

# SLNEČNÁ SÚSTAVA Z POHĽADU AKTUÁLNYCH POZNATKOV VEDY

*CSATÁRYOVÁ Mária – BEGENI Peter, SR*

**Resumé:** V tomto príspevku je stručný prehľad najnovších objavov v Slnčnej sústave za posledné desaťročia. Sondy križujúce medziplanetárny priestor, ako aj sústavné mapovanie oblohy, doplnili naše doteraz jasné predstavy a spochybnili niektoré presné klasifikácie. Ukázali sa rozdiely v štruktúre jovialných planét, odkryl sa pred nami neznámy svet mesiacov planét, stavba asteroidov, stavba komét. Jasne sa preukázal pás transneptunických objektov – Kuiperov pás, čo spochybnilo klasifikáciu Pluta ako planéty.

**Abstrakt.** SOLAR SYSTEM FROM THE POINT VIEW OF CORTEMPORPY SCIENCE. In this contribution we give a brief overview of recent discoveries in the Solar System over the last decade. Unmanned space missions directed to various planets, their moons, comets, and other objects in the solar system, as well as systematic telescopic observations enhance our knowledge of the system. On the other hand some of the old ideas and classifications have become questionable in the face of new data. We have fully realized differences in the structure of Jovian planets and we uncovered the unknown world of the moon Titan. We obtained new insight into the structure of comets. Deep space missions contributed to the study of objects at the edge of the solar system. Existence and size of the Kuiper belt has been clearly confirmed. Discovering more objects at far end of the solar system has opened discussion about classification of Pluto as the ninth planet or as a planet itself.

## 1 Úvod

Najnovšie objavy v Slnčnej sústave v posledných desaťročiach sú podmienené kozmickými misiami (Voyager 1 a 2, Cassini ...), vesmírnymi ďalekohľadami a neustálymi prehliadkami oblohy (LINEAR, LEONOS, Spacewatch ...). Vývoj adaptívnej optiky prekonal aj najsmelšie očakávania. Snímky zo štyroch 8.2 m ďalekohľadov Európskeho južného observatória, tvoriacich Very Large Telescope (na vrchu Cerro Paranal v Chile) a z 10 – metrových dvojčiek na hore Mauna Kea (ostrov Hawai) Keck I a II (patriacich Caltechu - California Institute of Technology a Kalifornskej univerzite) prekonávajú aj možnosti Hubblovho vesmírneho ďalekohľadu (HST - Hubble Space Telescope). Ostré snímky oblačných systémov na Neptúne sú porovnateľné so snímkami, ktoré získala sonda Voyager počas jeho blízkeho obletu. Tieto dáta sú spracovávané vedeckými tímami celého sveta, no spracovanie dát potrvá ešte niekoľko rokov.

Význam nových objavov nie je len v spresnení počtu objektov a zmapovaní ich povrchu. Štúdiom dráh týchto objektov sa objavujú nové klasifikácie a triedy, ktoré pomôžu odkryť aj tajomstvo vývoja a vzniku samotných objektov, ako aj Slnčnej sústavy.

## 2 Planéty

Ťažisko výskumu planét sa v súčasnosti prenieslo na úroveň kozmického výskumu. K Jupiteru, Saturnu, Uránu a Neptúnu smerovali sondy Pioneer a Voyager,

novodobé dejiny píše kozmické duo Cassiny – Huygens. V sedemdesiatych rokoch minulého storočia k Merkúru letel Mariner, v súčasnosti k nemu letí Messenger. V posledných dňoch odštartovala k Plutu sonda New Horizont. Ale najviac sond smerovalo a smeruje k Marsu a Venuši.

Najviac preskúmanou planétou, samozrejme okrem Zeme, je planéta, najviac podobná našej, a tou je Mars. Dnešný Mars je chladnejší ako Antarktída a na povrchu suchší ako Sahara. Napriek tomu planetológovia sú presvedčení, že po povrchu Marsu niekedy tiekla voda a rieky, jazerá a moria museli byť pred miliardami rokov stálou súčasťou marťanskej krajiny. SONDY VIKING začali úspešnejší výskum tejto planéty. Objavili vyschnuté korytá riek, čím priniesli prvé predpoklady dávnej prítomnosti vody na tejto planéte.

Veľmi úspešné boli 90 roky minulého storočia, kedy sonda Mars Global Surveyor podrobne zmapovala povrch planéty a sonda Mars Pathfinder vypustila malý vozík Rover (Sojourner), ktorý prešiel po povrchu planéty viac ako 50 metrov a vykonal okrem iného aj 15 úspešných chemických analýz marťanských kameňov. Neskoršou analýzou dát sondy Mars Global Surveyor, bolo zistenie, že jadro tejto planéty je tekuté.

K množstvu snímok povrchu Marsu značne prispela aj sonda Mars Odyssey. Veľkým prínosom bola sonda Mars Express, ktorá definitívne dokázala dávnú prítomnosť vody na planéte. Prístroj Omega detegoval veľké množstvo minerálov na celom povrchu červenej planéty. Tieto hydráty (fylosilikáty a sírany) sa formujú iba tam, kde pôvodné horniny boli vystavené chemickému vplyvu tečúcej vody. Prítomnosť rozsiahlych polí hydrátov na celom povrchu Marsu jednoznačne dokazujú dlhodobú prítomnosť vody na tejto, dnes vyprahutej, planéte. Morfológovia predpokladajú, že vznikli počas prvých 500 miliónov rokov existencie červenej planéty a tieto riečišťa vytvorila tečúca voda

Sonda zároveň detegovala stopové množstvo metánu v atmosfére, čo by mohlo poukazovať na sopečnú činnosť alebo prítomnosť živých organizmov. Podarilo sa jej nazrieť aj hlboko pod povrch Marsu, keď pomocou radaru ARSIS skúmala podpovrchové vrstvy až do hĺbky 5 km. Okrem iného sa jej podarilo objaviť veľké zásoby ľadu, ukrytého hlboko pod povrchom planéty. Potvrdila, že Mars mal ešte nedávno (1 až 20 miliónov rokov dozadu) väčšiu sopečnú aktivitu. Za jeden z posledných aktívnych vulkánov na Marse sa považuje mohutný Olympus Mons patriaci do sústavy Tharsis Montes. Táto mohutná sopka, svojou výškou 22,7 km, je dnes považovaná za najvyšší povrchový útvar celej Slnecnej sústavy.

Najúspešnejšou misiou je dvojica vozíkov Spirit a Opportunity, ktoré v roku 2004 pristáli na povrchu Marsu. Oba vozíky vykonávajú meteorologický výskum a samozrejme vykonali veľké množstvo fotografií nie len panoramatických, ale aj fotografie detailov. Vykonali množstvo chemických analýz a analýz magnetických vlastností hornín. Dáta sa budú spracovávať ešte niekoľko rokov. Robot Opportunity potvrdil, že dno krátera Gusev bolo v dávnych dobách zaplavené vodou.

Na povrch vysušenej, zamrznutej a vetrom erodovanej planiny pôsobila voda niekoľkokrát. Posledné záplavy na povrchu súvisia s mohutnou vulkanickou činnosťou pred dvoma miliardami rokov.

### 3 Mesiace planét

V posledných desaťročiach sa objavilo 75 mesiacov. Prinajmenšom dve tretiny známych mesiačikov sú nepravidelné satelity svojich planét. Obiehajú planéty po sklonených obežných dráhach, pričom väčšina z nich obieha retrográdne. Predpokladá sa, že tieto mesiačiky nevznikli spolu s planétou, ale boli zachytené do jej gravitačnej pasce.

Jednotlivé misie okrem toho, že spresnili počet mesiacov jednotlivých planét, zmapovali ich povrch, odkryli neskutočný tajomný svet týchto objektov. Najväčším prekvapením bol mesiac Io a jeho geologická aktivita, Európa s podpovrchovým oceánom vody a mesiac Titán so svojou metánovou atmosférou.

Io – tento od síry žltý mesiac má priemer 3 630 km a je približne rovnako veľký ako náš Mesiac. Povrch Io je posiaty činnými sopkami (na celom povrchu ich rozlíšili viac ako 150), ktoré pripomínajú ozrutné gejziry pumpujúce do riedkej atmosféry niekoľko sto kilometrov vysoké fontány síratých plynov a vyvrhujúce obrovské množstvo riedkej lávy. Teplota vyžarovaná z lávových kobercov je 1 800 K. Sopečná láva je taká horúca, že žiari v tme. Vysoké teploty lávy naznačujú, že ju tvoria horniny, ktoré sa už nespočetnekrát v plášti pretavili. Na tomto geologicky najaktívnejšom telese Slnecnej sústavy sa dvíhajú pohoria presahujúce 18 000 metrov. Väčšina z nich má podobu ozrutnej stolovej hory. Tieto pohoria vznikli kombináciou nahriatia, topenia a preklápania gigantických kryh iónskej kôry a nachádzajú sa iba medzi sopkami. Najsilnejšou činnou sopkou v Slnecnej sústave je vulkán Loki, ktorý uvoľňuje viac tepla ako všetky aktívne pozemské sopky dokopy.

V súčasnosti poznáme v Slnecnej sústave tri geologicky aktívne mesiace Io, Tritón a Enceladus.

Európa (priemer 3138 km) je najmenším z Galileiho mesiacov. Povrch Európy odráža až 64 % dopadajúceho svetla. Európa sa stala planetologickou senzáciou – pod ľadovým povrchom sa ukrýva slaný, tekutý oceán. Globálny oceán je zamrznutý do hĺbky niekoľkých metrov. Snímky povrchu Európy pripomínajú arktické končiny na Zemi, môžeme na nich pozorovať ozrutné kryhy a rozpukané ľadové polia. Z puklín, ako sa zdá, vyvrela nedávno voda alebo teplý ľad. V trhlinách sa tlačí na povrch voda, ktorá vzápätí zmrzne a tvorí tak vystupujúce chrbáty medzi hladkými ľadovými kryhami. Predpokladá sa, že cykloidálne trhliny na povrchu Európy sú odpoveďou ľadovej kôry družice na slapové sily Jupitera. Impaktné krátery sú na tomto ľadovom mesiaci veľmi vzácne.

Podpovrchový oceán sonda objavila aj u ďalších dvoch veľkých mesiacoch Jupitera a to u Ganymeda a Kallisto.

V januári 2005 sa od materskej lode Cassini oddelila sonda Huygens (ESA), vnikla do hustej atmosféry Titánu a na padákoch pristála na jeho povrchu. Titán – najväčší mesiac Saturna (má priemer 5 150 kilometrov, je teda väčší ako Merkúr) vzrušuje planetológov z dôvodu, že jeho atmosféra obsahuje metán. Dlhodobým pôsobením slnečného a kozmického žiarenia sa premieňajú veľké množstvá metánu na etán, ktorý spolu s inými organickými zlúčeninami pršia výdatne na povrch mesiaca. Analýza snímok odhalila stopy po pôsobení nízkoviskózne kvapaliny, čo nasvedčuje tomu, že na povrchu Titanu sú krátke, ale veľmi intenzívne vlhké obdobia.

Titán je prírodným laboratóriom, kde možno študovať organickú chémiu v štádiu, keď sa vytvárajú zlúčeniny podobné tým, z ktorých vznikol život na Zemi. Objav veľkého množstva uhlíkovodíkov detegovaných počas obletu sondy Cassini, ale aj po dosadnutí sondy Huygens, prekonal aj najsmelšie očakávania a potvrdil teóriu, že metán je kľúčový nielen pre formovanie atmosféry, ale aj pre tvorbu geologickej tváre mesiaca. Fyzikálne procesy utvárajúce Titán sú veľmi podobné pozemským. Zatiaľ, čo Zem má kvapalnú vodu, na Titáne túto úlohu preberá metán. Kremikaté horniny, ktoré pokrývajú povrch Zeme sú na Titáne nahradené zmrznutým ľadom. Namiesto lávy chrlia vulkány na Titáne zmes amoniaku a vody v kvapalnom i pevnom skupenstve. Titán je veľmi podobný Zemi, len sa tu pracuje s veľmi exotickými materiálmi. Blízky oblet Cassini potvrdil existenciu rozsiahlej, dynamickej atmosféry aj na mesiaci Enceladus. Ide o prvý prípad objavu atmosféry na niektorom Saturnovom mesiaci s výnimkou Titánu. Existencia atmosféry nad telesom s takou malou gravitáciou svedčí o tom, že zdroj vodnej pary je aktívny a lokalizovaný.

Informácie zo Saturnového systému pomôžu určiť pôvod organickej hmoty v Slnčnej sústave.

## 4 Prstence veľkých planét

Najväčší a najmohutnejší systém prstencov Saturna bol známy už dávno. Nádherné snímky z podivného sveta prstencov a zvláštnych mesiacov vyslali sondy Voyager 1 a Voyager 2 v rokoch 1981 a 1982. Tieto snímky odhalili, že prstencov tvoria tisíce malých prstencov.

V októbri 1997 bola vynesená kozmická loď Cassini do kozmu. Let k samotnému „Pánovi prsteňov“ trval 6,7 roka. O pôvode Saturnových prstencov sa planetológovia iba dohadujú. Prstence vytvárajú obrovskú komplexnú štruktúru, ktorá by sa medzi Zem a Mesiac nezmesťila. Okrem detailných záberov prstencov sa senzáciou stal objav viac ako štyridsiatich zvlnených štruktúr (hustotných vlín) v prstenci A. Vedci obdivujú najmä neobyčajne pestrú paletu vlín, ktoré vyrábajú gravitačné interakcie prstencov s mesiačikmi. Voyagerom 1 a 2 boli objavené prstence u všetkých veľkých planét.

## 5 Asteroidy

Asteroidy sú malé telesá Slnčnej sústavy, ktoré sa pohybujú okolo Slnka po eliptických dráhach a nejavia kometárnu aktivitu. Väčšina z nich sa pohybuje v hlavnom pásu, t.j. medzi dráhou Marsu a Jupitera. Počet planétok hlavného pásu sa v súčasnosti odhaduje na viac ako 50 000. Najväčšia planétka hlavného pásu Ceres má priemer 1000 km, najmenšie v súčasnosti pozorované telesá dosahujú rozmerov rádovo len niekoľko metrov. So zmenšujúcimi rozmermi ich počet prudko rastie. K 1.1. 2006 podľa štatistiky Centra pre pozorovanie malých planét (MPC, 2006) bola zaznamenaná a spočítaná dráha pre celkom 305 224 planétok. Pomenovaných bolo k 1.1. 2006 celkom 12 779 planétok.

Väčšinu asteroidov hlavného pásu netvorí pevná skala, či kov, ale jeho stavbu tvoria porézne materiály. Keď sa zrazia s asteroidom, či veľkým meteoroidom, vznikne stopa pripomínajúca odtlačok v plastelíne. Meranie hustoty niekoľkých testovaných materiálov ukazuje, že ich hustota je iba o 40 % väčšia ako hustota vody.

Planetológovia vkladajú do tejto hmoty veľké nádeje, pomocou ktorej sa im podarí objasniť proces formovania planét z primordiálnej hmoty pred 4,6 miliardami rokov.

Ak by sme chceli zhrnúť údaje o planétkach so sprievodcami, ktoré sú objavované od roku 1993, keď sonda Galileo objavila mesiac Dactyl krúžiaci okolo planétky IDA, od tej doby bolo objavených 35 dvojsystémov. Sprievodcovia planétok hlavného pásu sú väčšinou omnoho menšie ako samotná planétka, ktorá obvykle patrí k triede C, tj. porézne teleso so strednou hustotou len 1,3 násobku hustoty vody. Tieto planétky sú len hromadou suť a ich sprievodcovia vznikli pri vzájomných zrážkach planétok.

Od roku 1992 poznáme novú triedu telies – objekty Kuiperovho pásu za dráhou Neptúna. S počtom novoobjavených objektov sú čoraz zreteľnejšie aj rozdiely parametrov ich obežných dráh. Zatiaľ, čo niektoré asteroidy obiehajú okolo Slnka najmä pod vplyvom jeho gravitácie, pohyb iných viaže gravitácia veľkých planét.

V súčasnosti je známych viac ako 500 transneptunických telies, čo spôsobilo otras postavenia planéty Pluto ako planéty. Objav - 29. júla 2005 transneptunického telesa väčšieho ako Pluto (teleso obieha okolo Slnka v 97 – krát väčšej vzdialenosti ako Zem) jednoznačne zaradil planétu Pluto medzi transneptunické telesá. Vzápätí boli ohlásené ďalšie objavy objektov väčších ako je Pluto. Predsa len Plutu zostalo nejaké prvenstvo – 15. a 18. mája 2005 boli objavené ďalšie dva satelity Pluta a tak Pluto je prvý známy asteroid Slnečnej sústavy, ktorý má tri mesiace. Novoobjavené satelity Pluta, označené ako S/2005 P1 a S/2005 P2 majú prvotný odhad priemeru nad 100 kilometrov. Je zrejmé, že takéto objavy budú pribúdať.

Aj keď oficiálne je Pluto stále zaradené ako planéta, väčšina astronómov je presvedčená, že Pluto a ďalšie objavené objekty za Neptúnom sú iba zvyšky stavebného materiálu z čias formovania planetárnej sústavy. Ich vývoj bol celkom odlišný ako vývoj ostatných ôsmich planét. Najvzdialenejší známy objekt Slnečnej sústavy v súčasnosti má afélium vo vzdialenosti 1000 AU a perihélium vo vzdialenosti 75,8 AU teda vo vzdialenosti dvakrát väčšej ako je Pluto.

Prvé pristátie na asteroide bolo uskutočnené sondou NEAR SCHOEMAKER vo februári 2001. Jej cieľom bol Eros – blízkozemná planétka, ktorá patrí do triedy kremičitých asteroidov. Ide o blízkozemnú planétku nepravidelného tvaru dĺžky 40 km, s rotačnou periódou 5 hodín a 16 minút.

Prvý odber vzorky z asteroidu uskutočnila sonda HAYABUSA, ktorá odštartovala zo Zeme 9.5.2003. Jej cieľom bol asteroid Itokawa s obežnou dobou 1,52 roka. Koncom novembra 2005 oznámila japonská kozmická agentúra ISAS/JAXA, že prvý plánovaný zostup a odber vzorky sa skončil úspešne - Hayabusa se tak stala prvou sondou, ktorej sa podarilo úspešne odštartovať z asteroidu. Ide o prvý odlet sondy z kozmického telesa okrem Mesiaca. Návratový modul so vzorkami by mal dosadnúť do oblasti austrálskej púšte Woomera 10.6.2007.

## 6 Kométy

Vďaka silnému gravitačnému pôsobeniu Jupitera sa môže zmeniť dráha komét. V súčasnosti rozdelenie komét by malo zohľadňovať aj zmeny dráhy v závislosti od

pôsobenia Jupitera. Zatiaľ čo dráhu vieme vypočítať pomerne presne, údaje o tvare a rozmeroch jadra sú založené len na odhadoch a meraniach jasnosti v čase minimálnej aktivity. Do priletu sondy Deep Impact sme mali možnosť vidieť jadrá troch komét – Halley, Borrelly a Wild 2.

Kométy reprezentujú najprimitívnejšiu dostupnú látku z čias vzniku Slnčnej sústavy. Po dlhom čase periodického pohybu v blízkosti Slnka, vnútro týchto telies je zahalené hrubým plášťom neprchavých látok a podstata primitívnej látky z pozemských pozorovaní je utajená.

V súčasnosti je najambicióznym programom výskumu planét sledovanie periodickej kométy 9P/Tempel 1 ( ide o kométu v dráhe s obežnou dobou 5,5 roka a vzdialenosťou perihélia približne 1,5 AU) po stretnutí so sondou a následným nárazom na jej povrch. Deep Impact je prvá planetárna misia, ktorá niesla zariadenie vyrobené na Zemi s cieľom vykonania experimentu na kometárnom telese. Náraz mal odstrániť premenený materiál, odhaliť primitívne vnútro a uvoľniť množstvo prachu a prchavých látok. Kolízia sa prejavila krátkym jasným vzplanutím. Náraz vymrštil rozdrvené horniny na všetky strany. Ukázalo sa, že povrch kométy tvorí prchavý, porézny materiál, pozliepaný zo zmesi prachu a prchavých látok. Teplo vygenerované nárazom premenilo exotickú zmes ľadu na prudko rozpínajúci sa plyn, strhávajúci aj horniny. Z rozmerov vytvoreného kráteru možno pomerne jednoducho odvodiť hustotu kometárneho materiálu v mieste nárazu, na základe modelovania tepelného vývoja kometárneho jadra tejto kométy. Predpokladom tohto modelu je jadro vytvorené z amorfneho ľadu dokonalej zmesi  $H_2O$  a  $CO$ . Vplyvom tepla sa ľad postupne mení z amorfnej formy na kryštalickú. Hranica medzi týmito dvoma materiálmi závisí od stupňa porézności materiálu. Hlavným cieľom tohto projektu bolo pozorovať primitívnu látku zachovanú v kometárnej konzerve z čias formovania planetárnej sústavy. Ukazuje sa však, že toto nie je u kométy 9P/Tempel 1 ani principiálne možné.

## 7 Záver

Výskum v Slnčnej sústave za posledné desaťročia značne napredoval. Medzi najväčšie objavy patrí objav transneptunických telies. Rýchlym tempom napredovalo a napreduje objav nových asteroidov a mesiacov planét. Zároveň sa vykonali nové objavy už na objavených na asteroidoch, kométach a mesiacoch planét. Výsledky doteraz získaných meraní z družíc sa budú spracovávať ešte niekoľko rokov a zároveň očakávame, ako dopadnú ďalšie misie, ako napríklad Messenger a New Horizont. Či už veľké, alebo menšie objavy, ktoré sme získali, prehľbujú naše znalosti o Slnčnej sústave a každý takýto objav je výzvou pre ďalšie a ďalšie skúmania v tejto oblasti.

## Literatúra

MPC: 2006, MPC Archive Statistics , IAU: Minor Planet Center,  
<http://cfa-www.harvard.edu/iau/lists/ArchiveStatistics.html>

Ostatné údaje boli čerpané z množstva internetových zdrojov a časopisu: Kozmos, Slovenská ústredná hviezdáreň v Hurbanove, Národné metodické centrum, Hurbanovo