

# A REJTÉLYES VÉNUSZ

Opitz Andrea – MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont

Forczek Bianka – Tóparti Gimnázium és Művészeti Szakgimnázium, Székesfehérvár

A Vénusz a Föld belső bolygósomszédja, a Naptól számított második bolygó. Ezt a Föld-méretű kőzetbolygót rendkívül vastag felhőzet borítja, légköre szén-dioxid alapú, felszínén pokoli viszonyok uralkodnak, és a belső mágneses tér teljes hiánya jellemzi. Megismerését nemcsak átlátszatlan vastag felhőzete, de a felszínén uralkodó embertelen körülmények is nehezítik. Kénsavas légköre nagyon sűrű, a nyomás a földi 92-szerese, a felszíni hőmérséklet az üvegházhatás következtében nagyon magas, mintegy 450 °C.

## A Vénusz bolygó

A bolygó a *Venus* nevet a szerelem és szépség római istennőjéről kapta. Régen esthajnalcsillagnak is nevezték, mert mindig a Nap közelében látható, vagy az esti, vagy a hajnali égbolton, hiszen a földpályán belül található. Nem véletlenül találkozhatunk a Föld testvére kifejezéssel, hiszen a Vénusz mind méretében, mind tömegében hasonlít a Földhöz. Ellenben kicsit közelebb van a Naphoz (0,7 CSE), és a légköri nyomás a bolygó felszínén sokkal magasabb, 92 bar (9,2 MPa). A Vénusz Nap körüli keringési ideje 225 nap, míg tengely körüli forgása igen lassú, 243 napos, és érdekessége, hogy retrográd, azaz forgása a keringéssel ellentétes irányú.

## A Vénusz megismerése űrszondákkal

A Vénusz felszínén uralkodó magas nyomás nem kevés problémát okoz az űrszondák tervezésében és leszállásuk kivitelezésében. Az első próbálkozások sikertelenül végződtek, valószínűleg a váratlanul magas felszíni nyomás és a mostoha időjárási körülmények következtében. Az 1960-as és 70-es években a szovjet *Venyera* szondákat és az amerikai *Mariner* szondákat küldték a bolygóhoz. Az első sikeres bolygókörüli megfigyelést a *Mariner-2* űrszonda végezte

A szerzők köszönik Szegő Károly, Király Péter és Kereszturi Ákos szakmai tanácsait és Sarneczky Violának, hogy átnézte a kéziratot. Forczek Bianka a Nemzet Fiatal Tehetségeiért Ösztöndíj támogatottja.



Opitz Andrea űrkutató és csillagász, az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont tudományos főmunkatársa, az Űrfizikai Kutatócsoport vezetője. Svájcban doktorált, Franciaországban volt posztdoktori ösztöndíjas, majd utána az ESTEC-ben, az Európai Űrügynökség (ESA) hollandiai központjában dolgozott. A napszélstruktúrákat kutatja, valamint azok hatását vizsgálja a Vénusz és a Mars plazmakörnyezetére.



1. ábra. A *Venus Express* szonda a Vénusz felhői felett (ESA fantáziarajz).

1962-ben, az első sikeres landolást pedig a *Venyera-7* leszállóegység 1970-ben.

A NASA *Pioneer Venus Orbiter (PVO)* küldetés egy közel poláris pályán keringő, a saját tengelye körül forgó szonda volt, amely 1978 és 1992 között végzett megfigyeléseket. A szintén amerikai *Magellan* misszió (1990–1994) fő célja a bolygó felszínének feltérképezése volt radar segítségével.

Az Európai Űrügynökség (ESA) *Venus Express (VEX)* három tengelyre stabilizált űrszondája 2006 és 2014 között vizsgálta a Vénuszt (1. ábra). A küldetés elején a célkitűzéseknek megfelelően a felszínt és a légkör kémiaját tanulmányozta. Vizsgálta továbbá a plazmakörnyezetet (a bolygó ionoszféráját és mágneses terét), valamint a légkör kölcsönhatását a napszéllel, illetve a felszínnel. A küldetés utolsó hónapjaiban végzett magaslégtörési fékezéses (*aerobraking*) kísérlet értékes adatokat eredményezett a légkör sűrűségéről az űrszonda pályája mentén, egészen a



Forczek Bianka 2015-ben kezdte középiskolás tanulmányait a székesfehérvári Tóparti Gimnázium és Művészeti Szakgimnáziumban. 2016 óta a Nemzet Fiatal Tehetségeiért Ösztöndíj kedvezményezettje és a Nők a Tudományban Egyesület diáknagykövete.

130 km-es felszín feletti magasságig történt leereszkedés során, ezzel pontosítva a távrolról végzett sűrűségbecslések eredményét [1].

A japán *Akacuki* űrszondát 2010-ben nem sikerült Vénusz körüli pályára állítani [1]. Öt év elteltével, 2015 decemberében viszont ismét a bolygó közelébe ért, és a második pályára állási kísérlet sikerült, így ma már érkeznek a tudományos eredmények.

Jelenleg nincsen más Vénusz-szonda, és sajnós konkrét tervek sincsenek a közeljövőre, sem az európai, sem az amerikai űrügynökség részéről.

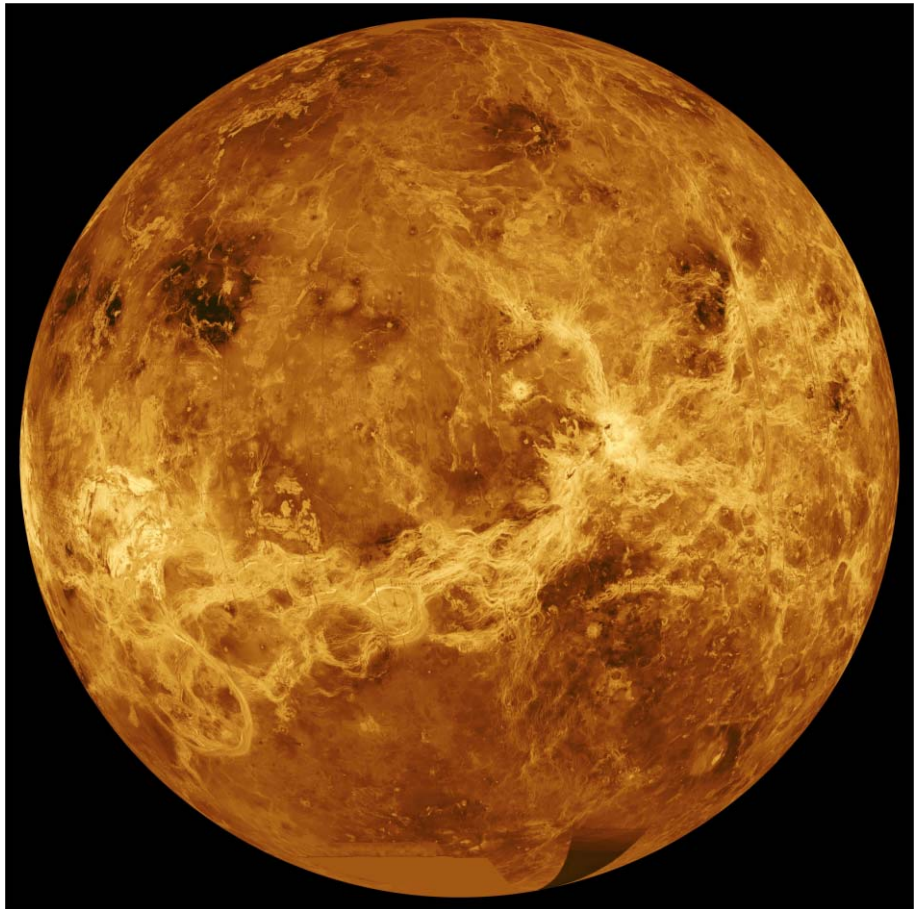
## A Vénusz felszíne

A Vénusz bolygó átlagos sugara 6052 km, amelytől felszíne  $-2$  és  $+9$  kilométerrel tér el. A *Magellan* szonda radaros mérések segítségével térképezte fel a felszíni domborzatot (2. ábra). A felhőkbe belesve az infravörös „ablak” segítségével alacsony térbeli felbontással a *Venus Express*

azonosított néhány olyan felszíni forró foltot, amelyek idővel változtatják a hőmérsékletüket. Ez aktív vulkanizmusra utal [2]. A felszínen különböző méretű és formájú vulkánokat figyeltek meg [3]. A változatos vulkáni alakzatok arra utalnak, hogy ugyanennyire változatosak az azokat kialakító folyamatok is. Jelenlegi kutatások tárgya, hogy vajon a robbanásos vulkánkitörések működhetnek-e a Vénuszon, mivel a kitöréseket befolyásoló fizikai folyamatok a Vénuszon nagyon különböznek a földiektől. A nagy légköri nyomás ugyanis nem kedvez a robbanásos kitöréseknek, ahhoz hasonlóan, miként a földi óceánok aljzatán sem jellemzők az ilyen események. Amíg lávafolyásokat mindenütt látunk, addig a piroklasztikus törmelékárak és a kihullott lerakódásaik ritkák vagy nincsenek. Érdekes kérdés, hogy a Vénusz sűrű légkörében vajon a vulkáni kitörés anyaga milyen magasra tud feljutni a légnyomás és a hőmérséklet függvényében [4].

## Légkör és felhőzet

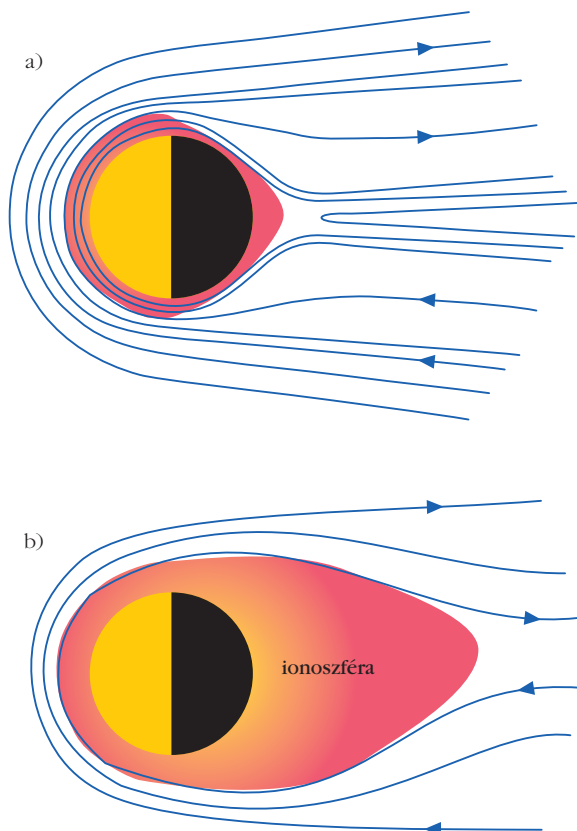
A Vénuszon kevés a víz, az is a felhőzet kénsavcseppeiben van megkötve. Viszont a szén-dioxid nagy része, ami a Földön kötött állapotban van jelen (például



2. ábra. A Vénusz felszíne (NASA/JPL) a *Magellan* szonda radaros mérései, illetve a *Venyera-13* és *-14* leszállóegységek színes felvételei alapján. A középen átfutó világosabb terület az Aphrodite Terra magasföld.

az óceánokban), a Vénusz légkörében még mindig szabad. A Vénusz mai atmoszférájában a kémiai reakciók, illetve a szállítási és a sugárzási folyamatok szabályozzák a jelentősebb nyomelemek mennyiségét. A kénsav aeroszolok, amelyek a Vénusz felhőit és fátolfelhőit alkotják, fontos szerepet játszanak a Vénusz légkörének kémiájában és sugárzási környezetében. A vízgőz és a kénsav körforgása biztosítja az állandó felhőréteg fennmaradását, valamint a légkör és a felszín közötti reakciókat [5].

A Vénusz légköre kimondottan meleg, az extrém üvegházhatás következtében a felszín  $450$  °C-ra melegszik fel. A felszín időjárása az ember szempontjából nyomasztó: magas a hőmérséklet, illetve megvilágítása az egész bolygót borító vastag felhőtakaró miatt gyenge. A felszíni szél lassú, jellemző sebessége körülbelül  $1$  m/s. A bolygó felülről történő megfigyelése során sima, fényes felhőtakarót látunk. Ez a felhőzet  $20$  km vastag, és  $50-70$  km-re fekszik a felszín felett. A felhőzet a felszíni légrétegnél sokkal hidegebb, tipikus hőmérséklete körülbelül  $-70$  °C (hasonló a földi felhőtető hőmérsékletéhez). A magasabb felhőrétegekben extrém időjárási körülmények uralkodnak, olyan szelekkel, amelyek sokkal gyorsabbak, mint a Vénusz saját forgása, ez az úgynevezett szuperrotáció.



3. ábra. A Vénusz ionoszférája (a) átlagos és (b) nagyon alacsony napszélnyomás idején [11]. A görbék a nyilakkal a mágneses erővonalakat szimbolizálják, a bolygó körüli színes terület pedig az ionoszférát jelzi.

A *Venus Express* megfigyelései lényegesen javították a Vénusz éghajlati térképeit, a kutatók a felhőzetet három szempontból vizsgálták: milyen gyorsak a Vénusz szelei, mennyi víz van a felhőkbe zárva, és milyen fényesek ezek a felhők a különböző spektrumokon. Úgy tűnik, hogy a vastag felhőzet időjárási mintáit a felszín topográfiája befolyásolja [6].

## A Vénusz villámai

A legtöbb bolygó légkörében a közönséges események közé tartoznak a villámok. Főként a Földön, a Jupiteren és a Szaturnuszon jelentkeznek, és valószínűleg előfordulnak az Uránuszon és a Neptunuszon is. A Vénuszon a *Venyera* missziók, a *Pioneer Venus Orbiter* és a *Venus Express* megfigyeléseiből következtetjük ki a villámlásokat. Az orosz *Venyera-11*, *-12*, *-13* és *-14* villámtevékenységhez kapcsolható igen alacsony frekvenciás hullámokat mért a felszínre ereszkedés közben. A *Venyera-9* optikai megfigyelései felhő-felhő villámokra utalnak. A *PVO* mérések pedig felhő-ionoszféra villámokra engedtek következtetni.

A Földön, a Jupiteren és a Szaturnuszon a kisülések elsődleges forrása a vízcseppek és a vízjég sűrűsödése a konvekció során. A Vénuszon ellenben nagyon kevés a víz, az is a felhőzet kénsavcseppjeiben van meg-

kötve, így a töltéssztérváltozás a kénsavcseppek sűrűsödésének valószínű következménye.

A Vénuszon a felhők nagyon magasan vannak, sokkal magasabban, mint a földi felhőzet, és túl magasan ahhoz, hogy a kisülés légkörön való átütéséhez elegendő potenciált alakítsanak ki. Ezért nagyon valószínűtlen a felhő-talaj kisülés. Ezzel ellentétben az ionoszféra alja sokkal közelebb van a felhőkhöz, így a felfelé történő kisülések valószínűbbek [7]. A Földről végzett optikai Vénusz-megfigyelések során mostanáig csupán egyetlen villámot láttak [8], amely megfigyelést viszont azóta sem tudtak megismételni. Pedig elméletileg látnunk kellene, hiszen a villámok a felhők felett az ionoszféra irányába tartó kisülések lehetnek, körülbelül 40-80 km-es magasságban.

## A Vénusz plazmakörnyezete

A Vénusznak nincs belső mágneses tere. A sűrű légkör következtében ionoszférája viszont van, amely főként a Naptól érkező fotonok ionizáló hatására keletkezik [9]. Az ionok áramlása fontos szerepet játszik a Vénusz ionoszféráját jellemző folyamatokban, hiszen a belső mágneses tér hiánya miatt a Vénuszon az ionok szabadon reagálhatnak a plazmanyomás gradiensére. A plazmanyomás-különbségből adódó gradiens az éjszakai oldal felé áramoltatja a napos oldalon lévő fotoionizációs forrásból származó ionokat. Ez az áramlás hozzávetőlegesen szimmetrikus a Nap-Vénusz vonalra, és biztosítja azon oxigénionok forrását, amelyek fenntartják az éjszakai oldal ionoszféráját [10].

A Naptól jövő töltött részecskék áramának (napszél) főként a Vénusz ionoszférája jelent akadályt. A bolygóhoz érve a napszél lelassul, körbefolyik az akadályon és a napszélbe belefagyott mágneses tér feltorlódik, illetve ráhajlik a bolygóra (3.a ábra). Ez a mágneses tér a vezető ionoszférában áramokat kelt, és indukált mágneses tér alakul ki. Ez alapján érthető, hogy az ilyen eredendően nem mágneses bolygók plazmakörnyezete rendkívül érzékeny a napszél változásaira.

A *Venus Express* űrszonda érdekes eredményeket hozott a Vénusz ionoszférája és a napszél kölcsönhatásáról. *Wei* és munkatársai [11] egy olyan időszakot vizsgáltak, amikor különösen alacsony sűrűségű volt a napszél. Több nagy napkitörés után, 2010. augusztus 3-4-én igen ritka napszelet (0,1 részecske/köbcentiméter) mértek a STEREO-B napszondával, amely a Vénusz mögött, a Föld pályájáról végzett megfigyeléseket. Eközben a *Venus Express* űrszonda a bolygó közelében elnyújtott elliptikus pályán vizsgálta a bolygó plazmakörnyezetét a magnetométer és a plazmaműszer segítségével. A sűrűség 0,2 részecske/köbcentiméter volt, amíg a dinamikus nyomás 0,1 nPa, ami körülbelül 50-szer alacsonyabb, mint általában. Az alacsony napszélnyomás miatt a Vénusz ionoszférája csepp alakú lett, csóvája elnyúlt, olyan alakja volt, mint egy üstökösnek (3.b ábra).

Másik extrémum, amikor a napkitörésekből származó koronaanyag-kidobódások (CME) érik el a Vén-

nuszt, és rendezik át a bolygó plazmakörnyezetét. *Vech* és munkatársai [12] szisztematikusan vizsgálták a VEX űrszonda plazma- és mágneses méréseinek segítségével a CME-k hatását a különböző plazmarégiókra. Azt találták, hogy az indukált mágneses tér megnő, a bolygó előtti lökéshullám nagyon eltávolodik, és az éjszakai magnetoszféra magassága csökken ezekben az időszakokban.

## Nyitott kérdések

A Vénusz bolygó igen rejtélyes, még rengeteg megválaszolatlan tudományos kérdés van. A bolygó története, ősi légköre és annak fejlődése, a villámok meglepően ritka észlelése, valamint a vulkanizmus mind további magyarázatra szorul. A belső mágneses tér hiánya igen érdekessé teszi a bolygó plazmakörnyezetének vizsgálatát.

Az elmúlt néhány évben a tudósok találtak egy további okot a Vénusz jelentőségének hangsúlyozására: ez a globális felmelegedés. A légkör az elszábadult üvegházhatás következtében melegszik fel. Ha rájövünk, hogyan történik ez a folyamat, az útmutatója lehet az emberiség válaszána a globális felmelegedésre.

## Irodalom

1. Svedhem, Wilson, Piccioni: Introduction to the special issue on Venus exploration. *Planetary and Space Science* 113–114 (2015) 1.
2. Voosen: <http://www.sciencemag.org/news/2017/01/venus-can-wait-jilted-scientists-face-years-without-nasa-return-earth-neighbor> (2017)
3. Werner: Volcano (Venus). In: *Encyclopaedia of Planetary Landforms*. Springer (2015) 2283–2286.
4. Airey et al.: Explosive volcanic activity on Venus: The roles of volatile contribution, degassing, and external environment. *Planetary and Space Science* 113–114 (2015) 33–44.
5. Parkinson et al.: Photochemical control of the distribution of Venesian water. *Planetary and Space Science* 113–114 (2015) 226–236.
6. Bertaux et al.: Influence of Venus topography on the zonal wind and UV albedo at cloud top level: the role of stationary gravity waves. *Journal of Geophysical Research (Planets)* 121 (2015) 1087–1101.
7. Delitsky, Baines: Storms on Venus: Lightning-induced chemistry and predicted products. *Planetary and Space Science* 113–114 (2015) 184–192.
8. Hansell, Wells, Hunten: Optical detection of lightning on Venus. *Icarus* 117 (1995) 345–351.
9. Bertucci et al.: The induced magnetospheres of Mars, Venus, and Titan. *Space Science Reviews* 162 (2011) 113–171.
10. Miller, Whitten: Ion dynamics in the Venus ionosphere. *Space Science Reviews* 55 (1991) 165–199.
11. Wei et al.: A teardrop-shaped ionosphere at Venus in tenuous solar wind. *Planetary and Space Science* 73 (2012) 254–261.
12. Vech et al.: Space weather effects on the bow shock, the magnetic barrier, and the ion composition boundary at Venus. *Journal of Geophysical Research (Space Physics)* 120 (2015) 4613–4627.