

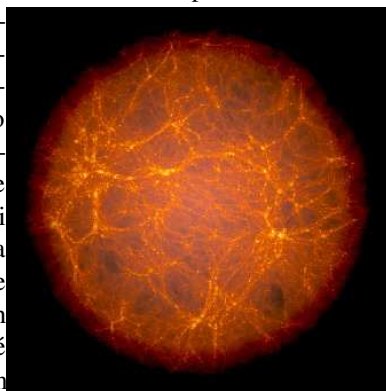
Od Venuše k exoplanétam

*Mgr. Stanislav Kaniansky
Hvezdáreň a planetárium Maximilána Hella Žiar nad Hronom*

I. SLNEČNÁ SÚSTAVA

Podľa všeobecne akceptovanej „teórie slnečnej hmloviny“ sa slnečná sústava vyvíjala do dnešnej podoby druhového a chemického zloženia plných 5 miliárd rokov.

V jednom špirálovom ramene našej galaxie, asi 30 tisíc svetelných rokov od jej stredu, existovala skupina hviezd 10 až 100 krát hmotnejších ako naše Slnko, zložená prevažne z vodíka a hélia. Ich pomerne krátka životnosť bola zakončená gigantickou explóziou – výbuchom supernovy. Prudko rozprúňajúci sa oblak atómov takmer všetkých prvkov obohatil okolité medzihviezdne mraky o prvky ťažšie než hélium, čo bola vlastne chemická príprava materiálu pre vznik slnečnej sústavy. Počas zdanlivého kľudu, trvajúceho stovky miliónov rokov krúžil náš zárodočný mrak okolo stredu Galaxie. V skutočnosti sa však v tomto obrovskom chemickom laboratóriu vytvárali najrôznejšie jednoduché i zložité molekuly. Niektoré z nich zohrali neskôr kľúčovú úlohu pri vzniku života na Zemi. Rázová vlna expandujúcej obálky supernovy iniciovala vznik gravitačného centra v oblaku. Toto začalo gravitačne ovplyvňovať najbližšie okolie, s nárastom i okolie vzdialenejšie. Nasledovalo spájanie sa do väčších zhlukov – vznikali prachové zrnká (niektoré kondenzačné jadrá boli dodávané blízskymi obrými hviezdami s chladnými obálkami)¹. Predpokladá sa, že v tomto m



Obr. 1: Globula

nevzniklo len naše Slnko, ale súbežne vzniklo viac hviezd (tvoriac otvorenú hviezdokopu), ktoré sa však rozptýlili do galaktického priestoru. Gravitácia zohrávala najdôležitejšiu úlohu v ďalšom vývoji. Oblak sa začal zmršťovať a tým znižovať svoje rozmery. Takýto zhustený objekt nazývame globula (Obr. 1, 2).

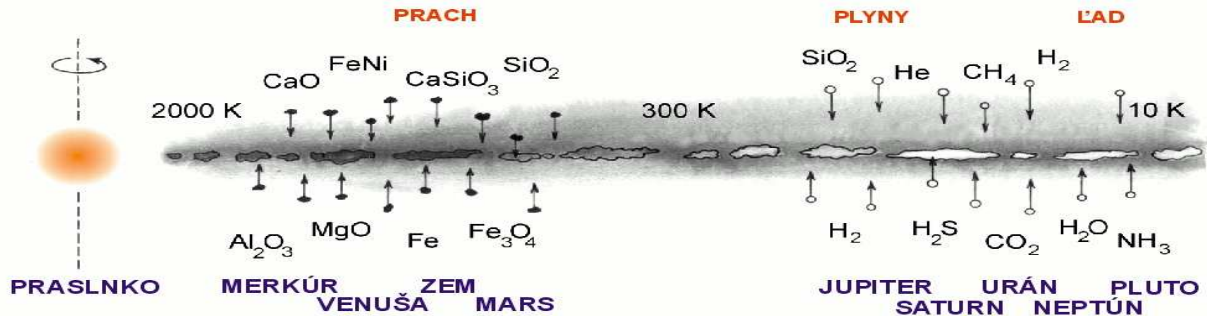
Obr. 2: Vznik Slnečnej sústavy

Vzájomná interakcia prachových častíc a plynu procesy len urýchlila. Prachová časť klesala po špirálových dráhach nielen k centru ale i do roviny kolmej na rotačnú os celého disku. Centrálna časť sa silne zahrievala. Teplota klesala smerom k okraju. Pôvodná teplota (asi -170 °C) sa zachovala iba v okrajových častiach disku. Okrem teploty však rástla i hustota v centrálnej časti. Tým sa výrazne znižovala priepustnosť intenzívnejšieho tepelného žiarenia centra, čo malo za následok pohlcovanie tohto žiarenia okolitým materiálom a následné vyparenie prachových častíc, tvorených predovšetkým zastúpením prvkov železa, uhlíka, kremíka a podobne².

Tlak praslnečného vetra spôsobil, že do vzdialenosti 700 miliónov km od Praslneka ostali len ťažké častice. Následným ochladzovaním kondenzovali späť do podoby prachových zrniek Tu však záležalo od

¹ Dnes pozorujeme v našej Galaxii asi 5 tisíc podobných medzihviezdnych mrakov, kde sa odohrávajú rovnaké procesy. Dlhú dobu sa pátralo po mechanizme, ktorý zabezpečuje prvotný impulz na spustenie procesov zmršťovania sa. Zo všetkých možností sa nakoniec najpravdepodobnejšie ukázalo, že „otcom“ našej slnečnej sústavy je výbuch blízkej supernovy. Pri prechode jej expandujúcej obálky zárodočným oblakom dodala počiatkový impulz k intenzívnemu zmršťovaniu. V súčasnej dobe sú v podozrení až 4 blízke výbuchy supernov.

teploty, znižujúcej sa smerom k okraju disku. Táto fáza bola rozhodujúca pre vznik jednotlivých planét. Pomocou tohto sme schopní vysvetliť rozdiely v chemickom zložení (i hustote) jednotlivých planét. V blízkosti stredu mohli skondenzovať len plyny železa, kremíka, hliníka, horčíka a vápnika³. V dostatočnej vzdialenosti kondenzovali „tekutejšie“ látky ako kyslík, uhlík, dusík a iné. Dôsledkom procesu postupnej kondenzácie je nehomogenita v chemickom zložení telies v rôznych častiach sústavy. Podieľal sa na tom i slnečný vietor, ktorý odvíal najľahšie prvky (vodík, hélium) z centrálnych oblastí. Tento proces spôsobil nedostatok týchto prvkov vo vnútornej oblasti a naopak, ich hromadenie v oblasti vzdialenejšej (Obr. 3).



Obr. 3: Schematické znázornenie rozdelenia hmoty. (Kleczek, 1986)

Počas ďalšieho obdobia sa tvorili zárodoky budúcich planét. Predpokladá sa, že plynná zložka oblacu vtedy tvorila akési odporové prostredie, brzdiace pohyb pevných častíc, čím napomáhala ich koncentracii

Zhlukovanie častíc prevládalo nad vzájomným rozbíjaním⁴. Vzrastajúca hmotnosť zárodokov začala gravitačne ovplyvňovať okolie. Postupne sa zväčšovala veľkosť týchto telies na 1000 až 2000 km – vznikli planetesimály. Planetesimály boli vlastne horúce roztavené telesá. Tepelnú energiu dodávali predovšetkým dopadajúce ďalšie telesá, zmršťovanie, gravitačná diferenciacia prvkov a nakoniec i veľká rádioaktivita v ich vnútri. Veľký počet týchto telies sa po čase eliminoval len na niekoľko tých najväčších



(vďaka chaotickým dráham dochádzalo k častým kolíziám). Tie začali svojou gravitáciou dominovať. Ostatné telesá boli gravitačne vymrštené do medzihviezdneho priestoru alebo ich dráhu skrížilo vznikajúce Slnko. Zostávajúce planetesimály postupne dospeli až k planetárnym hodnotám – vznikli protoplanety. Vo vnútornej časti ostali štyri dominantné telesá (Merkúr, Venuša, Zem, Mars), avšak zatiaľ bez atmosféry, pretože plynná zložka bola odvíata intenzívnym slnečným vetrom. Medzi nimi sa stále však pohybovalo veľké množstvo úlomkov – pozostatkov po tvorbe protoplanét. Po stabilizovaní ich dráh sa veľká časť

² V skutočnosti bola hmotnosť prachových častíc zanedbateľná, tvorila len 1% hmotnosti. Avšak práve prach bol pre vznik terestriálnych planét kľúčový. Ostávajúci 99% materiálu tvoril plyn.

³ Preto má Merkúr najväčšiu hustotu a skladá sa prevažne z prvkov železa.

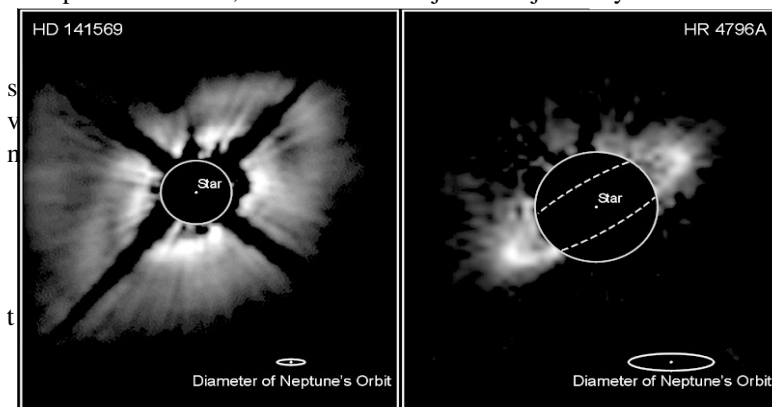
⁴ O prudkom stmeňovaní rôznorodého materiálu pri zrážkach svedčia i výsledky laboratórných rozborov mikroskopických častíc z meteorov, zachytených do špeciálnych lapačov po prelete týchto telies atmosférou a ich následného vyparovania sa. Nie sú vzácné prípady, keď v takomto mikrometrickom meradle bolo zastúpených v častici i viac než 10 prvkov periodickej sústavy (vyše 30 minerálov).

týchto telies skoncentrovala do tzv. pásu asteroidov medzi dráhami Marsu a Jupitera. Výskyt týchto telies viedol k rôznym špekuláciám o existencii planéty v týchto miestach, moderná astrofyzika však doložila nemožnosť vzniku telesa s planetárnymi rozmermi v tejto oblasti z dôvodu veľkého slapového pôsobenia Slnka a Jupitera.

Dnešná stavba terestriálnych (Zemi podobných) planét vďaka diferenciácii prvkov. Diferenciáciou klesali ťažké kovy (železo, nikel, chróm, irídium a ďalšie) k stredu, ľahké (hliník, kremík, horčík a ďalšie) stúpali k povrchu. Ťažké jadro bolo obklopené plášťom a pevnou kremičitanovou kôrou. Kozmické bombardovanie predstavovali poslednú fázu vývoja protoplanét.

Vo väčších vzdialenostiach od Slnka (nad 4 AU) veľká hmotnosť kamenných zárodokov (rádovo desaťnásobky Zeme) umožňovala nabaľovať na seba plynný materiál, predovšetkým vodík a hélium, čím vznikali obrie atmosféry (Jupiter, Saturn, Urán, Neptún). Hmotnosť týchto telies bola taká veľká, že si začali okolo seba vytvárať z okolitého pevného materiálu akúsi miniatúrnu planetárnu sústavu - sústavu mesiacov (viď aj prstence planét).

V ešte väčších vzdialenostiach bola teplota planetárnej sústavy veľmi nízka. To podmieňovalo vznik telies s veľkým podielom tekutých látok. Vznikli ľadové telesá. Na periférii sústavy (oblasť, kde sú príťažlivé sily Slnka a okolitých hviezd takmer vyrovnané) vznikalo veľké množstvo malých ľadových telies (kometárne jadrá), sústredených dnes do tzv. Kuiperovho a Oortovho oblaku.⁵ Celý evolučný proces trval pomerne krátko, len 1/8 veku našej Slnčnej sústavy.



Tento scenár vzniku Slnčnej sústavy z pôvodnej zárodočnej hmloiny nie je náhodný. Vďaka modernej technike sme schopní opierať sa o pozorovania mladých hviezd či pozorovania plynoprachových diskov v okolí hviezd. Je známych už mnoho potenciálnych kandidátov.

Obr. 4: Plynoprachové disky v okolí blízkych hviezd. (HST)

II. EXOPLANÉTY (PLANÉTY OKOLO HVIEZD=EXTRASOLÁRNE PLANÉTY=EXOPLANÉTY)

V minulosti sme si len ťažko pripúšťali existenciu iných planetárnych sústav okrem slnečnej sústavy. Vyplývalo to zrejme z dominantného postavenia ľudského druhu. Avšak nezadržateľný technický pokrok sa odrazil aj v zdokonalení pozorovacích metód a inštrumentov, vďaka ktorým sa dosiahli významné ba až revolučné objavy.

Prvú exoplanétu s hmotnosťou $0,47 M_J$ objavil na observatóriu v Ženeve M. Mayor a D. Queloz v okolí hviezd 51 Pegasi. Dnes poznáme už mnoho desiatok exoplanét, a ich počet sa rapídne zväčšuje. Z nich väčšina obieha okolo hviezd hlavnej postupnosti, nie sú však výnimkou ani planéty obiehajúce okolo pulzarov. Hmotnosť väčšiny týchto planét je vyššia než Jupiter (M_J), ale boli detekované aj telesá porovnateľné s hmotnosťou Zeme. Vysoké percento zatiaľ predstavujú len planéty-jedináčkovia, pozorovania však odhalili už aj viacnásobný planetárny systém.

⁵ Podstatne menší počet väčších telies (stovky km) nachádzame predovšetkým v Kuiperovom pásu (30-100 AU). Ich počet sa odhaduje až na niekoľko miliónov. V Oortovom oblaku (siahajúcom do vzdialenosti až 40 000 AU) sa nachádzajú kometárne jadrá veľkosti rádovo desať km, ich počet sa však odhaduje na 10^{12} .

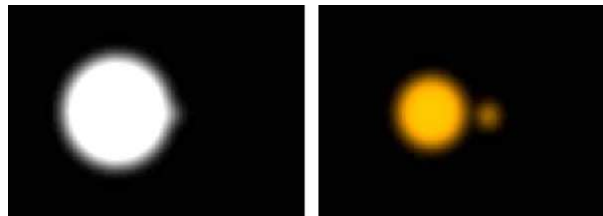
Obr. 5: Porovnanie vzdialeností a hmotností exoplanét voči SS.

Je zřejmé, že objav exoplanét prebieha len v našej pomernej blízkosti, t.j. do desiatok až stoviek svetelných rokov. Vyplýva to zatiaľ z našich technických možností a pozorovacích metód. Výnimkou sú pozorovania najväčších svetových rádioteleskopov, ktoré detekujú prevažne exoplanéty pri pulzaroch vo vzdialenostiach nad tisíc svetelných rokov. Tu však treba poznamenať, že neboli prijaté ešte jasné kritéria na definíciu telies ako planéta, super-planéta, hnedý trpaslík a pod.

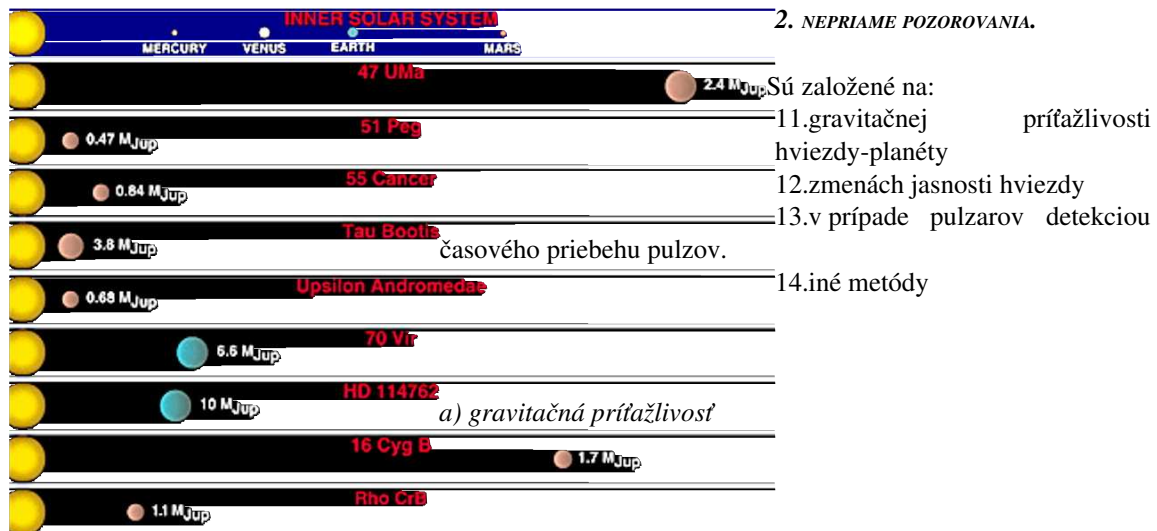
II.A – POZOROVACIE TECHNIKY.

I. PRIAME POZOROVANIE.

Je veľmi obtiažne i najväčšími optickými ďalekohľadmi. Exoplanéty sú ukryté v žiari hviezd. Jasnosť hviezdy je niekoľko tisíc násobne väčšia než jasnosť planéty. Preto je potrebné sa posunúť k infračervenému pásmu spektra a použiť interferometer⁶ (Obr. 6).



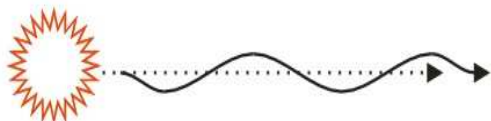
Obr. 6: Vo viditeľnom pásme (vpravo) sa planéta stráca v žiari hviezdy. V infračervenom pásme (vľavo) je pomer jasností menší.



⁶ Interferometer je prístroj al. skupina prístrojov využívajúcich interferenciu – skladanie dvoch al. viacerých elektromagnetických vln. Využíva sa aj v optickej astronómii k meraniu veľmi malých uhlov (pri viacnásobných hviezdach a pod.).

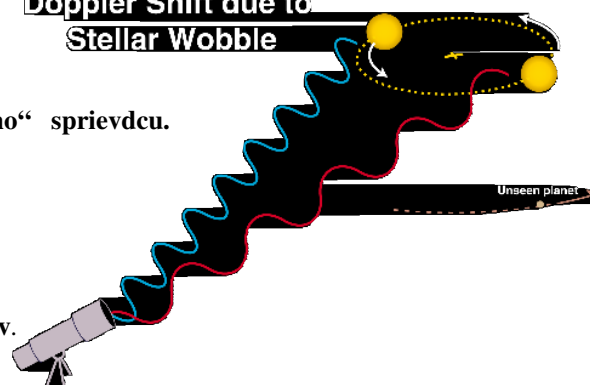
- hviezda i planét(y)a podliehajú Newtonovmu gravitačnému zákonu. Pomocou Dopplerovho javu⁷ môžeme zistiť zmeny v pohybe hviezdy (Obr. 7).

- pomôže nám astrometria. Hviezda sa normálne pohybuje po oblohe po priamke. Ale neviditeľný sprievodca vychýľuje jej dráhu, čiže hviezda sa pohybuje po akejsi sínusovke (Obr. 8).



Doppler Shift due to Stellar Wobble

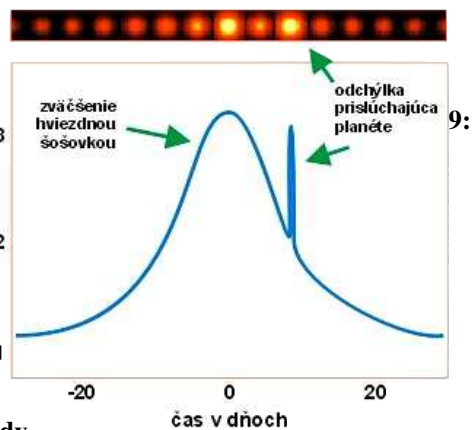
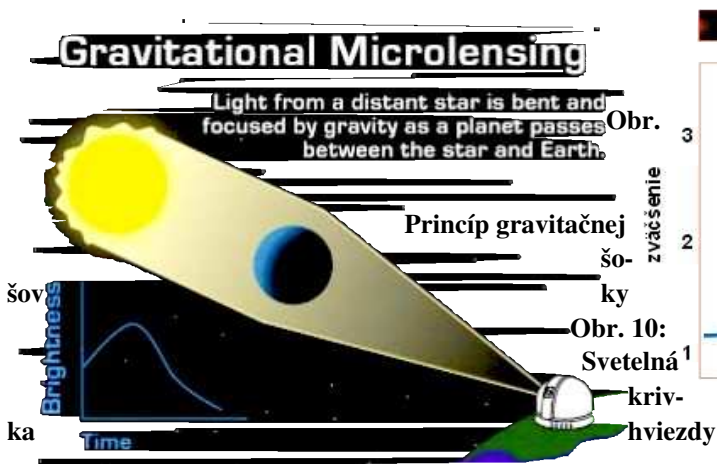
Obr. 8: Pohyb hviezdy vplyvom „neviditeľného“ sprievodcu.



Obr. 7: Dopplerov jav.

b) zmeny jasnosti

- princíp gravitačnej šošovky – gravitačný ohyb svetla vzdialenejšieho objektu na objekte pred ním (Obr. 9). Svetlo je v takomto prípade zosilované. Svetelná krivka hviezdy má obyčajne hladký priebeh, avšak prítomnosť dostatočne jasnej planéty spôsobí výrazné poruchy svetelnej krivky (Obr. 10). Nevýhodou tejto metódy je detekcia zatiaľ len telies veľkosti Jupitera.



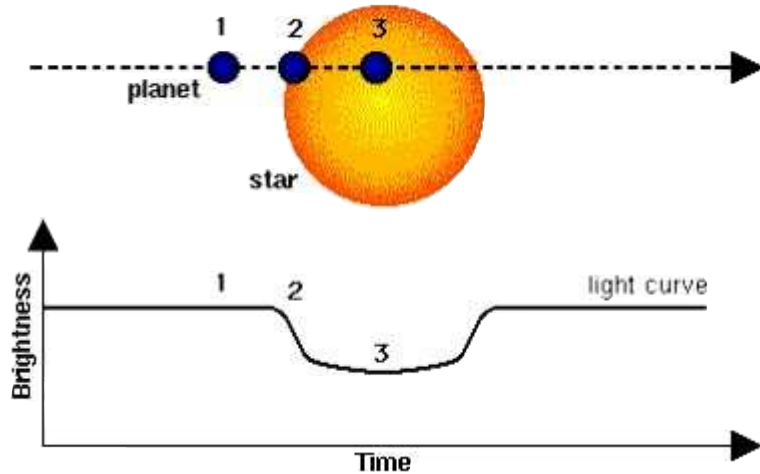
⁷ Dopplerov jav – zmena vlnovej dĺžky žiarenia, spôsobenej pohybom zdroja žiarenia vzhľadom na pozorovateľa. Pokiaľ sa zdroj vzdáľuje, vlnová dĺžka sa predlžuje – čiže nastáva posuv k červenej oblasti spektra. Naopak, keď sa zdroj približuje, vlnová dĺžka sa skrúcaje – nastáva posuv k modrej oblasti spektra.

- **tranzitná metóda** – metóda založená na pozorovaní vzájomných prechodov telies. Výhodou tejto metódy je detekcia telies veľkosti Zeme! (Obr. 11).

Planetárny prechod (tranzit) charakterizujú tri parametre:

1. opakovaná perióda prechodov daná obežnou dobou planéty v zmysle 3. Keplerovho zákona $P^2 M^* = A^3$
2. trvanie prechodu t (h) $\sim 13 \sqrt{A(\text{AU})}$
3. čiastočná zmena jasnosti hviezdy (k pomeru plochy) $(R_{\text{pl}}/R^*)^2$

Musí byť ale splnené kritérium priamej viditeľnosti medzi pozorovateľom a hviezdou. Zároveň je táto metóda náročná na excelentné pozorovacie podmienky, preto sa ťažisko pozorovania prechodov presúva na vesmírne teleskopy.



Obr.11: Schéma tranzitu.

d) iné metódy

- založené na detekcii magnetických zábleskov, rádiových vysielaní, akrecií planetesimál či akrecií samotných hviezd

III. SÚČASNÝ STAV A TRENDY.

Do polovice apríla 2004 bolo známych 123 planét v 108 planetárnych systémoch a 2 planetárne systémy v okolí pulzarov. Z pozorovaní pramení zaujímavý výsledok, a to že 7% pozorovaných hviezd má planetárneho sprievodcu. Hmotnostný interval exoplanét predstavuje od 36 násobku hmotností Zeme až po 13 násobok hmotnosti Jupitera. Dráhy sa pohybujú od 0,02 do 4,8 AU, pričom 50% dráh je viac-menej eliptických s rôznymi výstrednosťami. Tu si treba uvedomiť aj skutočnosť, že naša slnečná sústava nie normou, skôr výnimkou!

Pre zaujímavosť, do júna 2003 prehliadol HST 50,000 hviezd s potencionálnou planetárnou sústavou. Dáta sú však náročné na spracovanie, takže si ešte chvíľu počkáme na výsledky.

Ďalšie pozorovania má uskutočniť projekt ESA- COROT, ktorý má preskúmať 60,000 hviezd počas 2,5 roka počnúc rokom 2006. Projekt KEPLER (NASA) má odpozorovať až 100,000 hviezd počas štyroch rokov, pričom bude hľadať exoplanéty už od veľkosti Marsu

Vynára sa tu ale pár otázok, na ktoré, dúfam, dostaneme čoskoro odpoveď.

15. Prečo obrovské exoplanéty nachádzame v rôznych vzdialenostiach od materskej hviezdy, od veľmi blízkych (menej než Merkúr – 0.02 AU) až po veľmi vzdialené? Trochu nám to nepasuje s teóriou vzniku našej Slnecnej sústavy.

16. Aká planetárna sústava je normálna. Naša či tie ostatné?

17. Existuje akýsi planetárny „kanibalizmus“ – pohltenie planét hviezdou?

A nakoniec: sú tu nové objekty – predmety záujmu pre hľadanie mimozemských civilizácií ...

Zdroj :

<http://www.obspm.fr/planets>