

Slnečná sústava – encyklopedické heslo

Spoločné pomenovanie pre Slnko a všetky nebeské telesá, ktoré sú pod jeho gravitačným vplyvom. Do sústavy zaraďujeme osem planét a ich mesiace a prstence, trpasličie planéty, asteroidy, kométy, meteoroidy a medziplanetárny prach a plyn. Všetky telesá slnečnej sústavy sa pri svojom obehu okolo Slnka riadia Keplerovými zákonmi. Slnečná sústava je súčasťou oveľa väčšieho komplexu pozostávajúceho z množstva hviezd a medzihviezdnej hmoty – Galaxie.

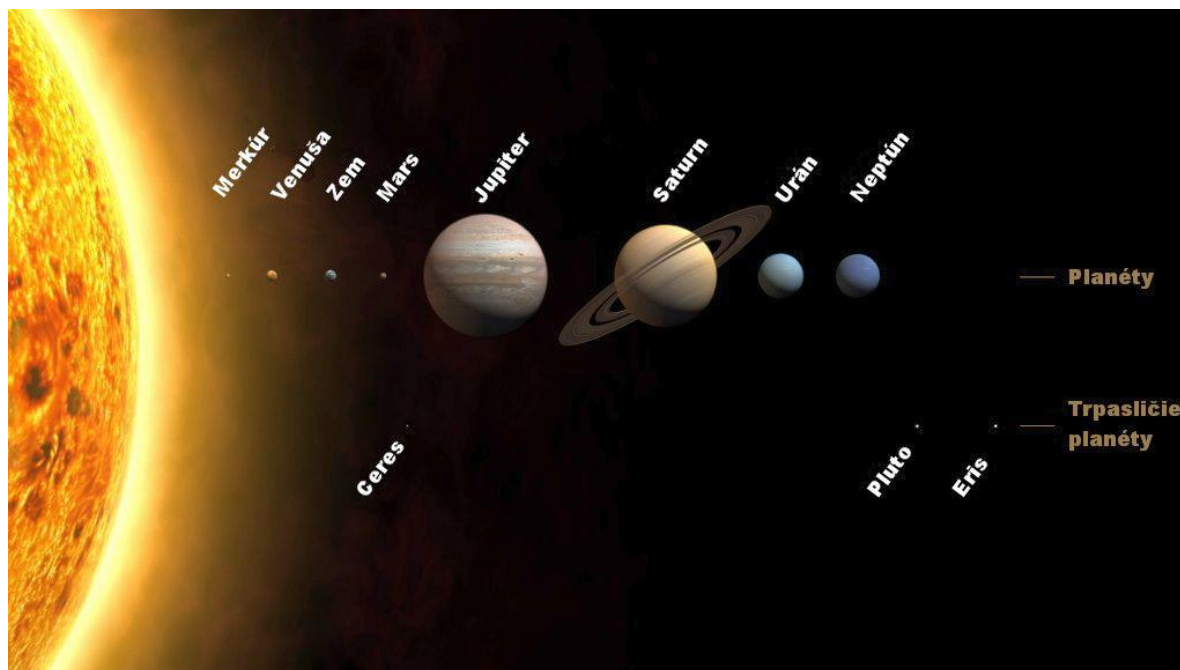
Heslo vypracoval: Mgr. Marek Husárik

Astronomický ústav Slovenskej akadémie vied, Tatranská Lomnica
mhusarik@ta3.sk

Dátum aktualizácie: november 2008

Slnecná sústava - čo si má zapamätať žiak

Spoločné pomenovanie pre Slnko a všetky nebeské telesá, ktoré sú pod jeho gravitačným vplyvom. Do sústavy zaraďujeme osem planét a ich mesiace a prstence, trpasličie planéty, asteroidy, kométy, meteoroidy a medziplanetárny prach a plyn.



Obrázok 1: Slnecná sústava s planétami a trpasličími planétami. Veľkosti a vzdialenosti nie sú škálované.

Slnčná sústava – čo má na prípravu k dispozícii učiteľ

Spoločné pomenovanie pre Slnko a všetky nebeské telesá, ktoré sú pod jeho gravitačným vplyvom. Do sústavy zaraďujeme osem planét a ich mesiace a prstence, trpasličie planéty, asteroidy, kométy, meteoroidy a medziplanetárny prach a plyn.

Čo tvorí slnečnú sústavu?

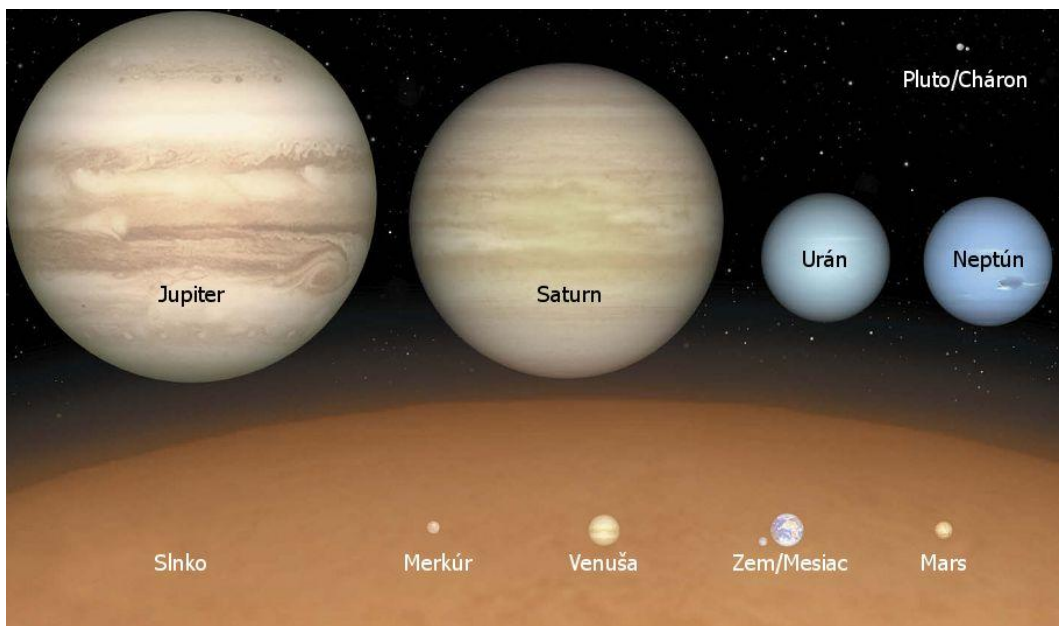
Centrálnym telesom slnečnej sústavy je **Slnko**. Slnko je hviezda, má tvar obrovskej gule s priemerom 109-krát väčším ako Zem. Tvorí ho plazma s povrchovou teplotou asi 5 700 Kelvinov. Teplota smerom dovnútra vzrastá a v jadre dosahuje podľa odhadov až 19 miliónov stupňov. Z chemického hľadiska je Slnko zložené najmä z vodíka a hélia, ale v malých množstvách obsahuje viaceré chemické prvky známe aj na Zemi (vápnik, železo, draslík, atď.). Zdrojom energie (svetla a tepla) sú termojadrové reakcie, ktoré prebiehajú v jeho jadre a pri ktorých sa každú sekundu spáli 560 miliónov ton vodíka. Slnko predstavuje až 99,87 % hmotnosti slnečnej sústavy. Viac o Slnku nájdete v heslách Slnko, Slnko ako zdroj energie, slnečná škvrna, protuberancia, slnečná erupcia a slnečná koróna.



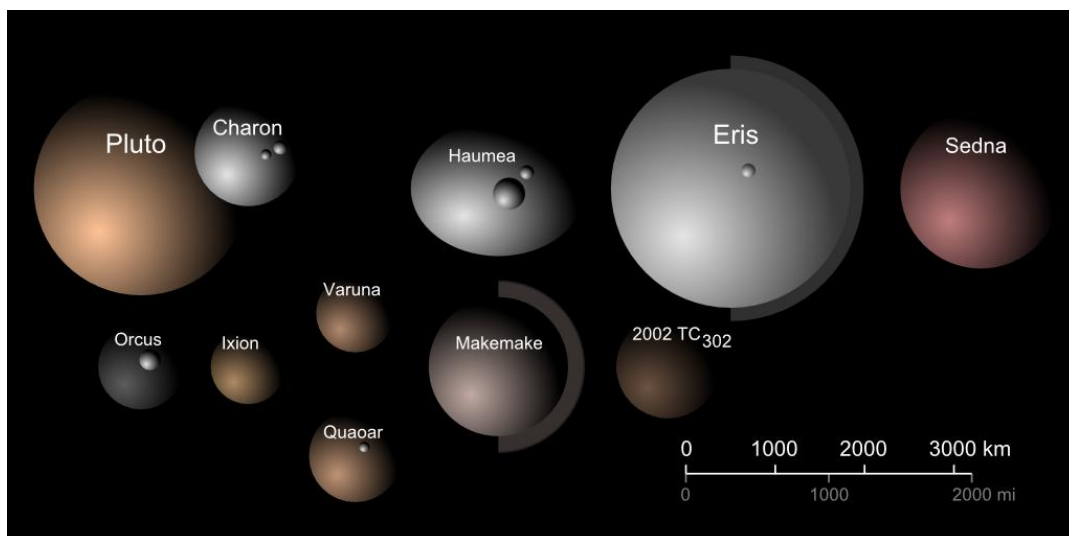
Obrázok 2: Slnko ako ho vidí sonda SOHO.

Okolo Slnka obieha po eliptických dráhach osem veľkých, takmer guľatých telies nazývaných **planéty**. Všetky obiehajú okolo priamym (prográdnym) smerom približne v rovine ekliptiky (rovina, v ktorej obieha Zem okolo Slnka). Všetky planéty rotujú okolo svojej osi, šesť z nich priamym smerom, iba Venuša a Urán spätným (retrográdnym). Za planétu sa považuje každé teleso, ktoré obieha okolo Slnka a neobieha pritom okolo iného telesa, ktoré je dostatočne hmotné na to, aby ho vlastná gravitácia sformovala do tvaru gule a ktoré *vyčistilo* okolie svojej obežnej dráhy. Tieto kritériá dlho neboli presne sformulované, za planéty sa telesá označovali skôr intuitívne alebo na základe tradície. Až v roku 2006 Medzinárodná astronomická únia sformulovala presnejšie kritérium oddeľujúce malé sférické objekty od planét. Telesá, ktoré nespĺňajú posledné kritérium *vyčistenia svojho okolia* radíme medzi **trpasličie planéty**. Viac nájdete v hesle planéta.

Ďalším typom telies tvoriacich slnečnú sústavu sú **mesiace**. Mesiacom sa nazýva každá prirodzená obežnica planéty, trpasličej planéty alebo asteroidu. Najväčšie mesiace majú guľatý tvar a môžu dosiahnuť až veľkosti malých planét (napríklad najväčší mesiac slnečnej sústavy Ganymedes je väčší ako najmenšia planéta Merkúr!). Mnohé mesiace sú však veľmi malé a dosahujú priemer iba niekoľko kilometrov. Mesiace bývajú spravidla veľmi chladné (výnimku tvorí Jupiterov mesiac Io) a posiate krátermi po dopade menších telies. Len málo z nich má primitívnu atmosféru. Mesiace majú len planéty ležiace od Zeme ďalej (Merkúr a Venuša nemajú). Veľké vonkajšie planéty mávajú desiatky mesiacov. Väčšie a bližšie mesiace väčšinou obiehajú okolo svojej planéty priamym smerom, vzdialenejšie a menšie mesiace často obiehajú spätným smerom. Súčasný počet mesiacov v slnečnej sústave je 166, no objavujú sa stále nové.



Obrázok 3: Vzájomné porovnanie veľkostí planét.



Obrázok 4: Príklady trpasličích planét (Pluto, Eris, Haumea, Makemake) a možných kandidátov.

Všetko ostatné, čo obieha okolo Slnka a je menšie ako trpasličie planéty, zaradujeme medzi **malé telesá** – asteroidy, kométy, meteoroidy a prach. Okrem nich aj medziplanetárny plyn. **Asteroidy** (alebo tiež planétky) sú telesá obiehajúce okolo Slnka, ktoré spravidla nemajú guľatý tvar. Ich povrch je kamenný s väčšími, či menšími prímiesami kovov (železa a irídia) a nemajú atmosféru. Vyskytujú sa prakticky všade v slnečnej sústave, ale ich dráhy sú niekde viac alebo menej koncentrované. Viac o asteroidoch v hesle asteroid. **Kométy** sú ľadovo-prachové telesá obiehajúce v slnečnej sústave po výstredných dráhach niekedy s veľkými sklonmi k ekliptike. Keď sa priblížia k Slnku, zahrievaním a odparovaním ich povrchu (sublimáciou ľadu) sa tvorí *atmosféra* kométy – koma, ktorá sa neskôr slnečným vetrom formuje do dlhého chvosta. Keď sa kométa na svojej obežnej dráhe opäť vzdiali od Slnka, chvost zmizne a neskôr sa stráca aj koma. **Meteoroidy** sú malé pevné telieska podobného zloženia ako planéty alebo asteroidy, no sú miniatúrnych rozmerov (mikrometre až centimetre). Tvorja sa pri vzájomných zrážkach asteroidov, alebo niektoré obiehajú okolo Slnka už od vzniku slnečnej sústavy. Keď sa dostanú do atmosféry Zeme (alebo inej planéty), začnú sa vyparovať a žiariť. Vtedy hovoríme o meteoroch. Pozostatkom po protoplanetárnom disku je aj časť medziplanetárneho prachu a plynu. Medziplanetárny prach a plyn možno v noci pozorovať ako tzv. *zodiakálne svetlo*, slabý svetelný pás pozdĺž ekliptiky. Tieto najmenšie častice slnečnej sústavy preto môžeme považovať za veľmi riedku reflexnú hmlovinu.

Planéta	Rovníkový priemer (polomer Zeme)	Hmotnosť (hmotnosť Zeme)	Vzdialenosť od Slnka (AU)	Obeh okolo Slnka (rok)	Deň	Počet známych mesiacov
Merkúr	0,38	0,06	0,38	0,24	58,6	0
Venuša	0,95	0,82	0,72	0,62	-243*	0
Zem	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1
Mars	0,53	0,11	1,52	1,88	1,03	2
Jupiter	11,20	318	5,20	11,86	0,41	63
Saturn	9,41	95	9,54	29,46	0,43	60
Urán	3,98	14,6	19,22	84,01	0,72*	27
Neptún	3,81	17,2	30,06	164,79	0,67	13

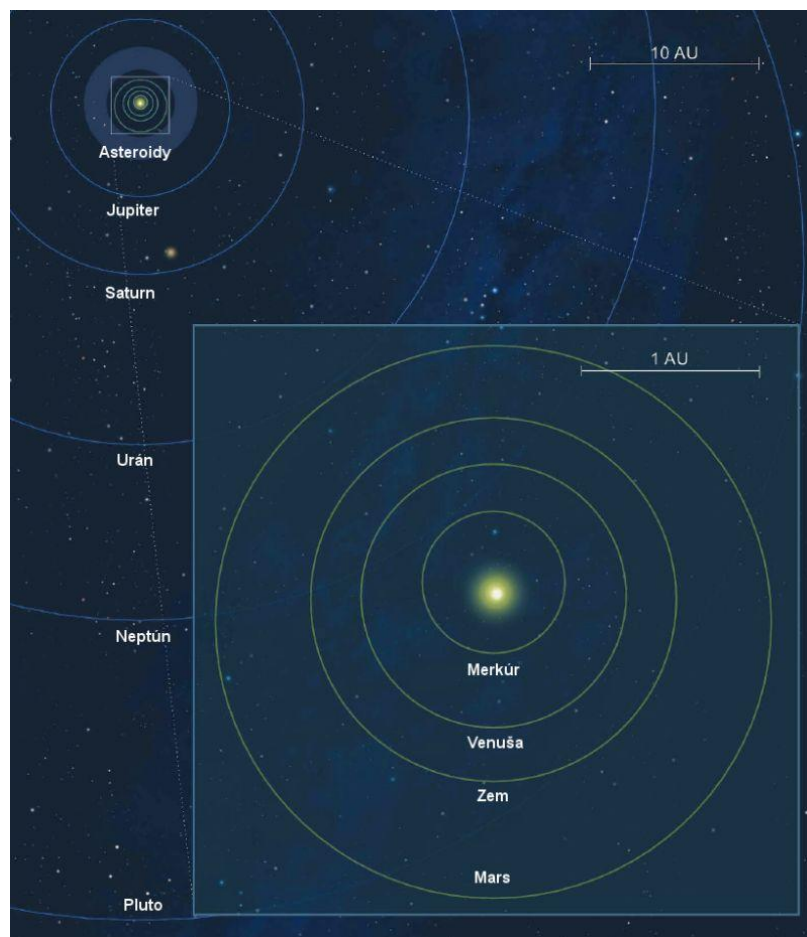
Tabuľka 1: Niektoré základné charakteristiky planét slnečnej sústavy.

*) planéta rotuje protismerne

Na planéty pripadá 0,13% hmotnosti, na ich mesiace len $5,7 \times 10^{-5}$ %, na asteroidy $1,5 \times 10^{-7}$ % a na medziplanetárny prach a plyn iba 2×10^{-13} %. Najväčšou planétou slnečnej sústavy je Jupiter, ktorého hmotnosť predstavuje len 0,1 % hmotnosti Slnka.

Vzdialenosť poslednej planéty slnečnej sústavy, Neptúna, sa považuje za hranicu planetárnej časti slnečnej sústavy. Definícia hranice alebo *konca* slnečnej sústavy je daná dráhami dlhoperiodických komét, resp. oblasťou, v ktorej ešte prevláda gravitačné pôsobenie Slnka nad gravitačným pôsobením okolitých hviezd (priestor až do 200 000 AU). Podľa iných zdrojov až 2 svetelné roky od Slnka. Za hranicu slnečnej sústavy sa niekedy považuje aj hranica slnečnej atmosféry, tzv. *heliopauza*.

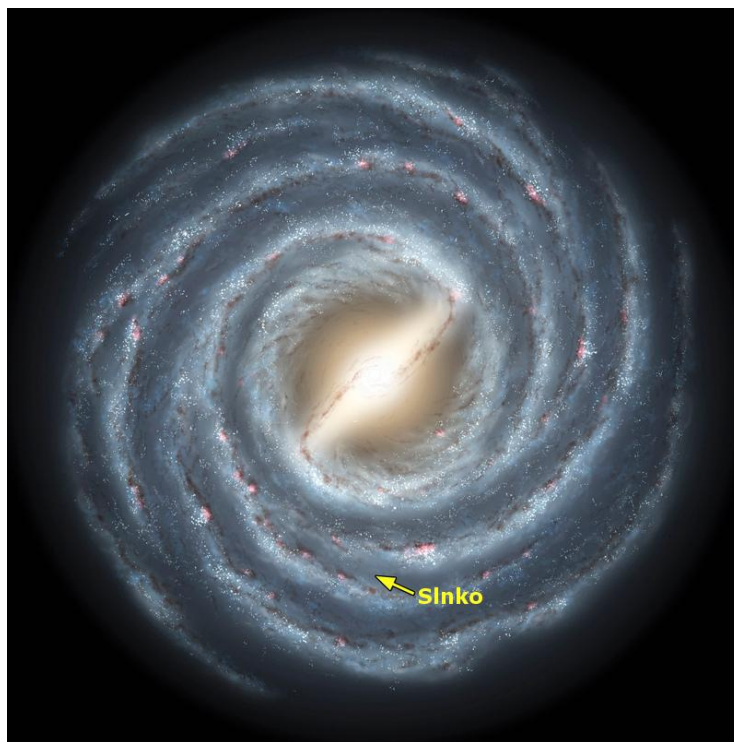
Vzhľadom na to, že slnečná sústava sa pohybuje v medzihviezdnom prostredí Galaxie, nevyhnutne pri tomto pohybe stretáva častice medzihviezdného prostredia. Vplyvom gravitácie, tlaku žiarenia, magnetického poľa a iných síl je spojitý prúd týchto častíc narušený a to predovšetkým v blízkosti Slnka. Niektoré častice zanikajú pádom na Slnko alebo sa vyparia v jeho blízkosti. Pri najmenších časticách tlak slnečného žiarenia prevláda nad gravitáciou Slnka a tieto telesá sú zo slnečnej sústavy vytláčené. Väčšie častice sú gravitáciou Slnka odklonené na hyperbolické dráhy a unikajú naspäť do medzihviezdného priestoru. Medzihviezdné častice sú väčšinou komplikované zhluky zrníek nanometrových až submikrometrových rozmerov. Väčšinou sú veľmi porézne.



Obrázok 5: Usporiadanie slnečnej sústavy. Vo výreze je zväčšená vnútorná časť s terestrickými planétami. Od dráhy Marsu nasleduje pás asteroídy a vonkajšia časť slnečnej sústavy s joviálnymi planétami.

Poloha slnečnej sústavy v Galaxii

Slnčná sústava sa nachádza v jednom zo špirálových ramien našej Galaxie a zúčastňuje sa na jej pohybe. Okolo jadra Galaxie obieha rýchlosťou asi 250 km s^{-1} , doba jedného obehu trvá približne 250 miliónov rokov. Slnko je jedna z približne 400 miliárd hviezd našej Galaxie, nazývanej tiež Mliečna cesta alebo Mliečna dráha. Naša galaxia má tvar špirály s vydutým hustejším stredom a plochými redšími ramenami. Slnčná sústava je situovaná v menej hustej oblasti jedného z týchto ramien, ktoré sa nazýva *rameno Orióna* a je vzdialená od stredu Galaxie asi 28 000 svetelných rokov. Spočíva v bubline horúceho ionizovaného plynu vymedzenej chladnejším a hustejším plynom neutrálneho vodíka. Táto oblasť (miestna bublina) je časťou trubice medzihviezdnej hmoty, ktorá sa tiahne cez galaktický disk až do galaktického hala. Slnko sa pohybuje cez materiál unikajúci zo skupiny mladých hviezd s názvom *Asociácia Škorpión* smerom k *Lokálnemu medzihviezdnemu oblaku*. V smere pohybu Slnka sa vytvára rázová vlna, v ktorej sa častice hviezdneho vetra pribzďujú a odkláňajú. Rýchlosť pohybu Slnka vzhľadom na okolité hviezdy je $19,4 \text{ km s}^{-1}$ a bod, do ktorého smeruje (apex) sa v súčasnosti nachádza v súhvezdí Herkules.



Obrázok 6: Poloha Slnka v Galaxii.

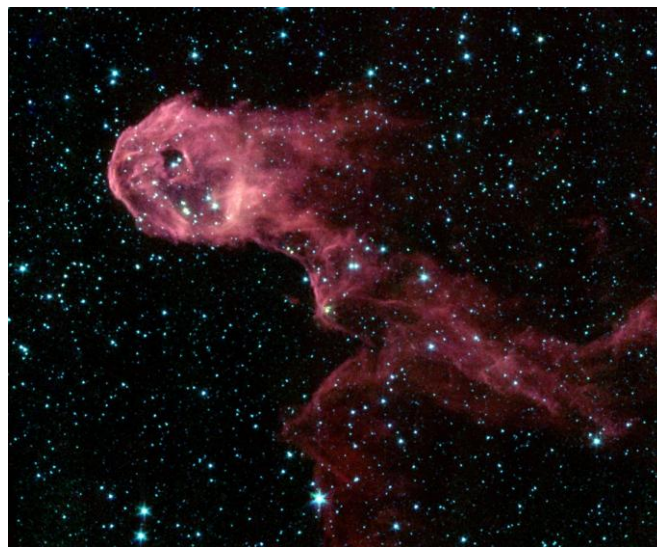
Vznik a vývoj slnečnej sústavy

Vznik a vývoj slnečnej sústavy je súbor procesov, ktorými sa sformovali telesá slnečnej sústavy do dnešnej podoby. Pri hľadaní teórií opisujúcich jej vznik sa zapája mnoho vedných odborov vrátane astronómie, fyziky a geológie. V hľadaní dôkazov o vzniku a formovaní slnečnej sústavy výrazne pomohli objavy exoplanét na začiatku 90-tych rokov a objavy hviezd s protoplanetárnymi diskami.

Podľa súčasného, najviac uznávaného modelu, Slnko a jeho planéty vznikli z obrovského oblaku medzihviezdnej hmoty pred asi 4,6 až 4,7 miliardy rokov. Stavebným materiálom bol plyn a prach v pôvodnej chladnej materskej globule¹. Oblak sa vlastnou gravitáciou zmršťoval, v jeho strede sa vytvorilo Slnko a okolo neho postupne vznikali planéty a medziplanetárna hmota. Okolo mnohých mladých hviezd, napríklad Vegy, sa planéty pravdepodobne formujú aj v súčasnosti.

Fáza zárodočnej hmloviny

Mračno medzihviezdnej hmoty, z ktorého vznikla slnečná sústava sa nachádzalo v galaktickom disku, v blízkosti roviny našej Galaxie, kde sa aj v súčasnosti nachádza množstvo plynoprachových mračen, z ktorých vznikajú hviezdne sústavy. Toto mračno bolo lokalizované na vnútornom okraji ramena Orióna vo vzdialenosti asi 30 tisíc svetelných rokov od jadra Galaxie. Hmota zárodočnej hmloviny bola veľmi riedka, len približne 10^{-20} kg m⁻³. Zhruba pred 7 miliardami rokov sa toto mračno rozpadlo na množstvo menších globulí, ktorých hmotnosť bola väčšinou v rozpätí 0,1 – 10 hmotností Slnka. Priemer globuly, z ktorej vznikala slnečná sústava bol približne 2 svetelné roky a jej hmotu tvorili častice plynu a prachu. Dominantnou zložkou bol vodík a malou prímiesou hélia a ďalších ťažších prvkov. Prach tvoril len asi jedno percento z celkového množstva látky a jeho častice mali priemer menší než 0,001 milimetra. Počiatočná teplota tohto chladného riedkeho mraku bola približne -230 °C.



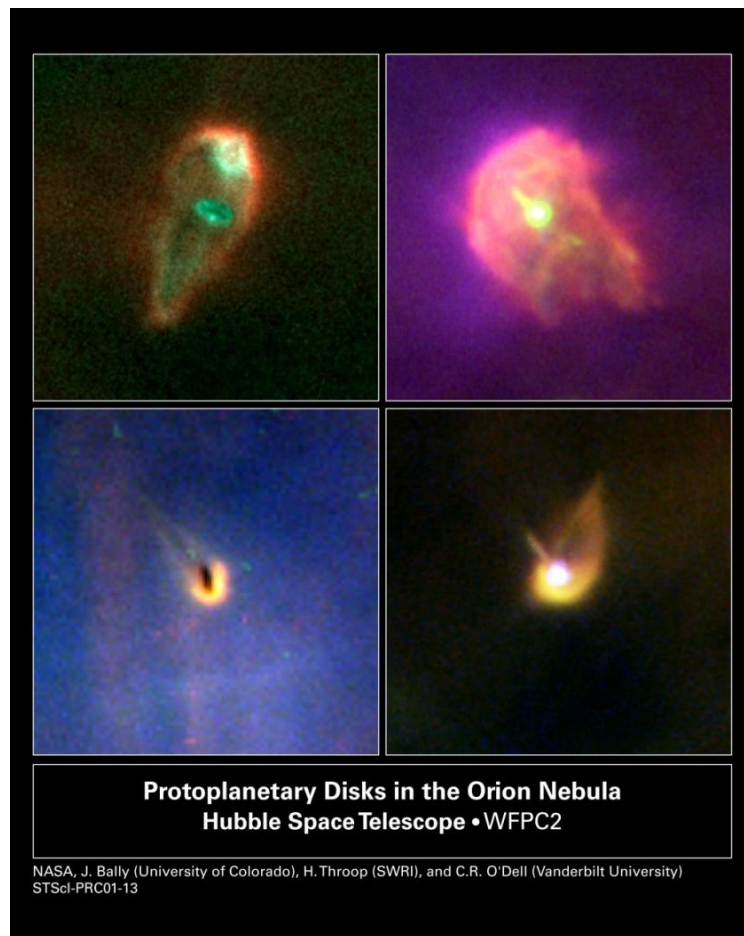
Obrázok 7: Zviditeľnená tmavá globula IC 1396. Zdroj: Spitzer Space Telescope.

Fáza formovania

Slnečná globula sa začala zmršťovať, no doteraz nie je známe, čo bolo prvotným impulzom. Predpokladá sa, že ho mohol spôsobiť napríklad výbuch blízkej supernovy. Tlak žiarenia a rozpínajúci sa materiál supernovy mohol narušiť stabilitu globule natolko, aby sa vlastnou gravitáciou začala zmršťovať. Objem postupne zmenšovala, v centrálnej oblasti sa

¹ Obrovský zhluk prachoplynového materiálu – *gravitačné centrum* –, ktoré priťahuje k sebe ďalší materiál. Má charakter chladnej a v porovnaní s okolitým priestorom hustej tmavej prachoplynovej hmloviny približne guľatého tvaru.

zahusťovala a pomaly rotovala. Narastajúcim pohybom sa uvoľňovala gravitačná energia, ktorá sa premenila čiastočne na žiarenie a čiastočne na teplo, preto teplota globule pomaly vzrastala. Odstredivá sila zrýchľujúcej sa rotácie spôsobovala, že globula sa postupne formovala do tvaru disku, ktorý nazývame protoplanetárny disk (stretnúť sa možno aj s akronymom *proplyd*). Jeho veľkosť alebo priemer sa v priebehu pár miliónov rokov zmenšil do vzdialenosti o niečo viac ako je dnešná obežná dráha Neptúna. V strede pôvodnej globuly sa sformovalo *praslnko* (protoslanko). Priemer praslnka bol mnohonásobne väčší ako priemer dnešného Slnka. Ďalšou kontrakciou (zmršťovaním) sa protoslanko ešte viac zahrievalo. Teplo, ktoré v ňom vznikalo, sa dostávalo z jadra na povrch tzv. konvekciou. Dnes už konvekciu pozorujeme na Slnku len v takzvanej konvektívnej zóne. Z povrchu praslnka unikali mohutné prúdy horúcej plazmy praslničného vetra. Ten podstatne ovplyvnil formovanie planét a formovanie slnečnej sústavy vôbec.



Obrázok 8: Príklady protoplanetárnych diskov (*proplydov*). Zdroj: NASA/HST.

Fáza vyparovania a kondenzácie

Teplota zárodočného disku však nebola všade rovnaká. Vo vnútorných častiach, bližšie k praslnku, bola vyššia ako v chladnejších vzdialenejších oblastiach. Pod vplyvom tepla sa ľahšie látky z vnútorných častíc rýchlo vyparili a zostali len atómy ťažších prvkov ako kremík, železo, horčík a hliník, z ktorých sa utvorili prachové zrná. Slnečný vietor, ktorý vyžarovalo praslnko sa postaral o *odfúknutie* najľahších prvkov (vodíka a hélia) z vnútorných

častí disku. Až do vzdialenosti asi 700 miliónov kilometrov od prasnka zostal len prach tvorený ťažšími prvkami. Z nich sa potom formovali pevné, terestrické planéty. Vo väčších vzdialenostiach od Slnka sa *odfúknuté* látky opäť skondenzovali. Z tohto dôvodu tam už boli vhodné podmienky na to, aby sa na formovaní telies podieľali aj ľahšie prvky. Tak začali vznikať joviálne planéty (Jupiter, Saturn, Urán a Neptún).

Fáza tvorby planetezimál

Častice obiehali okolo protosluka jedným smerom po špirálových dráhach. Postupne sa dostali zhruba do jednej roviny, v ktorej najväčšie telesá slnečnej sústavy obiehajú okolo Slnka. Keďže obiehali podobnou rýchlosťou a po podobných dráhach, jednotlivé častice sa k sebe približovali malou relatívnou rýchlosťou. Pri strete (zrážkach) sa síce časť ich kinetickej energie premenila na teplo, no kolízia nemala vždy za následok úplný rozpad častice, ale skôr vzájomné spájanie. Takto sa pôvodne malé častice spájali do stále väčších a väčších celkov. Spájanie intenzívnejšie prevládalo. Zárodočná hmlovina bola teda dejiskom neustálych zrážok, rozpadov a spájania. Za niekoľko tisíc rokov zárodočné zrná narástli do rozmerov niekoľkých centimetrov. Tieto telesá mali oveľa menšiu hustotu, ako dnešné horniny. Nestability v disku spôsobili, že sa v ňom pod vplyvom gravitácie začali vytvárať prstence. Z častíc sa postupne utvorili miestne zhluky, ktoré naďalej na seba nabaľovali hmotu a zahusťovali sa. Tak vznikli väčšie telesá nepravidelného tvaru – *planetezimály*. Veľkosť planetezimál pravdepodobne siahala až ku kilometrovým rozmerom. Niektoré planetezimály vzniknuté v tomto období sa zachovali dodnes. Ide hlavne o telesá Kuiperovho pásu, ale zrejme aj o mnohé malé mesiace joviálnych planét.



Obrázok 9: Umelecká predstava začiatkov tvorby slnečnej sústavy, kedy sa formovali planetezimály.
Zdroj: W. K. Hartmann.

Fáza tvorby planét

S narastajúcim rozmerom planetezimál prevládala ich vlastná gravitácia. Za rádovo desaťtisíc rokov vzniklo postupným *zliepaním* obrovské množstvo telies s rozmermi 500 až 1000 km. Do tejto fázy formovania sa však dostala len malá časť pôvodnej hmoty. Množstvo materiálu zostalo v podobe väčších či menších planetezimál, medziplanetárneho prachu a plynu. Po ďalšej kumulácii hmoty tieto telesá zvané *protoplanéty* vlastná gravitácia formovala do guľovitého tvaru. Neustále bombardovanie ich povrchov nespotrebovaným materiálom a tiež rozpad rádioaktívnych prvkov v ich vnútroch spôsobili, že protoplanéty boli roztavené. Vďaka

tomu v nich mohla prebiehať ich diferenciácia, t. j. proces, počas ktorého ťažšie prvky klesali k jadrú protoplanét a ľahšie stúpali k povrchu, aby tam neskôr vytvorili kôru a prvotnú atmosféru. Bolo dokázané výskumom meteoritov zo skupiny H-chondritov, že protoplanéty sa formovali v horúcom prostredí, kde dominoval rádioaktívny izotop hliníka ^{26}Al , ktorý má polčas rozpadu 717 tisíc rokov. Produkty rozpadu hliníka ^{26}Al možno aj dnes identifikovať v meteoritoch.

Protoplanéty sa utvárali aj na miestach, kde dnes obiehajú obrie plynné planéty Jupiter, Saturn, Urán a Neptún. Dokonca sa predpokladá, že zárodky týchto planét vznikli o niečo skôr ako zárodky terestrických planét a boli spočiatku desať až dvadsaťkrát hmotnejšie ako Zem. Vývoj jovialných planét sa odlišuje od vývoja terestrických planét v tom, že zárodky jovialných planét na seba začali gravitačne nabaľovať ľahké prvky, predovšetkým vodík, ktoré vo vnútorných častiach disku viac-menej chýbali. Objem a hmotnosť planét vzdialených od Slnka sa týmto procesom prudko zväčšili. Plyn, ktorý na seba vznikajúce jovialne planéty nestihli nabaľiť, bol postupne odviaty preč zo slnečnej sústavy hviezdny vetrom, ktorý bol mimoriadne silný, pretože protoslnko prešlo do ďalšieho štádia svojho vývoja – *fáza hviezdy typu T Tauri* – nestabilná premenná hviezda hlavnej postupnosti, ktorej žiarivý výkon sa prudko mení.

Fáza intenzívneho bombardovania

Intenzívne bombardovanie novovzniknutých telies slnečnej sústavy medziplanetárnou hmotou (kométy, planetezimály a protoplanétami) vrcholilo asi pred 4 miliardami rokov. Čím boli telesá väčšie, tým ich bolo menej, a nedochádzalo u nich až tak často k zrážkam. Spočiatku bolo bombardovanie také silné, že nedovolilo mladým terestrickým planétam, čiže Merkúru, Venuši, Zemi a Marsu, aby sa na nich utvorila pevná kôra. Neskôr toto bombardovanie začalo po sebe nechávať stopy, z ktorých niektoré sú pozorovateľné dodnes na planétach a ich mesiacoch ako impaktné krátery. Množstvo dopadových kráterov však bolo medzitým zahladené geologickými procesmi. Počas nasledujúcich niekoľkých stoviek miliónov rokov bombardovanie postupne slablo.

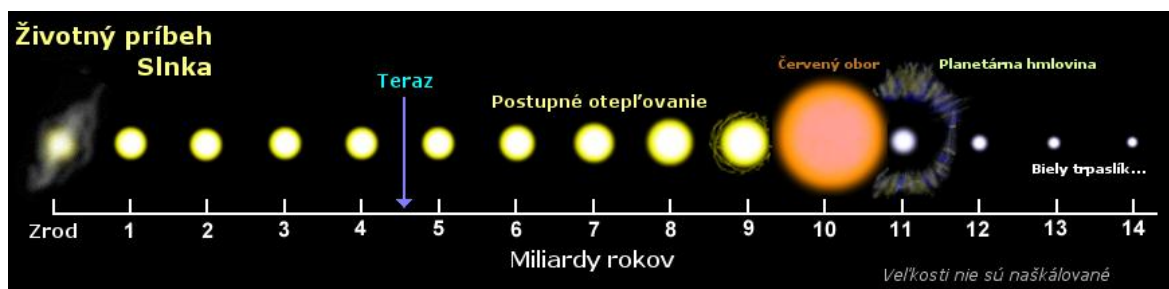
Migrácia planét

Veľmi dlho panoval názor, že dráhy planét v slnečnej sústave boli nemenné a predpokladalo sa, že planéty vznikli prakticky v tých vzdialenostiach od Slnka, kde ich pozorujeme dnes. Prvé pochybnosti prišli s objavom prvých exoplanét, ktoré nezriedka obiehajú okolo svojich materských hviezd vo vzdialenostiach, v ktorých sa podľa teórie protoplanetárneho disku nemohli vôbec sformovať. Na možnú migráciu planét poukazuje aj to, že v roku 2001 Chambers a Wetherill dokázali, že medzi Marsom a Jupiterom by museli vzniknúť planéty približne veľkosti Marsu. Dnes tam však pozorujeme len pás asteroidov, v ktorom žiadne teleso nepresahuje priemer 1000 kilometrov. Medzi dráhami Marsu a Jupitera je pozorovaný silný deficit hmoty a predpokladá sa, že v čase formovania planét tam muselo byť hmoty tisícnásobne viac. Počítačové modely navyše ukazovali, že počet sformovaných terestrických planét by mal byť nižší ako pozorovaný a nemal prekročiť tri. Tieto výsledky naznačujú, že v pásme asteroidov sa skutočne sformovali telesá o veľkosti planét, z ktorých sa jedno neskôr presunulo bližšie k Slnku. Touto „asteroidálnou planétou“ mala byť práve Zem. V súčasnosti však nepoznáme spoľahlivý mechanizmus, ktorý by Zem *prestáhoval* na novú dráhu. Podľa jednej teórie na tom mala svoj podiel obrovská zrážka Zeme s telesom o veľkosti Marsu, následkom ktorej sa sformoval náš Mesiac. Nasledujúce tri a pol miliardy rokov až do súčasnosti pravdepodobne už predstavovali pomalý vývoj a stav slnečnej sústavy sa vo veľkom meradle počas tohto obdobia zrejme veľmi nelíšil od súčasnosti.

Budúcnosť

Ďalší vývoj slnečnej sústavy závisí od vývoja jej centrálnej hviezdy Slnka. Slnko je v tejto fáze svojej existencie stabilná hviezda typu G2V na hlavnej postupnosti, ktorej žiarivý výkon sa mení len nepatrne. Stabilné však bude len dovtedy, kým budú v jeho jadre môcť prebiehať termojadrové reakcie, čiže kým sa neminú jeho zásoby vodíka, ktoré zostávajú ešte na niekoľko miliárd rokov. Keď sa všetok vodík v jadre premení na hélium, termojadrové reakcie na chvíľu prestanú a tlak žiarenia prestane pôsobiť proti tlaku jeho vlastnej gravitácie. Jadro sa zmrští, jeho teplota a tlak sa zvýši a dôjde k syntéze hélia na ďalšie chemické prvky, napr. uhlík a kyslík. To Slnku zabezpečí stabilitu na ďalších pár miliónov až miliárd rokov. Vonkajšie vrstvy sa však začnú rozpínať, rednúť a chladnúť. Slnko prejde do štádia červeného obra. Jeho rozpínajúci sa povrch pohltí Merkúr, Venušu a možno aj Zem.

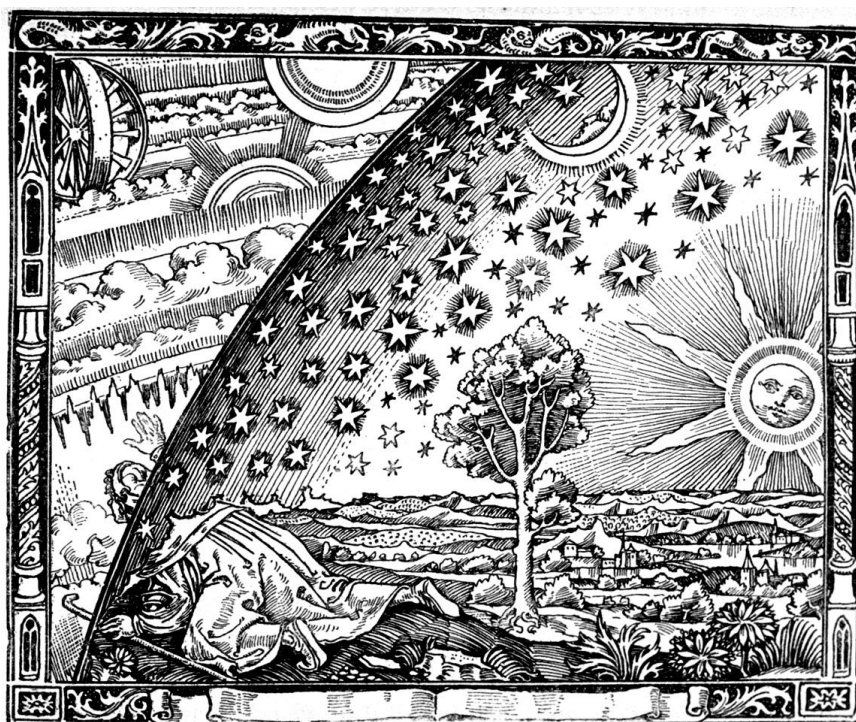
Zásoby hélia v jadre sú však taktiež vyčerpatel'né. Po ich minutí opäť dôjde k zastaveniu jadrových reakcií a tentoraz už nebude mať čo zabrániť jadrú Slnka v gravitačnom kolapse. Jadro skolabuje, scvrkne sa a zmení sa na bieleho trpaslíka – malú hustú horúcu hviezdu s veľkosťou Zeme. Vonkajšie vrstvy Slnka sa oddelia a vytvoria pomaly sa zväčšujúcu planetárnu hmlovinu. Planetárna hmlovina sa bude rozpínať a postupne pohltí tie planéty slnečnej sústavy, ktoré nezničilo Slnko. Biely trpaslík napokon vychladne. Hmlovina sa rozptýli a môže slúžiť ako časť materiálu pre vznik novej hviezdy a planetárnej sústavy.



Obrázok 10: Životný cyklus Slnka.

Výskum a vývoj predstáv, zásadné objavy

Už v staroveku poznali naši predkovia Slnko, Mesiac a 5 planét viditeľných voľným okom. Boli to Merkúr, Venuša, Mars, Jupiter a Saturn. Slnko a Mesiac zarad'ovali tiež k planétam, naopak Zem planétou podľa nich nebola, a to z dôvodu silnej geocentrickej predstavy o usporiadaní slnečnej sústavy, ktorá pretrvávala až do 16. storočia. Spočiatku bola Zem považovaná za dosku plávajúcu na vodách a planéty, Slnko, Mesiac a hviezdy boli v predstavách ľudí umiestnené na otáčajúce sa guľové sféry. Neskôr, *geocentrik* Aristoteles si už Zem predstavoval ako guľu, ale všetky ostatné telesá boli jej obežnice. Podľa vzrastajúcej vzdialenosti od Zeme mali Zem obiehať Mesiac, Slnko, Merkúr, Venuša, Mars, Jupiter, Saturn a najvzdialenejšia bola sféra hviezd. Tento jednoduchý systém však nebol schopný vysvetliť všetky pozorované pohyby planét na oblohe a preto bol postupne vylepšovaný. Najväčšiu reformu v rámci geocentrického systému priniesol Ptolemaios, ktorý vytvoril pre planéty zložitý systém pohybu po deferentoch a epicykloch. Jeho systém umožňoval pomerne presne vypočítať budúce polohy planét aj napriek *zreteľnej zložitosti*.



Un missionnaire du moyen âge raconte qu'il avait trouvé le point
où le ciel et la Terre se touchent...

Obrázok 11: Obrázok a popis na strane 163 z knihy *L'atmosphère: météorologie populaire* od Camille Flammariona, 1888.

O víťazstvo heliocentizmu sa zaslúžil Mikuláš Kopernik, ktorý umiestnil do stredu svojho vesmíru Slnko a okolo neho obieha Zem a všetky ostatné vtedy známe planéty. Obežné dráhy planét však stále považoval za kruhové, aj keď ich stredy neboli totožné so stredom Slnka. Skutočný tvar dráh a zákony pohybu planét objavil Johannes Kepler začiatkom 17. storočia. Isaac Newton koncom 17. storočia sformuloval gravitačný zákon, ktorý objasnil príčinu pohybu planét.

V 18. storočí sa známa časť slnečnej sústavy začala rozširovať. 13. marca 1781 William Herschel objavil siedmu planétu, Urán, ale sám bol dlho presvedčený, že ide o kométu. Giuseppe Piazzi objavil 1. januára 1801 nový, dovtedy neznámy typ telies, asteroid Ceres. V tomto prípade bol objaviteľ presvedčený, že objavil novú planétu, ale v nasledujúcich rokoch boli objavené ďalšie asteroidy Pallas, Juno a Vesta v priestore medzi dráhami Marsu a Jupitera. Postupne boli objavované ďalšie asteroidy a dnes je ich známych takmer pol milióna. V roku 1846 Johann G. Galle objavil ďalšie veľké teleso slnečnej sústavy, planétu Neptún. V roku 1930 objavil Clyde W. Tombaugh dnes už trpasličiu planétu Pluto. Aj ďaleko za dráhou Pluta dnes poznáme niekoľko veľkých telies.

Prvé predstavy o vzniku vesmíru pochádzajú už z dôb, kedy ľudstvo začalo spoznávať, že Slnko, Mesiac a planéty sú mimozemské telesá. Rôzne náboženstvá vysvetľovali vznik Zeme a planét odlišne, ale zhodovali sa v tom, že celý vesmír vznikol súčasne (prípadne v priebehu niekoľko málo dní), že je konečný a že vznikol viac-menej v takej podobe, v akej ho poznáme dnes, tzn. že neprechádzal nijakým vývojom. Až v 17. storočí uverejnil René Descartes prvú teóriu vzniku vesmíru, ktorá nepredpokladala zásah nadprirodzenej bytosti. Podľa jeho domnienky bol prapôvodný svet chaosom pohybujúcej sa hmoty, pričom pohyb a trenie častíc vytvárali víry. Vo víroch sa zhromažďovala hmota, z ktorej vzniklo Slnko a iné hviezdy. Koncom 17. storočia však Isaac Newton objavením gravitačného zákona dokázal, že takýto vznik vesmíru nie je možný. Prvý človek, ktorý vyslovil teóriu podobnú dnešnej najviac

uznávanej teórii o vzniku slnečnej sústavy bol Immanuel Kant. V roku 1775 napísal, že planéty sa rodia v chuchvalcoch prachu a plynu, ktoré krúžia okolo každej mladej hviezdy. Na Kantove úvahy nadviazal neskôr Pierre Simone de Laplace, ktorý dal tejto teórii presnejšiu fyzikálnu aj matematickú podobu. V 20. storočí sformovali Richard B. Larson a Frank Shu modernú teóriu, podľa ktorej sa po vzniku hviezdy z prachoplynového oblaku zvyšný materiál sformuje do podoby protoplanetárneho disku, v ktorom sa môžu vytvoriť planéty. V roku 1988 prebehol experiment navrhnutý Jürgenom Blumom, ktorá potvrdil tento model vzniku planét. Astronaut na palube raketoplánu Discovery vstrekol špeciálnou injekciou mikroskopické zrníčka kozmického prachu do vzduchotesnej komory. Táto komora bola naplnená plynom tak, aby to pripomínalo prostredie v protoplanetárnom disku. Jediný rozdiel bol v tom, že toto umelé prostredie bolo neporovnateľne hustejšie, ako predpokladané prostredie protoplanetárneho disku. Už po niekoľkých minútach sa pôvodne mikroskopické zrníčka zhlukli do pozdĺžnych zlepcov. Prvé pozorovania, ktoré potvrdzovali túto teóriu, sa uskutočnili v roku 1994. Vtedy Hubbleov vesmírny ďalekohľad (HST) vyfotografoval niekoľko veľmi mladých hviezd vo Veľkej hmlovine v Orióne, okolo ktorých krúžia husté protoplanetárne disky.

Výskum sondami

Rok 1957 znamenal prelom vo výskume vesmíru v akomkoľvek meradle. V tomto roku bola vypustená prvá umelá družica Zeme. Od tohto okamihu sa začala rozvíjať kozmonautika, ktorá zohrala dôležitú úlohu aj vo výskume telies slnečnej sústavy. Prvým cieľom výskumov sa stalo naše najbližšie kozmické teleso – Mesiac, ku ktorému sa Spojené štáty americké pokúsili vyslať sondu Pioneer 0 už v auguste roku 1958. Sonda však explodovala 77 sekúnd po štarte a po prvýkrát sa podarilo preletieť okolo Mesiaca až sovietskej družici Luna 1 v roku 1959. Luna 2 bola prvá sonda, ktorá na Mesiac dosadla, čo bol v podstate prvý dotyk iného kozmického telesa pozemskou sondou. V roku 1961 sa Sovietsky zväz pokúšal vyslať sondy nielen k Mesiacu, ale aj k našej najbližšej planéte Venuši. Dňa 9. mája 1961 okolo nej preletela sonda Venera 1, ale bez spojenia so Zemou. Prvý aktívny prelet okolo Venuše sa podaril americkej sonde Mariner 2 dňa 14. decembra 1962. V roku 1965 nasledoval prvý úspešný prelet sondy Mariner 4 okolo Marsu so získaním 22 kvalitných snímok mart'anského povrchu. Prvé hladké pristátie na Mesiaci uskutočnila sonda Luna 9 vo februári 1966. Prvé úspešné pristátie na inej planéte sa podarilo sovietskej sonde Venera 7, keď v decembri 1970 pracovala 23 minút na jej povrchu do zničenia vysokou teplotou a tlakom. Sovietsky zväz dosiahol aj ďalšie prvenstvo, keď jeho sonda Mars 3 dosadla na povrch Marsu a pár sekúnd vysielala signál. Prvé úspešné pristátie ľudskej posádky na Mesiaci sa podarilo Neilovi Armstrongovi a Buzzovi Aldrinovi 20. júla 1969. Mesiac je zatiaľ jediným telesom slnečnej sústavy, ktoré bolo zblízka preskúmané ľudskou posádkou. Ostatné objekty slnečnej sústavy sú pre nás z tohto pohľadu ešte stále nedosiahnuteľné. Keby sme sa pokúsili cestovať na okraj slnečnej sústavy nejakou vesmírnou loďou rýchlosťou $40\,200 \text{ km h}^{-1}$ (najväčšou rýchlosťou, akú kedy teleso s ľudskou posádkou vyvinulo), cesta len k prvej hranici slnečnej sústavy, k heliopauze, by trvala 84 rokov. V súčasnosti heliopauzu dosiahli len automatické sondy vypustené k vonkajším planétam Pioneer 10 a 11 a Voyager 1 a 2.

Doteraz boli alebo sú skúmané prakticky všetky planéty rôznymi sondami a misiami. Vnútorne planéty a ich mesiace skúmali aj sondy Mariner 10 (Merkúr), ďalšie sondy programu Venera (Venuša), programu Luna (Mesiac), Viking, Mars, Fobos a ďalšie. Vonkajšie planéty spočiatku skúmali len preletové sondy Pioneer 10 a 11 a Voyager 1 a 2. Voyager 2 je jediná sonda, ktorá zblízka skúmala dve najvzdialenejšie planéty Urán a Neptún a ich mesiace. Sonda Galileo sa v roku 1995 stala prvou umelou družicou jovialnej planéty Jupitera. V roku 2004 získal svoju prvú umelú družicu aj Saturn, a to sondu Cassini. Okrem

planét a mesiacov skúmali/skúmajú sondy tiež malé telesá slnečnej sústavy. Sonda Deep Impact skúmala kométu Tempel 1. Európska sonda Rosetta má zase v roku 2014 preskúmať kométu 67P/Churyumov-Gerasimenko a spustiť pristávací modul na jej povrch. Kométu Wild 2 navštívila sonda Stardust, ktorá sa zamerala aj na zber vzoriek prachového materiálu z jej komy. Z výskumu asteroidov by sme nemali zabudnúť na sondu NEAR Shoemaker, ktorej primárnym cieľom bol asteroid Eros. Japonská sonda Hayabusa sa zamerala na asteroid Itokawa, z ktorého by mala v roku 2010 priniesť aj vzorky odobraté z povrchu. Sonda New Horizons v súčasnosti mieri do oblasti Kuiperovho pásu a má skúmať okrem iného aj trpasličiu planétu Pluto, ktorá bola v čase jej štartu považovaná ešte za planétu.

Okrem sond skúmajú telesá slnečnej sústavy pozemské a orbitálne ďalekohľady, napríklad Hubbleov vesmírny ďalekohľad (HST).

Aké s v slove slnečná?

1.3.2. NÁZVY OBJEKTOV VO VESMÍRE A NÁZVY ÚTVAROV NA ICH POVRCHU

1. Názvy kozmických objektov a názvy útvarov na povrchu mimozemských objektov (kozmonymá):
 názvy hviezd a zoskupení hviezd, napr. *Slnko, Algol, Diadém, Síríus, Hyády, Jasličky, Plejády, Tychova hviezda, Barnardova šípka, Karolovo srdce, Gouldov pás hviezd, Keplerova supernova, Proxima Centauri, Krabia hmlovina, Galaxia (Mliečna cesta), Arpove galaxie, Coma, Pegasus, Miestna superkopa galaxií (Miestna supergalaxia), Miestna skupina galaxií, Miestny mrak galaxií, Seyfertov sextet, Voroncovov-Velaminov kvintet;*
 názvy súhvezdí, napr. *Andromeda, Baran, Drak, Južná koruna, Južná ryba, Malý voz, Malý lev, Vodný had;*
 názvy planét, napr. *Jupiter, Mars, Urán, Venuša, Zem;*
 názvy mesiacov, napr. *Jánus, Európa, Mesiac;*
 názvy planétok (planetoidov) a skupín planétok, napr. *Eros, Adonis, Hermes, Amor, Trójanica, Flóra;*
 názvy komét a skupín komét, napr. *Bielova kométa, Halleyho kométa, Arendova-Rolandova kométa, Jupiterova rodina komét;*
 názvy meteoritov, meteoritických rojov, napr. *Glorieta, Jiling, Lyridy, Perzeidy, Júlové Fénicidy;*
 názvy útvarov na povrchu mimozemských objektov, napr. *Humboldtovo more, More dažďov, Močiar spánku, Oceán búrok, Jarné jazero, Jazero snov, Záliv astronautov, Rovná stena, Rumberov vrch, Vežové vrchy, Baadeho dolina, Sneliova dolina, Hadleyho brázda, Beľajev (kráter na Mesiaci), Herkulov mys, Planina zostupu, Základňa pokoja.*

P o z n á m k a. – 1. S malým písmenom sa píšú pomenovania *zornička, večernica* (Venuša), *slnečná sústava, galaxia, galaktická sústava, hmlovina, hviezdokopa, hviezdna populácia, kvazar, pulzar, planéta, planétka (planetoid, asteroid), meteor, meteorit, meteorický roj, nova, supernova, biely trpaslík* a i. Ide zväčša o pomenovania druhov objektov vo vesmíre.

2. V pravopise rozlišujeme: *zem* (súš, pevnina, pôda) – *Zem* (naša planéta, planéta, ktorú obývame), *slnko* (kozmicke teleso ako zdroj tepla a svetla, hviezda) – *Slnko* (naše slnko, naša hviezda), *mesiac* (kozmicke teleso obiehajúce okolo planéty) – *Mesiac* (mesiac obiehajúci okolo Zeme, náš mesiac), *galaxia* (sústava hviezd) – *Galaxia* (galaxia, do ktorej patrí Slnko a s ním naša Zem, naša galaxia). Názvy *Zem, Mesiac, Slnko* sa používajú v odbornom jazyku (v astronómii, astrofyzike, kozmológii), názov *Galaxia* sa používa popri názve *Mliečna cesta*.

Obrázok 12: Písanie malého s v spojení slnečná sústava. Prebraté z Pravidiel slovenského pravopisu z roku 2000.