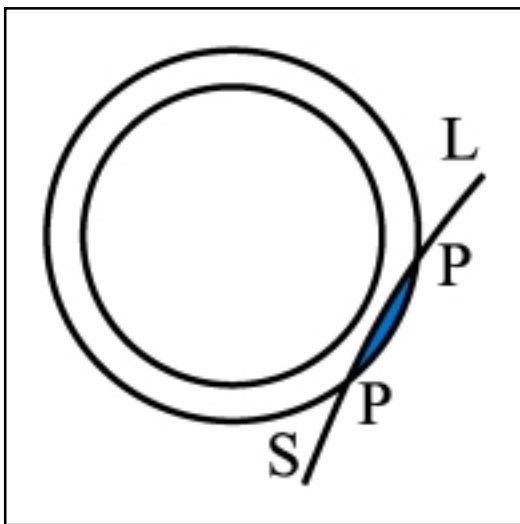


O VENERINOJ ATMOSFERI

prof.dr.sc. Vladis Vujnović

Otkriće

Prije upotrebe dalekozora nije se moglo saznati od kakve su tvari planeti sazdani. Zato je važan datum 6. lipnja 1761. kada je Mihail Lomonosov, Skt Peterburški astronom, kemičar i fizičar, doznao da Venera ima atmosferu. Toga se dana sa Suncem konjugirala Venera, prelazeći preko njegova kruga. Tranzit Venere, rijetko je zbivanje.



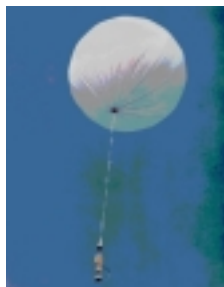
Lomonosov je na dodiru Venerina i Sunčeva kruga ugledao tanak most koji ih je spajao, ali ne samo to, jer je sav opseg Venere ugledao magličast. Atmosfera je plinoviti sastojak planeta koji ga okružuje. Sunčeve su se zrake atmosferom raspršile i ona je zasvijetlila. Nije to bio prvi Venerin tranzit promatran teleskopom, ali prvi koji je otkrio atmosferu na nekom od planeta.

Pred sobom imam knjigu izdanu 1945. godine, kao drugo izdanje rukopisa koji je prvi puta obznanjen 1926. Nekada je život bio sporiji pa se prvo i drugo izdanje razlikovalo decenijama. God. 1945. još nije bilo radarskih istraživanja Venere, a kamoli svemirskih. U

knjizi se naglašava Venerina svjetlina – kao briljantnog nebeskog izvora. I ta svjetlina posljedica je atmosfere. Iz promjene sjaja – pri promjeni faze – dalo se zaključiti, da «reflektirajuća površina» (onaj dio tijela s kojega nam pristiže najveći dio zračenja) mora biti “mnogo jednoličnija” od Mjesečeve površine. I to je točno – jer mi ustvari dobivamo svjetlost samo od njezine vršne atmosfere, a niti najmanji dio ne pristiže s čvrstoga tla. Osim toga, ta «površina» mora biti veoma svijetla jer se boja Sunčeve svjetlosti, odražene od Venere, gotovo ne mijenja. Ima još zapažanja. Ni najupornijim promatranjima nisu se na Veneri mogle ustanoviti stalne oznake. Vrlo male razlike u svjetlini vremenom su nestajale i izmjenjivale se. Fotografski snimci u ultraljubičastoj svjetlosti u godini 1927. otkrili su jače kontraste, koji su se također svakim danom mijenjali. Opći je zaključak bio, da na Veneri gledamo atmosferu.

No kolika je ta atmosfera? God. 1945. zaključeno je da je dio atmosfere »iznad vidljive površine» mnogo plići i rjeđi od Zemljine atmosfere. No nije definirano što je to «vidljiva površina». Zaključak je točan utoliko što se iznad Venerinih oblaka prostire područje sumaglice gdje je gustoća zaista manja od gustoće Zemljine atmosfere.

Najveće otkriće učinili su W. Adams i T. Dunham 1932. godine kada su u odraznoj Venerinoj svjetlosti snimili sasvim izrazit spektar ugljičnog dioksida. Inače se spektralne linije tog plina u laboratoriju slabo vide. Stoga je spektar ove molekule snimljen na svemirskom tijelu dugo godina bio njezin najbolji spektar. Isti spektar nastao bi u laboratoriju kada bi sloj ugljičnog dioksida pri atmosferskom tlaku bio debeo 400 m; u Zemljinoj atmosferi tog plina ima 250 puta manje. Naravno, sve je to pristiglo od Sunčeve svjetlosti koja se odrazila od gornjih



Balon promjera 3,5 m izrađen od teflonske tkanine, nosi gondolu od 1,3 m, s instrumentima na konopu dužine 13 m. Masa balona s gondolama iznosila je 21 kg.

slojeva Venerine atmosfere, tj. od oblačnog pokrova, koji za nas čini «vidljivu površinu». Uključujući oblačne slojeve i atmosferu sve do Venerina tla, ugljičnog dioksida ima još mnogo puta više.

Slična ispitivanja u potrazi za kisikom i vodenom parom nisu dala nikakve rezultate. Tako je bilo mnogo saznanja i prije aktivnih ispitivanja. B. P. Gerasimovič je 1937. zaključio da jaki albedo i ovisnost sjaja o fazi ukazuje na veoma maglovitu atmosferu, predebelu da bi se kroz nju vidjelo tlo. Sve to danas potpisujemo. Pa ipak, lutalo se: «Venera mora imati čvrstu površinu s temperaturom ne jako različitom od 100 °C» - ovo navodi udžbenik astronomije od velikih autoriteta, Russella, Dugana i Stewarta. I četrdesetih i pedesetih godina prošlog stoljeća bilo je mišljenja da iz debelih oblaka padaju pretpotopne kiše koje natapaju raslinstvo bujno kao u Amazoni, a da se umjerena temperatura održava time što atmosfera snažno odbija Sunčevu svjetlost i ne dopušta pretjerano zagrijavanje.

A što kaže Josip Goldberg? Fizičar i geofizičar, a usto nadasve sjajan pedagog i pisac, nastavnik geofizike na Sveučilištu u Zagrebu, Josip Goldberg pokazuje se posve suvremen u udžbeniku zvanom *Kozmografija*, izdanom davno, godine 1937. Tada se u šestom razredu srednjih škola (ono što danas odgovara drugom razredu, jer nekada nije bilo osmoljetke) predavala astronomija. Predavala se mnogo prije no što je nastupilo doba astronautike i pojavila se izravna praktična ispitivanja svemirskih tijela – onda kada se o tome moglo samo maglovito maštati. Kozmografija je predstavljala nauku o

cjelokupnom svemiru. U udžbeniku piše: «Trajanje Venerine rotacije nije se dalo odrediti, ali se sigurno vrti mnogo sporije nego Zemlja. Albedo Venere je osobito velik, 0,59, pa se po tom i po nekim pojavama rasipavanja svjetlosti u neosvijetljenom dijelu Venere zaključuje da je površina Venere zastrta oblacima.» Profesor Josip Goldberg nije ništa razglabao o mogućoj temperaturi. Iz tadašnjih znanstvenih spoznaja odabrao je ono što je bilo fizikalno najsigurnije, spretno se provlačeći kroz mamce nerealnih pretpostavki. O vrijednosti albeda nema smisla razglabati; podatak je Josip Goldberg preuzeo iz postojećih mjerenja. Osim toga ima nekoliko načina određenja albeda. Danas za albedo uzimamo 0,76. To je bilo vrijeme kada se, primjerice, govorilo, da se planetoidi «bez izuzetka» gibaju stazama između staza Marsa i Jupitera. Opasni planetoidi koji danas pokraj Zemlje šišaju prema Suncu, ili oni koji se gibaju dalje od Neptuna, tada naravno nisu bili u vidokrugu.

Doba drugo

Stvarni fizički uvjeti na Venerinu tlu otkrivali su se korak po korak, uz mnogo troškova i satrtih letjelica. Na Veneru je poslano 18 sovjetskih i 5 američkih letjelica. *Mariner 2* koji je god. 1962. pokraj Venere samo prošao (i pritom se zakrenuo u gravitacijskom polju, te tako izmjerio masu planeta), radiometrijski je ustanovio temperaturu donjeg dijela atmosfere od 400°C. Računajući na visoku temperaturu, konstruktori su izveli *Veneru 4* koja je 18.X.1967. godine s padobranom propadala 94 minute i pritom iskusila – ali i izmjerila, grube prirodne uvjete. Ona je bila konstruirana da izdrži tlak od 20 bara. Znajući da je tlak pri tlu veći od 90 bara, mogli bismo se tome smijati. Budući da propala planetna sonda nije ustanovila visinu svoje smrti – već se je držalo da se razbila o tlo, *Venera 5* i *6*, iz sljedeće ekspedicije, također su zdrobljene za vrijeme dok su im instrumenti 16. odnosno 17.V.1969. otipkavali fizičko stanje okoline. Istina je, bile su zdrobljene bliže tlu, ali što je najvažnije, pomoću

VENERINA ATMOSFERA

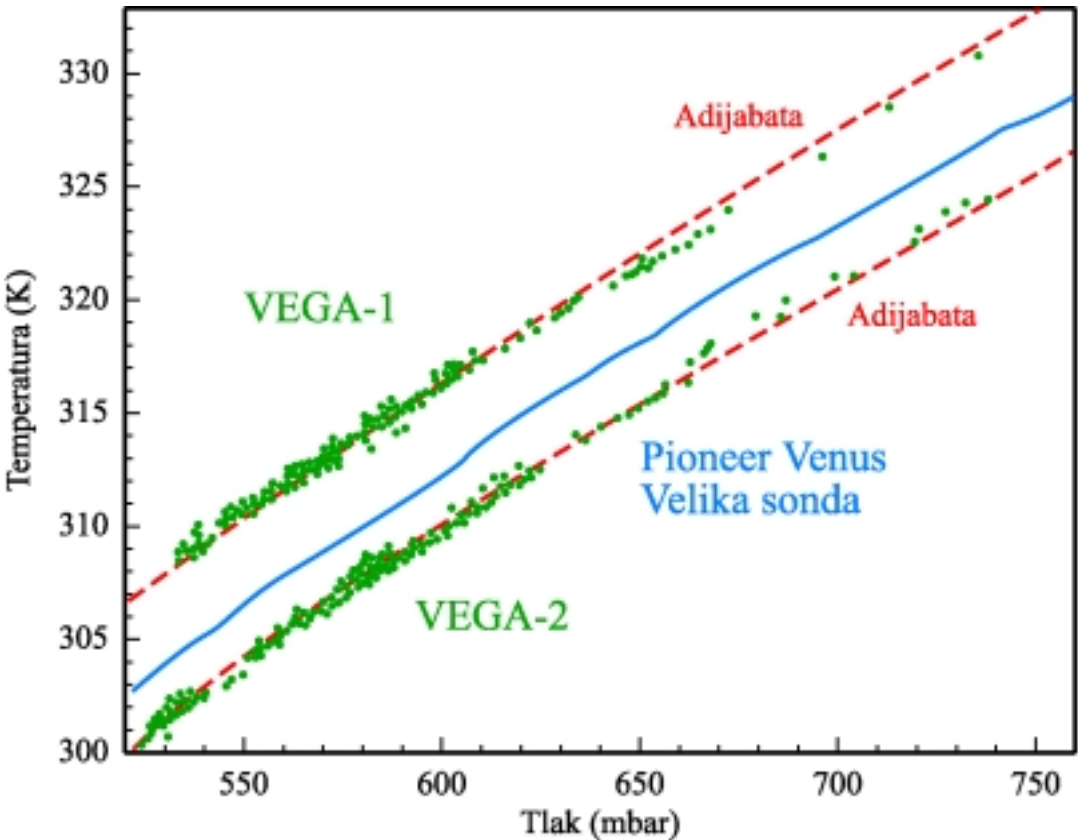
radiovalnog uređaja za mjerenje visine, ustanovilo se da su zdrobljene na visini većoj od 10 km. Tek tada su se konstruktori dosjetili pravog rješenja i od svemirske letjelice – krhke naprave koja putem do Venere prevaljuje svemirski ocean praznine – proizveli batiskaf, dubinsku podmornicu koja će zaroniti u gustu atmosferu. Atmosferu koja je «samo» 15 puta rjeđa od vode. Stoga je sljedeća *Venera 7*, oklopljena debelim zidovima, prisjela na tlo 15.XII.1970. gdje je djelovala dok nije pregorjela, svega 23 minute. Nema toga robotafrižidera koji bi se na Veneri danima mogao hladiti....

Izravna mjerenja sastava atmosfere obavljena su na svim ovim aparatima što je

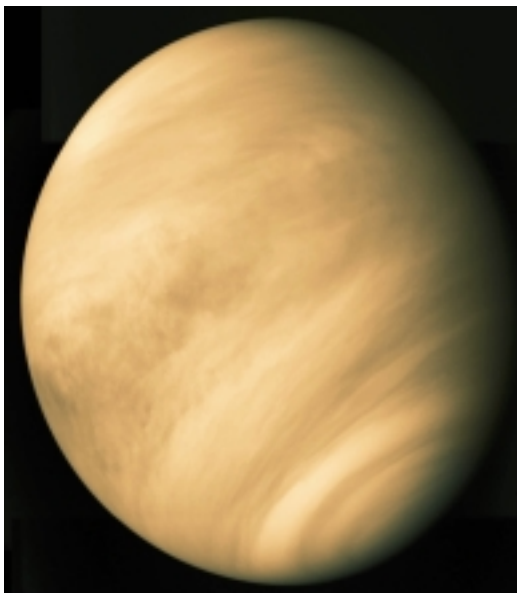
dovelo do poznatog obilja ugljičnog dioksida od 96%, dušika 3,5%. te primjesa. Među primjesama, jedna od najvažnijih je vodena para, H_2O , koje je pronađeno veoma malo: pri tlu 4 ppm (udio od četiri milijuntnine) do 200 ppm (dvijesto milijuntina) pri vrhu u oblacima.

U lipnju 1985. godine Veneru su posjetila i dva balona. Dva francuska balona, daleka potomka onih balona koje su krojili braća Mongolfier, bila su ispuštena iz para usputnih ruskih letjelica koje su hitale da presretnu Halleyjev komet. Bile su to *Vega 1* i *2*, punim imenom: *Venera-Galej* (rus. Galej = Halley). Baloni su bili napuhani na takav tlak da bi se lebdeći ustalili na visini od 50 km.

Oba su balona bila ispuštena na noćnoj



Usporedba mjerenja dvaju balona i jedne sonde. Odnos temperature i tlaka odgovara tzv. adijabatskom procesu, s kojim je suglasno i stanje u Zemljinj atmosferi. U Venerinoj troposferi temperatura opada 10,2 K na svaki kilometar visine.



Gibanje oblačnog pokrova na položaju gdje je Sunce u zenitu. Planet se vrti s desna na lijevo, a oblačne mase koje stignu u područje najjače osunčanosti rastavljaju se u obliku polegnutog slova Y i gibaju prema polovima.

strani, a prestala djelovati na dnevnoj strani planeta. Jedan se balon gibao na 7° sjeverne širine, a drugi na 7° južne širine. Izmjerali su brzinu u smjeru planetske vrtnje od 70 m/s, prema polu brzinu od 3 m/s i uvis isto 3 m/s. Znale su se pojaviti nagle promjene brzine reda 10 m/s. Poslije, godine 1978, američka letjelica *Pioneer-Venus 2* u Venerinu je atmosferu spustila četiri sonde. Na priloženoj slici uspoređena su mjerenja balona i jedne od sondi.

Na visini od 50 km vladaju sasvim snošljivi uvjeti, i po tlaku i po temperaturi. Tu bi mogli s maskama za disanje kisika i ljudi preživjeti.

Venerina je atmosfera veoma dinamična. Globalna je cirkulacija atmosfere obilježena gibanjem u smjeru vrtnje, tj. u smjeru paralela (tzv. zonalno gibanje). Na visini od 65 km je vrh oblačnog sloja koji se nalazi u mlaznoj

struji i giba brzinom od 100 m/s. Stoga vrh oblaka ima period obrta oko planeta od 4 d. Tako velika brzina kretanja atmosfere naziva se superrotacijom. Brzina je 40 puta veća od brzine kojom se okreće točka na Venerinu ekvatoru, jer jedan Venerin zvjezdani dan traje 243 d. Brzina strujanja opada prema dolje i pri tlu brzina vjetra reda je 1 m/s. Brzina vjetra opada i prema višoj atmosferi gdje se javlja drukčije strujanje. Naime, na osunčanoj strani temperatura visoke atmosfere viša je i atmosferske se mase prenose na noćnu, neosunčanu stranu. Radi se o tzv. termičkoj plimi. Ovaj prijenos tvari uzrokuje u detaljima različiti kemijski sastav visoke atmosfere na dnevnoj i noćnoj strani.

Jedna se posljedica vidi na vrhu oblaka na mjestu kojemu je Sunce u zenitu: tamo se oblačne mase rastavljaju i gibaju prema polovima.

Potruga za izgubljenom vodom

Vratimo se na pitanje vode. U Venerinoj atmosferi ima raznih molekula, a jedna od primjesa je molekula vode. No u usporedbi sa Zemljinom, Venerina je atmosfera veoma suha. Današnja količina vodene pare je tolika, da bi, kada bi se kondenzirala, prekrila površinu planeta slojem dubokim 20 cm - bolje reći plitkim! Brzina kojom atomi vodika napuštaju gornju atmosferu i odlaze u međuplanetni prostor je takva, da je u 4 milijardi godina izbjegla voda nekada mogla pokrivati Veneru slojem debelim 9 m. Ali – to je mnogo manje od vode koja danas pokriva Zemlju.

I danas jedno od najvažnijih problema Venerine atmosfere više nije globalna cirkulacija, već problem razvoja, od planeta s umjerenom klimom i oceanom, do pakla kakvim se planet danas prikazuje. Ovdje ćemo uočiti suštinsku uloga atoma – izotopa vodika. Obični vodikov atom, protij, ima jezgru koja se sastoji od protona. Teži vodikov atom (izotop), deuterij, ima jezgru od protona i neutrona. Odnos broja molekula vode s jednim protijem i jednim deuterijem, prema broju molekula s protijem pojavljuje se kao važna značajka planetskih tijela

koja ovisi o mjestu formiranja u Sunčevu sustavu i samom razvoju, kao takvom.

Na Zemlji, protija ima 6700 puta više nego deuterija. No u tijeku vremena, taj se omjer mijenja. Molekule vode se isparavaju, a u visokim atmosferskim slojevima pod djelovanjem Sunčeve svjetlosti, molekule se rastavljaju na atome. Kako su atomi protija dva puta lakši od atoma deuterija, gibaju se većim brzinama i napuštaju planet brže nego atomi deuterija. U prijenosu tvari s jakim isparavanjem vode, deuterij postaje sve zastupljeniji na račun protija. I sada, da bi se pokušalo odgovoriti, je li Venera imala oceane, potrebno je odrediti sadašnji omjer deuterija i protija na Veneri. Nalaz, međutim, nije jednoznačan jer se istraživači spore. Najprije je mjerenjima na licu mjesta, američka letjelica *Pioneer-Venus 2* godine 1978. ustanovila da protija ima samo 62 puta više od deuterija, što bi značilo, da je tok tvari na Veneri bio velik, i da je velika količina vode isparila, te njezini atomi izbjegli u svemir – relativno više protija nego deuterija. A to bi značilo da je na Veneri bilo jako mnogo vode. Procjene idu do te mjere da se govori o pravim oceanima.

S druge strane, omjer deuterija i protija mjeren je jakošću spektralnih linija koje ti atomi zrače. Mjerenja su obavljena s letjelice *IUE* (International Ultraviolet Explorer), jednog od najuspješnijih znanstvenih uređaja, prvaka po dužini djelovanja (26.I.1978 – 30.IX.1996). Pomoću njegova spektrometra ustanovljeno je da deuterija u visokoj Venerinoj atmosferi ima tri do osam puta manje nego što je određeno pomoću satelita *Pioneer-Venus* (tj. da je ipak protija možda 500 puta više no deuterija). Time dolazi u pitanje i postojanje hipotetičkog oceana na Veneri.

Ipak se stvari pokreću. Značajno je da Zemlja i Venera nemaju iste omjere vodikovih atoma protija i deuterija, već je deuterija relativno više u Venere, što znači da je i Venera nekada mogla imati umjereniju klimu s oceanima, makar i plićima. Venera, Zemlja i Mars, stvoreni od istog materijala, trebali su na počecima imati veoma slične uvjete, a to znači

veliku količinu vode. Opeke od kojih su izgrađena tijela Sunčeva sustava su prah i ledena zrnca. Gibali su se slobodno u međuzvjezdanoj oblaku iz kojeg je nastalo Sunce. Nakon nastanka, na Veneru kao i na Zemlju padali su mnogobrojni bezimena kometa, donoseći vodu svojim jezgrama koje se izgrađene od leda. I početna je Venerina atmosfera nekoliko stotina milijuna godina mogla biti jednako gusta kao Zemljina, no pritom zbog Sunčeve blizine toplija od Zemljine. Zbog više temperature, voda se isparavala u vlažnu i ugljikovodičnu atmosferu. Samo iz takve atmosfere mogla se voda ispariti, u visinama rastaviti na sastavne atome i izbjegli s planeta...

Nastavlja se uzbudljiva potraga za odbjeglom vodom.



Pioneer-Venus 2 (Višestruka sonda), četiri sonde s letjelicom, ušle u Venerinu atmosferu 9.XII.1978. proučavale su atmosferu istodobno na dnevnoj i noćnoj strani. Velika sonda promjera 1,5 m nosila je maseni spektrometar za određivanje sastava, s padobranom je padala sat i po i odredila omjer deuterija i protija.