

22. ročník, úloha III. P ... titanový život (5 bodů; průměr 3,38; řešilo 8 studentů)

Titan – družice Saturnu – je mrazivý svět (povrchová teplota asi 94 K) s mohutnou dusíkovou atmosférou, ledovým povrchem a uhlovodíkovými jezery. Radar na sondě Cassini obíhající Titan zjistil, že povrchové útvary rotují rychleji než měsíc sám (asi o $0,36^\circ \text{rok}^{-1}$). Vědecké zdůvodnění zní, že působením větru se mění rotace ledové vrstvy, která plave na podzemním oceánu. O rotaci měsíce se předpokládá, že je synchronizována s oběhem Titanu kolem Saturnu.

Další indicii podzemního oceánu poslala sonda Huygens, která po oddělení od Cassini přistála na povrchu Titanu. Během klesání atmosférou naměřila relativně silné radiové elektromagnetické vlny o frekvenci asi 36 Hz. K odrazu a zesílení radiových vln může dojít na vodivém prostředí, jako je právě rozhraní vody a ledu pod povrchem.

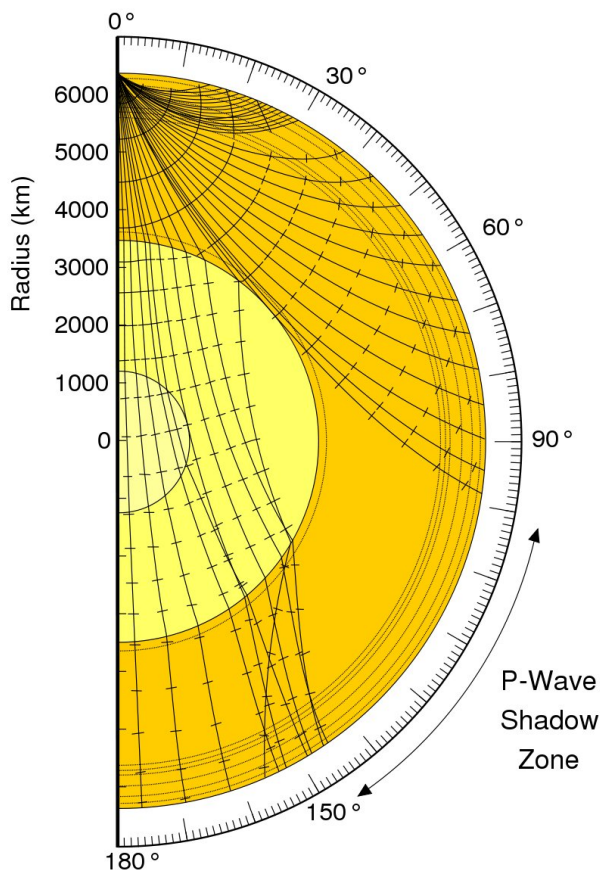
Poradte expertům NASA, jakými metodami by mohla současná nebo budoucí sonda k Titanu potvrdit nebo vyvrátit existenci podzemního oceánu.

V aktuálním dění zaujalo Honzu P.

Úvodem zmiňme nejpřímochařejší metodu – hlubinný vrt, kterou nezapomněl zmínit nikdo z řešitelé. Nejhlubší geologické vrty na současné Zemi jsou však dlouhé kolem deseti kilometrů, zatímco odhadovaná tloušťka pevné povrchové slupky Titanu je až kolem sta kilometrů, tudíž realizace takového postupu by byla minimálně technicky velmi náročná. Na druhou stranu na zmíněném měsíci byla pozorována kryovulkanická aktivita (sopky chrlící plyny a sníh), která naznačuje, že v kůře musí být velmi dlouhé komíny, kterými materiál stoupá k povrchu. Jejich výskyt po celém povrchu by existenci celoplanetárního podkorového oceánu podpořil.

Druhá klasická metoda je využití geofyzikálních poznatků, zejména těch ze seismologie. Když na Titanu, stejně jako na Zemi, dojde k zemětřesení, vzniknou v tělese planety dva druhy vln – podélné („primární“) vlny a vlny příčné („sekundární“), které je pro mohutné otřesy možné detekovat prakticky po celém povrchu. Každý z obou druhů se šíří různou rychlostí. Pro podélné vlny je $v_p \sim \sqrt{E/\rho}$, kde E je modul pružnosti materiálu v tahu a ρ jeho hustota; pro příčné vlny bude ve vztahu vystupovat modul pružnosti ve smyku. Protože v kapalině jsou tečná napětí (a tedy i smykový modul pružnosti) velmi malá ve srovnání s těmi v pevném materiálu, příčné vlny se v ní prakticky nešíří a tak tekutým materiálem projdou jen vlny podélné. Jiná rychlost vlny v jiném prostředí s sebou nese, podobně jako v optice, zákon lomu, takže existence tekuté vrstvy se projeví jako „stín“ v podélných vlnách, jak je naznačeno na následujícím obrázku (je sice kreslený pro Zemi a její tekuté vnější jádro, ale podobná myšlenka bude platit i na Titanu). Podobně dochází i k úplnému odstínění příčných vln, jak už bylo řečeno. Ani tento způsob není jednoduché provést – je potřeba mnoho měřících stanic rozmístěných po povrchu a kvůli chybějící dynamické tektonice, kterou známe z našeho domovského světa, i uměle vytvořené zemětřesení.

Jako další možnost někteří navrhovali odporové profilování a jemu podobné metody využívající měření odporu mezi mnoha dvojicemi povrchových bodů (typicky od sebe vzdálených kolem dvaceti metrů). Ze získaných dat se sestaví vodivostní mapa podloží a na té lze pak identifikovat oblasti vodivější (tedy vodu) a méně vodivé (tedy horninu). Takový postup se sice používá při hledání podzemních dutin v geologické praxi, nicméně účinný dosah metody je v řádu nejvýše desítek metrů. Lze ale předpokládat, že při použití pokročilejšího vybavení, silnějších zdrojů a detektorů a také samozřejmě měřením odporu mezi místy podstatně vzdálenějšími, by bylo možné uspět i takto.



Obr. 1. Šíření seismických vln

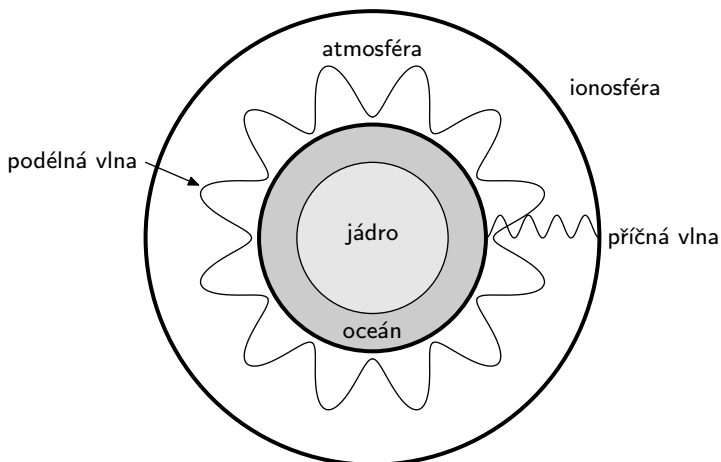
Zajímavá metoda je použití tzv. *Schumannových rezonancí*. Představme si dutinu ve tvaru mezikoulí, ohraničenou vodivými plochami a vyplněnou špatně vodivým materiálem. Může se jednat ze vně například o ionosféru planety a zevnitř o hladinu oceánu (řez na obr. 2).

Vlivem vnitřním (např. blesk) nebo vnějším (např. interakce s magnetosférou jiné planety) můžeme v dutině vybudit elektromagnetickou vlnu, která podobně jako ve známé Kundtově trubici při správné budící frekvenci vytvoří stojaté vlnění. To se může vyskytnout ve dvou odlišných formách (*modech*) – jako vlna rovnoběžná s vodivými plochami (říkejme jí podélná) a jako vlna napnutá mezi nimi (příčná). Protože v každém bodě je elektrické pole určené jednoznačně, musí při oběhu planety dokola mít podélné vlnění stejnou fázi, tedy je potřeba, aby první mod byl uzavřený (na obrázku). Dále platí, že příčná vlna se rozhraní dotýká v bodech, kde má nulovou amplitudu (v uzlech – jako ve zmíněné akustické analogii). Takové vlny však nemohou mít libovolnou vlnovou délku, ale jen několik vybraných. Z teorie se dají určit vlastní frekvence takového rezonátoru, totiž frekvence, které jsou jím zesíleny. Pro podélné vlny jsou

to frekvence

$$f_n \approx \frac{c}{2\pi R} \sqrt{n(n+1)},$$

kde c je rychlost světla, R poloměr vnitřní vodivé plochy a n řád modu. Zjištěním rezonančních frekvencí obou modů bychom byli schopni určit poloměr hladiny případného podpovrchového oceánu. Naopak absence rezonancí by mluvila proti jeho existenci. Samozřejmě by muselo předcházet důkladné proměření vodivosti atmosféry, protože Titan nemá jednoznačně rozpoznatelnou ionosféru a vodivost atmosféry se mění postupně s rostoucí výškou.



Obr. 2. Schumannovy rezonance

Jakub Benda

jakub@fykos.mff.cuni.cz