

Novinky

Na čem pracujeme: Gravitační aspekty odhalují tajemství Marsu

Gravitační pole přináší o objektech informace, které jsou často skryty přímému pozorování. Po úspěšné aplikaci aspektů (derivátů) gravitačního pole na nejrůznější struktury na Zemi i na Měsíci přichází tým Jaroslava Klokočníka z ASU s přehledem zajímavostí s praktickými geologickými a geofyzikálními aplikacemi na Marsu. Týkají se nejen celé planety jako kosmického tělesa, ale konkrétně i hypotetického paleo-oceánu na severní polokouli Marsu, sopečné zóny Tharsis, Údolí Marineru, maskonu v Isidis Planitia nebo impaktní pánve Hellas. Až neuvěřitelnou aplikací je test možného výskytu uhlovodíků (lidově chápaných především jako „ropa“).

Gravitační pole nese mnohem více informace než pouhé „přitahování“ dvou těles. Ve vesmíru jsou téměř všechna tělesa rozlehlá, charakter jejich gravitačních polí je tak přirozeně jiný, než by odpovídalo jednoduchému popisu představovanému ve fyzice na základních školách. Důležitou informací o vnitřní struktuře tohoto tělesa (o jeho hustotních variacích) přinášejí zejména tzv. vyšší momenty gravitačního pole, které umožňují popsat odchylky rozložení hmoty od idealizovaného stavu. Podobně, jak ukazuje celý soubor prací týmu vedeného Jaroslavem Klokočníkem z ASU, nesou informaci tzv. aspekty (neboli deriváty) modelu gravitačního pole.

Zde je třeba udělat krok zpět. Gravitační pole kosmických těles je měřeno jednak s pomocí tzv. gravimetrů, přístrojů umístěných na povrchu tělesa nebo v jeho blízkosti, např. na letadlech nebo lodích. S pomocí gravimetrů je možné mapovat gravitaci tělesa v závislosti na poloze. Vznikají tak opravdové detailní gravitační mapy, ale spíše lokálního a regionálního charakteru. Tato měření se kombinují v tzv. modelech gravitačního pole s družicovými měřeními různých druhů, která naopak umožňují zachytit globální charakteristiku. Dříve to byla měření pomocí kamer, laserových dálkoměrů, posléze prostřednictvím družicových altimetrů (výškoměrů). Pro umělé družice planet jsou běžná dopplerovská pozorování ze Země. Dráha družice není teoretická elipsa, ale je deformovaná díky hustotním anomáliím tělesa, nad kterým družice létá. Odpozorované odchylky dráhy od ideálu jsou vstupními daty, spolu s gravimetrií, pro výpočty modelů gravitačního pole. Ty jsou reprezentovány rozvojem gravitačního potenciálu v řadu sférických (kulových) harmonických funkcí. Každý z členů této řady popisuje charakter gravitačního pole při prostorové škále dané vlastnostmi kulové funkce. Řada je vždy někde ukončena v závislosti na podrobnostech získaných z gravitačních měření a obecně platí, že čím dále je ukončena, tím je prostorové rozlišení modelu lepší. Současný stav rozlišovací schopnosti modelů gravitačního pole je 10 km pro Zemi a Měsíc a 130 km pro Mars. U Venuše a Merkuru je rozlišení jejich gravitačního pole pro podobné analýzy zatím nedostatečné.

Anomálie gravitačního pole jsou vyvolány nejrůznějšími strukturami na povrchu těles a pod ním. Tradiční postup jejich studia pomocí gravimetrů nestačí k jejich kompletnímu popisu. Proto před lety začal tým J. Klokočníka využívat tzv. gravitačních aspektů, matematicky zpracovaných produktů vycházejících z kombinovaných gravitačních

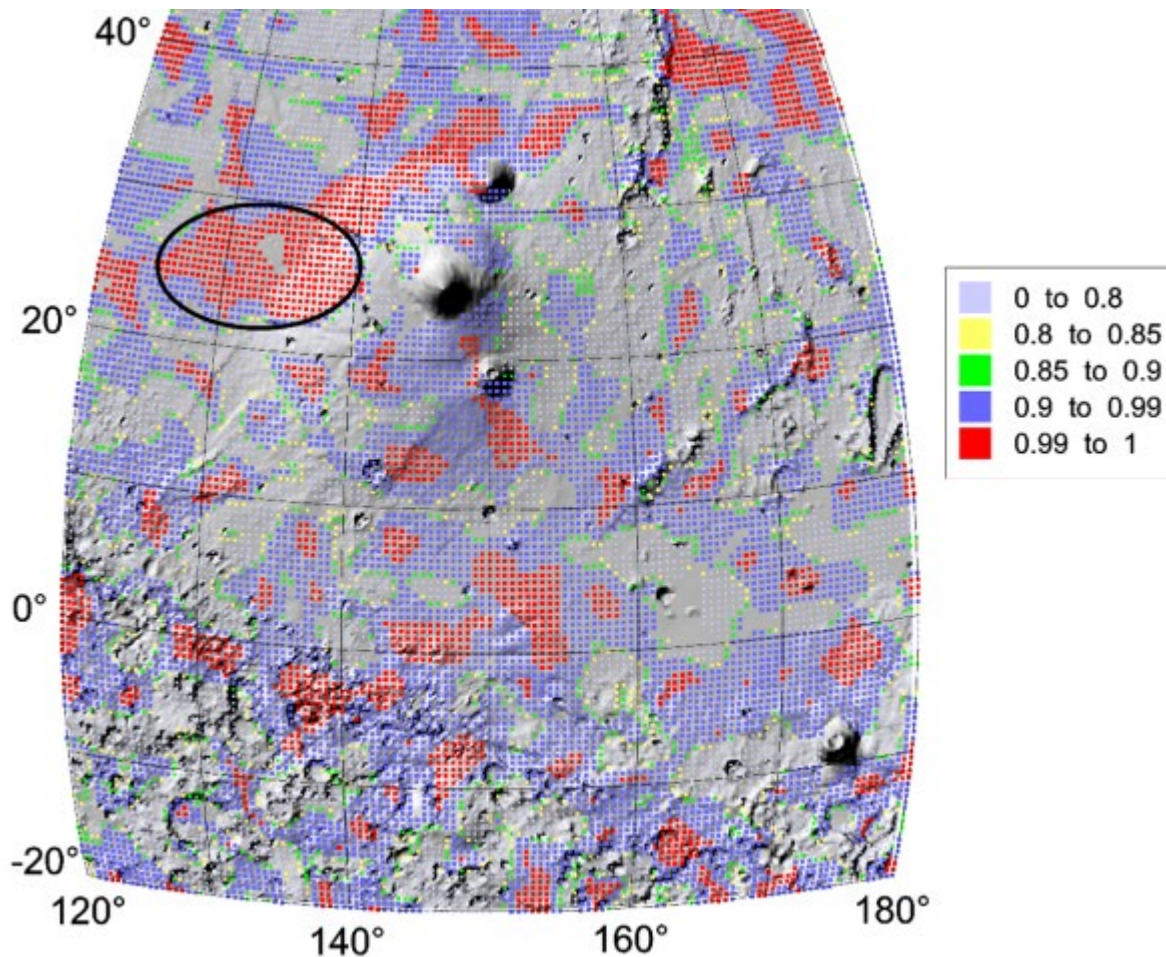
modelů. Kromě samotné hodnoty gravitační anomálie využívají např. Marussiho tenzoru (matici druhých derivací poruchového gravitačního potenciálu) a zejména jeho radiální složku. Dále pak používají dva gravitační invarianty a jejich poměr. Speciální význam pak mají tzv. virtuální deformace (zavedené zcela nově J. Kosteckým) nebo směry úhlů napětí. Dvě poslední veličiny velmi dobře charakterizují, zda v daném místě dochází spíše ke kompresi nebo dilataci struktur, případně, zda zde nejsou přítomny význačné směry, které by snad svědčily pro nějaké systematické silové působení nebo namáhání. Až na virtuální deformace geofyzika všechny jmenované veličiny znala, ale jejich systematické a kombinované použití s tím, že vstupními daty budou parametry gravitačního pole, je nové.

Na Zemi získali odborníci s gravitačními aspekty velké zkušenosti. Umožnily jim odhalit například sopky v Antarktidě skryté pod ledovým příkrovem, dávno neviditelné impaktní krátery, paleo-jezera pod příkrovem písku na Saharě nebo potenciální naleziště uhlovodíků na různých místech na světě.

Mezi roky 1997 a 2006 byla u Marsu aktivní sonda Mars Global Surveyor (MGS), s jejíž pomocí vznikly první skutečně detailní a věrohodné globální modely gravitačního pole Marsu. Již na první pohled je tato planeta gravitačně jiná než Země. Např. člen odpovídající zploštění má asi dvakrát vyšší hodnotu než pro Zemi, člen popisující „hruškovitost“ je pak větší desetkrát. Obé souvisí se zjevnou hemisférickou dichotomií rudé planety, kdy severní polokoule má v průměru nižší „nadmořskou“ výšku než polokoule jižní a terén je na severu také hladší (zanesený usazeninami) než na jihu. Vědci se již většinou shodují v názoru, že v dávné vlhké minulosti planety se na severní polokouli nacházel obří oceán.

Gravitační aspekty jsou jednou z možností, jak se k této hypotéze vyjádřit.

V představované práci tak odborníci z ASU i dalších českých vědeckých institucí ukazují, že hodnoty jednoho z gravitačních aspektů, tzv. úhlu napětí, jsou v oblasti severní nížiny velmi učené (nasměrované jednostranně). Taková situace je na Zemi běžná v případě plochých struktur a dotýká se typicky vody povrchové i podpovrchové nebo míst s porézním materiálem. Spolu s detailní a globální topografií z altimetru MOLA na družici MGS to silně podporuje hypotézu dávného paleo-oceánu.



Část paleo-oceánu západně od sopky Elysium. Červeně označeny jsou plochy s nejvyšší mírou učesanosti úhlů napětí. Zde se shodují s lahary (porézním sopečným materiálem, elipsa) na západ od sopky. Topografie z MOLA je ve formě 3D. Obrázek také ilustruje jinou (vyšší) míru učesanosti úhlů napětí v nížině na severu a na vysočině na jihu. (c) J. Kostecký

Charakteristické struktury lze v mapě virtuálních deformací dosledovat i v oblastech velkých kráterů, údolí nebo sopek. Sopka vykazuje dilataci kolem kaldery, kompresi v kruhu kolem sopky. Kráter má kompresi na dně a dilataci v lemech kolem. Dobře pozorovatelným a detailně prozkoumaným objektem na povrchu Marsu jsou také Údolí Marineru (Valles Marineris), nejrozsáhlejší systém kaňonů ve Sluneční soustavě. Gravitační úhly napětí zde prokazují existenci napětí (kompresi) podél nejdelší osy údolí. To naznačuje, že se údolí mohlo vytvořit v souvislosti s vulkanickou aktivitou v blízké ležící oblasti Tharsis, kde mohlo dojít ke gravitačnímu kolapsu některého z vulkánů. Další část práce ve formaci údolí už pak mohla odvést voda tekoucí z oblasti Tharsis do paleo-oceánu.

Učesané úhly napětí se na Zemi vyskytují mimo jiné (a toto omezení je důležité) v místech výskytu nalezišť podzemní vody, ropy a plynů. Podle analogie se Zemí autoři vytypovali (konkrétně v paleo-oceánu) rozsáhlá místa s nejvyšší mírou učesanosti jako

místa se zvýšenou pravděpodobností nálezů uhlovodíků. Až případný průzkum na místě ale ukáže, zde se na místě skutečně voda nebo uhlovodíky nacházejí.

Článek publikovaný v časopise *Icarus* je první prací zabývající se aspekty gravitačního pole Marsu. Již první přehled ukazuje několik zajímavostí a poukazuje, že na rudé planetě jsou jistě nevyřešené otázky, kde by k odpovědím mohla přispět zevrubná analýza těchto matematických veličin. Navazující článek přijatý k publikaci v časopise *International Journal of Astrobiology* má světové prvenství ve způsobu, jakým se vyslovuje k možnému dřívějšímu životu na Marsu.

Citace práce

J. Klokočník, G. Kletetschka, J. Kostelecký, A. Bezděk, *Gravity aspects for Mars*, *Icarus* 406 (2023) [115729](#)

J. Klokočník, J. Kostelecký, A. Bezděk, V. Cílek, *Hydrocarbons on Mars*, *International Journal of Astrobiology*, v tisku

Kontakt: prof. Ing. Jaroslav Klokočník, DrSc., jklokochn@asu.cas.cz

Copyrights © 2023 Astronomický ústav AV ČR, v.v.i.