



UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI
FAKULTET
DEPARTMAN ZA FIZIKU



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ

ПРИМЉЕНО	19 MAJ 2005
ОРГАНИЗ ЈЕД	БРОЈ
0603	9/203

Klaudija Bašić-Palković

**MERENJE DEBLJINE OZONSKOG OMOTAČA
SPEKTROMETRIJSKOM METODOM**

– diplomski rad –

Mentor:

Dr Zoran Mijatović

Novi Sad, 2005.

Sadržaj

UVOD	5
1. Osnovni pojmovi o atmosferi i zračenju	7
1.1 Atmosfera	7
1.2 Sastav vazduha	9
1.3 Sunčev spektar	10
1.4 Osnovni zakoni zračenja	10
2. Ultraljubičasto zračenje Sunca	15
2.1 UV zračenje	15
2.2 Definicija i podela zračenja	15
2.3 Aktivni spektar UV zračenja	17
2.4 Apsorpcija UV zračenja	20
3. Zaštita ozonskog omotača	23
3.1 Konvencije o zaštiti ozonskog omotača	23
3.2 Montrealski protokol	24
3.3 Dani zaštite ozonskog omotača	25
3.4 Protokoli u našoj zemlji	26
4. Ozon	27
4.1 Formiranje ozona i njegova rasprostranjenost na Zemlji	27
4.2 Ozon u atmosferi	30
4.3 Hemski procesi koji utiču na količinu ozona u atmosferi	33
4.4 Dodatne hemikalije	38
4.5 Distribucija ozona	39
4.6 Antarktička ozonska rupa	40
4.7 Stanje nad Evropom	44
4.8 Uticaj ozona na intenzitet UV zračenja	45



5. Metode merenja debljine ozonskog omotača	49
5.1 Definicija Dobsonove jedinice	49
5.2 Instrumenti za merenje debljine ozonskog omotača	50
5.3 Teorijski osnovi merenja debljine ozonskog omotača spektrometrijskom metodom	51
6. Opis merenja i rezultati	55
6.1 Opis aparature	55
6.2 Merenje Sunčevog spektra	58
6.3 Rezultati merenja i diskusija	59
ZAKLJUČAK	63
DODATAK	65
Da li je ozon zagađivač ili isceljitelj?	65
Pozitivne zanimljivosti	67
Negativne zanimljivosti	67
Šta je to dobar, a šta loš ozon?	68
Jedna istina i jedna zabluda o ozonu	69
Spisak literature	71
Biografija	73
Ključna dokumentacijska informacija	75
Key words documentation	77

UVOD

Sunčev zračenje je neophodno za život na Zemlji, ali preterane količine nekih delova Sunčevog spektra mogu imati sasvim suprotne, neželjene efekte. To je slučaj i sa UV zračenjem. UV zračenje u malim količinama može biti korisno, jer doprinosi proizvodnji vitamina D koji je važan za izgradnju kostiju, dok previše UV zračenja izaziva rak kože, prerano starenje i oštećuje DNK.

Do Zemljine površine dospeva samo mali deo od ukupnog UV zračenja sa Sunca. Glavni deo tog opasnog zračenja na putu do Zemlje zaustavlja ozon, tj. ozonski omotač. Ozon je gas čiji se molekul sastoji od tri atoma kiseonika. Čak 90 % od ukupnog ozona u atmosferi nalazi se u stratosferi i vrlo dobro upija UV zračenje, zato su gornji delovi stratosfere jako zagrejani.

Najviše ozona nastaje fotohemijskim reakcijama u stratosferi iznad tropskih oblasti, na visini od 25 do 30 km, odatle se premešta prema nižoj stratosferi viših geografskih širina. Zato najviše ozona ima u visokim geografskim širinama, a najmanje u tropskim oblastima.

Praćenje intenziteta UV zračenja počelo je 80-tih godina prošlog veka kada je otkriveno da je povećan intenzitet UV zračenja uzrokovan smanjenjem debljine ozonskog omotača. To je dovelo i do pojave ozonske rupe iznad Antarktika.

Cilj rada je da se iz snimljenog Sunčevog spektra odredi debljina ozonskog omotača.

Rad je podeljen u šest poglavlja. U prvom poglavlju će biti reči o osnovnim pojmovima o atmosferi i zračenju. U drugom poglavlju se govori o UV zračenju Sunca, osnovnim pojmovima, definicijama, podelama, apsorpciji, aktivnom UV spektru. Zaštita ozonskog omotača je analizirana u trećem poglavlju, a formiranje ozona i rasprostranjenost u atmosferi detaljno je objašnjeno u glavi četiri. U petoj glavi se govori o metodama merenja debljine ozonskog omotača, dok je u šestom poglavlju detaljno opisano merenje i rezultati ovoga rada.

1. Osnovni pojmovi o atmosferi i zračenju

1.1 Atmosfera

Površinski deo Zemlje sačinjavaju njena četiri omotača: vazdušni – atmosfera, voden – hidrosfera, stenoviti – litosfera i prostor prvih triju sfera nastanjen živim svetom – biosfera. Sve četiri sfere se razvijaju pod jakim međusobnim uticajima.

Atmosfera preobražava Sunčevu energiju, zadržava primljenu toplotu i štiti Zemljinu površinu od rashlađivanja, daje život svetu neophodan kiseonik odnosno ugljen-dioksid, omogućuje kruženje vode u prirodi. Ona je nevidljiva, ali je stalno posredno osećamo: žega i mraz, kiša i sneg, tišine i vetrovi, itd. Sve te pojave su posledica procesa nastalih u atmosferi pod uticajem Sunčevog zračenja i pri uzajamnom delovanju njenih najnižih slojeva sa gornjim slojevima ostalih triju sfera.

Donja granica je jasno određena: nju predstavljaju površina Svetskog mora, kopno i površine vodnih objekata na kopnu. Međutim, gornja granica atmosfere se ne može odrediti, jer ona na velikim visinama prelazi postupno u vrlo razređeni gasoviti međuplanetarni prostor. Uslovno je prihvaćena tzv. fizička granica atmosfere; ona varira, njena debljina nije jednaka iznad polova i iznad ekvatora. Njena debljina je veća na nižim geografskim širinama, dok je iznad polova najtanja.

Atmosferski vazduh nije hemijsko jedinjenje, nego mehanička smeša gasova zastupljenih u postojanim međusobnim srazmerama i raznih primesa u promenljivim količinama. Njeno postojanje je posledica Zemljine gravitacije i ona zajedno sa Zemljom rotira oko Sunca i oko svoje ose. Sastav atmosfere se menja sa nadmorskom visinom, ali i pod dejstvom različitih uticaja u koje spada i zagađenje atmosfere izazvano emisijom štetnih gasova.

Osnovna podela atmosfere (*slika 1.1*):

- Troposfera (od 8 do 18 km)
- Stratosfera (do 50 km)
- Mezosfera (do 80-85 km) i
- Termosfera (preko 80 km)

Troposfera – visina troposfere iznad ekvatora je oko 16-18 km, iznad umerenih širina 9-11 km, a iznad polarnih predela oko 8 km. To je donji sloj vazduha koji sadrži 3/4 od ukupne mase vazduha u atmosferi. U ovom sloju se nalazi skoro celokupna količina vodene pare; u njoj se stvaraju oblaci, magla, a iz oblaka se izlučuju na zemlju kiša, sneg, grad, itd. Temperatura vazduha u troposferi opada sa porastom nadmorske visine.

Prelazni sloj između troposfere i stratosfere koji se karakteriše slabijim padom temperature sa visinom zove tropopauza.

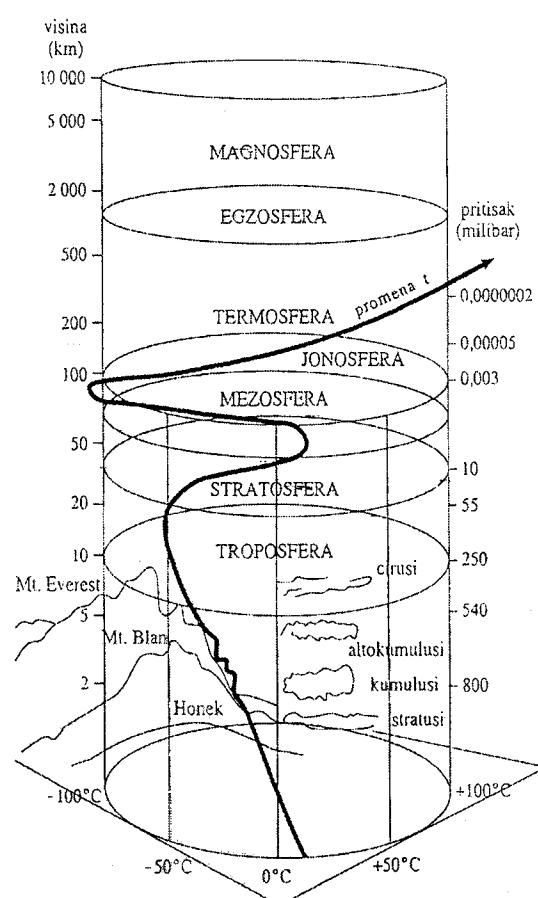
Stratosfera – u ovom sloju nema vertikalnih već samo horizontalnih vazdušnih strujanja. Temperatura vazduha u stratosferi zavisi od vazdušnih strujanja koja je uslovljena zračnom ravnotežom. Stratosfera predstavlja smešu gasova, sličnoj troposferi, posebnu pažnju zaslužuje ozon, tzv. ozonski sloj. To je sloj molekula kiseonika O₃. On apsorbuje deo štetnog ultravioletnog zračenja.

Sloj između stratosfere i mezofere se naziva stratopauza.

Mezofera – u ovom sloju temperatura opada sa visinom i dostiže najnižu vrednosti.

Prelazni sloj između mezofere i termosfere je mezopauza.

Termosfera – u ovom sloju temperatura neprekidno raste sa visinom do veoma visokih vrednosti. Za nju je karakteristično postojanje velike količine nanelektrisanih čestica – jona. Jonosfera je niži sloj termosfere, a viši sloj termosfere je egzosfera u kojoj umesto atmosferskog vazduha postoje međuplanetarni gasovi.



Struktura atmosfere

Slika 1.1 Struktura atmosfere

1.2 Sastav vazduha

Atmosferski vazduh je fizička smeša izvesnog broja stalnih gasova, hemijskih jedinjenja i raznih gasovitih tečnih i čvrstih primesa. Razlika između stalnih gasova u smeši vazduha i primesa je ta što su stali gasovi postojani svojim međusobnim razmerama, dok su primesi veoma promenljivi u vazdušnom prostoru; nekada ih ima u većim a nekada u manjim količinama. Stalni sastojci atmosfere su: azot, kiseonik, ozon, argon i ugljen-dioksid. Sem ovih u atmosferi se nalaze u veoma malim količinama još neki drugi plemeniti gasovi i to: helijum, neon, kripton, ksenon i vodonik (*tabela 1.1*).

Gas	Zapreminski udeo (%)	Godišnji trend porasta (%)	Vreme života (god.)
N ₂	78.084		
O ₂	20.946		
Ar	0.934		
CO ₂ *	0.0345	0.4	500
Ne	0.00182		
CH ₄ *	0.00017	1	7-10
Kr	0.00011		
H ₂	0.00005		
O ₃ *	$4 \cdot 10^{-6}$	1-2	<0.02

* gasovi koji apsorbuju infracrveno zračenje

Tabela 1.1 Hemijski sastav atmosfere

1.3 Sunčev spektar

Zračenje ili radijacija je jedan od vidova prenosa energije sa jednog tela na drugo ali i izraz za elektromagnetni spektar koju telo emituje. Sunčeve zračenje nije jednostavno, već je složeno iz raznobojnih vrsta komponenti, koji sačinjavaju Sunčev spektar. Sunčev spektar je raspodela elektromagnetskog zračenja koje emituje Sunce i koje dolazi na gornju granicu atmosfere, u funkciji talasne dužine. Potpuni Sunčev spektar sastoji se od tri glavna dela: ultraljubičasti deo (od 100 do 400 nm), vidljivi deo (od 400 do 770 nm) i infracrveni deo (od 770 do 10 000 nm). Ultraljubičasti i infracrveni delovi spektra su nevidljivi, dok je vidljivi deo spektra svetlost Sunčevog sjaja. Vidljivi deo Sunčevog spektra sastoji se od uglavnom od 6 obojenih komponenata: ljubičaste, plave, zelene, žute, narandžaste i crvene. Ultraljubičasti deo ima najmanje talasne dužine nevidljive za čovečije oko, ima jako hemijsko dejstvo. Infracrveni deo ima najveće talasne dužine i ima izrazito toplotno dejstvo, dok su talasne dužine vidljivog dela spektra po svojim talasnim dužinama između talasnih dužina ultraljubičastog i infracrvenog dela spektra. Može se reći, da se sa porastom talasne dužine pojedinih zraka, u celokupnom Sunčevom spektru, smanjuje hemijsko dejstvo. Ovako složeni Sunčev snop zračenja pada prvo na gornju granicu atmosfere i zatim prolazi kroz atmosferu do Zemljine površine.

1.4 Osnovni zakoni zračenja

Svako zračenje prouzrokuje gubitak energije tela koje ga emituje. Energija zračenja predstavlja deo unutrašnje energije. Pri zračenju unutrašnja energija se smanjuje što dovodi do smanjenja temperature tela, međutim gubitak energije emisijom tela nadoknađuje apsorbacijom energije od sredine koja ga okružuje. Dakle, promena toplotnog stanja tela zbog zračenja, uslovljena je razlikom između apsorbovane i emitovane energije.

Po pravilu, zračenje u prirodi ima neravnotežni karakter. Ipak, ako se promene temperature tela odigravaju dovoljno sporo, onda je sasvim opravdana prepostavka

da će zakoni neravnoteženog zračenja biti bliski zakonima koji opisuju ravnotežno zračenje. Fundamentalni zakoni zračenja u fizici se oslanjaju na model absolutno crnog tela koji služi za opisivanje spektra zračenja koje emituje neko telo.

Kirhofov zakon – Količina emitovane energije zavisi od talasne dužine zračenja i temperature tela. Telo može da apsorbuje zračenje određene talasne dužine istovremeno da emituje zračenje na toj talasnoj dužini. Očigledno je da će telo koje ima veću emisionu moć više da se hlađi, a da bi ostalo u stanju termodinamičke ravnoteže sa okolinom mora da ima i veću apsorbacionu sposobnost. Kirhof je pokazao da odnos između gustine fluksa emitovanog zračenja u odnosu na jedinični interval talasnih dužina F_λ i apsorbacione sposobnosti tela a_λ ne zavisi od prirode tela; on je za sva tela ista funkcija $B(\lambda, T)$ koje zavisi od talasne dužine λ i temperature T .

$$\frac{F_\lambda}{a_\lambda} = B(\lambda, T) \quad (1.1)$$

Jednačina je poznata kao Kirhofov zakon.

Plankov zakon – Plank je prvi pretpostavio da se energija ne emituje kontinualno već u određenim konačnim iznosima “porcijama” koje je on nazvao kvanti. Prenosioci te energije su fotoni, kvanti energije putem kojih telo emituje elektromagnetsko zračenje. Pokazao je da se slaganje sa eksperimentom dobija ako se pretpostavi da je kvant energije ϵ сразмерan frekvenciji zračenja

$$\epsilon = hv \quad (1.2)$$

gde je h Plankova konstanta koja iznosi $6.62 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$, v je frekvencija zračenja izražena u hercima [Hz]. S porastom temperature gustoća fluksa zračenja absolutnog crnog tela se povećava dok se talasna dužina maksimuma zračenja smanjuje

$$B(\lambda, T) = \frac{2h\pi c^2}{\lambda^5 (e^{\frac{hc}{k\lambda T}} - 1)} \quad (1.3)$$

gde je c brzina svetlosti.

Štefan – Bolcmanov zakon – Ukupna gustina fluksa zračenja apsolutnog crnog tela $B(T)$ dobija se integracijom Plankove funkcije za sve talasne dužine od 0 do ∞ , čime se dobija

$$B(T) = \sigma T^4 \quad (1.4)$$

gde je σ Štefan – Bolcmanova konstanta i iznosi $5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

Jednačina pokazuje da je ukupan fluks energije koju emituje apsolutno crno telo proporcionalan četvrtom stepenu njegove apsolutne temperature, ovo je osnovni zakon u teoriji prenosa infracrvenog zračenja.

Vinov zakon – Po ovom zakonu talasna dužina koja odgovara maksimumu fluksu zračenja apsolutnog crnog tela obrnuto je proporcionalna temperaturu

$$\lambda_{\max} = \frac{a}{T} \quad (1.5)$$

gde je a konstanta i iznosi $2.8978 \cdot 10^{-3} \text{ Km}$.

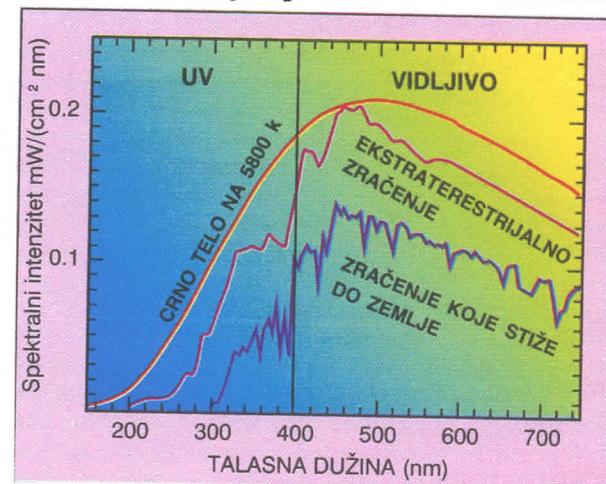
Iz Vinovog zakona sledi da se pri povećanju temperature tela položaj maksima izražene energije u njegovom spektru pomera u stranu kraćih talasnih dužina, otuda se ovaj zakon naziva i Vinov zakon pomeranja.

Izvor života na našoj planeti je Sunce, za koje se smatra da je na polovini svog životnog veka. U centralnoj oblasti Sunca dolazi do oslobođanja ogromne količine energije, koji uslovljava srednju temperaturu na površini Sunca od 5 800 K, čiji jedan deo omogućava sve životne procese na Zemlji. Doprinos zračenju Sunca, osim zagrejanosti površine, daju i drugi procesi tako da se realni spektar Sunčevog zračenja ne poklapa u potpunosti sa spektrom zračenja apsolutnog crnog tela. Iz fotosfere Sunčeve zračenje dospeva na Zemlju u vidu optičkog kontinuma sa diskretnim linijama vodonika, helijuma i elemenata koji čine hemijski sastav Sunca. Spektar zračenja apsolutnog crnog tela na temperaturi od 5 800 K je dobra aproksimacija za objašnjenje Sunčevog zračenja sa gledišta dejstva i spektra ultravioletnog zračenja koje stiže sa Sunca.

Na *slici 1.2* je prikazan spektar zračenja tela zagrejanog do temperature od 5 800 K, odnosno promena intenziteta zračenja sa promenom talasne dužine (crvena linija). Maksimalni intenzitet emitovanog zračenja, na *slici 1.2*, je na talasnoj dužini od

518 nm. Ukupan intenzitet emitovanog zračenja, na svim talasnim dužinama je proporcionalan površini ispod cele krive, što i sledi iz Plankove formule. Može se zaključiti da UV oblast predstavlja znatan deo ukupne površine, odnosno doprinos ultravioletnog zračenja u ukupnom delu spektra je značajan.

Ipak, zračenje koje stiže do gornjih slojeva atmosfere, tzv. ekstraterestrijalno zračenje, se razlikuje od onog koje daje model apsolutnog crnog tela (ljubičasta linija). Zatim, deo ekstraterestrijalnog zračenja se sa daljim prolaskom kroz atmosferu apsorbuje tako da zračenje koje dospeva do nivoa mora, obuhvata deo talasnih dužina između 291-3000 nm (plava linija). Od toga, ultravioletnu oblast, UV, čini 5 %, vidljivu oblast, VIS, 39 %, i infracrvenu oblast, IR, čini čak 56 %.



Slika 1.2 Spektar zračenja crnog tela i Sunčev spektar na ulazu u atmosferu i na površini Zemlje

2. Ultraljubičasto zračenje Sunca

2.1 UV zračenje

Sunčev zračenje koje pristiže u gornje slojeve atmosfere, najvećim delom prodire kroz atmosferu (sa izuzetkom relativno malog dela koji se reflektuje ili utroši na sekundarnu emisiju atmosfere i tako transformiran emituje prema slobodnom prostoru ili tlu). Iako predstavlja sasvim mali deo spektra Sunčevog elektromagnetskog zračenja, UV zračenje igra značajnu ulogu u mnogim procesima u biosferi. Tokom evolucije, organizmi su se prilagođavali prirodnim nivoima UV zračenja, koje se čovekovim aktivnostima poslednjih decenija povećava, pa je do izražaja došlo njegovo štetno dejstvo. Problem povećanja intenziteta ultraljubičastog zračenja koje dolazi na površinu Zemlje postao je aktuelan kada je otkrivena veza između povećanog intenziteta UV zračenja, povećanja broja pojave raka kože i smanjenja debljine ozonskog omotača. Praćenje intenzitete UV zračenja i prva upozorenja zbog njegovog štetnog dejstva počela su u Australiji početkom 80-tih godina XX veka, da bi se potom ubrzano priključile i druge države. Danas postoji svetska UV mreža, koju čine mesta na kojima se meri intenzitet Sunčevog UV zračenja.

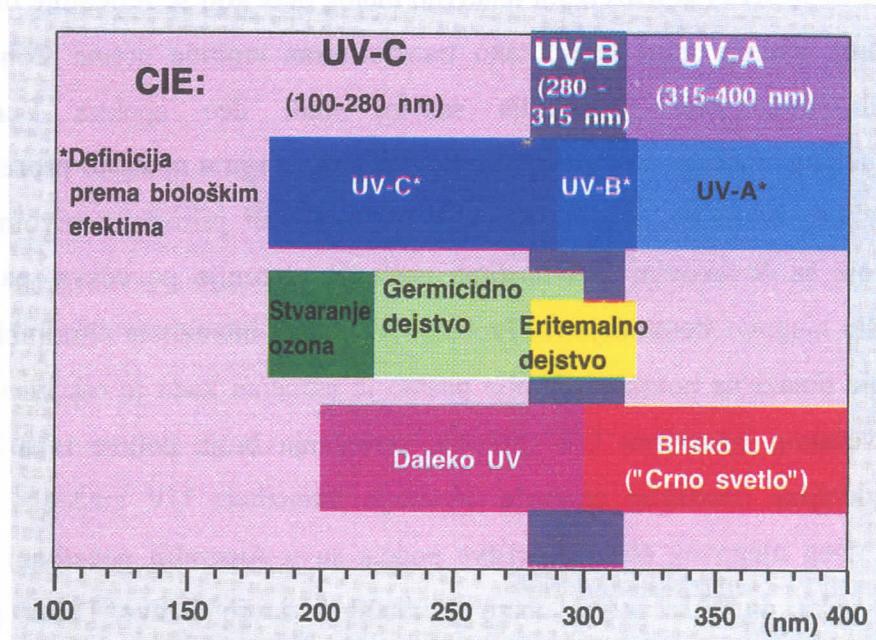
2.2 Definicija i podela zračenja

Ultraljubičasto zračenje, definisano kao deo elektromagnetskog spektra u oblasti između 100-400 nm, čini manje od 10 % energije koju proizvodi Sunce. Ovo zračenje ima "najveće" kvante. U zavisnosti sa koje se tačke gledišta posmatra i od efekata koje proizvodi u različitim sistemima oblast UV zračenja se može podeliti na različite načine. U skladu sa definicijom CIE (Commission Internationale de l'Eclairage, publicaton No.69, 1985.), podela UV spektra zračenja je prikazana na *slici 2.1*. Podela UV zračenja prema CIE je na UV-C oblast (100-280 nm), UV-B (280-315 nm) i UV-A (315-400 nm).



Podela prema biološkom dejstvu na žive organizme je:

- UV-C oblast od 180 nm do 290 nm
- UV-B oblast od 290 nm do 320 nm
- UV-A oblast od 320 nm do 400 nm



Slika 2.1 Podela UV dela spektra po različitim kriterijumima

Na gornjoj granici atmosfere UV-A zračenje čini oko 6 %, UV-B 18 %, a UV-C čini 76 % od ukupnog UV zračenja. Na Zemljoj površini u ukupnom UV zračenju UV-A čini najveći udeo u zračenju (preko 90 %), dok je UV-B zastupljeno u veoma malom procentu. UV-C zračenje se u gotovo potpunosti apsorbuje. Podela između pojedinih oblasti su određene proizvoljno. Granica između UV-C i UV-B oblasti je na 290 nm, jer se smatra da zračenje kraćih talasnih dužina ne stiže do Zemljine površine, osim na veoma velikim nadmorskim visinama, dok je granica između UV-B i UV-A oblasti još proizvoljnija, pogotovo što su fotomikrobiološka israživanja pokazala da i zračenje talasnih dužina iznad 320 nm ima fotobiološko aktivno dejstvo, te bi granica od 330-340 nm bila pogodnija. Međutim za sada se koristi gore navedena podela.

Sledeća podela je prema hemijskom dejstvu. Zračenje od 175 do 220 nm je zračenje zahvaljujući kojem se u stratosferi, formira ozon. Zračenje u oblasti talasnih dužina od 220 do 300 nm ima germicidno dejstvo, dok je zračenje u oblasti od 280 do 320 nm eritemска oblast, jer izaziva crvenilo kože. Sa stanovišta spektroskopije, UV zračenje se deli na daleku oblast UV zračenja od 200 do 300 nm i na blisku oblast koja obuhvata interval talasnih dužina od 300 do 400 nm.

UV-A je najmanje štetno zračenje, ali nije bezopasno i to je zračenje koje se najčešće sreće, zbog sposobnosti tog zračenja da izazove fluorescenciju nekih materijala koji tada emituju vidljivo zračenje. UV-A zračenje potpomaže štetno dejstvo UV-B zračenja putem oštećenja DNK na koži i time smanjenjem imune sposobnosti, što rezultuje u lakšem razvoju malignog melanoma. UV-B zračenje ima vrlo destruktivna dejstva na žive organizme pa i na čoveka. Razlog destruktivnog dejstva je zbog energije fotona koji čini to zračenje dovoljnim da izazove različite hemijske procese u živim organizmima. Ovo zračenje se velikim delom apsorbuje u atmosferi, oko 90 % je od strane ozona, vodene pare, kiseonika i ugljen-dioksida. Međutim, i onaj deo koji stiže do Zemlje može izazvati nepoželjne efekte zbog stanjenog sloja atmosfere u kom se ono apsorbuje. UV-C zračenje je zračenje najveće energije, ali srećom, ovo se u potpunosti apsorbuje u atmosferi. Ovo zračenje ima razarajuće dejstvo na žive organizme zbog sposobnosti razaranja DNK. Sa druge strane ovo zračenje je korisno u smislu da utiče na stvaranje i obnavljanje ozonskog omotača oko Zemlje.

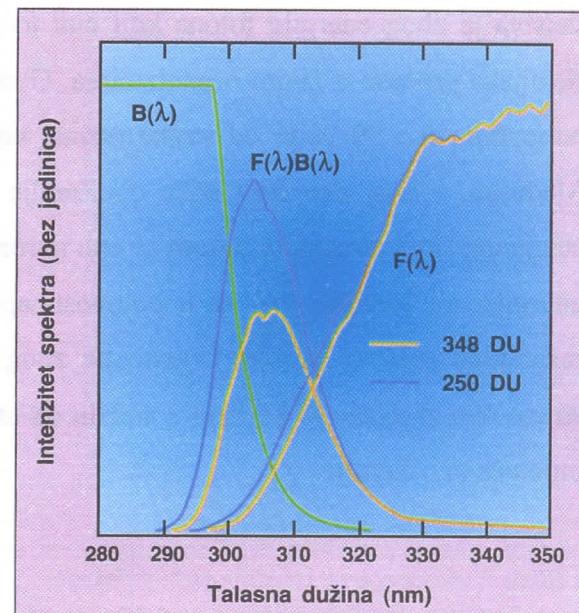
2.3 Aktivni spektar UV zračenja

Na gornje slojeve Zemljine atmosfere stiže značajna količina UV zračenja svih talasnih dužina od 100 do 400 nm. UV-C oblast od 100 do 280 nm se gotovo potpuno apsorbuje u ozonskom sloju i od strane atmosferskog kiseonika, dok se UV-B oblast zračenja u velikoj meri apsorbuje u ozonskom sloju, ali ne potpuno kao UV-C oblast. Od debljine ozonskog sloja direktno zavisi količina ovog zračenja koja stiže do Zemljine površine. Pri vednom nebu, na ekvatoru stiže oko 30 % od upadnog zračenja. Smanjenje debljine ozonskog omotača od 10 % izaziva povećanje

propuštenog zračenja za 20 %. Iz toga proizilazi da dnevne vrednosti intenziteta UV-B zračenja mogu varirati ukoliko se menja debljina ozonskog omotača. UV-A oblast zračenja se slabo apsorbuje i stoga u najvećoj količini stiže na Zemljinu površinu.

Podela UV zračenja na oblasti UV-A, UV-B i UV-C je izvršena prema biološkom dejstvu na žive organizme. Stvarni biološki aktivni spektar se dobija kombinacijom spektra UV zračenja (280-400 nm) kojem se organizam izlaže i spektra biološkog dejstva. Spektar biološkog dejstva opisuje efikasnost UV zračenja određene talasne dužine da izazove biološki efekat na živi organizam.

UV zračenje do oko 298 nm ima izuzetno aktivno eritemsko dejstvo. Iznad tih vrednosti talasnih dužina, ovo dejstvo opada, dok zračenje talasnih dužina većih od 328 nm gotovo da nema opasnih posledica na organizme. Ovo je predstavljeno krivom $B(\lambda)$ na *slici 2.2* (zelena linija). Na slici osim biološki aktivnog spektra ucrtan je i spektar UV zračenja koje stiže na Zemljinu površinu. Te krive su označene sa $F(\lambda)$. Ovde je prikazan samo kvalitativan prikaz spektra, a ne realni odnos intenziteta svakog spektra u želji da se dovoljno izraženo predstavi aktivni spektar. Prikazana su dva spektra koje odgovaraju debljinama ozonskog omotača od 250 DU i 348 DU.



Slika 2.2 Biološki aktivni spektar

Spektar biološki aktivnog zračenja se dobija množenjem funkcija F_λ i B_λ :

$$BA(\lambda) = B(\lambda)F(\lambda). \quad (2.1)$$

Spektralna raspodela stvarnog aktivnog biološkog spektra, tj. funkcija $BA(\lambda)$ je takođe prikazana na *slici 2.2*. Vidi se da ovaj spektar ima maksimum u okolini talasnih dužina od 300-305 nm i da spektar većinom pokriva oblast UV-B zračenja. Naziva se i otežani spektar, jer osim Sunčevog spektra uzima u obzir i biološko

dejstvo na organizam. Sa slike se još vidi kako promena debljine ozonskog omotača dovodi do povećanja intenziteta UV zračenja progresivno ka manjim talasnim dužinama.

Ukupni fluks UV-A i UV-B zračenja se dobija integracijom spektra biološki aktivnog spektra po talasnim dužinama od 280 do 400 nm. U literaturi se još naziva eritemsko ili biološki aktivno UV zračenje

$$F_{UV} = \int_{280nm}^{400nm} F(\lambda)B(\lambda)d\lambda \quad (2.2)$$

Jedinica kojom se izražava gustina fluksa biološki aktivnog UV zračenja je W/m². Da bi gustina fluksa spektra biološki aktivnog dejstva bio razumljiviji javnosti, kao mera nivoa UV zračenja koja je značajna za ljudsku kožu usvojen je pojam UV indeks. Jedinični UV indeks se definiše kao gustina fluksa zračenja od 25 mW/m². U tabeli 2.1 je prikazana podela UV zračenja prema intenzitetu, izražene u jedinici UV indeksa.

UV indeks	Nivo zračenja
1 – 3	Niski nivo
3 – 5	Srednji nivo
5 – 7	Visoki nivo
7 – 9	Vrlo visoki nivo
9 –	Ekstremno visoki nivo

Tabela 2.1 Podela intenziteta UV zračenja prema vrednostima UV indeksa

Kako je uticaj UV zračenja na organizme kumulativan, osim fluksa veoma je bitno i vreme izlaganja ovom zračenju. Da li će čovekova koža pocrveneti ili ne, zavisi od primljene doze zračenja. Doza zračenja se definiše kao proizvod fluksa zračenja i vremena izlaganja tom zračenju. Pošto fluks zračenja može da varira u toku vremena, doza zračenja je integral po vremenu proizvoda fluksa zračenja i vremena izlaganja

$$Dose = \iint B(\lambda)F(\lambda)d\lambda dt \quad (2.3)$$

Aktivna UV doza se izražava u J/m². Kada je reč o dejstvu UV zračenja na ljudsku kožu, uvodi se novi pojam koji se naziva Minimalna Eritemalna Doza (MED). MED

predstavlja onu dozu zračenja koja izaziva crvenilo kože koja pre toga nije bila izlagana dejstvu UV zračenju. Vrednost od 1 MED zavisi od tipa kože (iznosi od 200 do 450 J/m²).

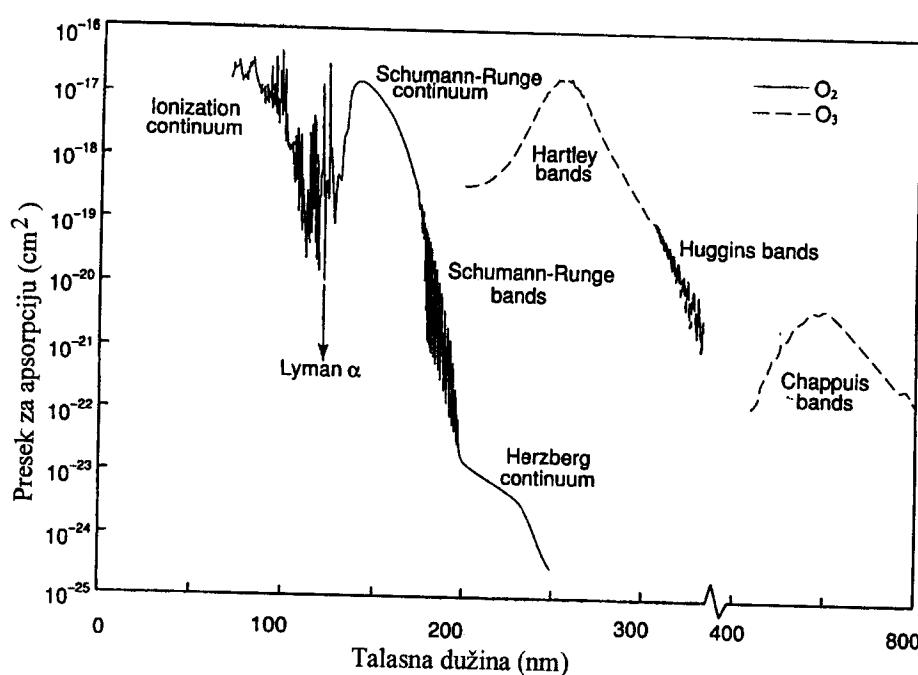
2.4 Apsorpcija UV zračenja

Pri prolasku kroz atmosferu UV zračenje se apsorbuje tako da do površine Zemlje dopire zračenje potpuno drugačijih karakteristika od zračenja koje dolazi na gornju granicu atmosfere. Sunčev zračenje u atmosferi apsorbuju pre svega O, O₂, O₃, CO₂, H₂O, NO₂ i N, mada opštoj slici apsorpcije daju doprinos i gasovi koji su vrlo malo prisutni u atmosferi kao NO, N₂O, CO i CH₄. Dakle, u UV oblasti se nalaze apsorpcioni spektri atomskog i molekularnog kiseonika, azota i ozona koji su vezani za elektronske prelaze, i upravo oni apsorbuju najveći deo UV zračenja u gornjim granicama atmosfere.

Molekularni kiseonik (O₂) ima apsorpcioni UV spektar od 260 nm ka nižim vrednostima talasnih dužina. Tzv. Hercbergova traka je skoncentrisana od 260 do 200 nm i ona je veoma slaba i ne doprinosi mnogo apsorpciji Sunčevog zračenja, jer je prekrivena mnogo jačom trakom ozona u toj oblasti. Smatra se, međutim, da ova traka ima uticaj na formiranje ozona. Ovoj traci se približava veoma jak sistem traka Šumana – Rungea, a postoji i kontinuum u oblasti od 200 do 125 nm. Između 125 i 100 nm leži još nekoliko traka a tu pada i izuzetno intenzivna azotna α Lajmanova linija na 121.6 nm. Deo spektra kraći od 100 nm zauzima veoma jaka traka O₂, tzv. Hopfieldova traka.

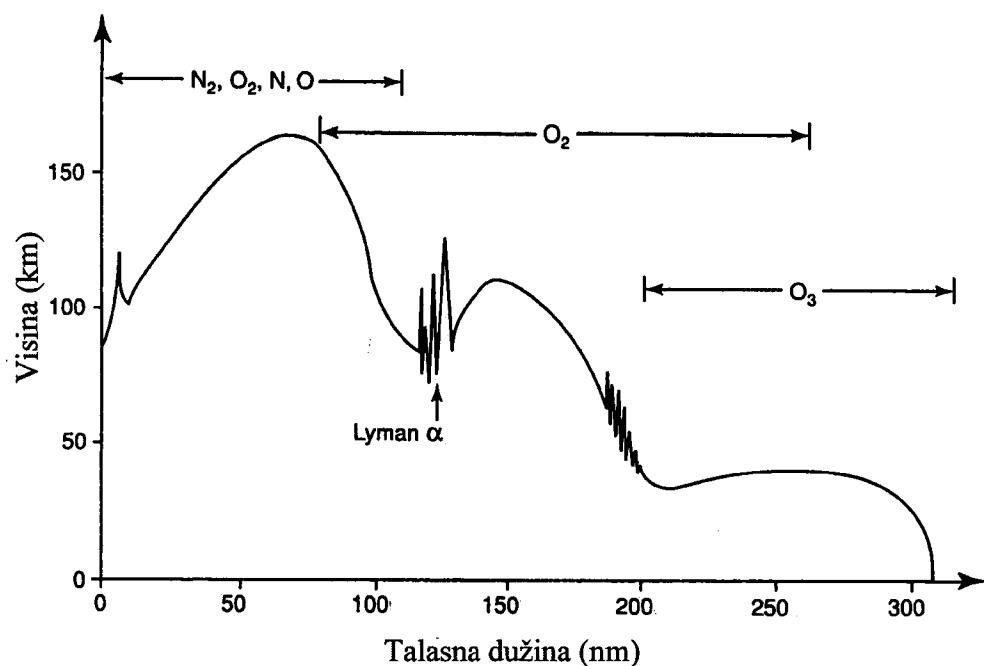
Molekularni kiseonik (O₂), kao jedna od osnovnih komponenata gornje atmosfere, slabo apsorbuje zračenje u oblasti od 200 do 300 nm. To zračenje apsorbuje pre svega ozon u gornjoj stratosferi i mezosferi. Oblast u kojima leži najjača apsorpciona traka ozona se naziva Hartlijeva traka, a traka u oblasti od 300 do 360 nm se naziva Hjuginsova traka koja je slabija od Hartligeve. Ozon još poseduje i

slabu apsorpcionu traku tzv. Šapuijevu traku u vidljivoj i IR oblasti. Na *slici 2.3* prikazan je relativni značaj različitih apsorpcionih traka.



Slika 2.3 Relativan značaj apsorpcione trake u atmosferi

Na *slici 2.4* je prikazano na kojim visinama u atmosferi dolazi do slabljenja fluksa e puta pri normalnom upadnom zraku na gornju granicu. Naprimjer na visini od 110 km i na talasnoj dužini od $\lambda = 160$ nm gustina fluksa opadne 2.71 puta.



Slika 2.4 Visine na kojima dolazi do slabljenja fluksa e puta pri normalnom upadnom zraku Sunčevog zračenja na gornju granicu atmosfere

Sa slike se vidi da je osnovni apsorber u oblasti od 200 do 300 nm ozon, u oblasti od 85 do 200 nm O_2 , a u oblasti ispod 85 nm su to O_2 , N_2 , O i N .

3. Zaštita ozonskog omotača

3.1 Konvencije o zaštiti ozonskog omotača

Drastično smanjenje debljine ozonskog omotača iznad Antarktika, Artika ali i iznad drugih delova naše planete, može dovesti do pitanja opstanka života na Zemlji. Povećanje emisije štetnih gasova, posebno hlorofluorougljenika, dalje bi pomeralo ravnotežu između procesa razaranja molekula ozona i njegovog stvaranja u korist procesa razaranja. To bi doprinosilo konstantnom smanjenju debljine ozonskog omotača i povećanju intenziteta UV zračenja koje dopire do Zemljine površine. Samim tim bi se i efekti štetnog dejstva UV zračenja pojačavali, što bi dovelo do narušavanja prirodne ravnoteže i ugrožavanje biosfere.

Prva posledica svesti ljudi o ugrozenoj sredini je međunarodna Bečka konvencija (1985. godine), doneta sa ciljem da se ozonski omotač zaštitи od emisije štetnih gasova u atmosferi prouzrokovana čovekovim aktivnostima. Ova konvencija predviđa saradnju zemalja potpisnica u cilju potpunog razjašnjenja procesa koji utiču na smanjenje debljine ozonskog omotača i njihovu kontrolu, kao i posledica koje pojačano UV zračenje ima po stanovništvo, kao i kontrolu samog UV zračenja. Te godine su i prvi put primećene ozonske rupe iznad Antarktika.

Na osnovu Bečke konvencije, 1987. godine je potписан Montrealski protokol o supstancama koje doprinose oštećenju ozonskog omotača. Po tom protokolu, emisija štetnih gasova je trebalo da se smanji za 50 % do 1999. godine u odnosu na emisiju štetnih gasova iz 1986. godine. 1990. godine je donet Londonski amandman po kojem su ciljevi Montrealskog protokola nešto izmenjeni. Smanjenje emisije hlorofluorougljenika od 50 % treba da se ostvari do 1999. godine, a smanjenje emisije tih gasova do 2000. godine treba da bude 100 %. Emisija tetrahlorida trebalo je da bude smanjen za 85 % do 1995. godine, u odnosu na 1986. godinu, a 100 % do 2000. godine. Kopenhagenski amandman je dodao i smanjenje emisije HCFC za 35 % do 2004. godine, u odnosu na 1989. godinu i smanjenje od 90 % do 2019. godine, a 100 % do 2029. godine. Montrealski protokol je još poboljšavan u Beču 1995. godine, Montrealu 1997. godine i Pekingu 1999. godine.

Nepridržavanje Montrealskih protokola i njegovih amandmana bi do 2050. godine dovelo do smanjenja debljine ozonskog omotača, u oblasti srednjih geografskih širina severne hemisfere od oko 50 %, a oko 70 % na odgovarajućim širinama južne hemisfere. Ovo bi dovelo do višestrukog povećanja intenziteta UV zračenja koji stiže na Zemljinu površinu u odnosu na intenzitete tokom 90-tih godina prošlog veka.

3.2 Montrealski protokol

Montrealski protokol izrastao je iz potrebe očuvanja ozonskog omotača i tačno određuje supstancije sa štetnim uticajem, a propisane su mere i rokovi za potpuno ukidanje njihove proizvodnje i upotrebe. Reč je o brojnim hemikalijama koje je proizveo čovek, a sve imaju zajednička svojstva da su u donjim slojevima atmosfere izvanredno postojane, uglavnom nerastvorljive u vodi, sadrže hlor ili brom, ostaju dugo vremena u vazduhu i postupno dospevaju u sve delove atmosfere, pa i u stratosferu gde se razgrađuju delovanjem Sunčevog zračenja, oslobađajući atome hlora ili broma koji uništavaju ozon.

Najopasnije hemikalije za ozonski omotač su freoni (CFC) i haloni (sadrže brom). Freoni, o kojima ćemo kasnije pričati, služe kao sredstvo za hlađenje u hladnjacima i klima uređajima, kao i potisni gas u limenkama aerosola. Haloni su još snažniji uništavači ozona.

Te i mnoge druge štetne hemikalije upravo su Montrealskim protokolom predviđene za povlačenje iz upotrebe. Dosadašnjem ugovorom projekata postignut je napredak o prestanku upotrebe CFC-a u proizvodnji pena i aerosola, dok se proizvodnja istoga u aerosolima za medicinsku pomoć povećala.

Stručnjaci predviđaju da bi se do potpunog izlečenja ozonskog omotača u tom slučaju moglo doći oko 2050. godine.

3.3 Dani zaštite ozonskog omotača

Potkraj osamdesetih godina naučna istraživanja iz gotovo celog sveta pokazala su opravdanim zabrinutost naučnika za stanje ozonskoga omotača. Pod njihovim uticajem u Montrealu je 16. septembra 1987. potpisani Montrealski protokol o supstancama koje oštećuju ozonski omotač, čime je, uz uočavanje štetnih uticaja određenih hemikalija na ozonski omotač, preko UNEP - programa (Ujedinjenih naroda za zaštitu životne sredine) podstaknuta i izrada programa aktivnosti zaštite kako bi se sprečila dalja oštećenja. Na osnovi takvih sporazuma i aktivnosti rezolucijom Generalne skupštine UN-a (49/114 od 19. decembra 1994.) upravo je datum potpisivanja Montrealskog protokola, 16. septembra, proglašen Međunarodnim danom zaštite ozonskog omotača. Broj zemalja potpisnica protokola, od prvobitnih 46, porastao je do danas na više od 150.

Svako može učiniti nešto za spas ozonskog omotača. Time se želi podići opšta svest o potrebi zaštite ozonskog omotača koji čuva sve na Zemlji od štetnih uticaja Sunčevog zračenja, bez kojeg ne bi bilo života na Zemlji, a važan je i za atmosfersku raspodelu temperatura i utiče na klimu na Zemlji. Na skupu o Zemlji, 1992, u Riju, usvojen je globalni plan, program za promenu, kao ulaganje u buduće generacije, zasnovan na konceptu održivog razvoja. Narodi i vlade sveta su pozvani na razmišljanje i saradnju u potrazi za boljom budućnošću. Deset godina kasnije je održan skup u Johannesburgu, gde je ustanovljeno da se stanje u mnogome pogoršalo. Razvijene zemlje, koje su morale preuzeti vodeću ulogu u unapređenju održive potrošnje, ponašale su se ignorantno i bahato. Zemlje u razvoju su ih slepo i nerazumno pokušavale imitirati, umesto da su uspostavljale forme održive potrošnje u izgradnji svojih elemenata. Nerazvijene zemlje su postale još siromašnije, ali zato obogaćene opasnom, prljavom, zastarem i u razvijenim zemljama uglavnom zabranjenom tehnologijom. A bogati su čak kupovali "čisti vazduh" od zemalja sa malim emisijama štetnih gasova, kako bi smanjili vlastiti stepen zagađenosti.

3.4 Protokoli u našoj zemlji

Naša zemlja kao članica Ujedinjenih nacija (UN) ima obavezu da pristupa različitim međunarodnim ugovorima i sporazumima pod pokroviteljstvom UN, pa je tako potpisnik nekoliko međunarodnih ugovora iz oblasti zaštite životne sredine. Kao potpisnik Bečke konvencije i Montrealskog protokola (ali ne i amandmana) preuzela je i određene obaveze. Iz oblasti UV zračenja to je kontrola zagađivača atmosfere, monitoring UV zračenja, uključivanje u mrežu mernih stanica i svakodnevno obaveštavanje javnosti. Neophodne prateće aktivnosti su kalibracija mernih uređaja i interkomparacija sa uređajima iz drugih država i prognoza intenziteta UV zračenja. Osim formalnog ratifikovanja međunarodnih ugovora u našoj zemlji se sve do polovine 2002. godine nije poklanjala dovoljna pažnja ovim problemima. Još uvek ne postoji zakonska regulativa u oblasti UV zračenja. Kontinuirano merenje intenziteta UV zračenja u našoj zemlji se obavlja od aprila 2003. godine. Senzor je dobijen sredinom 2002. godine i u vlasništvu je Departmana za fiziku, PMF, u Novom Sadu.

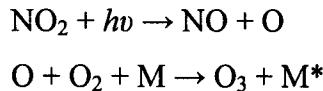
4. Ozon

4.1 Formiranje ozona i njegova rasprostranjenost na Zemlji

Kiseonik je gas koji je od velikog značaja za život na Zemlji. Atomski kiseonik (O) se ne može naći trajno u čovekovoj okruženju, već se kiseonik nalazi u obliku molekula. Kiseonik koji udišemo je u obliku molekula izgrađenog od dva atoma kiseonika (O_2). Pod određenim uslovima može se formirati molekul koji se sastoji od tri atoma kiseonika – ozon (O_3). Prvu fotohemiju reakciju formiranja i razlaganja ozona u atmosferi formulisao je 1930. godine Sidni Čepmen što je i početak istraživanja u oblasti atmosferske hemije. Za doprinos razjašnjenju procesa formiranja i razlaganja stratosferskog ozona i za objašnjenje mehanizma hemijskih reakcija koje utiču na debljinu ozonskog sloja 1995. godine je dodeljena Nobelova nagrada trojici naučnika: Polu Krucenu iz Nemačke, Mariju Molini i Šervudu Ronaldu iz SAD-a.

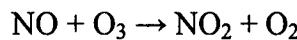
U prirodi se energija za razaranje molekula kiseonika obezbeđuje putem apsorpcije fotona elektromagnetskog zračenja dovoljne energije, ali se može obezbediti i sudarom molekula kiseonika sa slobodnim česticama, koje imaju dovoljnu kinetičku energiju. Ovaj slučaj se dešava u prirodi, prilikom električnih pražnjenja kroz gasove – pojave gromova, kada se molekul kiseonika usled sudara sa elektronima i drugim nanelektrisanim česticama razgrađuje na dva atoma, a potom se novoformirani atomi mogu sjediniti sa molekulima kiseonika i formirati molekul ozona. Sličan proces se može i veštački izazvati u laboratoriji, korišćenjem uređaja za veštačku proizvodnju ozona, tzv. ozonatora. Ozon je najvažniji sporedni gas u atmosferi. On je gas plavičaste boje, alotropska je modifikacija kiseonika, otrovan je ($1\text{-}2 \text{ cm}^3 \text{ O}_3 / \text{m}^3$ vazduha – izaziva nadržaj organa za disanje, razaranje plućnog tkiva, glavobolje, štetan je za životinje, biljke). Igra dve važne uloge: uklanja većinu biološki štetnog UV zračenja pre nego što dospe do Zemljine površine i reguliše temperaturu u stratosferi. U atmosferi ozon se može naći na dve lokacije: ispod 10 km – troposferski ozon i u višim slojevima – stratosferski ozon, ozonski omotač.

Troposferski ozon – je ozon na visinama na kojima živi čovek i osnovni je sastojak fotohemiskog smoga koji nastaje pri stabilnim meteorološkim uslovima u letnjem delu godine u veoma zagađenim sredinama. Čini oko 10 % od ukupne količine ozona. Prirodni je sastojak atmosfere ($\approx 3\ 000$ miliona tona). Jedan deo ozona u troposferu stiže iz stratosfere (gde i nastaje) vertikalnim strujanjem, dok drugi deo ozona nastaje u samoj troposferi, a ostali deo nastaje zahvajući fotodisocijaciji NO_2 (apsorbuje UV i VIS zračenje) pri čemu nastaje atomski kiseonik. Ovo je osnovna reakcija za stvaranje troposferskog ozona



gde je sa M^* označena energijom bogata supstanca, koja zagreva gornje slojeve atmosfere.

Azot-dioksid apsorbuje zračenje talasnih dužina manjih od 395 nm što odgovara energiji disocijacije od 3.1 eV i osnovni je izvor veoma reaktivnog atomskog kiseonika koji reaguje sa molekulom O_2 . U slučaju kada u vazduhu nisu prisutna druga organska jedinjenja ozon se troši kroz sledeću reakciju

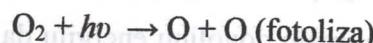


Akumulacija ozona u troposferi je jedino moguće ako se azot-monoksid prevodi u azot-dioksid reagujući sa drugim supstancama (ugljovodonici i hidroksidne grupe) osim sa ozonom. Troposferski ozon znatno efikasnije apsorbuje UV zračenje od stratosferskog. Razlog za to je prisustvo atmosferskih čestica (aerosoli) na kojima se zračenje reflektuje i rasejava pa je time i put zračenja kroz sloj koji apsorbuje duži i apsorpcija po jedinici debljine apsorbujućeg sloja efikasnija. Iako i troposferski ozon efikasnije apsorbuje štetno UV zračenje, na ovim visinama nije poželjan zbog svoje velike štetnosti.

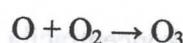
Stratosferski ozon – nastaje u fotohemiskim reakcijama pod uticajem zračenja malih talasnih dužina. U fotohemiju ozona je uključeno više stotina hemijskih reakcija od kojih ćemo prikazati samo najvažnije.

U stratosferi, temperatura raste sa visinom, upravo zbog toga što O_3 , O_2 i O apsorbuju najveći deo UV zračenja i oslobađa se velika količina toplotne energije. Osim apsorpcijom elektromagnetskog zračenja molekul kiseonika se može razložiti i

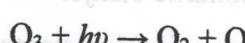
sudarom sa elektronima ili drugim česticama, što se dešava prilikom električnih pražnjenja u atmosferi. Proces nastanka ozona se odvija u dve faze. Prva faza je disocijacija molekula O_2 na dva atoma kiseonika



Ova reakcija se prvenstveno odvija u gornjim delovima atmosfere u tropskim oblastima pod uticajem zračenja visoke energije (talasnih dužina manjih od 240 nm). U drugoj fazi se vrši sjedinjavanje atomskog kiseonika sa molekulskim, čime se formira molekul ozona



Molekul ozona se može razložiti pod delovanjem Sunčevog zračenja



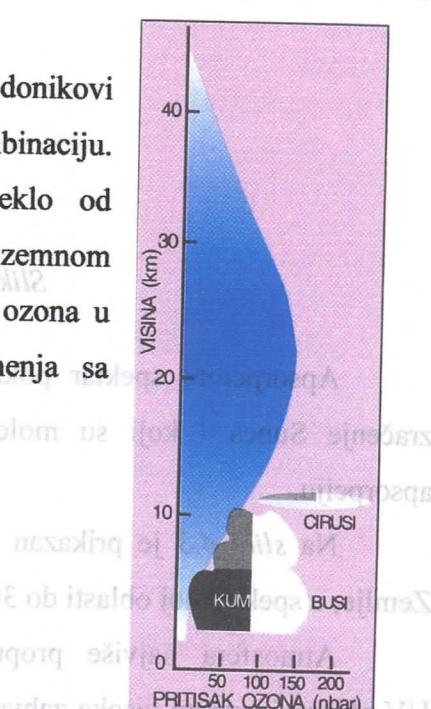
Ova reakcija se odvija uz znatno manje ulaganje energije (1.13 eV), odnosno apsorpcijom zračenja talasne dužine manje od 320 nm.

Ozon se takođe uništva ako se atom kiseonika i molekula ozona sretnu i ovu reakciju nazivamo rekombinacija



Ova reakcija je veoma spora i ako bi ona bila jedini mehanizam za gubitak ozona, ozon bi bio dva puta deblji.

Određene vrste, kao što su azotni oksidi, vodonikovi oksidi, hlor i brom sa jedinjenjima ubrzavaju rekombinaciju. Oksidi koji se nalaze u stratosferi vode poreklo od slaboreaktivnih molekula koji se oslobođaju u prizemnom sloju. Na slici 4.1 je prikazana raspodela pritiska ozona u različitim delovima atmosfere i kako se on menja sa nadmorskom visinom.

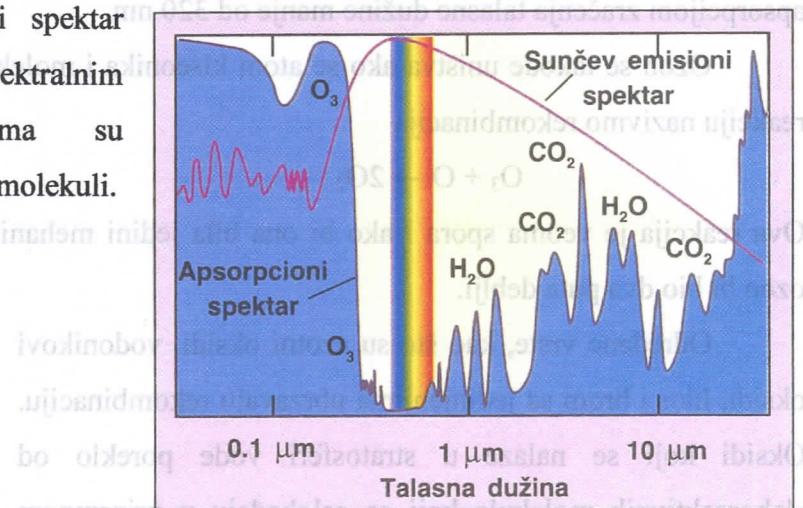


Slika 4.1 Raspodela ozona u atmosferi

4.2 Ozon u atmosferi

Sunce emituje zračenje širokog spektralnog opsega, a znatan deo tog zračenja je u UV oblasti. Fotoni UV zračenja imaju dovoljnu energiju da iniciraju reakcije za formiranje molekula ozona, na onim visinama do kojih, zbog gravitacionog dejstva, stiže kiseonik. Istovremeno, pod dejstvom tog zračenja koje stiže sa Sunca iniciraju se reakcije koje razgrađuju molekul ozona. Kada se zanemare drugi uticaji, dolazi se do zaključka da bi se posle izvesnog vremena uspostavila kinetička ravnoteža između reakcije razgradnje i formiranja ozona i tada bi koncentracija bila konstantna (ne menja se sa vremenom), uspostavilo bi se stacionarno stanje.

Debljina ozonskog omotača bi tada bila, manje – više, konstantna što je veoma bitno zbog apsorpcije štetnog UV zračenja. Na slici 4.2 je prikazan spektar Sunčevog zračenja i apsorpcioni spektar atmosfere sa spektralnim opsezima u kojima su najodgovorniji različiti molekuli.



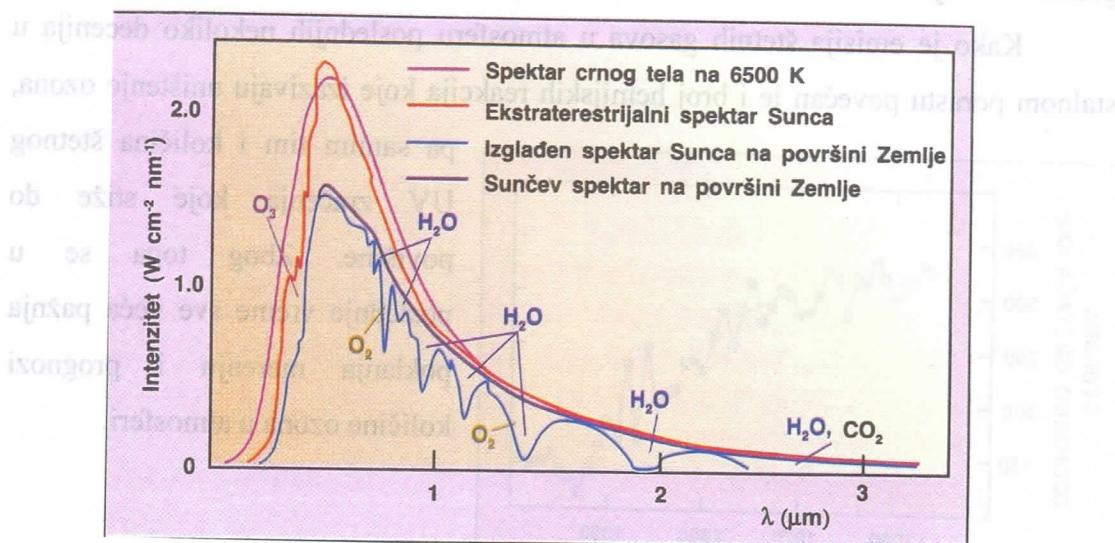
Slika 4.2 Apsorpcioni spektar atmosfere u širokom spektralnom opsegu

Apsorpcioni spektar pokazuje na kojim se talasnim dužinama apsorbuje zračenje Sunca i koji su molekuli, prisutni u atmosferi, najodgovorniji za tu apsorpciju.

Na slici 4.3 je prikazan spektar Sunčevog zračenja koji stiže do površine Zemlje, u spektralnoj oblasti do 300 nm.

Atmosfera najviše propušta vidljivi deo spektra, dok je apsorpcija u UV oblasti izuzetno visoka zahvaljujući apsorpciji ovog zračenja od strane molekula ozona. Količina apsorbovanog zračenja zavisi od koncentracije apsorbera u atmosferi

i od debljine atmosfere gde se oni nalaze. Svako smanjenje debljine apsorbera uzrokuje povećani intenzitet propuštenog zračenja.



Slika 4.3 Spektri Sunčevog zračenja i apsorpcioni spektar atmosfere u opsegu do 300 nm

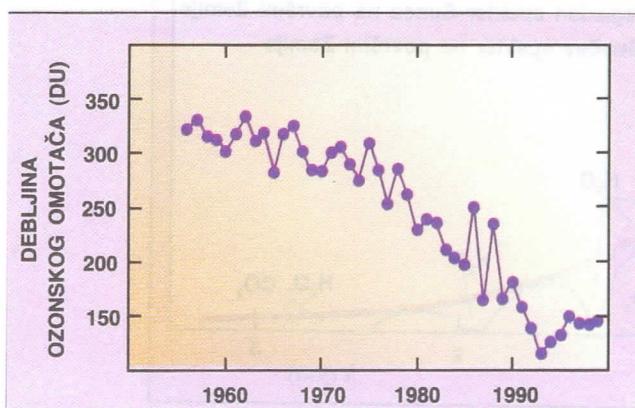
Osnovni uzroci koji utiču na debljinu apsorbera zračenja u UV oblasti su prirodni i antropogeni faktori. Tokom godine se debljina ozonskog omotača menja. Godišnja, promene ozonskog omotača iznad Antarktika su takve da se svake godine tokom proleća ozonski omotač smanjuje, za oko 50 % pa i do 90 %, usled hemijskih procesa. Ti ekstremni slučajevi se nazivaju "ozonske rupe". Sa obzirom da se klimatske promene na polovima značajno odražavaju i na klimu u ostalim delovima sveta, pojava ozonskih rupa ima veliki značaj.

Vrlo niske temperature u stratosferi iznad Antarktika (ispod -80 °C) omogućavaju formiranje oblaka koji su sastavljeni od leda i azotne kiseline, tzv. polarni stratosferski oblaci (PSC). U drugim oblastima atmosfere temperatura i vlažnost vazduha su takvi da onemogućavaju stvaranje takvih oblaka, tako da se oni održavaju samo iznad polova. Ovi oblaci se formiraju samo tokom zime, a hemijske reakcije zahtevaju i prisustvo zračenje, tako da dok traje polarna noć do reakcija u kojima se razara ozon skoro da ne dolazi. Početkom proleća i krajem zime se stvaraju uslovi za hemijske reakcije koje dovode do smanjenja ozonskog omotača. Kasnije tokom proleća i leta, pomenuti oblaci nestaju, isparavaju, a reakcije koje potpomažu novu sintezu ozona preovlađuju i debljina ozonskog omotača se povećava. Maksimalna debljina ovog omotača dostiže se oktobru. Na slici 4.4 je prikazana

promena debljina ozonskog omotača iznad Antarktika tokom poslednjih četrdeset godina. Kasnije u tekstu će biti objašnjeno zašto se nagomilava na polovima.

Kako je emisija štetnih gasova u atmosferu poslednjih nekoliko decenija u stalnom porastu povećan je i broj hemijskih reakcija koje izazivaju uništenje ozona,

pa samim tim i količina štetnog UV zračenja koje stiže do površine. Zbog toga se u poslednje vreme sve veća pažnja poklanja merenju i prognozi količine ozona u atmosferi.

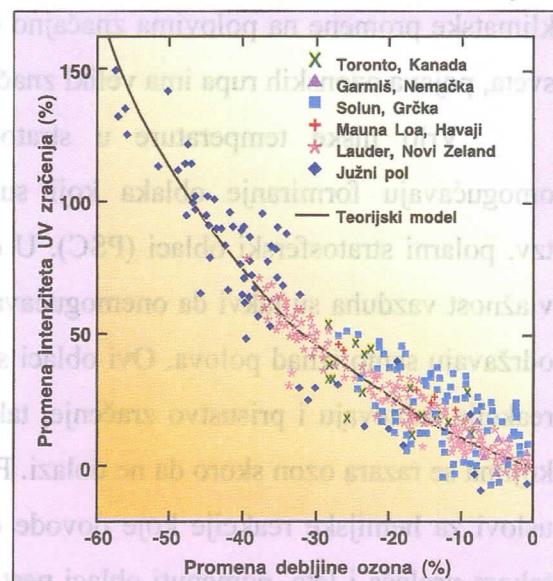


Slika 4.4 Promena debljine ozonskog omotača iznad Antarktika

Na slici 4.5 je prikazana promena intenziteta UV zračenja koje stiže do Zemlje u zavisnosti od promene debljine ozonskog omotača. Na slici su predstavljene merne vrednosti iz različitih centara, kao i teorijska kriva.

Tokom leta, zbog povišene temperature visina troposfere se povećava, a zimi smanjuje. Granice stratosfere i troposfere se pri tome ne menjaju, tako da kada je tropopauza niska, količina ozona u stratosferi je veća i obrnuto.

Na osnovu istraživanja NASA-e u gornjim slojevima troposfere raste koncentracija hidroksidnih radikala (OH , O_2H , odnosno HO_x) koji nastaju od vodene pare i metana, odnosno ugljenikovih i peroksi-jedinjenja, koji ispuštaju motori sa unutrašnjim sagorevanjem. Ovi hidroksi-radikali



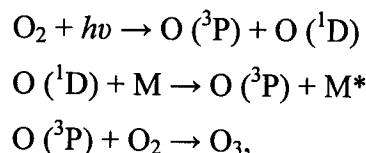
Slika 4.5 Promena intenziteta UV zračenja koje stiže do Zemlje u zavisnosti od promene debljine ozonskog omotača

pretvaraju $O_2 \rightarrow O_3$, što znači da nastaje višak O_3 u gornjim slojevima troposfere. Ovaj ozon se može difundovati u stratosferu i tamo iskrpiti ozonske rupe.

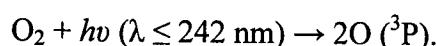
4.3 Hemijski procesi koji utiču na količinu ozona u atmosferi

Fotohemijski procesi imaju dominantnu ulogu u atmosferskim reakcijama. Supstancije prisutne u atmosferi mogu da pretrpe fotohemski inicirane promene direktnom fotolizom ili reagujući sa fotohemski pobuđenom molekulom. Ove reakcije su proprćene nastankom velikog broja slobodnih radikala, koji zatim imaju znatnu ulogu u hemijskim procesima. Šta su slobodni radikali? Slobodni radikali se nazivaju hemijske jedinke (atomi, molekuli, joni) koje imaju bar jedan nesparen elektron. Većina radikala je zbog prisustva nesparenog elektrona veoma reaktivna, otuda reakcije uz učešće slobodnih radikala teku po pravilu brzo.

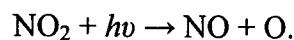
Bitna karakteristika fotohemijskih reakcija je visoka selektivnost, jer samo zračenje određene talasne dužine može da izazove određenu hemijsku reakciju. Zato fotohemiske reakcije u gornjoj i nižoj stratosferi imaju različite produkte. U gornjoj stratosferi, pod uticajem UV zračenja visoke energije ($\lambda \leq 175$ nm) reakcija fotolize daje



dok u nižoj stratosferi daje

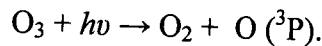


Oznake 1D i 3P pokazuju da u reakcijama učestvuju atomi kiseonika pobuđena u ta stanja. Molekuli NO ne apsorbuju zračenje talasnih dužina većih od 230 nm i ne mogu da reaguju fotohemski u troposferi, dok NO_2 , iako apsorbuje zračenje i u VIS spektru, neće disocirati ukoliko je talasna dužina veća od 395 nm, što odgovara energiji od 3.1 eV

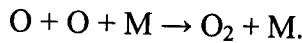
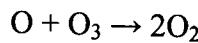
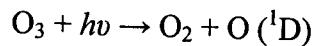


Razlaganje ozona se dešava u fotolitičkom procesu. Molekuli emituju i apsorbuju elektromagnetsko zračenje koje nije monohromatsko već se sastoji od vrlo

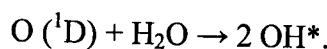
bliskih uzanih spektralnih oblasti emisije i apsorpcije. Molekul ozona apsorbuje zračenje od IR oblasti, preko VIS do UV oblasti. Apsorpcija fotona u VIS oblasti dovodi do reakcije



Apsorpcija fotona UV zračenja talasne dužine manje od 310 nm je znatno intenzivnija i ovaj proces rezultuje formiranju molekula kiseonika i atoma kiseonika u pobuđenom stanju

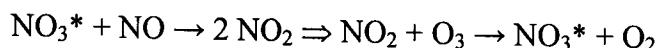
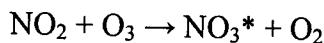


Ako se ova fotoliza odvija u prisustvu vodene pare odvija se i reakcija koja je osnovni izvor hidroksil radikala u troposferi

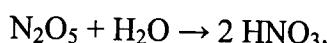


Reakcije u kojima učestvuje OH radikal utiču i na mogućnost transporta polutanata ka stratostferi. Zbog izuzetne reaktivnosti OH radikala, vreme života u zagađenoj atmosferi mu je manje od jedne sekunde. Iznad okeanskih, nezagađenih prostora živi i do četrtiri dana.

Najznačajniji hemijski procesi za uklanjanje organskih zagađujućih supstanci iz atmosfere uključuju dnevne procese: fotolizu, reakcije sa ozonom i OH radikalom, i noćne procese sa nitratnim radikalom (NO_3^*), kada je koncentracija NO_2 oko 500 puta veća nego NO. Naime, tokom noći NO_2 je potrošač ozona u reakcijama



a u prisustvu vodene pare



U prisustvu dnevne svetlosti nitratni radikali brzo fotolizuju, te navedene reakcije izostaju.

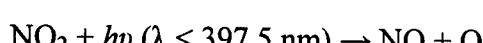
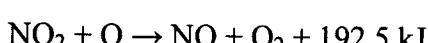
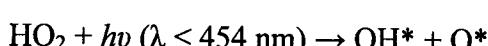
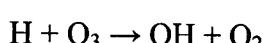
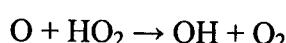
Azotuboksid N_2O , kao relativno inertan gas difuzijom dospeva do stratosfere gde se fotolitički razlaže do azota trošeći stratosferski ozon (udvostručavanje koncentracije N_2O smanjuje koncentraciju stratosferskog ozona za oko 12 %). Antropogeni doprinos sadržaju azotnih oksida u atmosferi premašuje za 50 %

prirodne izvore, prvenstveno usled intenzivne proizvodnje i primene azotnih mineralnih đubriva i sagorevaja fosilnih goriva.

Fotohemijske reakcije dominiraju i diktiraju temperaturni profil sve do tropopauze. Deo reakcije teče nezavisno od antropogenog uticaja. Fotohemski nastajanje i razlaganje ozona nema efekat zadržavanja u atmosferi jer se opet stvara kiseonik za polaznu reakciju.

Međutim, u fotohemiji ozona uključeno je više od stotinu hemijskih reakcija koje u stratosferi mogu da dovedu do smanjenja njegove koncentracije. Gotovo svi ovi procesi vode ka destrukciji uz obnavljanje početnog reaktanta, te omogućavaju da jedan molekul polutanta učestvuje u razgradnji mnoštva molekula ozona. Tragovi azotnih oksida (NO_x), radikali vodonika (HO_x^*) ili hlora (ClO_x^*) u stratosferi kataliziraju reakcije razlaganja ozona.

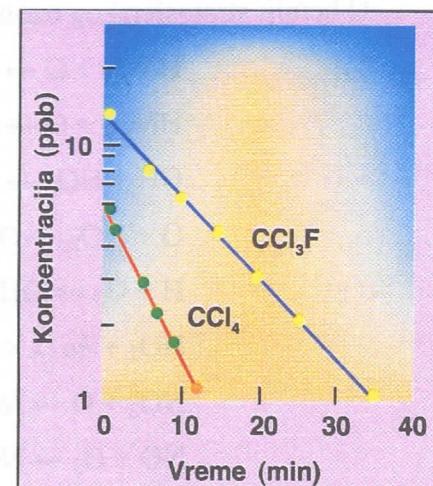
U hemiji stratosferskog ozona relevantne reakcije su



Jedan od ciljeva atmosferske hemije je ne samo kvalitativno, već i kvantitativno objašnjenje procesa. U tu svrhu se prema zakonu o dejstvu masa postavljaju diferencijalne jednačine za koncentracije jedinjenja koja se javljaju u jednačinama. Traže se stacionarna rešenja ovog sistema diferencijalnih jednačina, što je veoma složen postupak jer je reč o nelinearnom sistemu. Rezultati se upoređuju sa eksperimentalnim podacima. Ovakva procedura je i ukazala na potrebu uključenja većeg broja jednačina (reakcija) u odnosu na prvobitni Čepmenov ciklus (od 5 jednačina).

UV zračenje u stratosferi razara molekule halogenougljenika i drugih hlornih jedinjenja kao i molekule hlora. Na taj način se oslobađa atom hlora koji ne trošeći se unišava ozon. Odakle hlor u stratosferi?

Jedan deo hlora dospeva u stratosferu od antropogenog uticaja, emisijom halona (freona), dok se drugi deo stvara prirodnom emisijom biogenog CH_3Cl . Freoni su jedinjenja koja su prvi put sintetizovana 1928. godine, ali njihova negativna dejstva počinju tek 50-tih godina prošlog veka. Ova jedinjenja, koja su imala široku primenu u hemijskoj industriji u drugoj polovini prošlog veka (rashladni uređaji, rastvarači, sprejevi i itd.) su u velikoj meri odgovorna za uništavanje ozonskog omotača u atmosferi. U troposferi su slabo reaktivni, dok su u stratosferi mnogo reaktivniji. Ova jedinjenja su hemijski i tehnički stabilna (nezapaljiva), neotrovna, bez boje i mirisa, u vodi nerastvorljiva i vrlo isparljiva. Zbog stabilnosti u troposferi vreme života im je od 50 do 200 godina. Vertikalnim strujanjem mogu dospeti u stratosferu u neizmenjenom obliku, dok se ovde pod dejstvom kratkotalasnog UV zračenja fotolitički razgrađuju. Na slici 4.5 je prikazana vremenska zavisnost koncentracije hlorofluorougljenika pod dejstvom UV zračenja talasnih dužina iznad 220 nm.

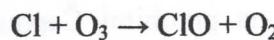


Slika 4.5 Razlaganje hlorofluorougljenika pod dejstvom UV zračenja

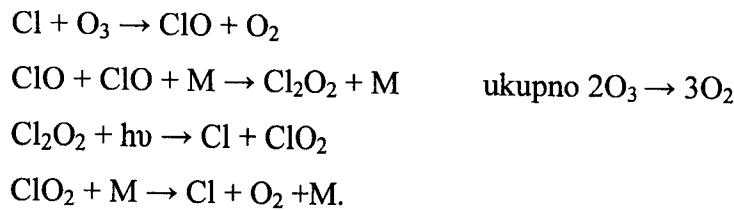
Fotodisocijacijom, freon ($\lambda = 190 - 230 \text{ nm}$) daje slobodan atom hlora i jedan radikal



Atom hlora Cl i hlor-monoksid ClO kataliziraju uništavanje ozona putem nekoliko mehanizama. Osnovne reakcije koje formiraju hlorne katalitičke cikluse su sledeće

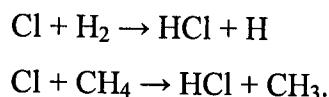


i

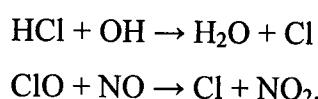


Procene su da jedan atom hlora može da razori 10^5 molekula ozona.

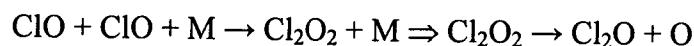
Nastali atom hlora može da reaguje i sa molekulom vodonika H_2 i metanom CH_4



HCl zajedno sa familijom radikala ClO_x (npr. ClONO_2) predstavlja rezervoar za oslobođanje atoma hlora fotohemijskim razlaganjem

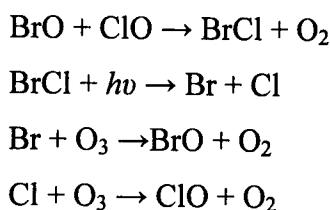


Uz prisustvo treće čestice M

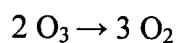


Najveći deo neorganskog hlora u stratosferi se nalazi u ovim rezervoarima.

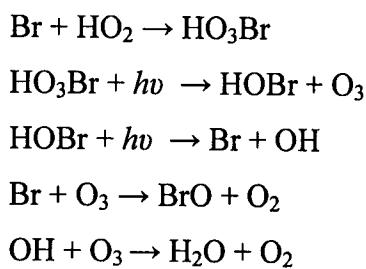
Brom zajedno sa hlorom može značajno da doprinese razaranju ozona. Njegova koncentracija u atmosferi je znatno manja, ali je on do sto puta efikasniji u razaranju ozona od hlora. Dva osnovna mehanizma su



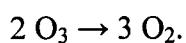
Ukupni efekat ovih reakcija je



Drugi mehanizam je



čiji je ukupni efekat



Trenutni sloj ozona je rezultat procesa fotolize i rekombinacije, pri čemu je sa povećanjem koncentracije katalizatora sloj ozona sve tanji.

4.4 Dodatne hemikalije

Čini se da četri hemikalije koje se prodaju kao bezopasne za ozonski omotač ipak to nisu. Sve više dokaza govori u prilog tome da ozonska rupa nad Antarktikom ne izleće kako se to očekivalo, pa će četri hemikalije koje su nedavno klasificirane kao manje opasne za okolinu ipak biti zabranjene.

Prva od njih je n-propyl bromid, novi rastvarač koji je 1997. godine dobilo odobrenje američke Agencije za zaštitu okoline (US Environmental Protection Agency) kao prihvatljiva zamena za proizvode koji su se dokazali kao pravi uništavači ozona, a utemeljeni su na raznim CFC spojevima. N-propyl bromid odmah je prepoznat kao potencijalni "žderač ozona", no u prirodi može preživeti samo dve nedelje, pa se mislilo da za to vreme ne može dospeti do ozonskog sloja. Međutim, u tropskim predelima zbog dinamičnih vremenskih prilika može se popeti do ozona već tokom nekoliko dana. Osim toga, n-propyl bromid već u donjim slojevima atmosfere reaguje sa okolinom te produkuje nusproizvode koji se lakše penju do stratosfere. Prema proceni UN-a, godišnje se na planetu proizvede oko 10 hiljada tona hemikalija koje su na tržištu označene kao "ekološke". Ta količina će se povećati na pedeset hiljada tona godišnje do 2010. godine.

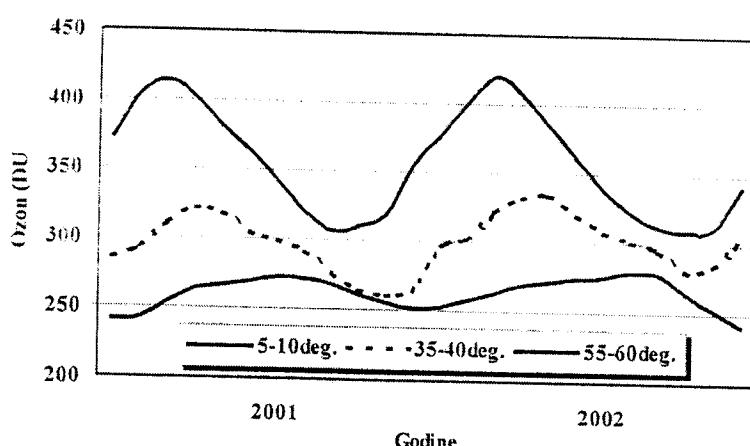
Ostale tri hemikalije koje će verovatno biti zabranjene su heksahlorbutadien, rastvarač i nusproizvod u proizvodnji plastike (PVC). Toga godišnje nastane nekoliko desetak hiljada tona. Halon-1202 starija je hemikalija koja se koristi kao protivpožarni sredstvo u vojnim vozilima kao što su tenkovi, kamioni, helikopteri i avioni, a 6-bromo-2-metoksi-naftalin koristi se kao dezinfekcijsko sredstvo posebno u američkoj poljoprivredi. Ako se te hemikalije nastave ispušтati u atmosferu, ozonski

omotač se neće izlečiti ili će se njegovo izlečenje produžiti na puno duže razdoblje, upozorava Mario Molina, dobitnik Nobelove nagrade.

Predviđanja da će se Antarktička rupa početi zatvarati krajem devedesetih godina prošlog veka sad su se pokazala pogrešnima. Rupa je 2000. godine imala veličinu od 30 miliona kvadratnih kilometara, a to je prostor u koji se celi Evropa može smestiti dva puta.

4.5 Distribucija ozona

Globalna distribucija ozona je određena atmosferskim i hemijskim procesima u atmosferi. Količina ozona, se u osnovi, povećava idući ka većim geografskim širinama (*slika 4.6*). Pošto ozon ima vreme života do nekoliko meseci u nižoj stratosferi, iznos ozona može jako varirati zbog transporta stratosferskim sistemom vetrova.



Slika 4.6 Srednje mesečne zonalno osrednjene vrednosti debljine ozonskog omotača na različitim geografskim širinama severne hemisfere

U tropima je količina ozona niska što je suprotno njegovoj velikoj proizvodnji u ovom području zbog cirkulacije koja prenosi ozon u više slojeve atmosfere i dalje prema polovima i ponovo u niža područja.

U srednjim geografskim širinama promene količine ozona u stratosferi u toku godine su više izražene od promena u nižim geografskim širinama. Razlog tome je veća amplituda promene temperature sa promenom godišnjih doba, što je praćeno

pojačanom cirkulacijom vazdušnih masa na nivou troposfere i stratosfere. U ovim područjima sezonska promena količine ozona je približno sinusoidna. Najveća razlika u temperaturi između tropskih oblasti i srednjih geografskih širina je tokom zimskog perioda. Tada je i atmosferska cirkulacija najjača pa se velika količina ozona transportuje ka ovim oblastima. Tokom zimskog perioda manja je količina svetlosti koja može da pokrene reakciju razaranja ozona, pa se ozon nakuplja u stratosferi. Maksimalne vrednosti ozona u atmosferi se nalaze krajem zime i početkom proleća. Početkom proleća temperaturna razlika između srednjih geografskih širina i tropskih oblasti počinje da se smanjuje pa slabi i atmosferska cirkulacija, pa samim tim i količina ozona koja iz tropa stiže u veće geografske širine. Takođe, sve veća količina svetlosti pokreće čitav niz reakcija koje su odgovorne za uništavanje ozona. Zbog toga od početka proleća količina ozona u atmosferi počinje da se smanjuje što traje do kraja leta kada je količina ozona najmanja. U našim geografskim širinama maksimum debljine ozona je u martu, a minimum u oktobru.

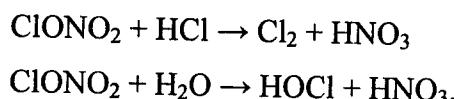
4.6 Antarktička ozonska rupa

Pod "ozonskom rupom" podrazumeva se oblast ozonskog omotača u kojoj je debljina manja od 200 DU. Ozonska rupa se stvara iznad Antarktika češće nego iznad Arktika, jer temperatura iznad severnog pola retko dostiže vrednosti ispod -80 °C, koja je potrebna za stvaranje PSC, dok se to iznad južnog pola dešava gotovo svake godine. Zašto nad Antarktikom? Arktik je vodena površina (okean), a Antarktik je kopno, pa je temperatura nad Arktikom viša. Zbog toga ozonska rupa nad severnom hemisferom nije intenzivna. Nemamo iste uslove za formiranje ozonske rupe.

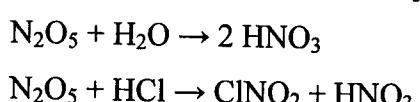
Na Antarktiku se veliki gubitak ozona dešava tokom ranog proleća. Tokom zime, kada nema svetlosti na polu u nižoj i srednjoj stratosferi cirkumpolarnim vetrovima se izoluje hladan vazduh. Kada se temperatura vazduha u njima spusti ispod -80 °C formiraju se specijalni oblaci koji su sastavljeni od leda i azotne kiseline, tzv. polarni stratosferski oblaci (PSC) o kojima smo već ranije pričali. Kako fotohemijske reakcije zahtevaju prisustvo zračenja kojeg zimi nema, ne dolazi do reakcija koje razaraju ozon. Početkom proleća zbog prisustva svetlosti se stvaraju

uslovi za reakcije. Kasnije tokom proleća i leta oblaci polako nestaju, a reakcije počinju da potpomažu novu sintezu ozona pa se debljina ozonskog omotača povećava. Međutim zbog povećane koncentracije štetnih molekula tokom leta se ne može nadoknaditi izgubljena količina ozona u stratosferi.

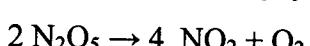
Vazduh iznad Antarktika je najvećim delom izolovan od ostale atmosfere i formira gigantski reakcioni sistem. Neobični fizički i hemijski uslovi omogućavaju nastajanje reaktivnih hlornih rezervoara koji efikasno katalizuju reakcije razlaganja ozona. Na površini stratosferskih oblaka dolazi do reakcije sa jedinjenjima iz rezervoara hlora. HCl se rastvara i čestice rastu, dok se hlornitrat ClONO₂ apsorbuje i reaguje



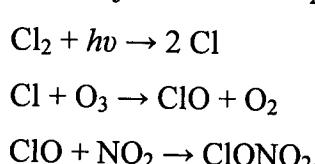
Azotna kiselina ostaje u česticama oblaka gde se odvijaju reakcije



U gasnoj fazi postoji ravnoteža između N₂O₅ i NO₂



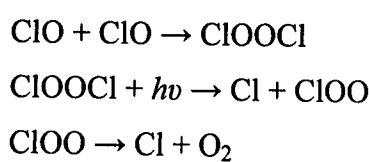
Reakcija izvlačenja NO₂ iz gasne faze i vezivanje za oblake u kojima se formira HNO₃ naziva se denoksifikacija. Molekuli Cl₂ i HOCl se lako razlažu fotolitički

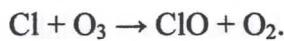


Kao što se vidi opet se formira molekul rezervoar ClONO₂.

Iako su Cl i ClO glavne reakcione vrste koje razaraju ozon, doprinos daju i reakcije ozona sa slobodnim atomima kiseonika. Međutim, atomski kiseonik je prisutan samo u gornjim slojevima stratosfere i nije od odlučujućeg značaja za niže slojeve.

Vrlo brza i odlučujuća reakcija koja je odgovorna za gubitak 70 % antarktičkog ozona uključuje hlorperoksid ClOOCl (ClO dimer)



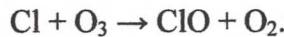
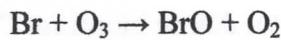
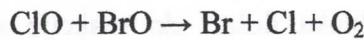


Ukupan efekat ovih reakcija je



Fotoliza hloroperoksida zahteva UV zračenje koje je zastupljeno u nižim slojevima stratosfere tek u proleće, kada nakon dugog zimskog vremenskog perioda građenja ClO i ClOOCl nastaje njihova brza destrukcija.

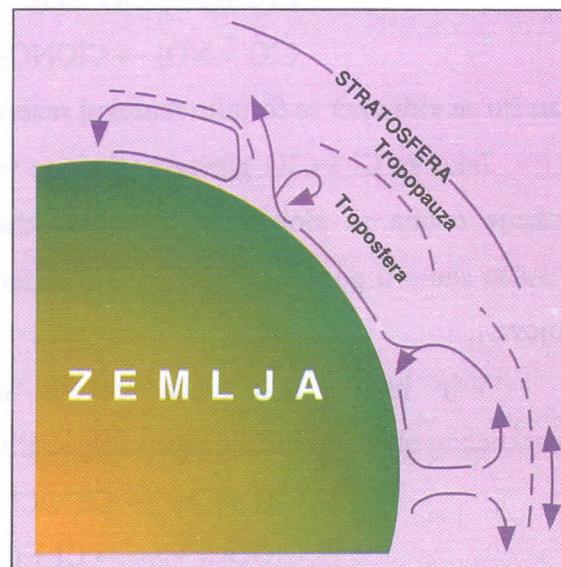
Gubitku od oko 20 % antarktičkog ozona doprinose reakcije



Najveća količina štetnih gasova emituje se sa Zemljine površine i to sa površina koje su visoko razvijene. Međutim, najveće smanjenje ozonskog omotača, ozonske rupe, se pojavilo oko polova. To je posledica strujanja gasova u atmosferi.

Stabilnost i stepen mešanja ne samo atmosfere nego i njenih manjih delova iznad urbanih i industrijskih oblasti, zavise od temperturnog profila iznad tla. Poznato je da se topiji gas, zbog manje gustine diže iznad hladnjeg. Pritisak gase se povećava sa nadmorskom visinom zbog dejstva gravitacije. Topli vazduh koji se u atmosferi podiže širi se i pri tom se sve hlađi dok se ne izjednači sa temperaturom i gustinom okolnog gasa. Važi i obrnuto i za hlađan vazduh, koji se u tom slučaju spušta i zagreva se.

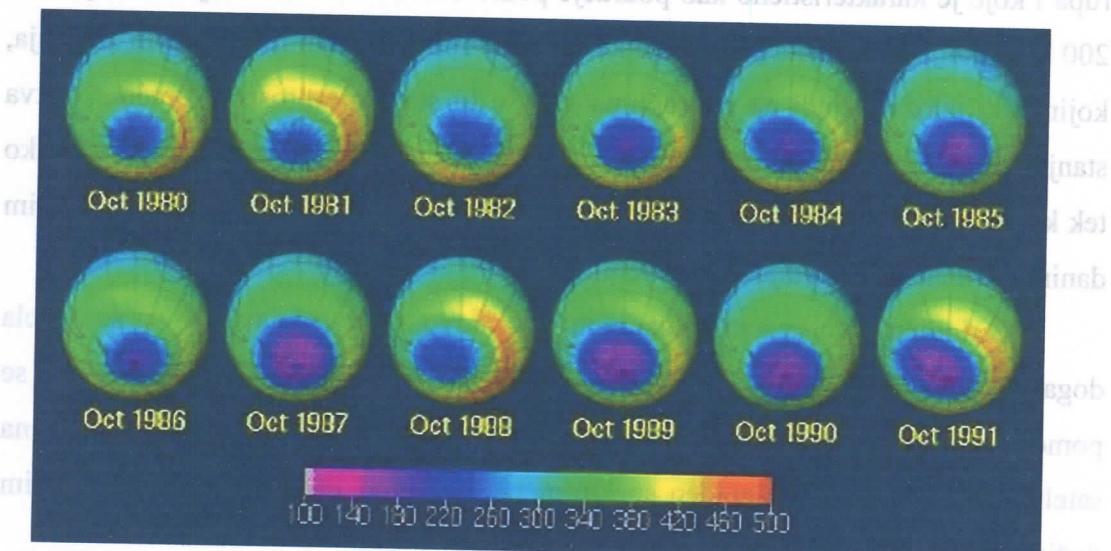
Vertikalno strujanje u atmosferi je osnovno kretanje gasnih masa. Temperatura vazduha oko ekvatora je najviša, jer ova oblast prima najviše energije od Sunca. U zonu niskog pritiska, tj. u prizemni sloj, dolazi vazduh iz oblasti većih geografskih širina. U višim delovima ekvatorialne oblasti gas se hlađi, zgušnjava i struji nadole, te se dobija kružno kretanje. Tako u ekvatorialnoj oblasti uzlazne



Slika 4.7 Strujanje vazdušne mase iznad Zemlje

struje severne i južne hemisfere stvaraju intertropsku zonu konvergencije, koja onemogućava znatnije mešanje gasova između hemisfera, a time i mešanje polutanata. Zbog toga se i polutanti šire uglavnom iznad hemisfere na kojoj su i nastali, a strujanja u atmosferi ih prenose do polova (slika 4.7).

Na slici 4.8 se vidi promena ozonske rupe iznad Antarktika u periodu od 1980. do 1991. godine, a na slici 4.9 je takođe prikazana promena ozonske rupe iznad Antarktika ali u periodu od 1982. do 1994. godine.



Slika 4.8 Promena ozonske rupe iznad Antarktika u periodu od 1980. do 1991. godine



Slika 4.9 Promena ozonske rupe iznad Antarktika u periodu od 1982. do 1994. godine

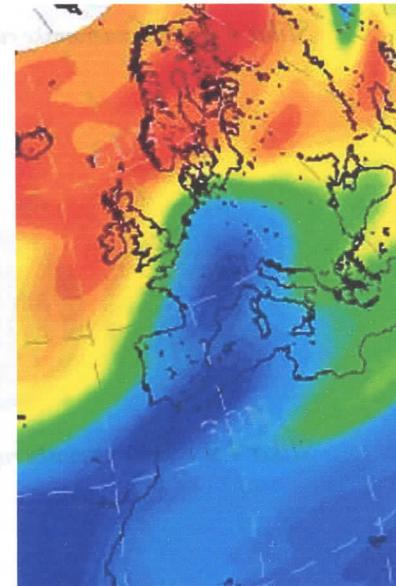
4.7 Stanje ozonskog sloja nad Evropom

Najnovije stanjenje ozonskog omotača iznad Europe posledica je snažne struje tropskog vazduha koji dolazi s ekvatora, gde je ozonski omotač i inače tanji. Područje tankog ozona sad se prostire od juga Španije do severa Nemačke, te ima stepen pokrivenosti ispod 250 DU.

Problem je u tome što je to opasno blizu stanju koje se opisuje kao ozonska rupa i koje je karakteristično kao područje pokrivenosti ozonskim slojem manjim od 200 DU. Tanji ozon znači povećanje količine štetnih Sunčevih i svemirskih zračenja, kojima su izloženi ljudi na područjima gde se to stanjenje prostire. Srećom, takva stanjenja ne traju duže od nedelju dana, a utešno je još i to što je to područje veliko tek koliko i desetina ozonske rupe koja se prostire iznad Antarktika. Ipak, pri vedrim danima to znači: više radijacije iz svemira.

Periodična stanjivanja ozona nisu ništa novo, no zabrinjava što su se počela događati češće nego prethodnih godina. Ozonski omotač iznad Europe posmatra se pomoću GOME-a (Global Ozone Monitoring Experiment), deo monitoringa na satelitu ERS-2, koji ima ugrađen spektrometar koji meri fluks zračenja na talasnim dužinama od 240 do 790 nm.

Na satelitskoj slici 4.10 vidi se tamnoplavu područje koje predstavlja stanjeni sloj ozona, a proteže se preko celog Evropskog kontinenta. Tokom proteklih pet godina, koliko traju posmatranja putem satelita ERS-2, takvih stanjenja ozonskog omotača bilo je nekoliko, a za pogodnija istraživanja trebaće da prođe ukupno dvadeset godina da se prikupe podaci koji će dati dovoljno informacija za čvršće naučne argumente o stanju ozonskog sloja iznad staroga kontinenta.



Slika 4.10 Debljina ozonskog omotača iznad Evrope

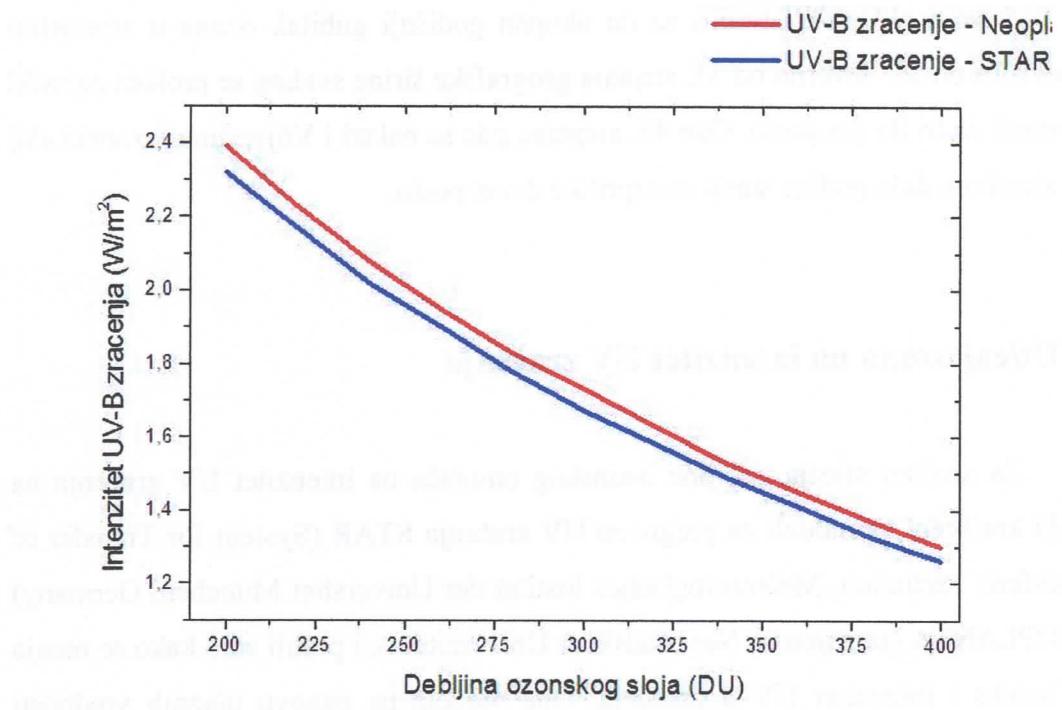
Sateliti NASA-e utvrdili su da ukupan godišnji gubitak ozona u stratosferi iznosi 0.26 posto. Severno od 35. stepena geografske širine svakog se proleća ozonski sloj stanji za tri do pet posto. Oko 45. stepena, gde se nalazi i Vojvodina, ozonski sloj se u zimskom delu godine stanji za otprilike devet posto.

4.8 Uticaj ozona na intenzitet UV zračenja

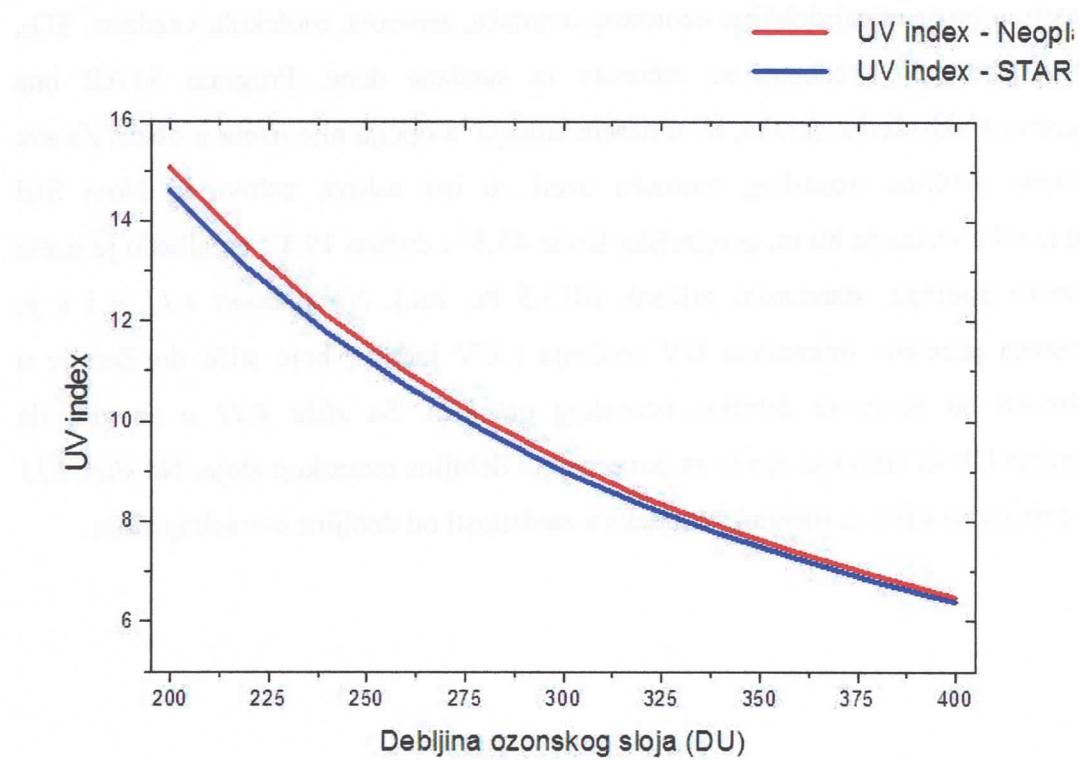
Za analizu uticaja debljine ozonskog omotača na intenzitet UV zračenja na Zemlji korišćeni su modeli za prognozu UV zračenja STAR (System for Transfer of Atmospheric Radiation, Meteorologisches Institut der Universitet Munchen, Germany) i NEOPLANTA (razvijen na Novosadskom Univerzitetu), i pratili smo kako se menja UV indeks i intenzitet UV-B zračenja. Oba modela na osnovu ulaznih vrednosti relevantnih atmosferskih parametara izračunavaju intenzitet UV zračenja i odgovarajući UV indeks pri vedrom nebu i na ravnoj površini Zemlje. Modeli uzimaju u obzir uticaj debljine ozonskog omotača, aerosola, molekula vazduha, SO_2 , NO_2 i podloge. Vrednosti su računate za sunčane dane. Program STAR ima mogućnost uključenja oblaka, ali u našem slučaju ta opcija nije uzeta u obzir. Za sve promene debljine ozonskog omotača uzeti su isti uslovi, uslovi za Novi Sad (nadmorska visina je 80 m, geografska širina 45.3° i dužina 19.8° , za albedo je uzeta betonska podloga, standardni pritisak 1013.5 Pa, itd.). Na slikama 4.11 a i b je prikazana promena intenziteta UV zračenja i UV indeks, koje stiže do Zemlje u zavisnosti od promene debljine ozonskog omotača. Sa slike 4.11 a se vidi da intenzitet UV-B zračenja opada sa povećanjem debljine ozonskog sloja. Na slici 4.11 b je prikazano kako se menja UV indeks u zavisnosti od debljine ozonskog sloja.



Slika 4.11 a: Zavisnost UV-B zračenja od debljine ozonskog sloja



Slika 4.11 a Zavisnost debljine ozonskog sloja od intenziteta UV-B zračenja



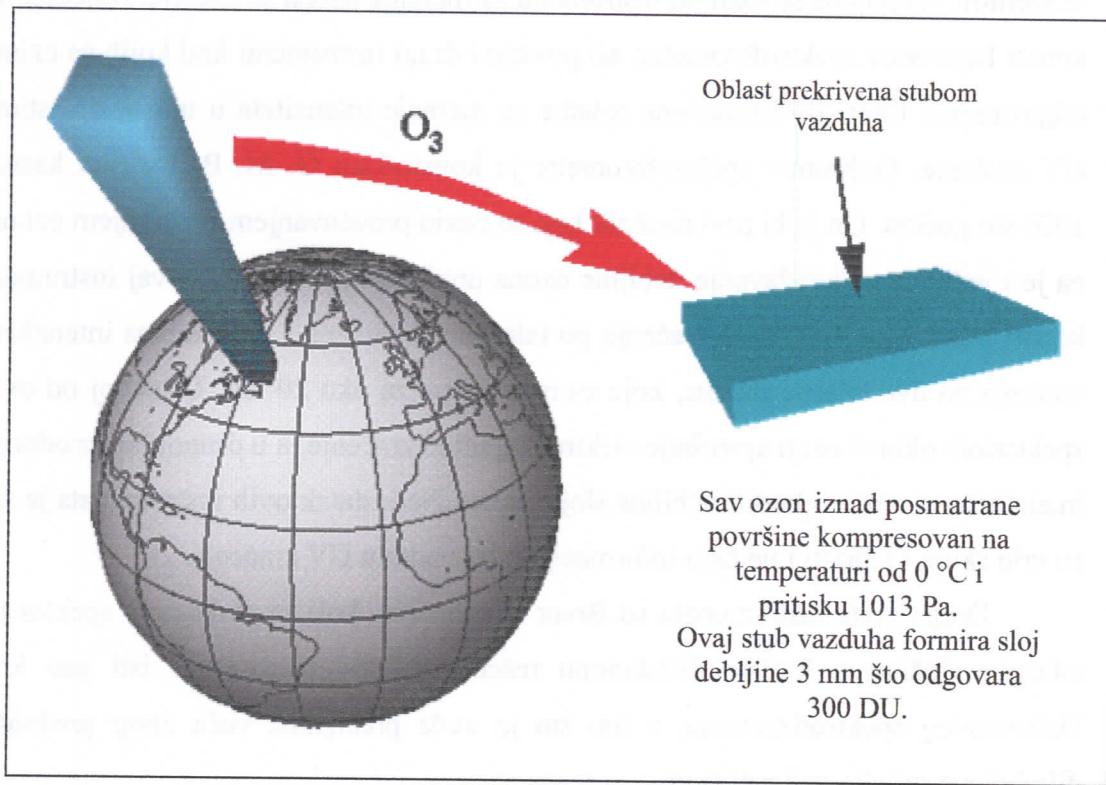
Slika 4.11 b Zavisnost debljine ozonskog sloja od UV indeksa

Sa obe slike se vidi da model NEOPLANTA predviđa nešto više vrednosti intenziteta UV zračenja nego STAR model. Za vrednost debljine ozonskog omotača od 300 DU NEOPLANTA daje za oko 4 % više vrednosti. Ovakvo odstupanje pokazuje da su ovi modeli u dobroj saglasnosti.

5. Metode merenja debljine ozonskog omotača

5.1 Definicija Dobsonove jedinice (DU)

Merenje debljine ozonskog omotača odnosi se na debljinu ozonskog omotača u stratosferi. Jedinica za merenje debljine ozonskog omotača je Dobsonova jedinica – DU (Dobson Unit). Ona se definiše kao visina u milimetrima koju bi zauzeo čist ozon pod pritiskom od 1013 Pa i na temperaturi od 0 °C. Sloj ozona od jedne Dobsonove jedinice je debeo hiljaditi deo centimetra, tj. 0,01 mm (*slika 5.1*). Ako se prepostavi da srednja debljina ozonskog omotača iznosi oko 300 DU, to znači da Zemlju štiti ozonski sloj čija bi debljina pod navedenim uslovima (pritisak i temperatura), bila oko 3 mm. Jedna Dobsonova jedinica sadrži $2,68 \cdot 10^{16}$ molekula/cm². Podaci o dnevnoj vrednosti debljine ozona iznad određene teritorije se u svakom trenutku mogu naći na internet sajtu <http://toms.gsfc.nasa.gov>.



Slika 5.1 Definisanje DU

5.2 Instrumenti za merenje debljine ozonskog omotača

Debljina ozonskog omotača u stratosferi se može meriti direktno i indirektno. Za direktno merenje se koriste instrumenti postavljeni na letećim objektima – avionima, satelitima i specijalnim balonima, a indirektno merenje se vrši sa površine Zemlje.

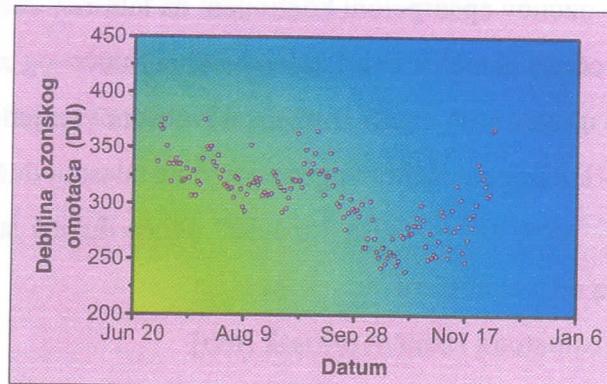
Količina ozona u atmosferi od 1920. do 1958. godine merena je na svega nekoliko mernih mesta, od kada se mreža počinje ubrzano širiti po čitavom svetu. Merenja se vrše unutar Globalnog sistema za posmatranje ozona (Global Ozone Observing System) pod vodstvom WMO (Svetska meteorološka organizacija), a podaci se čuvaju u Svetskom centru podataka o ozonu i UV zračenju (WOUDC) koji ima sedište u Torontu. Za izračunavanje prosečne količine ozona na jednom mernom mestu potrebno je izvršiti najmanje tri merenja dnevno. Zahvaljujući sposobnosti ozona da apsorbuje UV zračenje, ukupna količina ozona se može meriti i sa Zemlje i iz svemira. Razvijene su različiti instrumenti za merenje ozona sa Zemlje. Najčešće se koristi Dobsonov spektrofotometar, ali postoje i drugi instrumenti kod kojih se uzima odgovarajući filter ili difrakcione rešetke za merenje intenziteta u uskim oblastima UV zračenje. Dobsonov spektrofotometar je konstruisao G. M. B. Dobson kasnih 1920-tih godina. On je bi prvi naučnik koji se bavio proučavanjem i merenjem ozona, pa je i jedinica za izražavanje debljine ozona dobila ime po njemu. Ovaj instrument koristi prizmu za razlaganje zračenja po talasnim dužinama i meri odnos intenziteta zračenja na dve talasne dužine, koje su razdvojene za oko 20 nm. U jednoj od ovih spektralnih oblasti ozon apsorbuje elektromagnetno zračenje, a u drugoj ne. Iz odnosa intenziteta se može odrediti debljina sloja ozona. Nedostatak ovih instrumenata je što su vrlo skupi i kabasti i ne daju informaciju o intenzitetu UV zračenja.

Druga vrsta instrumenata su Bruer ozonometri, koji za razlaganje spektra po talasnim dužinama koriste difrakcionu rešetku. Metod merenja je isti kao kod Dobsonovog spektrofotometra, s tim što je ovde preciznost veća zbog prednosti difrakcione rešetke nad prizmom.

Treći tip instrumenta se bazira na korišćenju filtera za razdvajanje oblasti UV spektra, ali se princip i dalje zasniva na merenju odnosa intenziteta zračenja u različitim oblastima UV zračenja. Kod ovih instrumenata se umesto disperzionog

elementa (prizme ili difrakcione rešetke), za izdvajanje određene spektralne oblasti, koriste filtri. Stoga su oni proporcionalno jeftiniji od Dobsonovog spektrometra, ali i manje pouzdani.

Merenja na satelitima se sprovode više od 20 godina, a tehnike merenja se veoma razlikuju. Neka satelitska merenja se baziraju na merenju intenziteta zračenja Sunca prilikom njegovog izlaska i zalaska. Drugi metod se zasniva na merenju intenziteta UV zračenja koje se od atmosfere rasejava nazad u svemir. Tehnika merenja je veoma slična merenjima na površini i koristi odnos unazad rasejane svetlosti od sistema Zemlja – atmosfera i upadnog zračenja na vrhu atmosfere. U ovom slučaju prisustvo oblaka se mora uzeti u obzir. Na *slici 5.2* je prikazana debljina ozonskog omotača iznad Srbije u periodu od jula do decembra 2001. godine. Podaci su preuzeti sa satelita TOMS.



Slika 5.2 Debljina ozonskog omotača iznad Srbije u drugoj polovini 2001. godine

5.3 Teorijski osnovi merenja debljine ozonskog omotača spektroskopskom metodom

Apsorpcija direktnog Sunčevog zračenja kroz atmosferu može biti opisana Lambert – Beerovim zakonom

$$F_{dir}(z) = \mu_0 F_\infty \exp(-\tau(z)/\mu_0) \quad (5.1)$$

gde je $F_{dir}(z)$ gustina fluksa zračenja koje dospeva do horizontalne površine na nadmorskoj visini z , μ_0 je kosinus zenitnog ugla Sunca θ_0 , F_∞ je ekstraterestrijalni fluks meren normalno na upadno zračenje i $\tau(z)$ je optička debljina atmosfere duž z -ose. Svi procesi apsorpcije i rasejanja zračenja na različitim česticama i molekulima prisutnim u atmosferi utiču na vrednost optičke debljine τ .

Ovaj zakon je našao svoju primenu u konstruisanju raznih metoda za dobijanje debljine ozonskog omotača. Ova teorija obuhvata da izmereno zračenje od direktnog Sunčevog zračenja I_λ na Zemljinoj površini, u nekom bliskom intervalu oko talasne dužine λ može biti aproksimiran sa

$$I_\lambda = I_{0\lambda} e^{-\alpha_\lambda \mu \Omega - \beta_\lambda m \frac{p}{p_0} - \delta_\lambda \sec Z} \quad (5.2)$$

gde je:

I_λ – direktno normalno zračenje na Zemljinoj površini na talasnoj dužini λ [W/m²/nm]

$I_{0\lambda}$ – zračenje koje stigne na gornju granicu atmosfere [W/m²/nm]

α_λ – ozonov apsorpcioni koeficijent na talasnoj dužini λ [cm⁻¹]

μ – odnos aktuelne i vertikalne putanje Sunčevog zračenja kroz ozonski sloj

Ω – ukupni stub ozona izražena u Dobsonovim jedinicama

β_λ – koeficijent Rejljevog rasejanja na talasnoj dužini λ

m – “airmass” – „masa vazduha“ odnos dužina stvarne i vertikalne putanje zračenja kroz celu atmosferu

p – osmatrani stanični pritisak [mb]

p_0 – srednji morski nivo pritiska [mb]

δ_λ – koeficijent rasejanja čestica aerosola na talasnoj dužini λ

Z – solarni zenitni ugao (SZA) [°].

Izraz za μ i m je dato u sledećoj formi:

$$m = \sec Z - 0.0018167(\sec Z - 1) - 0.002875(\sec Z - 1)^2 - 0.0008083(\sec Z - 1)^3 \quad (5.3)$$

$$\mu = \frac{R + h}{\sqrt{(R + h)^2 - (R + r)^2 \sin^2 Z}} \quad (5.4)$$

gde je R – srednji Zemljin poluprečnik (6371,229 km), r – visina stanice iznad srednjeg nivoa mora (km) gde se meri ozon, h – visina ozonskog sloja preko srednjeg nivoa mora na staničnoj lokaciji (20 km) i Z – solarni zenitni ugao (SZA).

Određivanje debljine ozonskog omotača koristeći direktno Sunčeve zračenje vrši se mereći relativne intenzitete zračenja na izabranom paru talasnih dužina. Par korišćenih talasnih dužina, u ovom radu, su talasne dužine 305.5 i 325.4 nm. Zračenje na obe talasne dužine je smanjeno, zbog rasejanja na česticama prašine pri prolasku

kroz atmosferu do instrumenta. Ukupni stub ozona dat u Dobsonovim jedinicama izražen preko para talasnih dužina λ_1 i λ_2 je:

$$\Omega(DU) = \frac{1000 \left[L_{12} - \ln\left(\frac{I_1}{I_2}\right) - \beta_{12} m \frac{p}{p_0} - \delta_{12} \sec Z \right]}{\alpha_{12} \mu} \quad (5.6)$$

gde: $\alpha_{12} = (\alpha_1 - \alpha_2)$

$\beta_{12} = (\beta_1 - \beta_2)$

$\delta_{12} = (\delta_1 - \delta_2)$

$L_{12} = (L_1 - L_2) = \ln(I_{01}/I_{02})$, ekstraterestrijalna konstanta.

L_{12} odgovara merenom zračenju na gornjoj granici atmosfere.

Za dobijanje vrednosti α i β koristi se:

$$\alpha(\lambda) = (2.1349 \cdot 10^{19}) e^{(-0.14052\lambda)} \quad (5.7)$$

$$\beta(\lambda) = (16.407 - 0.085284\lambda + 0.00011522\lambda^2) \quad (5.8)$$

gde je λ talasna dužina izražena u nm.

Procenjeno je da je uticaj aerosola na obe linije podjednak $\delta_{12} = (\delta_1 - \delta_2) = 0$ tako da ovaj član nije uziman u obzir.

Na osnovu izraza 5.6 uz odgovarajuće ulazne podatke iz izmerenog spektra Sunčevog zračenja određuje se debljina ozonskog omotača.

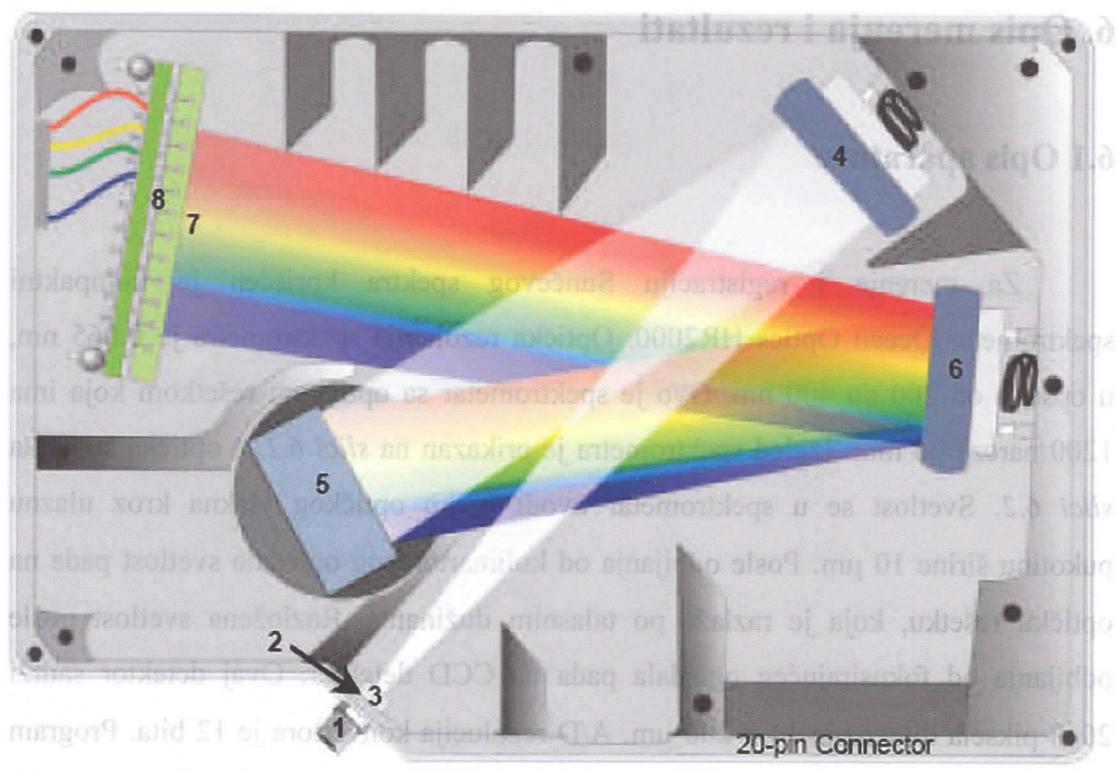
6. Opis merenja i rezultati

6.1 Opis aparature

Za merenje i registraciju Sunčevog spektra korišćen je kompaktni spektrometar Ocean Optics HR2000. Optička rezolucija spektrometra je 0.065 nm, u opsegu od 200 do 400 nm. Ovo je spektrometar sa optičkom rešetkom koja ima 1200 nareza po mm. Izgled spektrometra je prikazan na *slici 6.1*, a optička šema na *slici 6.2*. Svetlost se u spektrometar uvodi preko optičkog vlakna kroz ulaznu pukotinu širine 10 µm. Posle odbijanja od kolimatorskog ogledala svetlost pada na optičku rešetku, koja je razlaže po talasnim dužinama. Razložena svetlost posle odbijanja od fokusirajućeg ogledala pada na CCD detektor. Ovaj detektor sadrži 2048 piksela dimenzija 14 x 200 µm. A/D rezolucija konvertora je 12 bita. Program za kontrolu i komunikaciju između računara i spektrometra omogućava različito vreme integracije. Sa produženjem vremena integracije povećava se osetljivost detektora. Vreme integracije je birano tako da 4096 nivoa A/D konvertora pokrije deo spektra do oko 350 nm.



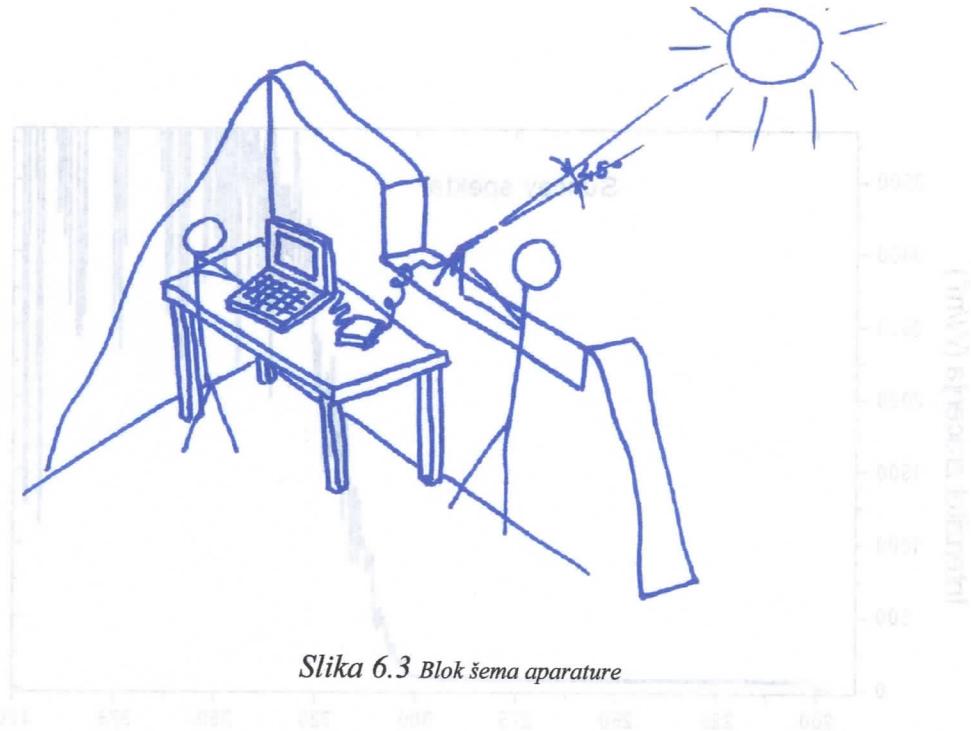
Slika 6.1 Spektrometar



Slika 6.2 Optička šema spektrometra

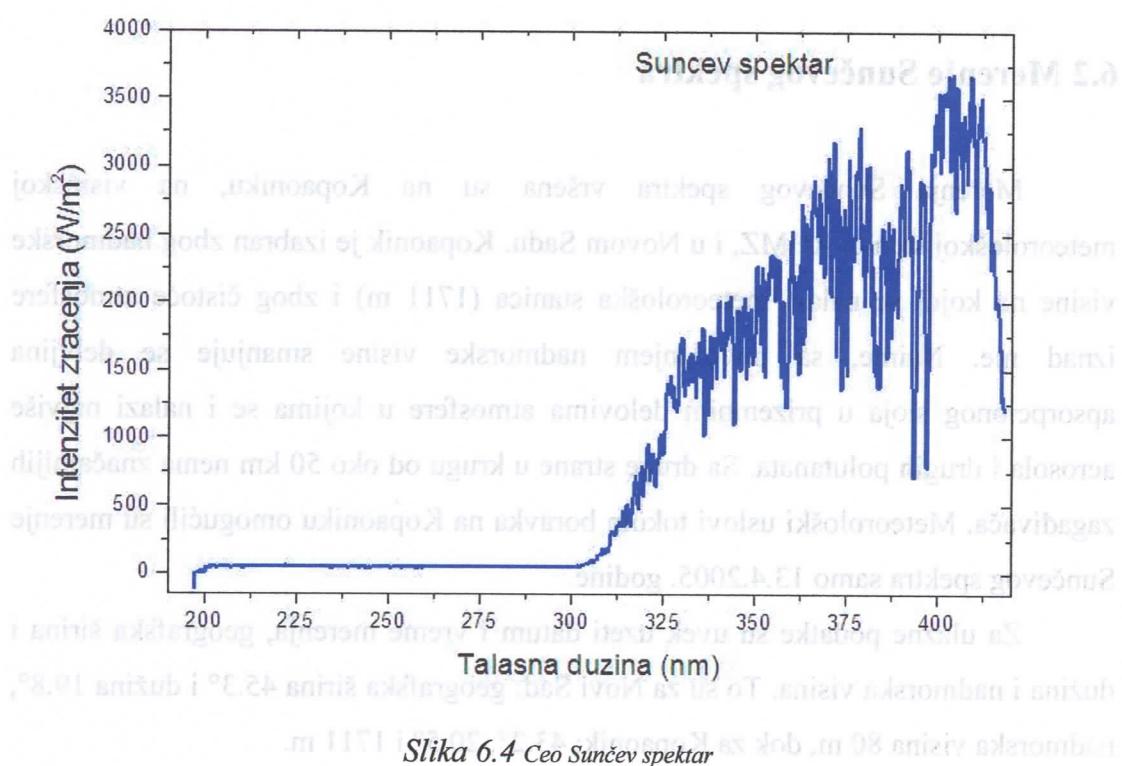
1. Konektor za priključenje optičkog kabla
2. Ulazna pukotina
3. Filter
4. Kolimatorsko ogledalo
5. Optička rešetka
6. Ogledalo za fokusiranje
7. Sabirna sočiva
8. CCD detektor

Blok šema aparature prikazana je na *slici 6.3*. Aparatura se sastoji od optičkog vlakna čiji je prečnik jezgra $10 \mu\text{m}$, kolimatora koji ograničava prostorni ugao na $1.5 \cdot 10^{-3}$ srad (što je standardna vrednost prostornog ugla pri ovim merenjima), spektrometra i računara za prikupljanje podataka i kontrolu spektrometra. Kolimator je postavljen na jedan kraj optičkog vlakna dok je drugi kraj povezan sa spektrometrom.

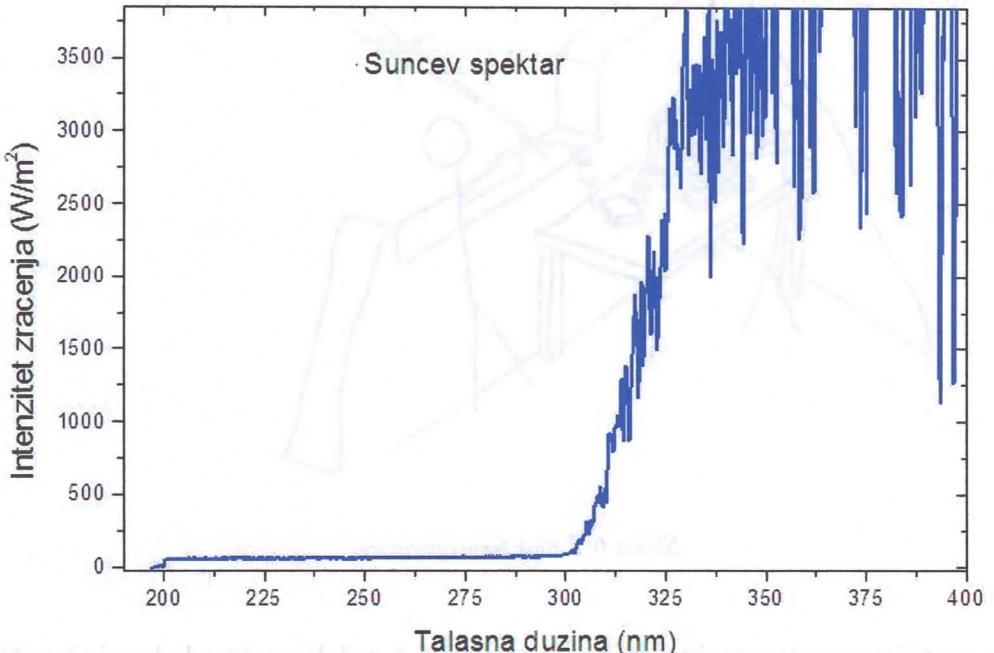


Slika 6.3 Blok šema aparature

Primer snimljenog celog spektra prikazan je *slici 6.4*, a dela spektra kakav je korišćen za merenje debljine ozonskog omotača na *slici 6.5*.



Slika 6.4 Ceo Sunčev spektar



Slika 6.5 Deo Sunčevog spektra

6.2 Merenje Sunčevog spektra

Merenja Sunčevog spektra vršena su na Kopaoniku, na visinskoj meteorološkoj stanici RHMZ, i u Novom Sadu. Kopaonik je izabran zbog nadmorske visine na kojoj se nalazi meteorološka stanica (1711 m) i zbog čistoće atmosfere iznad nje. Naime, sa povećanjem nadmorske visine smanjuje se debljina apsorpcionog sloja u prizemnim delovima atmosfere u kojima se i nalazi najviše aerosola i drugih polutanata. Sa druge strane u krugu od oko 50 km nema značajnijih zagađivača. Meteorološki uslovi tokom boravka na Kopaoniku omogućili su merenje Sunčevog spektra samo 13.4.2005. godine.

Za ulazne podatke su uvek uzeti datum i vreme merenja, geografska širina i dužina i nadmorska visina. To su za Novi Sad: geografska širina 45.3° i dužina 19.8° , nadmorska visina 80 m, dok za Kopaonik: 43.2° , 20.5° i 1711 m.

Merenja u Novom Sadu su vršena više dana u periodu od 1.3-10.5.2005. godine, u prepodnevnim časovima. Po pravilu, procedura merenja dnevne debljine ozonskog omotača zahteva merenja u 10.00, 12.00 i 15.00 časova. S obzirom da je cilj ovog rada da se samo pokaže mogućnost merenja debljine ozonskog omotača sa Zemlje spektroskopskom metodom, ova procedura nije poštovana.

6.3 Rezultati merenja i diskusija

Na osnovu izmerenih spektara i na osnovu izraza (5.6), određivana je debljina ozonskog omotača. Ovaj izraz podrazumeva korišćenje metoda određivanja debljine ozonskog omotača na osnovu apsorpcije na dve talasne dužine, na 305.5 nm i 325.4 nm. Pri tome je korišćen poseban program za izračunavanje Ω , koji je, za ove potrebe, razvijen u Centru za meteorologiju i modeliranje životne sredine Univerziteta u Novom Sadu. Najveći uzrok greške u određivanju debljine ozonskog omotača je nepoznavanje tačnih vrednosti koncentracije i vrste aerosola u atmosferi. Ove veličine se dobijaju putem neposrednog merenja, a s obzirom da se takva merenja kod nas ne vrše nije moguće u program ubaciti tačne vrednosti. Zbog toga je pretpostavljena neka srednja vrednost koja se odnosi na koncentraciju i tip aerosola za ovo podneblje. Na osnovu toga zaključeno je da je doprinos člana δ_{12} u izrazu (5.6) zanemarljiv.

Dobijeni rezultati na opisani način poređeni su sa rezultatima satelitskih merenja dobijenih sa satelita TOMS. *Tabela 6.1* sadrži vrednosti debljine ozonskog omotača koje su dobijene u ovom radu, datum i vreme merenja, vrednosti dobijene sa satelita TOMS i relativno odstupanje ova dva merenja izaženo u %. Na žalost, vrednosti sa satelita TOMS nisu bile dostupne za svaki dana kada je vršeno merenje i zbog toga su pojedina polja u *tabeli 6.1* prazna. Za svako merenje debljina ozonskog omotača je dobijena iz tri uzastopno izmerena spektra.

Datum i vreme	Debljina ozonskog sloja – spektrometrom	Debljina ozonskog sloja – TOMS	Relativno odstupanje
01.03.2005. 10:00	224 DU \pm 1 DU	259 DU	13.5 %
21.03.2005. 10:00	254 DU \pm 2 DU	279 DU	8.9 %
13.04.2005. 14:00	381 DU \pm 15 DU	378 DU	0.8 %
04.05.2005. 13:00	357 DU \pm 1 DU		
09.05.2005. 12:00	366 DU \pm 6 DU		
10.05.2005. 10:00	338 DU \pm 4 DU		
10.05.2005. 12:00	369 DU \pm 1 DU		

Tabela 6.1

Kao što se vidi iz tabele, odstupanja ova dva merenja se kreću između 1 % i 14 %. Najbolje slaganje je dobijeno za 13.4.2005. godine kada su merenja vršena na Kopaoniku. Ovo je za očekivati zbog uslova u atmosferi iznad Kopaonika, koji su ranije pomenuti. Dobijena slaganja između ove dve metode merenja su zadovoljavajuća i pokazuju da se metoda primenjena u ovom radu može koristiti za merenje i monitoring debljine ozonskog omotača.

Interesantni su rezultati dobijeni za 9.5.2005. godine u *tabeli 6.2*. Ovi rezultati su dobijeni kada je nebo bilo delimično prekriveno visokim (cirusnim) oblacima. Ovo važi za merenja izvršena između 11:15 i 11:56 časova. Merenje u 11:57 izvršeno je kada Sunce nije bilo zaklonjeno oblacima, tj. njegovo zračenje je direktno stizalo do aparature ne prolazeći kroz oblake. Kao što se iz dobijenih rezultata vidi, nema značajnih odstupanja među ovim merenjima. Srednja vrednost iznosi 366 DU sa standardnom devijacijom od 6 DU. Odavde se može zaključiti da se merenje debljine ozonskog omotača može vršiti i uz prisustvo cirusnih oblaka.

Datum i vreme	Debljina ozonskog sloja - spektrometrom
09.05.2005. 11:15	361 DU
09.05.2005. 11:15	356 DU
09.05.2005. 11:55	371 DU
09.05.2005. 11:56	370 DU
09.05.2005. 11:56	372 DU
09.05.2005. 11:56	367 DU
09.05.2005. 11:57	362 DU

Tabela 6.2

Na osnovu rezultata koji su dobijeni u ovom radu može se zaključiti da se opisana metoda može koristiti za merenje debljine ozonskog omotača sa Zemlje.

ZAKLJUČAK

Cilj ovog diplomskog rada je bilo određivanje debljine ozonskog omotača iz snimljenog Sunčevog spektra. Iz dobijenih rezultata se vidi da su naša merenja i rezultati u saglasnosti sa podacima satelitskog merenja. Nažalost nismo mogli sve rezultate proveriti sa satelitskim podacima, jer zbog kvara na satelitu TOMS podaci od 15.4.2005. godine nisu bili dostupni. Odstupanja koja smo dobijali su prihvatljiva, čak i onda ako se uzme u obzir da satelit TOMS ima grešku od 20 %. Ipak, greške merenja pripisujemo nepoznavanju tačnih vrednosti koncentracije i vrsta aerosola u atmosferi, koje se u našem području za sad ne mere.

Najbolji rezultat smo dobili za merenje na Kopaoniku 13.04.2005. godine. To se moglo i očekivati jer je atmosfera iznad Kopaonika čistija, nema čestica aerosola i zagađenja.

Pokazali smo još da visoki cirusni oblaci malo utiču na merenje debljine ozonskog omotača, kao i na intenzitet UV zračenja.

Neki naučnici još misle da će se ozonska rupa narednih godina smanjivati uz čovekovu svest, zato na svakom koraku, treba birati stvari koje neće oštećivati ozon, da bi njegova "rana", koja je 2000. godine bila veličine 30 miliona kvadratnih kilometara ili za lakše računanje poput 400 površina Srbije i Crne Gore, što pre izlečila. Prema ideji i planu potpisnika "Montrealskog protokola", bude li se čovečanstvo pridržavalo datih upustva, to bi se moglo dogoditi do 2050. godine.

DODATAK

Da li je ozon zagađivač ili isceljitelj?

Ozon može pogoršati simptome alergije, bronhitisa, astme i drugih zdravstvenih poremećaja jer spajanjem sa ugljen-dioksidom i drugim gasovima, ozon postaje snažan zagađivač atmosfere. Ne oštećuje samo površinu disajnog sistema već i zgrade, spomenike i biljke. S druge strane, u vrhunskim klinikama bolesnicima ozon i kiseonik ubacuju se u vene, a lekari veruju kako ozon leči kancer, gljivice, HIV, srčane bolesti i druge zdravstvene poremećaje. Stoga se danas često postavlja pitanje kako ozon u isto vreme može biti tako snažan zagađivač i tako snažno sredstvo za isceljivanje.

Ozon je 1840. g otkrio nemački hemičar Kristijan Frederik Šonbejn, Fakultet u Baselu, u Švarcajskoj. 1856. je ozon prvi put korišćen za dezinfekciju operacionih sala, a 1860. je prvi put korišćen za prečišćavanje vode u Monaku.

Prečišćavanje javne vodovodne mreže - ozon je snažan antioksidant te ubija ne samo virusе i bakterije već i mikroorganizme koji vodi daju loš ukus i miris.

Ozon u industriji - ozon se koristi za čišćenje i dezinfekciju unutrašnjosti boca, prečišćavanje vode pre proizvodnje napitaka, kao dezinfekciono sredstvo u farmaceutskoj industriji i proizvodnji elektronskih komponenti za oksidaciju površinskih nečistoća. Može se koristiti za sprečavanje rasta mikroorganizama u pokvarenom voću, povrću, jajima, mesu.

Kontrola otpadnih voda - ozon može razgraditi industrijski otpad poput fenola i cijanida nakon čega ovi postaju biorazgradljivi. Može se koristiti za čišćenje jezera i potoka od zagađenja, a da se ne ubije životinjski svet. Takođe, ne ostavlja hemijski otpad u ekosastavu.

Kontrola vazduha i smrada – Ozon se može koristiti za oksidaciju gasova u proizvodnji đubriva i drugim industrijskim oblastima.

Medicinski ozon – Berlinski lekar Albert Volf prvi je koristio ozon za lečenje bolesti kože 1915. godine, a nemačka je vojska tokom prvog Svetskog rata koristila ozon za lečenje brojnih ratnih povreda.

Tek 1932. godine ozon je ozbiljno proučen od naučnika kad je nemački zubar Fiš upotrebio ozoniranu vodu kao dezinfekcionalo sredstvo. Ervin Pair, hirurg, bio je jedan od njegovih pacijenata i odmah je uočio terapeutske mogućnosti ozona. Pair je zajedno sa francuskim lekarom P. Auburgom prvi primenio ozon u obliku reaktivne insuflacije (uduvavanje u otvor debelog creva) u svrhu lečenja. 1945. je Pair prvi primenio ozon intravenski u svrhu lečenja cirkulacionih poremećaja.

Prvi lekar koji je ozonom lečio rak bio je dr. W. Zable 50-ih godina prošlog veka. U sledećim je godinama sve više nemačkih lekara koristilo ozon za lečenje niza patoloških stanja. Veruje se kako je Horst Kif prvi lekar koji je uspešno upotreboio ozon za lečenje HIV-a. Danas oko 8 000 lekara u Nemačkoj ima licencu za bavljenje terapijom ozonom, dok ih je u Evropi oko 15 000. U Severnoj Americi se ova metoda još uvek smatra eksperimentalnom.

Prema Evropskom medicinskom društvu za ozon, lekari trenutno ozonom leče sledeće bolesti: Apsces, Akne, AIDS, Alergije (preosetljivost), Analne fissure, Artritis, Artroza, Astma, Cerebralna skleroza, Cirkulacijski poremećaji, Ciroza jetre, Cistitis (upala mokraćnog mehura), Dekubitus, Dijareja (proljev), Fistule, Furunculosis, Gangrena, Gastro-doudenalni ulkusi (čirevi probavnog sastava), Gastro-intestinalni poremećaji, Giardijaza (lamblijaza), Glaukom, Gljivične bolesti, Hepatitis, Herpes (simplex i zoster), Hiperkolesterolemija, Karcinomi (rak), Klimakterijski (menopauza) poremećaji, Konstipacija, Kornealni ulkusi (ulkusi rožnice), Mukozni colitis, Osteomyelitis, Ožiljci (npr. nakon zračenja), Parkinsonova bolest, Polyarthritis, Poremećaji živaca, Poremećaji zarastanja rana, Raynaudova bolest, Retinitis pigmentosa, Reumatoidni arthritis, Senilna demencija, Sepsa, Sinusitis, Spondylitis, Stomatitis, Sudeckova bolest, Thrombophlebitis, Ulcus cruris (otvorene rane na nogama), Vulvovaginitis.

Ozon u stomatologiji – Kako je jedna od prvih upotreba ozona za lečenje bila u stomatologiji, važno je spomenuti njegovu današnju ulogu u tom području. Nemački zubar Fritz Kramer navodi sledeće primene ozona u zubarskoj ordinaciji: snažano dezinfekcionalo sredstvo, kontrola krvarenja, čišćenje rana u kostima i mekim tkivima, pospešivanje zarastanja rana. Dr. Kramer naglašava kako se ozonirana voda može koristiti na nekoliko načina: kao voda za ispiranje usta, kao sprej za čišćenje oštećenih područja te za dezinfekciju sluznice usta, karijesa i tokom hirurških zahvata

u hirurgiji zubi, kao mlaz vode za čišćenje šupljina u zubima, terapija zubnih kanala i lečenje bolnih ginigivitisa i stomatititsa.

Ovo je samo jedan mali deo upotrebe ozona u medicinske svrhe.

Pozitivne zanimljivosti

Jeste li znali da se najveća ozonska rupa nalazi upravo iznad Australije i zbog toga je učestalost raka kože u 'Down Under' najveća na svetu? Jedan od učesnika koji oštećuju ozonski omotač jesu halogenougljenici (CFC), gasovi koji su se koristili u hladnjacima i drugim rashladnim uređajima, ali i u sprejevima i pumpicama za astmatičare. Da bi se sprečilo dalje uništavanje zaštitnog ozonskog sloja i počelo njegova obnova, Australija je sa brojnim drugim zemljama potpisnica ugovora o prestanku upotrebe CFC-a do 1995. godine. Jedna od retkih iznimki su astma-pumpice koje minimalno utiču na okolinu, pa se njihova upotreba tolerira do 2005 godine. Do tada će biti u potpunosti zamenjene novim pumpicama koje će sadržavati hidrofluoroalkane gasove bez pogubnog delovanja na dragoceni ozonski sloj.

Dobra je vest da je potrošnja CFC-a od 1986. godine globalno smanjena za 84 %, a u industrijskim zemljama za 97 %.

Kad bi ljudi ovog trenutka, u celom svetu, prestali upotrebljavati stvari koje štete ozonu, oporavak bi bio moguć. Zemlja i njegov omotač bili bi u ravnoteži negde oko 2050. godine.

Negativne zanimljivosti

Povećavanje industrijskog i poljoprivrednog zagađenja ugrožava vazduh koji udišemo, okeane, vrste koje žive na Zemlji i ozonski omotač koji nam štiti život.

- Svakih 20 minuta rađa se 3.500 ljudi, a gubi se jedna ili više životinjska ili biljna vrsta - najmanje 27.000 vrsta godišnje. Takva stopa rasta i raspon izumiranja nije bila poznata posljednjih 65 miliona godina.

- Širenje pustinja i smanjenje vodenih površina na trećini planete doprinosi gladi, socijalnim nemirima i migracijama. Dve trećine svetskog stanovništva deluje unutar 100 miliona okeana, mora ili jezera: 14 od 15 najvećih svetskih metropola (10 ili više miliona stanovnika) nalazi se na obali. Njihov uticaj na okolinu uključuje rastuće količine kanalizacionih voda i ostalog otpada, isušivanje tla, izgradnju plaža, te uništavanje mrestilišta.
- Uticaj prosečnog Amerikanca na okolinu je 30 do 50 puta veći od prosečnog stanovnika Zemlje u razvoju poput Indije.
- Koliko je teška borba protiv industrije koja zarađuje na štetnim proizvodima pokazuje i podatak da je u Americi krijumčarenje u tom području po jačini odmah iza krijumčarenja droge.
- Najveće globalno oštećenje ozonskog omotača očekuje se u sledećih nekoliko godina.
- Učestalost raka kože, unatrag pedeset godina, je povećana za 900 posto!

Šta je to dobar, a šta loš ozon?

Iako je reč o identičnoj hemijskoj supstanci, prizemni ozon naučnici nazivaju "lošim", a stratosferski "dobrim".

Prizemni ozon se uglavnom formira iz nekih prirodnih procesa (vulkani, isparavanje zemljišta, raspadanje bilja). U industrijskoj eri velika količina tog prizemnog ozona stvara se iz veštačkih izvora, pre svega, saobraćaja i industrije. Upravo taj ozon je polutant, njemu se pripisuje aerozagadjenje, koje je najintenzivnije tokom leta i to zato što se ozon u čitavoj atmosferi stvara i razgrađuje pod dejstvom UV radijacije, koja je leti i najjača. Periodično povećana koncentracija prizemnog ozona doprinosi povećanju smoga i opštoj zamućenosti atmosfere. Prizemni ozon ima štetno dejstvo na organizam: iritira sluzokožu očiju, nosa i pluća, a kada je u pitanju biljni svet, on je i jedan od faktora koji doprinose sušenju drveća, za koje se kao uzrok najčešće pominju kisele kiše.

Jedna istina i jedna zabluda o ozonu

Posle kiše, zdravo je izaći u prirodu i udisati prizemni ozon. Netačno! Pod dejstvom Sunca, koje je intenzivno posle kiše, kada je atmosfera čista, UV zračenje ubrzava proces stvaranja ozona, njegova koncentracija je veća nego što treba i otuda se oseća prepoznatljiv prijatni miris, koji, zapravo, nije zdrav.

Spisak literature

1. Zoran Mijatović, Ljiljana Čonkić, Suzana Miljković: UV – zračenje izvori, osobine, efekti i zaštita, Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad, 2002.
2. Valerija Češljević: Predavanja na predmetu Atmosferska hemija (III semestar, za smer: diplomirani fizičar – meteorolog)
3. Darko Kapor: Predavanja na predmetu Zračenje u atmosferi (IV/V semestar, za smer: diplomirani fizičar – meteorolog)
4. Branislava Lalić: Predavanja na predmetu Primjenjena meteorologija (VIII semestar, za smer: diplomirani fizičar – meteorolog)
5. <http://www.zdravzivot.com>
6. <http://ergonomija.zpm.fer.hr>
7. <http://jwocky.gsfc.nasa.gov/dobson.html>
8. <http://toms.gsfc.nasa.gov/>
9. <http://www.medicina.hr>
10. http://toms.gsfc.nasa.gov/teacher/ozone_overhead_v8.html
11. W. Gao, J. Slusser, J. Gibson, G. Scott, D. Bigelow, J. Kerr and B. McArthur, Applied Optics **40**, 3149 (2001.)
12. M. Morys, F. M. Mims III, S. Hagerup, S. E. Anderson, A. Baker, J. Kia and T. Walkup, Journal of Geophysical Research **106**, 14573 (2001.)

BIOGRAFIJA

Rođena sam 01.01.1981. godine u Subotici. Pohađala sam Osnovnu školu "Ivo Lola Ribar" u rodnom mestu. Nakon završetka osnovne škole upisala sam se u Gimnaziju "Svetozar Marković" u Subotici na prirodno-matematički smer. Po završetku gimnazije 2000. godine odlučila sam se za studije fizike u Novom Sadu. Odlučujem se za smer diplomirani fizičar – meteorolog, jer meteorologiju smatram za jednu jako interesantnu nauku.



UNIVERZITET U NOVOM SADU

PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj:

RBR

Identifikacioni broj:

IBR

Tip dokumentacije: Monografska dokumentacija

TD

Tip zapisa: Tekstualni štampani materijal

TZ

Vrsta rada: Diplomski rad

VR

Autor: Klaudija Bašić-Palković, 449/2000

AU

Mentor: Dr Zoran Mijatović, vanredni profesor

MN

Naslov rada: Merenje debljine ozonskog omotača spektrometrijskom metodom

NR

Jezik publikacije: Srpski (latinica)

JP

Jezik izvoda: s/e

JI

Zemlja publikacije: Srbija i Crna Gora

ZP

Uže geografsko područje: Vojvodina

UGP

Godina: 2005

GO

Izdavač: Autorski reprint

IZ

Mesto i adresa: PMF, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad
MA

Fizički opis rada: (broj poglavlja/broj strana/broj tabela/broj slika/broj grafika/broj priloga): (9/78/4/15/12/1)

FO

Naučna oblast: Fizika

NO

Naučna disciplina: atmosferska fizika

ND

Ključne reči: Ozonski omotač, UV zračenje, solarno zračenje

PO

UDK

Čuva se: Biblioteka instituta za fiziku, PMF, Novi Sad

ČU

Važna napomena: Nema

VN

IZ Izvod: U radu je primjenjen spektroskopski metod određivanja debljine ozonskog omotača. Dobijeni rezultati su upoređeni sa satelitskim podacima. Poređenje je pokazalo dobro slaganje koje se kreće između 1 % i 14 %.

Datum prihvatanja teme od strane departmana za fiziku: 12.05.2005.

DP

Datum odbrane: 24.05.2005.

DO

Članovi komisije:

Predsednik: Dr Darko Kapor, redovni profesor

Mentor: Dr Zoran Mijatović, vanredni profesor

Član: Dr Dragutin Mihailović , redovni profesor

UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF SCIENCES
KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number:

ANO

Identification number:

INO

Document type: Monograph type

DT

Type of record: Printed text

TR

Contens Code: Final paper

CC

Author: Klaudija Bašić-Palković, 449/2000

AU

Mentor: Dr Zoran Mijatović, associate professor

MN

Title: Measuring of ozone layer by applying spectroscopic method

TI

Language of text: Serbian

LT

Language of abstract: Serbian

LA

Country of publication: Serbia and Montenegro

CP

Locality of publication: Vojvodina

LP

Publication year: 2005

PY

Publisher: Author reprint

PU

Publ.place: Faculty of Sciences

PP

Physical description: (chapters/pages/literature/tables/graphics/additional lists):
(9/78/4/15/12/1)

Scientific field: Physics

SF

Scientific discipline: Atmospheric Physics

SD

Key words: Ozone layer, UV radiation, Solar radiadion

UC

Holding data: Department of Physics library

HO

Note: None

Abstract: In this work the spectroscopic method was applied for the determination of the ozone layer thickness. Obtained results are compared with the results of satellite measurements. This comparisson showed agreement between 1 % and 14 %.

Accepted by the Scientific Board on: 12.05.2005.

Defended: 24.05.2005.

Thesis defend board:

President: Dr Darko Kapor, full professor

Mentor: Dr Zoran Mijatović, associate professor

Member: Dr Dragutin Mihailović, full professor

