

drugi dugotalsno infracrveno zračenje atmosfere. Kada bi jedini izvor toplote za površinu Zemlje bilo Sunčev zračenje, temperatura na površini Zemlje bi bila -18°C , a ne 15°C koliko sada u proseku iznosi. Važno je naglasiti da efekat staklene bašte nije posledica uticaja čoveka, već je posledica prisustva vodene pare, ugljen-dioksida i ostalih gasova staklene bašte, koji bi se nalazili u atmosferi i da nema čoveka i njegovog uticaja. Usled različitih ljudskih aktivnosti dolazi do povećavanja koncentracije gasova staklene bašte u atmosferi, što dovodi do promene bilansa zračenja. Zbog veće apsorpcije Zemljinog dugotalsnog zračenja od strane atmosfere odnosno gasova staklene bašte, povećava se i emisija dugotalsnog zračenja atmosfere, što dovodi do „pojačanog“ efekta staklene bašte i porasta temperature i Zemljine površine i atmosfere. Sve je više naučnih dokaza da to dalje vodi ka globalnom zagrevanju i promeni klime na Zemlji.

3.7 Zračenje i biljni svet

Sunčeva energija, koja na Zemljiniu površinu dosegne direktnim i difuznim zračenjem, od velikog je značaja za biljni svet. Biljni pokrivač apsorbuje, reflektuje i propušta Sunčev zračenje, ali i zrači u dugotalsnom delu spektra.

Bilansi zračenja iznad tla pokrivenog vegetacijom i golog zemljišta veoma se razlikuju. Vegetacija ima veliku apsorpcionu moć u oblasti vidljivog dela spektra, a umereno refleksivna svojstva u oblasti blisko infracrvenog zračenja, dok se kod golog zemljišta refleksivnost postepeno povećava sa porastom talasne dužine zračenja. Bilans zračenja unutar biljnog sklopa zavisi sa jedne strane od vrste biljke, gustine i arhitekture biljnog sklopa (oblika krune, boje, veličine, oblika i položaja listova), a sa druge strane od spektralnog sastava zračenja.

Svetlost je važan ekološki²⁰ faktor koji je neophodan za obavljanje osnovnog fiziološkog procesa u biljci – procesa fotosinteze²¹. Sunčev zračenje ima

²⁰ Oiko (grč. oikos – kuća, logia) – nauka o odnosima životinja i biljaka prema njihovoj okolini.

²¹ Fotosintesa (phos – svetlost, synthesis – sastavljanje) – fotohemski, oksidoreduktioni proces u kome se iz prostih neorganinskih jedinjenja (ugljen-dioksida i vode) pod dejstvom svetlosti stvaraju složena organska jedinjenja (ugljeni hidrati).

veliki uticaj i na druge procese u biljkama, na njihov rast i razviće, kao i njihove morfološke i anatomске osobine. Dejstvo Sunčevog zračenja na biljni svet zavisi od njegovog spektralnog sastava, intenziteta i trajanja.

3.7.1 Uticaj spektralnog sastava Sunčevog zračenja na biljni svet

Tri dela spektra Sunčevog zračenja, ultraljubičasti, vidljivi i infracrveni, imaju različito dejstvo na biljke.

Ultraljubičasto zračenje sa jedne strane deluje štetno na biljni svet, usporavajući rast biljaka, a sa druge strane korisno, sprečavajući delimično ili potpuno razvoj i širenje biljnih bolesti i štetočina. Pored toga što direktno uništava izazivače bolesti, ultraljubičasto zračenje utiče i na povećanje otpornosti biljaka. Ultraljubičasti zraci talasnih dužina između 0,3 i $0,4 \mu\text{m}$ usporavaju rast biljaka, ali utiču i na povećanje sadržaja belančevina i vitamina. Ultraljubičasti zraci kraći od $0,3 \mu\text{m}$ imaju izrazito štetno dejstvo i mogu biti pogubni za biljku. Delovanje ultraljubičastog zračenja je i jedan od razloga što je vegetacija u planinskim predelima niža, jer intenzitet ovog zračenja raste sa porastom nadmorske visine. Zbog dejstva ultraljubičastog zračenja, biljke rastu brže nego danju, iako tome doprinose i drugi faktori kao što su uticaj temperature na proces disanja, različito snabdevanje biljke vodom u toku dana i noći itd. Biljke su razvile i odbrambene mehanizme kojima se štite od štetnog dejstva UV zraka. Ako su izložene Sunčevom zračenju, proizvode jedinjenja, kao što su npr. antioksidansi, koja apsorbuju UV zrake, a istovremeno i poboljšavaju nutritivnu i zdravstvenu vrednost bijaka. Takođe, ako dođe do oštećenja DNK usled dejstva UV zraka, postoje efikasni unutrašnji mehanizmi za popravku nastalih oštećenja.

Vidljivo zračenje ili svetlost ima najveći značaj u procesu fotosinteze. Biljke u procesu fotosinteze koriste samo Sunčev zračenje talasnih dužina između $0,38$ i $0,76 \mu\text{m}$, koje se zato i naziva **fotosintetski aktivna radijacija (FAR)**.

Već je rečeno da biljke imaju različita refleksivna i apsorptivna svojstva za zračenja iz vidljivog i infracrvenog dela spektra. Svetlost je biljkama neop-