

Prirodno-matematički fakultet Novi Sad

Departman za fiziku
Smer: Astronomija sa astrofizikom

Seminarski rad

Predmet: Spektroskopija vasiona
Tema: Spektroskopija planetskih atmosfera i biomarkera

Profesor: Tijana Prodanović

Student: Uroš Meštrić

Maj 2007.

1. Uvod

Sunce nije ni po čemu posebno među zvezdama zato što poseduje planete. Bezbroj drugih planetarnih sistema je otkriveno, doduše većina otkrivenih vansolarnih planeta su takozvani "vrući Jupiteri". Dok astrometrijske, fotometrijske i spektroskopske metode detekcije postaju sve više preciznije, i dok se podpuno nove metode osmišljaju da bi se bavile problemom detekcije vansolarnih planeta, astronomi su započeli traženje planeta Zemljinog tipa u nastanjivim područjima oko obližnjih zvezda. Iako još uvek nismo našli život izvan nastanjive oblasti u našem Sunčevom sistemu, naše najbolje šanse za detekciju života na vansolarnim planetama će biti u potrazi za planetama sličnim Zemlji gde je život dovoljno bujan da bi značajno promenio planetu. Budući da su vansolarne planete jako daleko, mi smo jedino u mogućnosti da proučavamo njihove spektre. Slike tih planeta koje ćemo dobijati u budućnosti otkloniće sve nedoumice u vezi postojanja vansolarnih planeta, ali spektroskopija je ta koja će nam pružiti najviše o sastavu njihove atmosfere kao i o naseljenosti tih planeta.

Valjalo bi još napomenuti da naredne generacije teleskopa kao što su TPF (Terrestrial Planet Finder NASA) i DARWIN (ESA) koristiće spektar niske rezolucije za detektovanje obližnjih moguće nastanjivih planeta. Ako ovakvo detektovanje života bude pouzdano, moraćemo razumeti kako se atmosfera postojećih planeta razvija, kako specifičan biomarker može biti proizveden nebiološkim putem koje kombinacije biomarkera su uglavnom zastupljene.

U sledećem tekstu ću sažeto izložiti mnoge simulacije detektovanja kiseonika O_2 , ozona O_3 , azotsuboksida N_2O , ugljendioksida CO_2 i metana CH_4 , onda probleme koji će se javljati prilikom njihove detekcije kao i razloge zašto su neki biomarkeri pouzdaniji od drugih.

2. Uopšteno o Biomarkerima

Biomarkeri su pojave u spektru za čije postojanje ili prisutnost je potrebno biološko poreklo. Nastaju ili tokom stvaranja energije ili hemijskih sastojaka potrebnih za biosintezu (na primer, atmosferski kiseonik i metan) ili su produkti biosinteze (na primer složeni organski molekuli i ćelije).

Detekcija O_2 ili njegovog produkta O_3 istovremeno sa tečnom vodom i CO_2 je naš najpouzdaniji bio-pokazatelj. Dok se postojanje H_2O u tečnom stanju na površini planete smatra osnovom za razvoj života, to samo po sebi nije bio-indikator. Kao znaci života, H_2O i CO_2 su sekundarni po važnosti jer, iako su sirovina za život, oni nisu pokazatelji postojanja života.

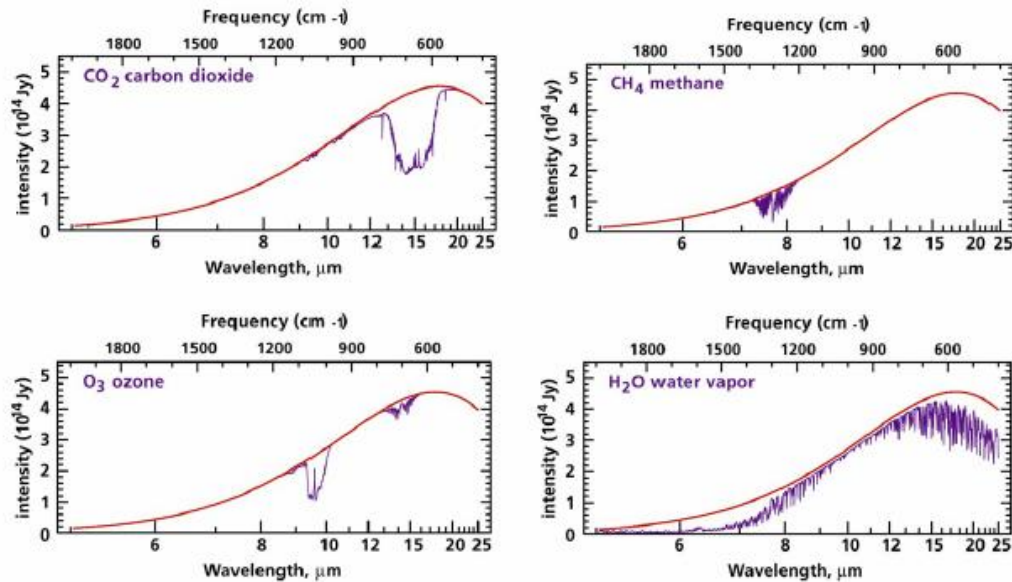
Zajedno sa molekularnim kiseonikom, prisustvo CH_4 može indikovati biološke procese. Iako u zavisnosti od stepena oksidacije površine planete i gornjeg sloja, pojave ne-biološkog porekla mogu stvoriti velike količine CH_4 pod određenim okolnostima.

Kiseonik je hemijski reaktivan gas. Redukovani gasovi i kiseonik moraju konstantno biti stvarani da bi bili detektovani u atmosferi, jer deluju reaktivno jedan sa drugim.

N_2O je interesantan jer ga život stvara u izobilju a samo mala količina nastaje u prirodnim procesima. Mada, on može biti jedino detektovan u regionima koji se značajno preklapaju sa CH_4 i H_2O , tako da je mala verovatnoća da će biti prvi na udaru.

3. Biomarkeri u IR oblasti

U srednjoj IR oblasti, klasični pokazatelji biološke aktivnosti su 9,6 μm linija O_3 , 15 μm linija CO_2 i 6,4 μm linija H_2O . U istom spektralnom polju, 7,7 μm linija CH_4 je potencijalni biomarker za planete tipa rane Zemlje. 9.6 μm linija O_3 je veoma zasićena i time je pokazatelj lošeg kvantiteta, ali je izvanredan kvalitativni pokazatelj postojanja tragova O_2 . Ozon je veoma ne-linearan pokazatelj O_2 dubina stuba ozona ostaje skoro konstantna kako se O_2 povećava od 0,01 trenutnog atmosferskog nivoa na 1 PAL (prisutan atmosferski nivo).



Slika 1. Spektri pojedinih biomarkera na Zemlji

U srednjem IR polju N_2O ima liniju blizu 8 μm , uporedivu po snazi sa graničnom CH_4 linijom ali slabom u poređenju sa preklapajućom H_2O linijom. Apsorpcione linije ove tri vrste su različite, tako da u principu njihove odlike mogu biti odvojene. Spektralne odlike N_2O postaju očigledne u atmosferama sa manje pare H_2O . Freon 11 i Freon 12 imaju spektralne odlike između 9 i 12 μm ali zahtevaju visoke rezolucije da bi bili detektovani.

Posmatranja H_2O kontinuuma od 8 μm do 12 μm dozvoljavaju procene površinske temperature planeta nalik Zemlji. Međutim atmosfere planeta koje su toplije od oko 310K će postati tamne u ovom regionu zbog kontinuuma apsorpcije od strane vodene pare.

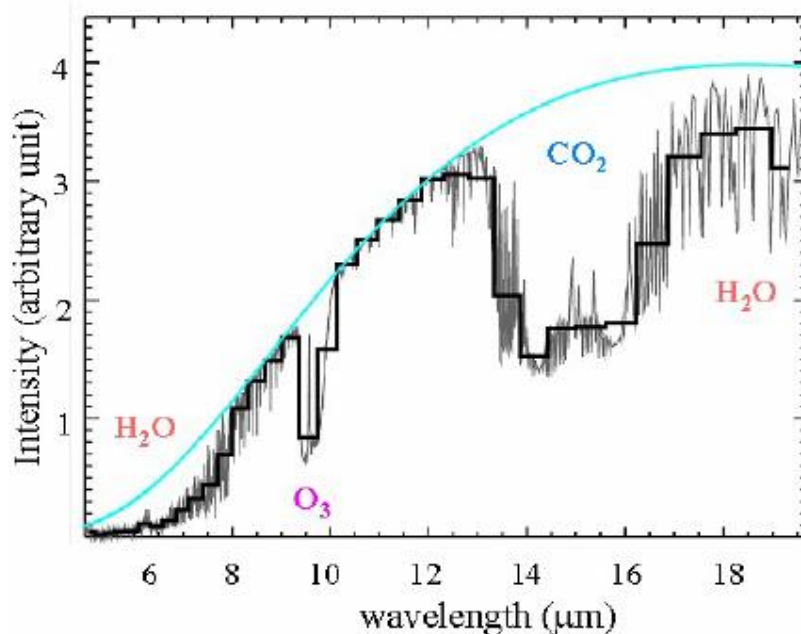
4. Silikat u IR oblasti

Silikatni minerali i O_3 imaju jake linije u regionu $10\mu\text{m}$, ali je mala verovatnoća da će biti pomešani jer je njihov spektralni oblik sasvim različit. Silikat odaje prisustvo na oko $10\mu\text{m}$. Što može prikriti ili oponašati detekciju O_3 na maloj rezoluciji usled apsorpcionog preklapanja linije ozona. Termalna emisija planete može dati 3 tipa silikatnog prisustva: prvi je usled diska prašine planetarnog sistema, drugi je usled prašine u suspenziji i treći je usled površinskih silikata.

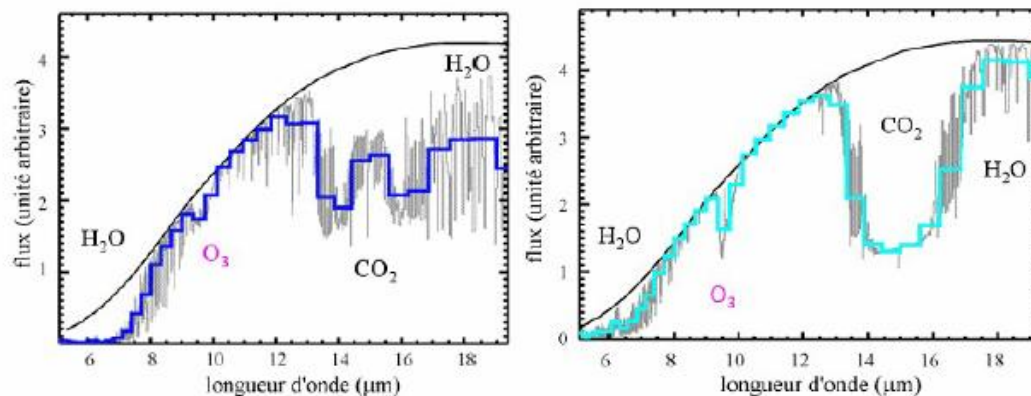
Posmatrajući vansolarne sisteme bez planete i oduzimajući taj spektar prašine od planetnog spektra, može se ukloniti prvi tip silikatnog prisustva. Apsorpcija atmosferske prašine je jasno vidljiva u Marsovom spektru uzetom tokom oluja prašine. Njegova oznaka se čini širom nego oznaka ozona.

4.1 Simulacija IR spektara oko različitih zvezda domaćina

Pošt karakteristike zvezda utiču na atmosferu planete koja orbitira oko nje, pokazaćemo neke simulirane spetre oko zvezda tipa G, F i K. Razlog što se korise baš ovi tipovi zvezda leži u tome što je najveća verovatnoća detektovanja života baš oko tih zvezda.



Slika 2. Simulacija spektra u IR oblasti oko zvezde G tipa



Slika 3. Simulacija spektra U IR spektru oko zvezda F i K tipa

5. Površinske pojave kao biomarkeri u vidljivom spektru

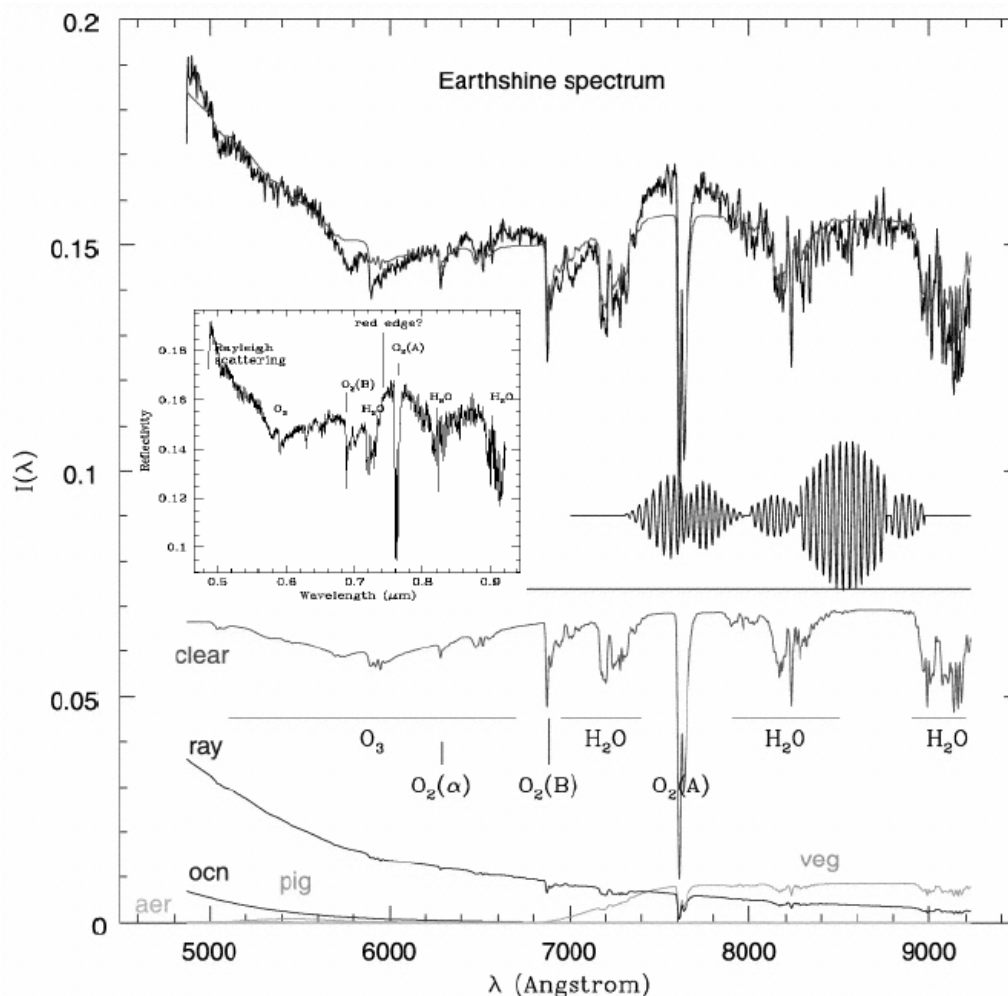
Atmosferski biomarkeri kao što su O_2 , O_3 , H_2O , CO_2 , i CH_4 su centar naše pažnje ali da bi se kompletirala priča, takođe ćemo diskutovati druge vrste biomarkera: površinske biomarkere. Njihovi spektri mogu biti detektovani u spektru planete van Sunčevog Sistema. Da bi detektovali i proučili površinska svojstva, možemo upotrebiti talasne dužine koje prodiru do površine planete.

5.1 Crvena ivica (VRE)

Interesantan primer za površinske biomarkere na Zemlji je pojava crvene ivice usled fotosintetičkih biljaka na oko 750 nm. Fotosintetičke biljke su razvile jaku infra-crvenu refleksiju kao mehanizam hlađenja da bi sprečile pregrevanje i degradaciju hlorofila. Primarni molekuli koji apsorbuju energiju i pretvaraju je u procesu fotosinteze (H_2O i CO_2 u šećere i O_2) su hlorofil A ($0.450\mu m$) i B ($0.680\mu m$). Fitoplankton može takođe prouzrokovati privremenu promenu u velikim površinama okeana, ali nije ga moguće detektovati usled njegovog slabog signala u prisustvu jake apsorpcije vode na ovim talasnim dužinama.

Nekoliko grupa (Woolf, 2002) (Arnold, 2002) je izmerilo integrisan spektar Zemlje upotrebom tehnike 'Earthshine'. 'Earthshine' merenja su pokazala da je detekciju Zemljine crvene ivice koju stvara vegetacija teško postići usled njenog slabljenja od strane atmosferskih i površinskih svojstava. Pokušavajući da se identifikuju tako mali iznosi na nepoznatim talasnim dužinama u spektru planete van Sunčevog Sistema može biti veoma teško. Promenljiv signal oko 700 nm od 4 do $10\pm 3\%$ je izmeren u albedu Zemlje (Woolf, 2002) (Arnold, 2002). On je protumacen kao posledica crvene ivice koju uzrokuje vegetacija, i očekivan je da bude između 2 i 10% od Zemljinog albeda na 700 nm, u zavisnosti od modela.

Spektar prikazan na slici 3 je izveden iz posmatranja lunarnog 'Earthshine u rasponu od 480-920nm pri spektralnoj rezoluciji od oko 600 od strane Woolf et al. (Woolf, 2002). Vidi se povecanje reflektivnosti u regionu od 720 do 790nm, za koji se može pretpostaviti da potiče od vegetacije. Međutim, podatci nisu pokazali dalju visoku reflektivnost na dužim talasnim dužinama (720-920nm) kao sto bi se to moglo očekivati od refleksionog profila vegetacije, što cini tumačenje nesigurnim. 7 komponentnih spektara je upotrebljeno i sabrano ne bi li se dobio model spektra kao sto je prikazan na slici.



Slika 4. Primeri izmerenog spektra albeda Zemlje

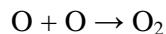
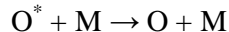
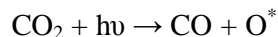
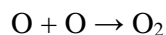
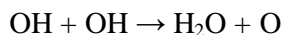
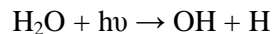
Za planete van Sunčevog Sistema, VRE može biti komplikovan za merenje kao za Zemlju zbog promenljivog sloja oblaka planete. Model atmosfere planete van Sunčevog Sistema je potreban da bi se mogle ukloniti apsorpcione trake koje mogu delimično zakloniti vegetaciju. Čak i ako je čist spektralni signal nalik VRE-u prikazan, njegova upotreba kao biomarkera još uvek postavlja određena pitanja. Tačna talasna dužina i jacina spektroskopske crvene ivice zavisi od biljnih vrsta i okoline.

6. Kiseonik i ozon kao spektralni znaci života

Smatrano je da je ugljenik u atmosferi primitivne Zemlje bio skoro potpuno oksidovan. Stvaranje organskog materijala je zahtevalo redukciju CO₂.

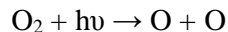


Ova reakcija je dopunila slobodni kiseonik, koji je veoma reaktivan gas. Ako nije konstantno obnavljan, on bi nestao. Prisustvo slobodnog O₂, H₂O i CO₂ u atmosferi planete čini se da ukazuje na prisustvo života zasnovanog na ugljeniku. Na Zemlji, stepen biološki stvorenog O₂ je mnogo veći nego abiotički. Dva glavna načina da se fotohemijски stvori O₂ su inicirani putem fotolize H₂O i CO₂ od strane ultra-ljubičastog zračenja. Prvi je odgovoran za detektovanje molekularnog kiseonika na Evropi, drugi za molekularni kiseonik Marsove atmosfere.



Zvezda toplija od Sunca emituje više ultra-ljubičastog zračenja i tako može podstaći visok stepen foto disocijacije. Na planetama nalik Zemlji sa površinskim temperaturama oko 300K prvi proces je snažno umanjen postojanjem hladnih slojeva u tropopauzi. Oni blokiraju većinu uzdižuće vodene pare. Ona se vraća na površinu planete kao kiša ili led. Onda je H₂O samo manjinski gas u gornjoj atmosferi pod značajnim uticajem ultra-ljubičastog zračenja. Foto disocijacija CO₂ može stvoriti samo mali iznos O₂.

O₃ se stvara fotohemijски od fotolize O₂:



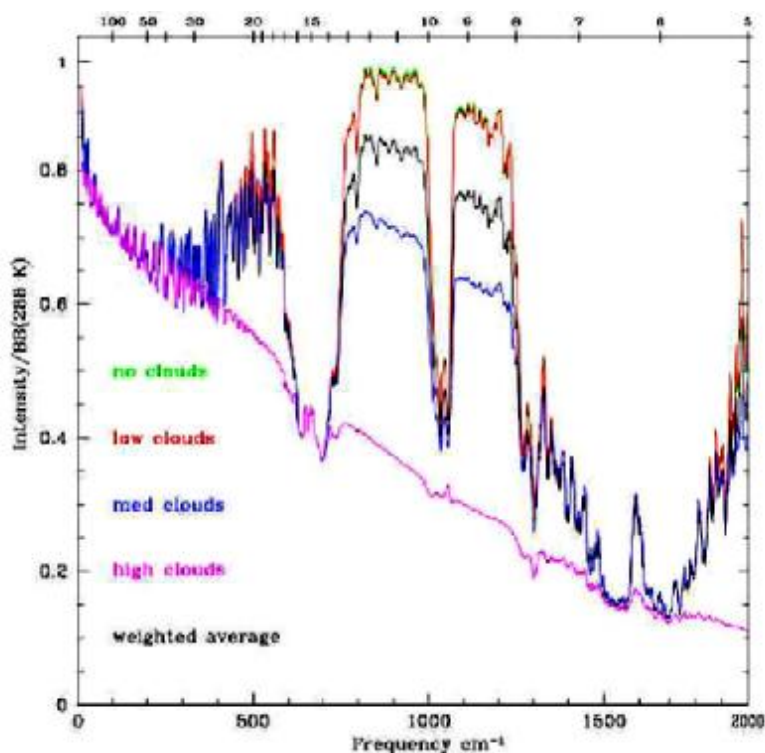
M je treći molekul neophodan da se podnese prekoračenje energije sudara. O₃ je osetljiv indikator O₂ zato što ima logaritamsku zavisnost od količine O₂.

7. Biomarkeri u vidljivoj i bliskoj IR oblasti

U ovom poglavlju ću predstaviti simulacije najpouzdanijih biomarkera, odnosno videćemo koji delovi spektra odgovaraju pojedinom biomarkeru i zasto su pojedini biomarkeri pouzdaniji od drugih.

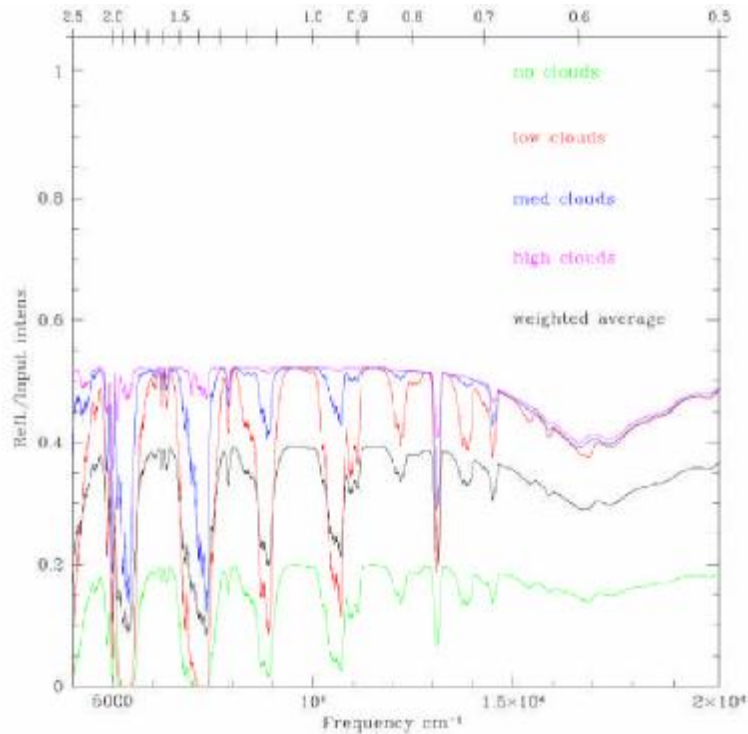
OBLACI:

Infracrveni model spektra Zemlje na slici 5. pokazuje kombinovane efekte spektralnih apsorpcionih linija i oblaka. Spektar čiste atmosfere (bez oblaka) je prikazan sa najvišom krivom, koja pokazuje da, bez oblaka, možemo prodreti najdublje u troposferu i tako posmatrati najsjajnije emisijske linije. Ukoliko je planeta pokrivena sa visokim oblacima, na visini tropopauze, dobijamo najnižu krivu koja je u osnovi crno telo na temperaturi tropopauze. Krive između ova dva ekstremna slučaja pokazuju površi oblaka srednjih visina. Srednja kriva predstavlja kombinovan efekat izmerenog proseka čistih i delova sa oblacima da bi grubo simulirao trenutnu Zemlju. Ovaj opseg spektara pokazuje da tipovi oblaka i gasova mogu dominirati srednjim delom infracrvenog spektra.



Slika 5.

Spektar modela Zemlje za vidljivi opseg na slici 6. pokazuje pet krivi koje predstavljaju spektre od površine, svaki od 3 sloja oblaka, i izmereni prosek ovih komponenti. Predpostavljeno je da su oblaci na istim talasnim duzinama, njihov glavni efekat je da učine apsorpcijske linije manje dubokim.



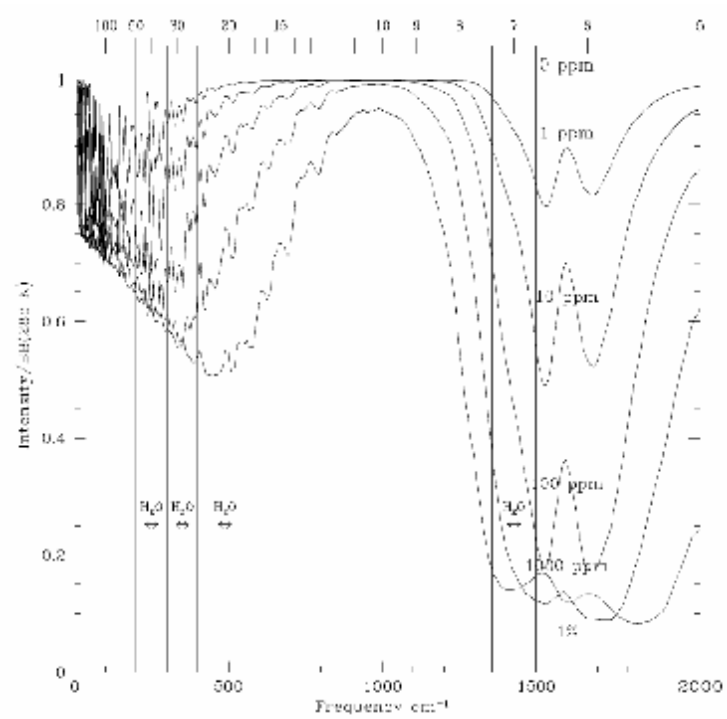
Slika 6.

VODA H₂O:

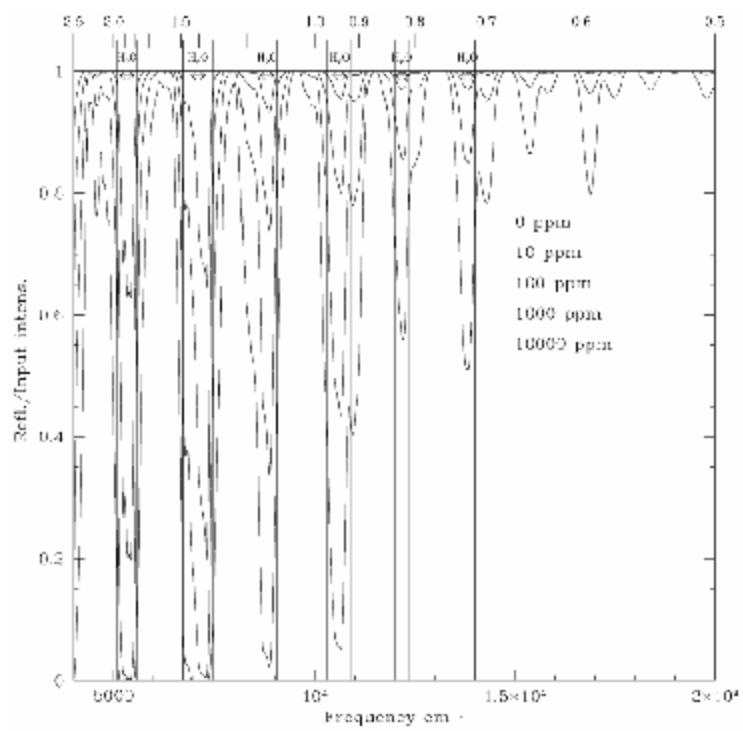
Voda ima prisutan atmosferski nivo od oko 8000 ppm, sto odgovara oko 50% relativne vlaznosti na 288K. Vodena para je koncentrisana u slojeve od nekoliko kilometara blizu njenog izvora sa tečnom vodom na površini, zatim pada na minimum od nekoliko ppm u tropopauzi, i povećava se na oko 6ppm u stratosferi. Voda u stratosferi je stvorena od strane transporta naviše od troposfere i oksidacijom metana koji je takođe troposferičan po poreklu. Količina H₂O se povećava eksponencijalno sa temperaturom, ali je nezavisna od okolnog pritiska. Tako je informacije koje izvodimo iz linija H₂O mešavina raspoloživosti površinskom H₂O, površinskom temperaturom, aktivnošću vertikalnog mešanja, profila vertikalne toplote, i fotohemijjskih reakcija.

Srednje-infracrveni spektar H₂O je prikazan na slici 7. Gornja kriva je za odsustvo vode (0 ppm), i ona je naravno ravna linija jer imamo planetu bez atmosfere i gledamo na površinu temperature 288K. Najbolje odlike mogu biti na 17 do 50 μm, koje daju informaciju o vodi u stratosferi, kao i u troposferi. 6 do 7μm regioni mogu biti sekundarni izbor, jer se CH₄ i N₂O mogu preklapati u ovim regionima.

Vidljiv spektar od H₂O je prikazan na slici 8. Spektar prikazuje linije relativno jednako razdvojene koje su veoma jake na dugim talasnim duzinama i slabije na manjim talasnim duzinama. Samo u 0.5 do 1.0 μm intervalu, postoje 5 važnih H₂O linija sa rasponom snage. Na planeti nalik Zemlji, odlike H₂O u 0.7μm, 0.8μm, i 09μm regionima su dobri kandidati za detekciju. Jake linije u 1.1μm, 1.4μm, i 1.9μm oblastima su izvanredni kandidati ukoliko je takođe i ovaj region instrumentalno pristupačan.



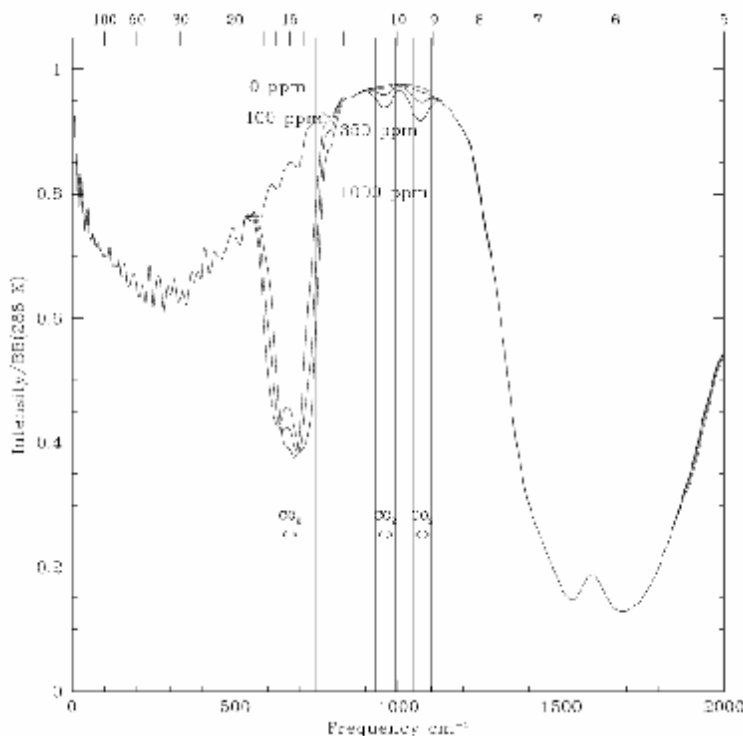
Slika 7.



Slika 8.

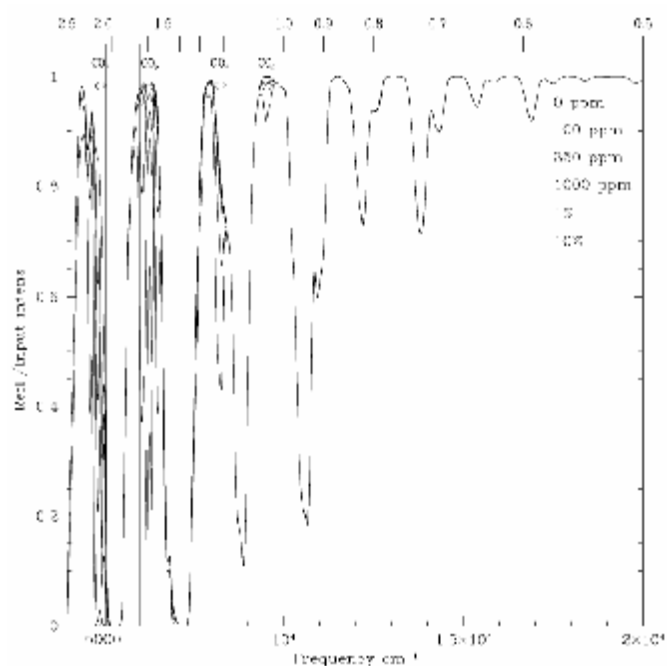
UGLJEN-DIOKSID CO₂:

Ugljen-dioksid ima prisutan atmosferski nivo od 355 ppm, uniformno izmešan. Uključujući spektar H₂O, to daje koristan element praktičnosti jer H₂O može imati dominantan uticaj na spektar. Glavna linija CO₂ je centrirana na 15μm i tako je jaka da je zasićena za sve odnose mešanja koji su prikazani. Centralna inverzija u 15μm liniji pri velikoj količini je prouzrokovana Zemljinom stratosferskom inverzijom temperature (koja je zauzvrat prouzrokovana apsorpcijom Sunčevog ultra-ljubičastog zračenja sa O₂ i O₃, i konverzije u toplotu). Slabije linije se pokazuju na 9 do 11μm kada se CO₂ kolicina popne na oko 1%.



Slika 9.

Odlike CO₂ talasnih dužina vidljivog dela spektra su prikazane na slici 10. Odlika CO₂ najmanje talasne duzine je na 1.06μm, i ovo će postati značajno samo onda kada je količina veoma visoka, reda 10%, koje vrlo verovatno može biti situacija za atmosferu rane Zemlje. Sledeća dostupna linija CO₂ je na 1.6μm, koja se nalazi između H₂O linija. Ovaj spektar obezbeđuje procene duž širokog opsega količine CO₂.

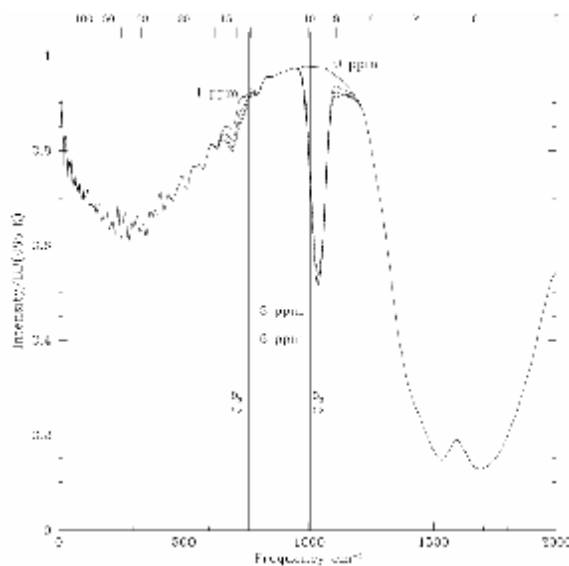


Slika 10.

OZON O₃

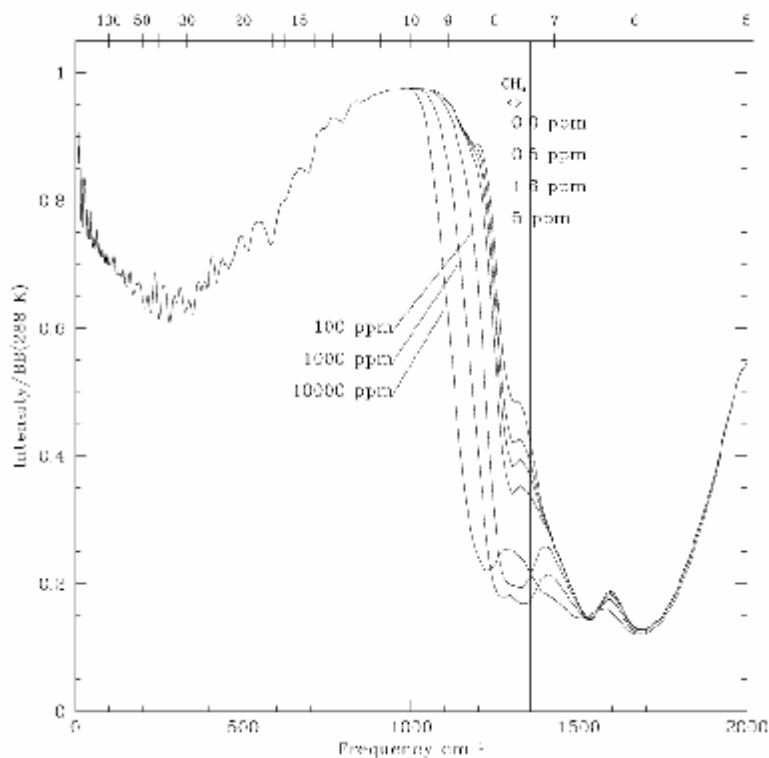
Ozon ima PAL (Present atmospheric level) od 6 ppm u stratosferskom 'O₃ nivou' oko 25 do 35 km, sa donjim volumenom količine koji se pruža do površine. U infra-crvenom polju spektra (slika 11) glavna odlika je na 9μm, sa slabijom linijom na 14 μm. Međutim, ako je CO₂ prisutan čak i u najmanjim iznosima, 14μm odlike će biti uglavnom blokirane. 9μm linija je visoko zasićena, i u osnovi je zakrivljena kako kolicina O₃ varira od 1 do 6 ppm. Ovo čini 9μm liniju lošim kvantitativnim indikatorom prisustva i najmanjeg traga CO₂. Silikatni minerali i O₃ imaju snažne odlike u 9μm regionu, ali je mala šansa da se mogu pomešati jer su njihovi spektralni oblici sasvim različiti. Najbliže podudaranje sa silikatnim odlikama prema O₃ je minerala 'illite', pa čak i u tom sučaju oblici linja su jasno raspoznatljivi.

Slika 11.



METAN CH₄:

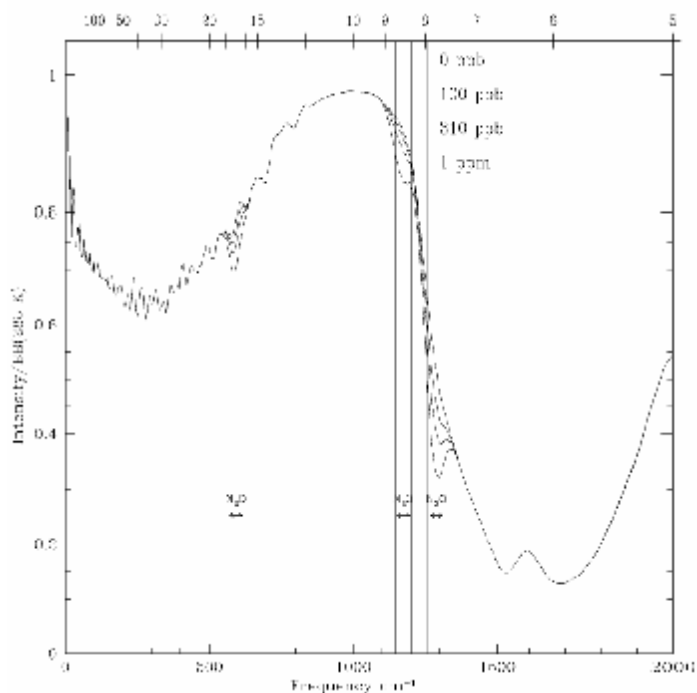
Metan (CH₄) ima PAL od 1.6 ppm, uniformno izmešan u troposferi i smanjujući se u stratosferi. U srednjem infra-crvenom opsegu (Slika 12) glavna CH₄ linija je na 7μm talasnoj dužini, gde se preklapa sa 6μm linijom vode i graničnom linijom N₂O (oba su u pozadinskom spektru na ovoj slici). Ipak, CH₄ linije imaju slabu apsorpciju čak i na PAL, međutim kombinovani efekat opadajuće Plankove krive na ekstra zatamljenosti kojoj je doprinela voda čini ovo mogućim ali teškim posmatranjem.



Slika 12.

AZOT-SUBOKSID N₂O:

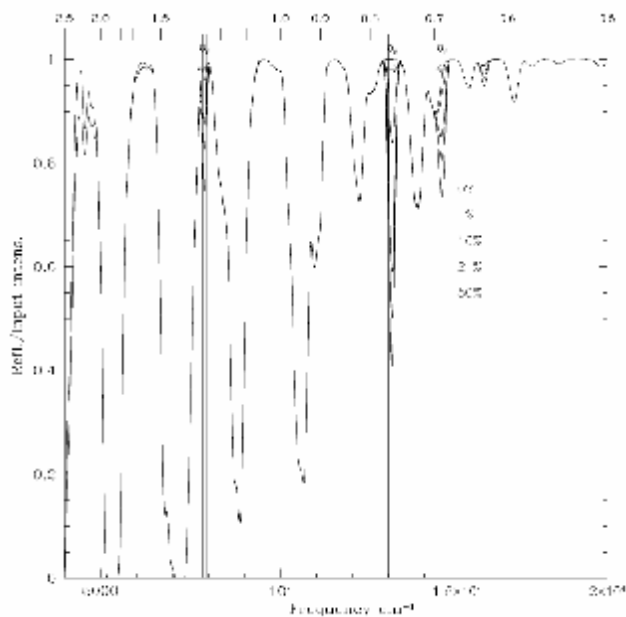
Azot-suboksid (N₂O) ima PAL od 310 ppm, uniformno izmešan u troposferi ali koji nestaje u stratosferi. U srednje infra-crvenom delu spektra (Slika 13), N₂O ima liniju blizu 8μm, grubo uporedivu po snazi graničnoj CH₄ liniji ali slaboj poredeći sa preklapajućom H₂O linijom. Pozadinski spekter na slici 13 uključuje H₂O i CH₄. Srećom, apsorpcioni linije ove tri vrste su različite, tako da u principu njihovi doprinosi mogu biti odvojeni. Spektralne odlike N₂O će postati progresivno očiglednije u atmosferama koje imaju manje vodene pare. Dodatna traka na 17μm može biti potpuno zatamljena sa CO₂ i tako se ne može očekivati da bude upotrebljiva. Ne postoje značajne N₂O odlike u vidljivom delu spektra. Atmosferska koncentracija N₂O će pasti sa padom koncentracije O₂.



Slika 13.

KISEONIK O₂:

Kiseonik ima PAL od 21%, uniformno izmešan. U vidnom delu spektra (Slika 14) postoje 3 potencijalno značajne odlike, na 0.69 μm (Fraunhofer B linija), 0.76 μm (Fraunhofer A linija) i 1.26 μm . Među njima, 0.76 μm linija je najjača, imajući značajnu dubinu pri nivou količine od 1% i više, što je čini potencijalno veoma korisnu kao bio-pokazatelj. Sve tri linije su u osnovi nezatamnjene u trenutnom spektru Zemlje.



8. Lažne potvrđne detekcije i moj mali komentar **J**

Planeta koja ima mnogo manji izvor reduktovanih vulkanskih gasova, ne bi ostala pogodna za život tokom dužeg perioda zbog nedostajućeg mehanizma za recikliranje CO₂. Planeta, veća od Marsa, ali ne dovoljno velika da održi aktivni vulkanizam, bi mogla da povrati svoj O₂. Ako bi ova abiotička planeta imala tečnu vodu na svojoj površini, imala bi isčezujuću malu atmosfersku O₂ koncentraciju. Ako ne, O₂ bi mogao biti detektovan. Planeta koja bi izgubila dosta vodene pare bi takođe mogla akumulirati veliku količinu O₂. Ako bi H₂O bio transportovan na vrh atmosfere, gde bi bio razložen, vodonik bi bio izgubljen u Svemiru u visokom stepenu dok bi kiseonik mogao biti zadržan. Taj efekat bi mogao dozvoliti O₂ da nadmaši stepen degazacije reduktovanih gasova i stvori prelaznu atmosferu bogatu sa O₂. Ovaj trag bi konačno nestao na vulkanološki aktivnoj planeti.

Ukoliko su opadanja kiseonika na planeti neaktivna, abiotički O₂ bi bio akumulisan usled ultra-ljubičaste fotolize i oticanja vodonika. Nedostatak tečne vode usporava stepen i fizičkih i hemijskih vremenskih prilika. Planeta veličine između Zemlje i Marsa bi mogla sačuvati tanku atmosferu.

Selsis et al. (Selsis, 2002) je istraživao rizik 'lažne potvrđne' detekcije života sa novim fotohemijskim i radijativnim konvekcijom modelima atmosfera terestrijalnih planeta. Autori su zaključili da uporedna detekcija O₃, CO₂ i H₂O je robusan način da se diskriminuje fotohemijska produkcija O₂ iz biološke fotosinteze. Ako je O₂ stvoren iz fotolize H₂O na velikim visinama, stvara se nekoliko komponenata vodonika. Oni napadaju O₃ i sprečavaju njegovu akumulaciju. Jedini način da se ima značajan iznos O₃ u atmosferskom spektru je stvarajući O₂ na malim visinama i bez H₂O na velikim visinama gde je ultra-ljubičasto zračenje prisutno. Posledično, na terestrijalnim planetama (Selsis, 2002), istovremeno prisustvo O₃, H₂O i CO₂ u atmosferi čini se da je pouzdan Biomarker. Ovo ističe superiornost O₃ kao biomarkera u odnosu na O₂.

A evo i za kraj moj mali komentar **J** :

- koliko ja znam (bar sam tako čitao) svi otkriveni Vrelih Jupitera koji su detektovani orbitiraju oko svoje matične zvezde na veoma bliskim rastojanjima reda veličine rastojanja Zemlja-Sunce. Naučnici su ovu pojavu objasnili tako što su te planete iz nepoznatih razloga emigrirale bliže matičnoj zvezdi.

Hmm da li bi uopšte takvi sistemi trebali biti prvi na udaru u potrazi za životom? Razlog je taj što su prilikom svoje migracije te planete drastično izmenile putanje drugih planeta u tom sistemu. Ovo bi prouzrokovalo izumiranje života na tim planetama ukoliko ga je bilo (ja se iskreno nadam da ovaj naš Jupiter neće poći koracima svojih suseda **J**).

LITERATURA

http://eis.jpl.nasa.gov/planetquest/TPF/arc_index.cfm

<http://www.esa.int>

SADRŽAJ

1. Uvod	2
2. Uopšteno o Biomarkerima	3
3. Biomarkeri u IR oblasti	4
4. Silikat u IR oblasti	5
5. Površinske pojave kao biomarkeri u vidljivom spektru	6
6. Kiseoni i ozon kao spektralni znaci života	8
7. Biomarkeri u vidljivoj i bliskoj IR oblasti	9
8. Lažne potvrдне detekcije i moj mali komentar J	16
9. Literatura	17