



Peklo pod peřinou

Pohled pod oblaka Venuše ukazuje, že se zdánlivé dvojčce Země ve svém vývoji ubíralo zcela jinou cestou. Na jejím konci je planeta s pekelnými teplotami a povrchovým tlakem tak silným, že by tam žádný pozemský organismus nepřežil. O Venuši jsme si povídali s Martinem Pauerem ze Štefánikovy hvězdárny v Praze Ptala se Jana Žďárská

? Proč druhá planeta jako jediná ve Sluneční soustavě nese ženské jméno?

Pojmenování Venuše se během dějin měnilo a každá ze starověkých civilizací samozřejmě používala jiný název. Fakt, že ony dva jasné objekty na ranní a večerní obloze jsou jeden a tentýž, jako první zřejmě rozpoznali dávní Sumerové. Pojmenovali planetu po Ištar – velmi oblíbené bohyni lásky, ale také války, tedy zrodu i zmaru. Šlo o jeden z nejdůležitějších babylonských kultů, proto není divu, že se zmíněné přiřazení udrželo rovněž v dalších kulturách, které z té babylonské vycházely. A tak řečtí astronomové říkali planetě Afrodita a Římané Venuše. Mezi obyčejnými lidmi však ještě mnoho dalších staletí vydrželo pojmenování vycházející z času, kdy ji můžeme na nebi spatřit – například v češtině jitřenka a večernice. I v kulturách, jež tvoří součást západní

civilizace, přitom Venuše zaujímal výsadní postavení: Kupříkladu mayští astronomové věnovali jí a jejím polohám na obloze velkou pozornost.

? Venuše se zdánlivě natolik podobá Zemi, že se často označuje jako její sesterská planeta. Kdy a jak vyšlo najevo, že je taková představa daleko od pravdy?

Zásadní podobnost obou planet spočívá především ve velikosti: Venuše s průměrem 12 104 kilometrů dosahuje 95 procent průměru Země, takže je prakticky stejně velká. Předtím než k ní doletěly pozemské sondy, jsme kromě toho pomocí fyzikálních výpočtů zjistili, že má i obdobnou hmotnost – asi 82 procent naší planety. A později, ve druhé polovině dvacátého století, se díky automatickým průzkumníkům a sofistikovaným pozorovacím metodám podařilo odhalit také její chemické složení,

opět velmi podobné Zemi. Tím větší bylo naše překvapení, když jsme poprvé „nahlédli“ pod závoj její husté oblačnosti a zjistili jsme, že se zdánlivé dvojčce Země ve svém vývoji ubíralo zcela jinou cestou. Na jejím konci se bohužel nachází planeta, kde panují pekelné teploty a povrchový tlak tak silný, že by tam žádný pozemský organismus asi nepřežil. Ve srovnání se Zemí je Venuše prakticky neobyvatelná.

? S podmínkami na Venuši mají potíže také výzkumné sondy. S hustou atmosférou si příliš neporadí a při dosednutí na povrch vydrží fungovat jen krátce. Dokážeme přesto v budoucnu planetě trochu víc „nahlédnout pod pokličku“?

Hustá atmosféra halící povrch Venuše má za následek, že i když na místo dostaneme nějakou aktivní automatickou sondu,

množství informací, které nám může poskytnout, je výrazně omezené. A to nemluvíme o nemožnosti aktivního průzkumu povrchu pomocí roverů, jak ho známe třeba z Marsu. Potřebovali bychom úplně novou technologii, jež by nám umožnila planetu zkoumat na jiné úrovni, podobně jako u ostatních terestrických objektů Sluneční soustavy. Ale na to si vzhledem k podmínkám, které na Venuši panují, budeme muset ještě chvíli počkat.

❓ **Spočívá snad právě proto Venuše tak trošku na okraji zájmu astronomů, například oproti zmiňovanému Marsu?**

Astronomové a planetární vědci se na ni intenzivně zaměřují, ale vždy je limitují dostupná data. Z uvedeného pohledu je na tom Venuše o něco hůř než Měsíc či Mars, kolem kterého krouží flotila několika sond. Rovery, jež úspěšně brázdí povrch rudé planety a neúnavně nám o něm posílají nové a nové informace, by na Venuši dokázaly totéž jen velmi těžko.

❓ **Přesto k Venuši sondy putují a přináší nám mnoho zajímavých informací. Jakým způsobem k ní cestují? A musí se přitom rovněž čekat na startovací okno, jako například u misí na Mars?**

Kdo je...

Mgr. Martin Pauer, Ph.D.,

(*1979), se po ukončení magisterského studia na katedře geofyziky Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy zabýval v berlínském Institutu pro planetární výzkum DLR geofyzikou planet Sluneční soustavy. Nyní vede výzkumné a vývojové projekty ve společnosti Rockwell Automation a externě spolupracuje se Štefánikovou hvězdárnou a s Oddělením kosmické fyziky Ústavu fyziky atmosféry AV ČR.



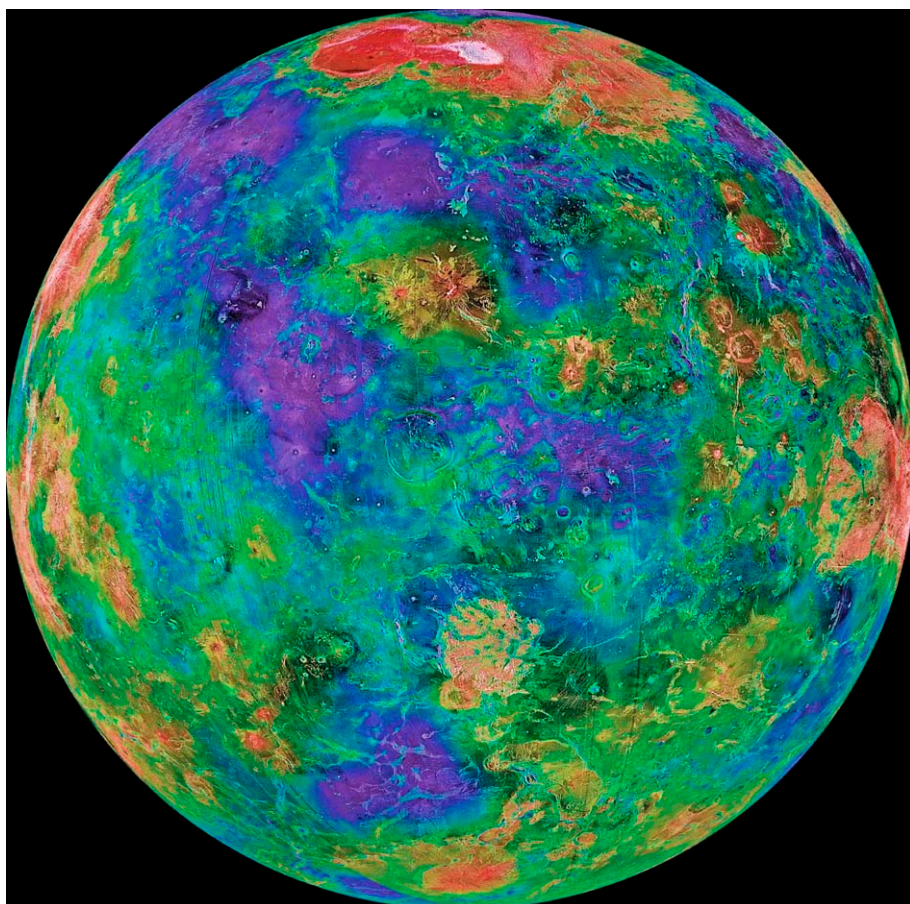
Hustá atmosféra výrazně limituje množství informací, které nám může sonda z povrchu Venuše poskytnout

Sonda putuje k Venuši podobně jako k jiným planetám Sluneční soustavy. Délka její cesty a okamžik startu – zmiňované

startovací okno – souvisí s tím, jak výkonný pohon automat má a kolik si může dovolit spotřebovat paliva. Se současnými technologiemi se nám otevírá příležitost vyslat robotického průzkumníka ke druhé planetě zhruba každých devatenáct měsíců, přičemž první z nadcházejících „oken“ nastane v květnu 2023. Typicky trvá let od Země k Venuši čtyři až šest měsíců, ale podle požadavků na dosaženou oběžnou dráhu může být i výrazně delší.

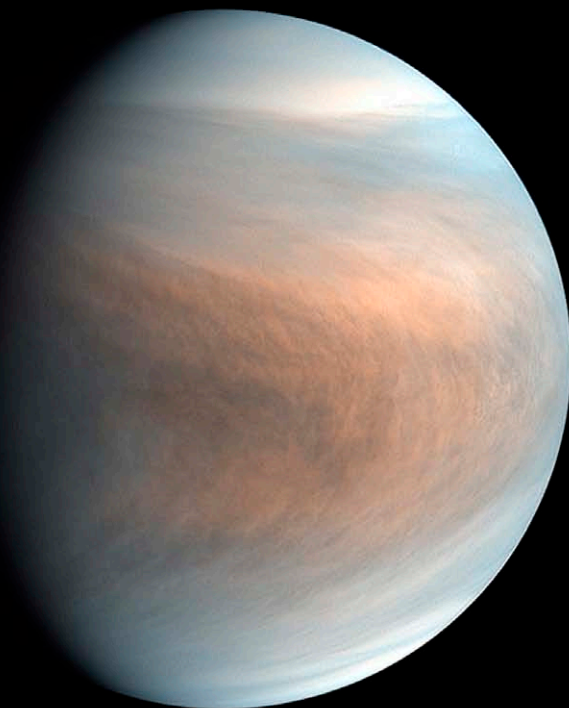
❓ **Které sondy se v minulosti k Venuši vypravily a s jakými úspěchy?**

Většina z nich pocházela ze Sovětského svazu a dosáhly několika unikátních prvenství, především při přistání. Celkem sedm sond Veněra úspěšně zakončilo sestup atmosférou na různých místech planety a poskytly



Radarový snímek povrchu Venuše v nepravých barvách znázorňuje nížiny (modrá) a náhorní plošiny (červená). V blízkosti severního pólu, v oblasti Ishtar Terra, leží nejvyšší pohoří planety Maxwell Montes, tyčící se do 11 kilometrů. Bílá barva naznačuje, že jde o oblast s výrazně vyšší odrazivostí radarových vln. Pochopitelně se nejedná o sníh, neboť se na povrchu nenachází žádná voda, ale vysokou odrazivost by mohlo způsobovat kovové ložisko

Pozoruhodný snímek atmosféry Venuše, zde v nepravých barvách, pořídila japonská sonda Akacuki kamerou pracující v ultrafialovém oboru



Skleníkový efekt, s nímž se potýkáme i na Zemi, na Venuši drtivě zvítězil

nám nejen zajímavé informace, ale i první snímky povrchu. Důležité byly samozřejmě také automaty zkoumající během sestupu samotnou atmosféru nebo ty, jež zůstaly na oběžné dráze a získaly ohromné množství údajů o celé planetě – zatímco přistávací sondy prozkoumaly většinou jen velmi malou oblast povrchu. Nejvýznamnější byla asi americká mise Magellan, která nám v devadesátých letech díky inovativní sadě vědeckých přístrojů přinesla na Venuši úplně nový pohled, včetně detailního zmapování topografie jejího povrchu. Zmínit můžeme i evropskou Venus Express, jež mnoho let studovala tamní atmosféru a shromáždila množství cenných informací.

? Co dnes víme o atmosféře Venuše a jejím klimatu?

Aslepoň na první pohled představuje atmosféra zásadní rozdíl mezi Venuši a naší planetou. Zatímco na Zemi činí průměrná teplota přibližně patnáct stupňů, s výkyvy plus padesát a minus sto, na povrchu naší

sousedky panuje těžko představitelných 462 stupňů – tedy víc, než na kolik se zahřívá Merkur. Díky velmi husté atmosféře dosahuje také povrchový tlak 9,3 megapascalu, což asi 92násobně převyšuje hodnotu na Zemi. Uvedené údaje se regionálně prakticky neliší, tudíž se můžeme na celou Venuši dívat jako na obří vřezdný skleník. I ty nejodolnější sondy tam vydržely po přistání pracovat maximálně dvě hodiny. Pokud jde o chemické složení atmosféry, výrazně v ní převažuje oxid uhličitý s 96,5 procenta, což je také důvod zmíněných nehostinných podmínek. Skleníkový efekt, se kterým se potýkáme i na Zemi, tam drtivě zvítězil. A jestliže Venuši původně halil plynný obal podobný zemskému, s převládajícím dusíkem, miliardy let vývoje způsobily, že dnes tvoří uvedený prvek asi jen třicetinu atmosféry.

? V porovnání s ostatními planetami je Venuše zajímavá i velmi mladým povrchem. Jakého stáří dosahuje?

Přesně to nevíme, protože se nám zatím nepodařilo – a v dohledné budoucnosti asi ani nepodaří – odebrat vzorek tamních hornin a podrobit jej laboratorním datovacím metodám. Musíme si tak pomoci nepřímou. Od dob amerických misí Apollo víme, jak navázat stáří povrchu na množství kráterů, které na něm můžeme pozorovat: Čím geologicky mladší oblast, tím méně kráterů ji pokrývá, protože ty starší byly překryty během procesu jejího vzniku. Na radarových snímcích povrchu Venuše jsme meteorických kráterů našli překvapivě málo, a podle statistických modelů tak jeho stáří dosahuje přibližně 750 milionů let. Důvod, proč je tak „mladý“, ještě přesně neznáme, ale zřejmě to souvisí s vnitřní aktivitou planety.

? Jaký typ kůry a jaké struktury bychom na tamním povrchu našli?

Povrch Venuše se od zemského výrazně liší. Kůru naší planety tvoří dvě velmi odlišné oblasti: kontinenty s nižší hustotou danou vyšším podílem oxidu křemičitého a oceánská kůra, jež se navíc nachází výrazně níž než kontinenty. Venuši však pokrývá jen jeden typ kůry a složením se podobá právě pozemskému oceánskému čedičům. Navíc tam chybí výrazný výškový rozdíl mezi jednotlivými částmi planety. Jedinou výjimku kromě všudypřítomných sopek představují tři vyvýšeniny – Ishtar Terra, Aphrodite Terra a Lada Terra. Nemůžeme

je však považovat za kontinenty, z geologického hlediska se příliš neliší od okolního povrchu. Na vrcholcích hor i sopek ovšem pozorujeme materiály s výrazně odlišnými vlastnostmi v oblasti odrazu radarových paprsků. Zda jde o vliv nižšího tlaku a teploty, nebo o jiný geologický proces, zůstává zatím nepotvrzené.

? Jak důležité jsou dva typy zemské kůry z hlediska obyvatelnosti naší planety?

Země by rozhodně vypadala výrazně jinak, pokud by se zde před více než třemi miliardami let neobjevily kontinenty. Z geofyzikálního hlediska se totiž pojí s procesem deskové tektoniky a ten zas představuje významný faktor v ochlazování planety. Pokud k němu nedochází s takovou efektivitou, jakou pozorujeme na Zemi, zůstává jádro velmi teplé a magnetické dynamo ztrácí účinnost, až zcela ustane. Kontinenty jsou však důležité i z hlediska vývoje života na Zemi: V mělkých šelfových mořích v jejich okolí se mu velmi daří a v neposlední řadě se savci vyvinuli až poté, co se život přesunul z moří na souš.

? Z pozorování tedy vyplývá, že v současnosti Venuše obyvatelná není. Ale co dřív? Mohla se tam v minulosti vyskytovat voda, či dokonce život?

O existenci života na Venuši můžeme jen spekulovat, protože žádná dosud získaná data takové domněnky nepodporují. V atmosféře se nicméně určité množství vodní páry nachází a je dost dobře možné, že před mnoha stovkami milionů až několika miliardami let se na povrchu vyskytovalo vody mnohem víc. Vždyť pokud se na Zemi objevilo množství kapaliny, jaké pozorujeme dnes, alespoň řádově podobný objem se

mohl na začátku její existence nacházet i na Venuši. V důsledku chybějícího globálního, vnitřně buzeného magnetického pole a narůstajícího skleníkového efektu se však zřejmě z povrchu rychle odpařovala a unikala z atmosféry do vesmíru.

? Venuše tedy nemá vnitřně buzené magnetické pole. Znamená to, že tam nemůže vzniknout magnetické dynamo jako na Zemi?

Jde o další zásadní rozdíl oproti naší planetě. Venuše vlastní magnetické pole generované v jádru nemá, ale není v tom sama. Kromě Země jsme jej z terestrických objektů Sluneční soustavy pozorovali jen u Merkuru a Jupiterova měsíce Ganymedu. Důvody, proč ho ani ostatní planety a měsíce nemají, jsou různé, ústí však do stejné situace: V metalickém jádře – pokud ho objekt obsahuje – nedochází k dostatečně

Na Zemi tvoří voda v horninách významnou součást subdukovaných tektonických desek. Bez ní by se celá desková tektonika zřejmě „zadřela“ a nitro planety by se přestalo účinně ochlazovat. A právě účinnost této tepelné výměny s okolním kosmickým prostorem je pro fungování geodynamy klíčová. Jeho zpomalení a následné zeslabení mohlo celý proces ohřívání atmosféry Venuše ještě dál urychlit a snižující se objem vody na jejím povrchu pak mohl mít zničující účinek na místní geologické procesy.

Popsaná situace má u Venuše fatální dopad na celý ekosystém povrchu i na atmosféru. Sluneční vítr, tedy nabitě částice přicházející od naší mateřské hvězdy, tak nejsou od planety odkláněny a mohou pronikat poměrně hluboko do exosféry – což má bohužel za následek poměrně masivní únik částic do vesmíru. Pokud tedy

Na povrchu Venuše panuje silné přitížení, přestože druhá planeta krouží výrazně blíže Slunci než Země

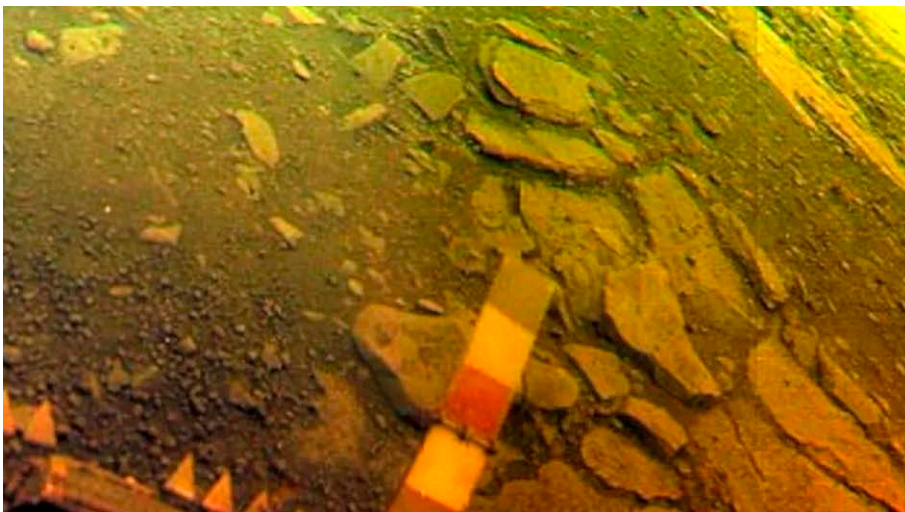
rychlému pohybu materiálu, tudíž globální magnetické dynamo nemůže vzniknout, případně se udržet.

? Pro zachování magnetického dynamo je velmi důležitá i voda, a to především z hlediska deskové tektoniky, jak ji známe ze Země. Co se stane, když desková tektonika chybí či vymizí?

někdy v minulosti měla Venuše například významnější podíl vody v atmosféře, jedná se s velkou pravděpodobností o mechanismus, jak o ni přišla.

? V důsledku chybějícího magnetického pole není Venuše chráněna ani před zářením z kosmu. Nemohla by zmíněnou úlohu převzít její hustá oblačnost?

Stejně jako se kvůli absenci magnetosféry dostane k atmosféře Venuše sluneční vítr, dostane se k ní i kosmické záření. Je pravda, že většinu dopadajícího elektromagnetického záření hustá oblačnost buď pohltí, nebo odrazí zpět do vesmíru. Skrz atmosféru tak proniká jen jeho velmi malé množství. Na povrchu proto panuje poměrně silné přitížení, přestože se planeta nachází výrazně blíže Slunci než Země. Radiační záření však ani její výrazná oblačnost zachytit nemůže.



První barevný záběr z místa dosednutí odeslala k Zemi Veněra 13, po úspěšném přistání v roce 1982

? Mezi zajímavosti druhé planety patří den delší než rok. Co danou anomálii způsobuje?

Venuše obíhá kolem Slunce blíže, a tudíž i rychleji než Země. Jeden rok tam trvá 224,7 pozemského dne, tedy asi 7,5 pozemského měsíce. Neobvyklá je však rotace planety: Zatímco prakticky všechny objekty Sluneční soustavy se otáčejí v takzvaném prográdním směru, Venuše rotuje obráceně neboli retrográdně, a navíc velmi pomalu. „Den“ tam tak skutečně trvá déle

také zpomalováním oběhu Měsíce kolem naší planety, s čímž souvisí jeho vzdalování. Podobnými silami působí Slunce na atmosféru Venuše a ta mohla její rotaci zpomalovat až do té míry, že se planeta zastavila a „roztočila“ se obráceně.

? Vraťme se ještě k otázce existence života na Venuši. Ta se v roce 2020 znovu dostala do popředí vědeckého zájmu, když se v atmosféře planety podařilo detekovat fosfan – plyn, který

dosavadnímu přesvědčení, že jej u žádné kamenné planety detekovat nemůžeme. Teď již víme, že je to možné. A astronomové studující exoplanety – jako třeba skupina na Astronomickém ústavu Akademie věd vedená Petrem Kabáthem – si fosfan přidávají na seznam molekul, po nichž se v atmosférách cizích planet pátrá.

Ale zpět k Venuši. Tamní výskyt fosfanu dosud vysvětlen nebyl. Na Zemi vzniká většinou buď v průmyslu, nebo jako vedlejší produkt biologických pochodů některých bakterií. Když jej vědci objevili v atmosféře Venuše, nejprve zkontrolovali, zda jeho detekované množství nemůže pocházet z nějakého známého nebiologického procesu – a došli k negativnímu závěru. Pokud je tam tedy opravdu tolik fosfanu, kolik se zdá z pozorování, pak vzniká určitým dosud neznámým procesem, anebo by skutečně mohl ukazovat na přítomnost primitivního života.

Kvůli absenci magnetického pole a narůstajícímu skleníkovému efektu se voda z povrchu zřejmě rychle odpařovala a unikala do vesmíru

než celý rok, celkem 243 pozemských dnů. Vysvětlujících teorií existuje víc: Dřív se hojně spekulovalo o impaktu, který planetu „roztočil“ opačným směrem, ale dnes se za nejpravděpodobnější pokládá působení slapových sil. Například na Zemi se projevují přílivem a odlivem oceánů, ale

by mohl vznikat činností primitivních živých forem. Dokázali už odborníci jeho tamní výskyt objasnit?

Objev fosfanu byl skutečně pro hledání života mimo Zemi velmi zásadní: nejen proto, že by mohl indikovat existenci živých forem na Venuši, ale už kvůli

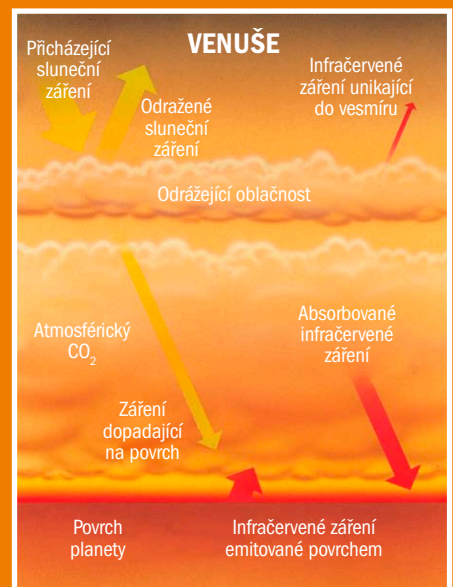
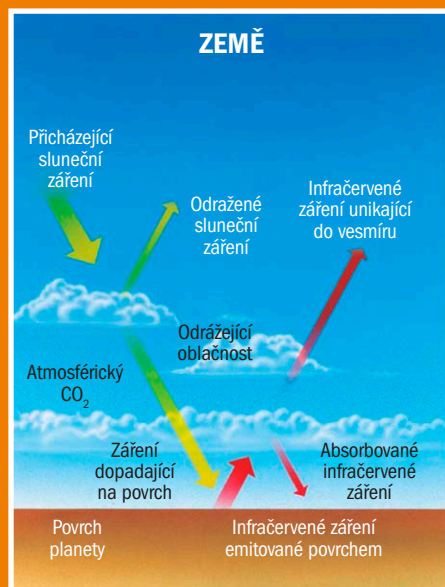
? Jaké sondy mají v blízké budoucnosti k Venuši vyrazit?

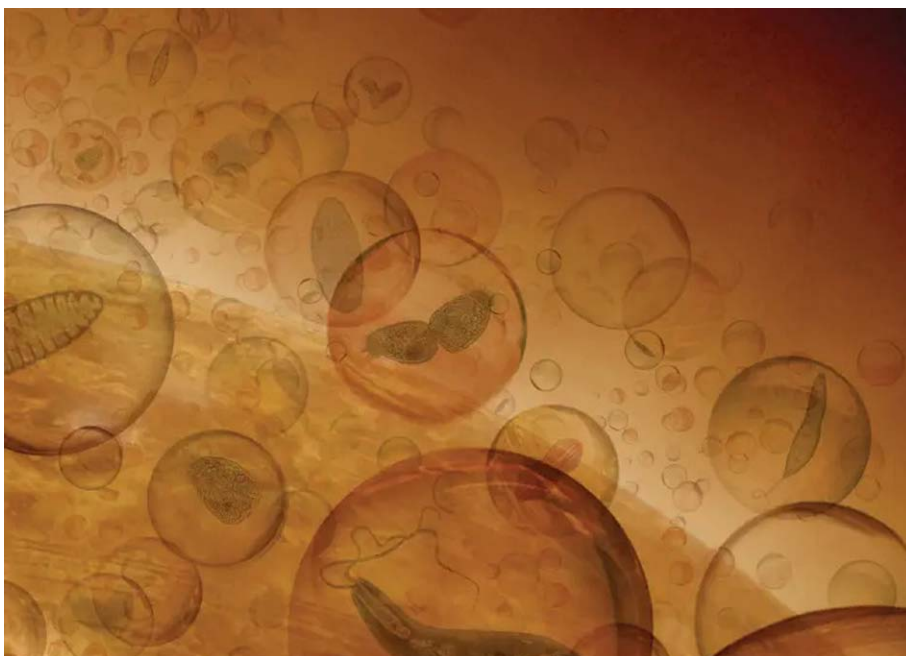
V současnosti se plánuje řada nových misí, jež nám v příští dekádě slibují opět výrazný posun v porozumění druhé planetě. Na rok 2028 připravuje NASA misi Veritas, pokračovatelku již zmíněného Magellanu: Z oběžné dráhy bude podrobně mapovat povrch Venuše, jeho geochemické složení, odchylky v gravitačním poli a další

Planeta ve skleníku

Na Zemi proniká sluneční záření až k povrchu, který se tím ohřívá a vydává tepelné infračervené záření. Většina se ho vrací do kosmického prostoru, část je ovšem zachycena v troposféře. Tak se udržuje teplota na Zemi. Venuši však halí vrstva hustých mraků, od nichž se sluneční záření odráží asi z 80 % a zbytek dopadá na povrch. Ten rovněž produkuje infračervené záření, které částečně zachytí troposféra. Na rozdíl od Země však kvůli husté oblačnosti nemůže většina zmíněného záření pokračovat do vesmíru, a na Venuši se tak hromadí teplo, jež nemá kam uniknout.

Skleníkový efekt





Mohl by v husté oblačnosti planety přežívat mikrobiální život?

klademe v tomto rozhovoru: V čem přesně se Venuše od Země liší a proč právě tyto rozdíly způsobily tak odlišný vývoj obou jinak podobných planet? Kolik se na Venuši původně nacházelo vody, jak rychle z jejího povrchu mizela a zda souvisí současný stav planety právě s uvedeným procesem? Mohl na ní existovat život? A jak je ve vědě obvyklé, pokud se budeme snažit najít odpovědi na zmíněné dotazy, nakonec se vyrojí ještě větší množství dalších, a možná dokonce zajímavějších. ↻

Mgr. Jana Žďárská pracuje ve Fyzikálním ústavu AV ČR, v rámci popularizace vědy publikuje v Československém časopise pro fyziku a dalších popularizačních periodikách, je členkou České astronomické společnosti (ČAS), Kosmologické sekce ČAS (dříve místopředsedkyní), Astronautické sekce ČAS, porotkyní Československé astrofotografie měsíce (ČAM) a členkou Jednoty českých matematiků a fyziků

zajímavé údaje. O tři roky později by měla vyrazit také evropská orbitální sonda EnVision, s podobným zaměřením. Díky povrchovému i podpovrchovému radaru má co nejpřesněji zmapovat pozorované geologické útvary i případné anomálie pod povrchem, jež mohou se sledovanou topografií souviset. Třetí chystaný automat, americký DAVINCI+, se zaměří na spodní část atmosféry. Jako první sonda téměř po půl století se tak odváží do hustých siřičitých oblaků Venuše a pošle nám údaje a snímky zajímavých geologických útvarů z malé výšky nad povrchem.

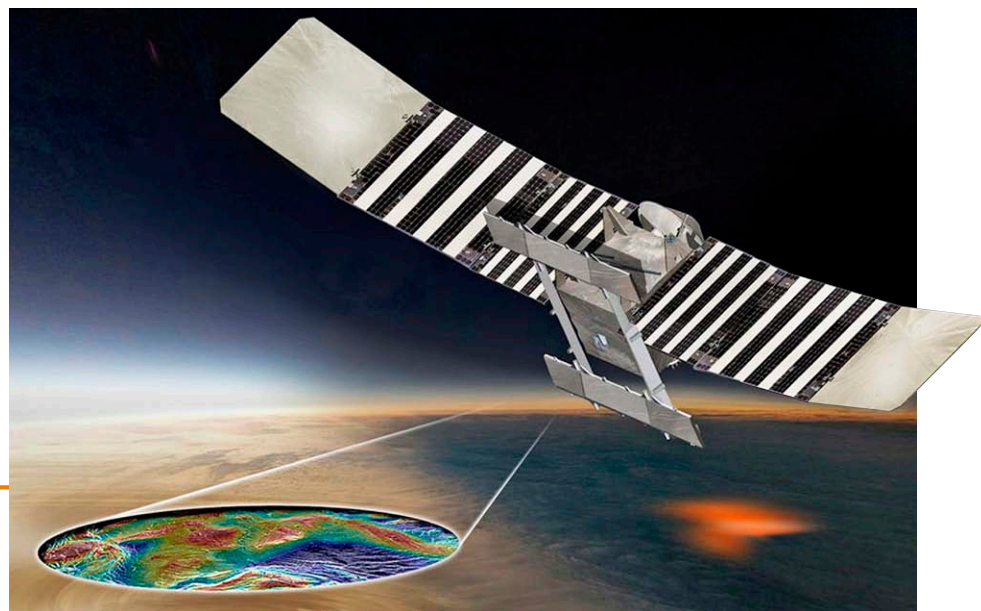
Kromě popsaných tří schválených průzkumníků, kteří během následujících deseti let k sousední planetě zamíří, existuje i řada dalších návrhů: například indický projekt Shukrayaan-1 nebo ruská Veněra-D, jež by chtěla navázat na fenomenální úspěchy v režii Sovětského svazu. Budoucnost zmíněných návrhů je však bohužel nejasná a minimálně část z nich zůstane jen na papíře.

? Jaké otázky by nám mohly budoucí mise zodpovědět?

Vědci by samozřejmě o Venuši rádi získali maximum informací ze všech oborů přírodních věd. Rozpočty vesmírných agentur i současné technologie jsou však omezené,

takže se musíme spokojit s dostupnými možnostmi. Plánované mise, sondy a jejich přístroje, jež budou Venuši zkoumat v následujících letech, by nám především měly odpovědět na základní otázku, kterou si

Vlivem Slunce mohla atmosféra planety zpomalovat její rotaci až do té míry, že se zastavila a „roztočila“ se obráceně



Na úspěšnou misi Magellan má v roce 2028 navázat sonda Veritas, jež bude mimo jiné podrobně mapovat povrch Venuše