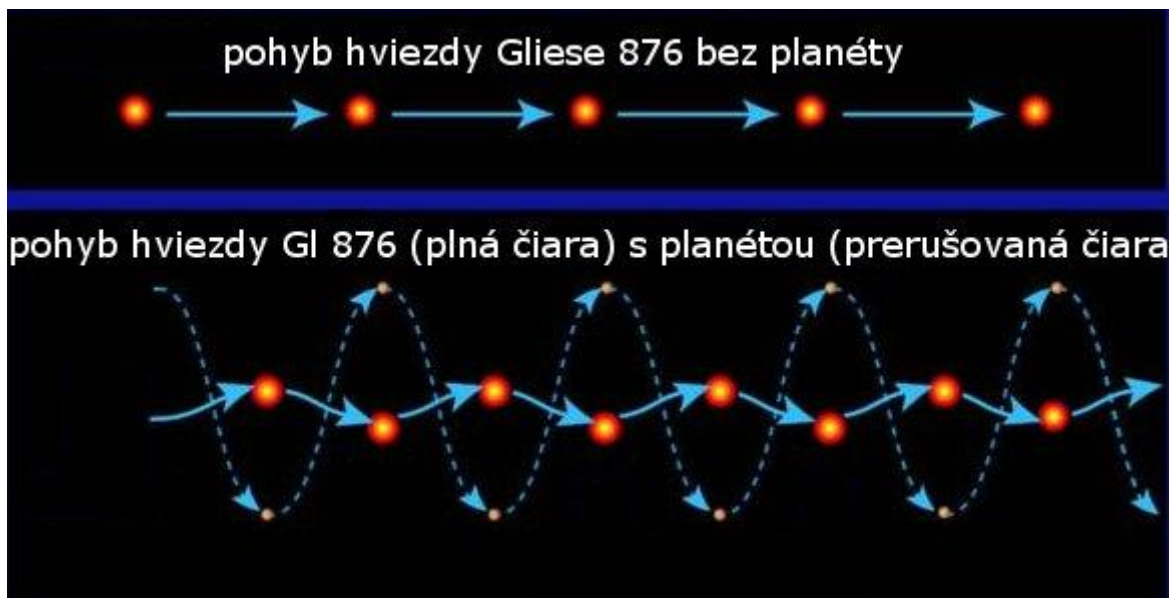
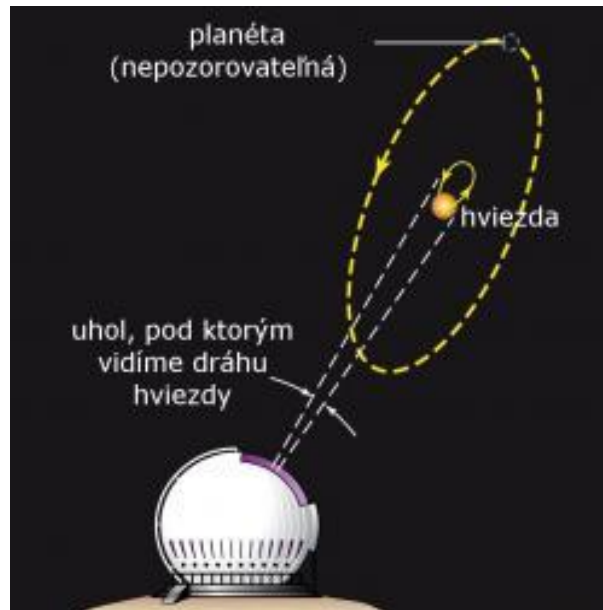


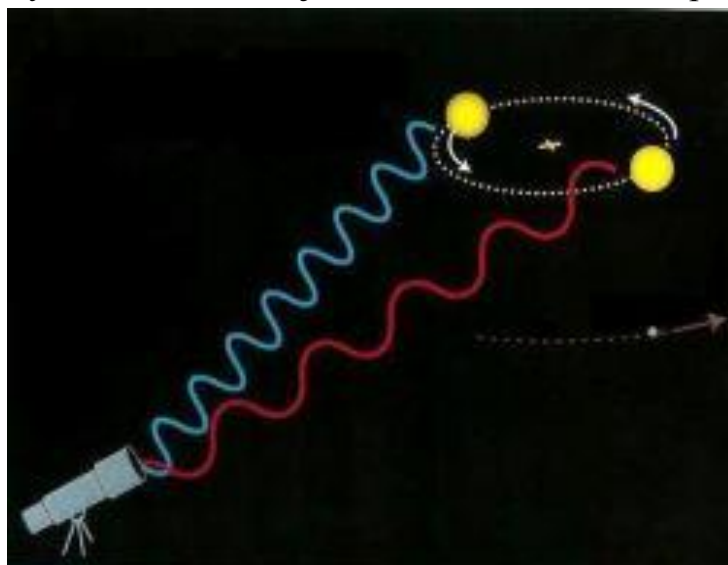
EXOPLANÉTY I. – ZÁKLADNÉ METÓDY ICH DETEKCIE A POZOROVANIA

1. Meranie polôh hviezd: Dopredu musím zdôrazniť, že v tejto prednáške budem vychádzať z informácií, ktoré sú obsiahnuté v prehľadnej publikácii Zdeňka Pokorného s názvom **Exoplanéty** (Nájdeme vo vesmíre ďalšiu Zem?). Ako uvádza tento český astronóm (2007, s. 23 a n.), táto metóda je založená na veľmi precíznom meraní polohy hviezdy, pričom sa postupuje tak, že „sa pre daný čas presne určí poloha skúmanej hviezdy voči súboru okolitých hviezd, o ktorých sa predpokladá, že sa nachádzajú relatívne ďaleko a že sú to objekty bez sprievodných telies“. Dané hviezdy tak tvoria akúsi mriežku alebo „raster“, voči ktorému potom porovnáme trajektóriu vybranej alebo „podozrivej“ hviezdy. V ďalšom kroku musíme odstrániť zo súboru „zmeraných polôh hviezdy všetky vplyvy, ktoré môžeme predpovedať (napríklad pohyb Zeme vzhľadom k nášmu slnku), čo nám umožní zistiť, či sa daná hviezda pohybuje po akejsi vlnovke **a nie priamke** – ako je tomu v prípade, keď je hviezda vzhľadom k nám v pokoji a nevelké periodické zmeny okolo určitej strednej polohy **sú vyvolané pohybom hviezdy okolo stredu hmotnosti sústavy hviezda-exoplanéta, pričom perióda zmeny zodpovedá obežnej perióde planéty**. Pravdaže, to je ten šťastný prípad, pretože úspešné pozorovanie je v tomto prípade nielen mimoriadne náročné na kvalitnú a presnú techniku, ale aj veľmi zdĺhavé. Nečudo preto, že „všetky doterajšie pokusy o detekciu exoplanét astrometrickou metódou boli na pozemských observatóriách neúspešné“ (vrátane viacerých neúspešných van de Kampových pokusov v polovici 20. storočia). S pomocou Hubblovho vesmírneho ďalekohľadu sa však pomocou astrometrickej metódy podarilo v prípade hviezdy **Gliese 876** v kombinácii so spektroskopickými meraniami „spoločlivo určiť prítomnosť exoplanéty a odvodiť hmotnosť exoplanéty s relatívnou chybou asi 20 %“ (ako uvádzajú Benedict et al., 2002). Ako ďalej pokračuje Z. Pokorný, s použitím tejto metódy sa počíta aj pri viacerých ďalších projektoch (napríklad pri SIM PlanetQuest), kde však už pôjde „nielen o detekciu nových planét, ale aj o štúdium vlastností už známych sústav“. Najväčšou prednosťou astrometrickej metódy je pritom jej schopnosť „detegovať planéty, ktoré sa nachádzajú relatívne **ďaleko** od centrálnej hviezdy“ (ako je tomu práve v našej planetárnej sústave), nevýhodou vysoká náročnosť na prístrojové vybavenie a nutnosť pozorovať podozrivú hviezdu počas dlhého obdobia porovnateľného s obežnými dobami joviálnych planét.

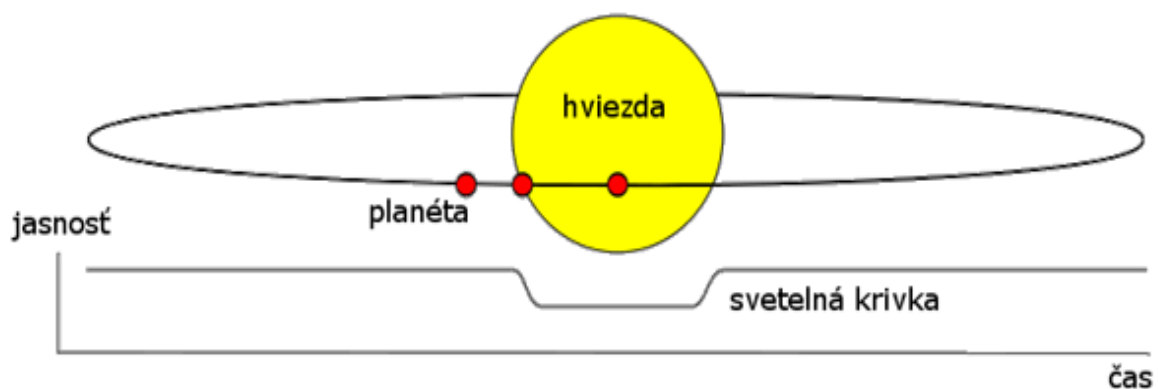


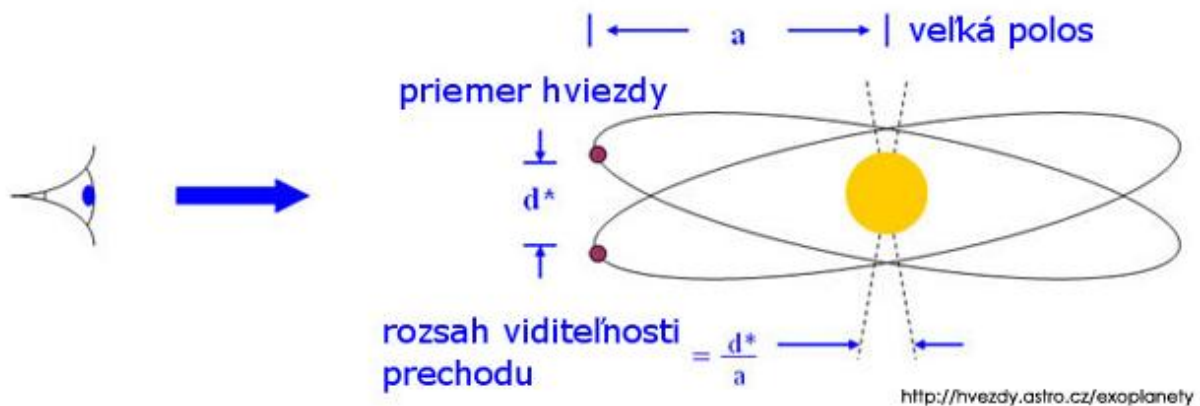
2. Meranie radiálnej rýchlosti hviezdy: Aj v tomto prípade sa tak ako pri astrometrickej metóde merajú zmeny v polohe hviezdy na oblohe, ale tentoraz „sa merajú zmeny zložky rýchlosti hviezdy v smere zorného lúča, teda zmeny radiálnej rýchlosti“, pričom sa využíva **spektroskopia a Dopplerov jav**, pri ktorom majú vlny prichádzajúce zo vzdalujúceho sa objektu **nižšie frekvencie a väčšie vlnové dĺžky ako vlny prichádzajúce z približujúceho sa objektu (a naopak)**. Keďže planéty sú oproti materským hviezdám relatívne málo hmotné, sú aj namerané zmeny radiálnej rýchlosti hviezd veľmi malé, a preto aj veľmi náročné na presné a dlhodobé merania. Ako uvádza Z. Pokorný, pri Jupiteri je vo vzťahu k Slnku amplitúda zmeny jeho radiálnej rýchlosti len $12,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. V súčasnej dobe „však už existujú moderné

spektrometre, ktoré umožňujú zistiť radiálnu rýchlosť objektu s presnosťou až $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (ako je napríklad HARPS – *High Accuracy Radial Velocity Planet Searcher* na observatóriu ESO v La Silla v Chile). Veľkou výhodou tejto metódy je to, že „detekcia zmien radiálnej rýchlosti hviezdy nie je priamo závislá od **vzdialenosti** hviezdy“, ale na druhej strane platí, že „amplitúda zmien nie je daná len pomerom hmotnosti hviezdy a planéty, ale tiež sklonom obežnej roviny planetárnej dráhy k zornému lúču“ (alebo uhlu), v dôsledku čoho sú zmeny radiálnej rýchlosti maximálne vtedy, keď leží zorný lúč v rovine obehu, zatiaľ čo vtedy, keď je „obežná rovina planéty na tento lúč kolmá, zmeny radiálnej rýchlosti hviezdy nepozorujeme“. Pokiaľ teda nepoznáme sklon obežnej dráhy planéty, musíme sa často spoľahnúť **len na dolné odhady hmotnosti planéty** (ktorá môže byť vždy vyššia, ako sme namerali), pričom v niektorých prípadoch už nemusí ísť o planétu, ale o hnedého trpaslíka, aj keď „zo štatistiky doteraz objavených exoplanét vyplýva, že len necelých 15% všetkých telies má hmotnosť väčšiu než $5 M_J$ (M_J – hmotnosť Jupitera), takže riziko, že pozorujeme hnedé trpaslíky namiesto exoplanét, je celkom malé“. Ak spektrometrickú metódu zároveň doplníme zákrytovou metódou, môžeme určiť hmotnosť exoplanéty s relatívne veľkou presnosťou. V praxi však kvôli **veľkému pomeru signál/šum** môžeme spektrometrickú metódu úspešne využívať **len pri dostatočne jasných a blízkyh hviezdach**, „vzdialených od nás nanajviš 150 až 200 svetelných rokov“. Okrem toho, aj v tomto prípade nastupuje silný **pozorovací výberový efekt**, pretože najviac „rozhybu“ materskú hviezdu relatívne hmotné exoplanéty, „ktoré sa pohybujú v nevelkej vzdialenosti od centrálnej hviezdy. Aj preto nás neprekvapí, že spektroskopicky bola doteraz „objavená drvivá väčšina exoplanét (asi 95 %)“.

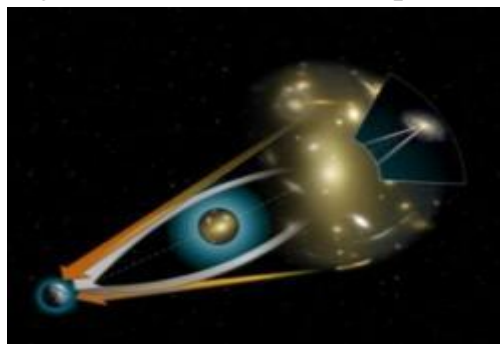


3. Sledovanie zákrytu hviezd planétou: Túto detekčnú a pozorovaciu metódu využívame vtedy, keď je „obežná rovina planéty natoľko vhodne orientovaná v priestore, že sa niekedy planéta dostane medzi svoju materskú hviezdu a pozorovateľa na Zemi, zakryje časť povrchu hviezd“ (resp. prejde popred disk hviezd), v dôsledku čoho „dôjde k poklesu jasnosti hviezd“. Veľmi dôležité pritom je, že „svetelná krivka (závislosť jasnosti na čase) má charakteristický tvar, z ktorého možno odvodiť veľkosť hviezd i planéty“ a „ak je navyše táto metóda kombinovaná tiež so spektroskopickým zisťovaním zmien radiálnych rýchlostí centrálnej hviezd, môžeme zistiť **hmotnosť planéty** a jej **strednú hustotu**“. Na základe týchto informácií môžeme potom vypracúvať **teórie o stavbe a pôvode týchto hviezdnych a planetárnych telies**. To ale nie je zďaleka všetko, pretože s pomocou tejto (a ďalších) metód môžeme zistiť aj **teplotu planéty** a dokonca aj **náznaky štruktúry oblačnosti**, a to aj pri oveľa menších ako joviálnych planétach, pri planétach len 2-3-krát väčších ako Zem, tzv. Superzemiach. Ďalšou veľkou výhodou uvedenej metódy je aj to, že pri kvalitnom fotometrickom zariadení môžeme dosiahnuť skvelé výsledky **už so stredne veľkými ďalekohľadmi**. Ešte úžasnejšie je, že pri dostatočne dlhej sérii pozorovaní môžeme pomocou zákrytovej metódy objaviť aj satelity (mesiace) planét. Bohužiaľ, stále však platí, že v rámci nej môžeme sledovať „len planéty s dráhami ležiacimi takmer presne v smere zorného lúča“, čo je silný pozorovací výberový efekt, ktorý neodstránime „ani pozorovaním mimo Zeme“, napríklad pomocou vesmírnych sond, pretože ani tie „sa nemôžu vzdialiť od Zeme natoľko (v porovnaní so vzdialenosťami hviezd), aby to hralo nejakú úlohu“. Treba tiež „počítať s tým, že poklesy jasnosti centrálnej hviezd sú nepatrné (percento aj menšie)“, a tak sa musíme oprieť aj o ďalšie metódy, resp. informácie.



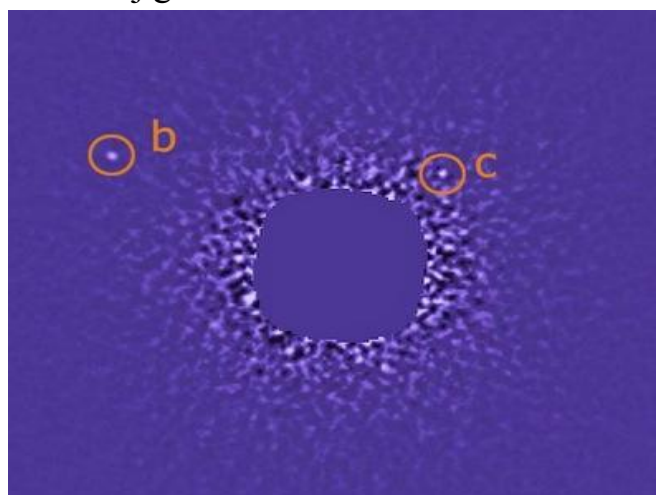


4. Gravitačné mikrošošovky: Ako uvádza Z. Pokorný, samotné gravitačné šošovkovanie nastáva vtedy, „keď gravitačné pole nejakej hviezdy zastáva funkciu optickej šošovky a zosilňuje svetlo vzdialenej hviezdy nachádzajúcej sa presne v tom istom smere od nás“, k čomu teda môže dôjsť len vtedy, keď sú obe hviezdy v takmer dokonalom zákryte. Dôležitejšie však je, že aj keď takýto jav trvá len niekoľko dní až týždňov, predsa len dokážeme pri väčšom množstve pozorovaní spozorovať planéty, ktoré pri bližšej hviezde ovplyvnia výrazne smer svetelných lúčov. Musí však dôjsť k veľmi presnému zákrytu, čo je dosť zriedkavý jav, a tak musíme jeho pravdepodobnosť zvyšovať nielen dlhodobým sledovaním veľkého množstva hviezd, ale aj pozorovaním najmä tých hviezd, „ktoré sa nachádzajú medzi Zemou a stredom našej galaxie“, pretože tam je „najväčšia hustota hviezd v pozadí, ktorých svetlo môže gravitačná šošovka zosilniť“. Veľkou výhodou tejto metódy je to, že pri nej môžeme spozorovať aj planéty vzdialené od nás **niekoľko tisíc svetelných rokov**, a to aj terestrické planéty, a určiť tak aspoň provizórne, **aké časté sú asi v našej galaxii Zemi podobné, resp. terestrické planéty**. Najväčšou nevýhodou tejto metódy je práve jej špecifickosť, pretože „konkrétny prípad zosilnenia žiarenia gravitačnou šošovkou sa nikdy neopakuje“. Napriek tomu boli v roku 2007 pomocou tejto metódy objavené už 4 exoplanéty a z nich jedna terestrická obiehajúca okolo červeného trpaslíka (Beaulieu et al., 2006).





5. Snímky prachových diskov a samotných planét: Ako zdôrazňuje Z. Pokorný, všetky doteraz predstavené detekčné a pozorovacie metódy boli nepriame a aj keď sa na ich vierohodnosť môžeme takmer úplne spoľahnúť, predsa len by sme privítali aj priame dôkazy najmä s ohľadom na mienku laickej verejnosti, ktorá by určite privítala ako priamy dôkaz **snímku planéty v blízkosti svojej materskej (centrálnej) hviezdy**. Zatiaľ máme k dispozícii veľmi kvalitné snímky viacerých prachových diskov v našej galaxii, v ktorých sa očividne formujú planéty, no a popri nich (v roku 2007) aj 4 exoplanéty objavené priamym snímkovaním vrátane planéty, ktorá je sprievodcom hnedého trpaslíka 2M 1027 b. Podstatné však je, že o existencii miliónov či miliárd exoplanét v našej galaxii už dnes astronómovia dávno nepochybujú.



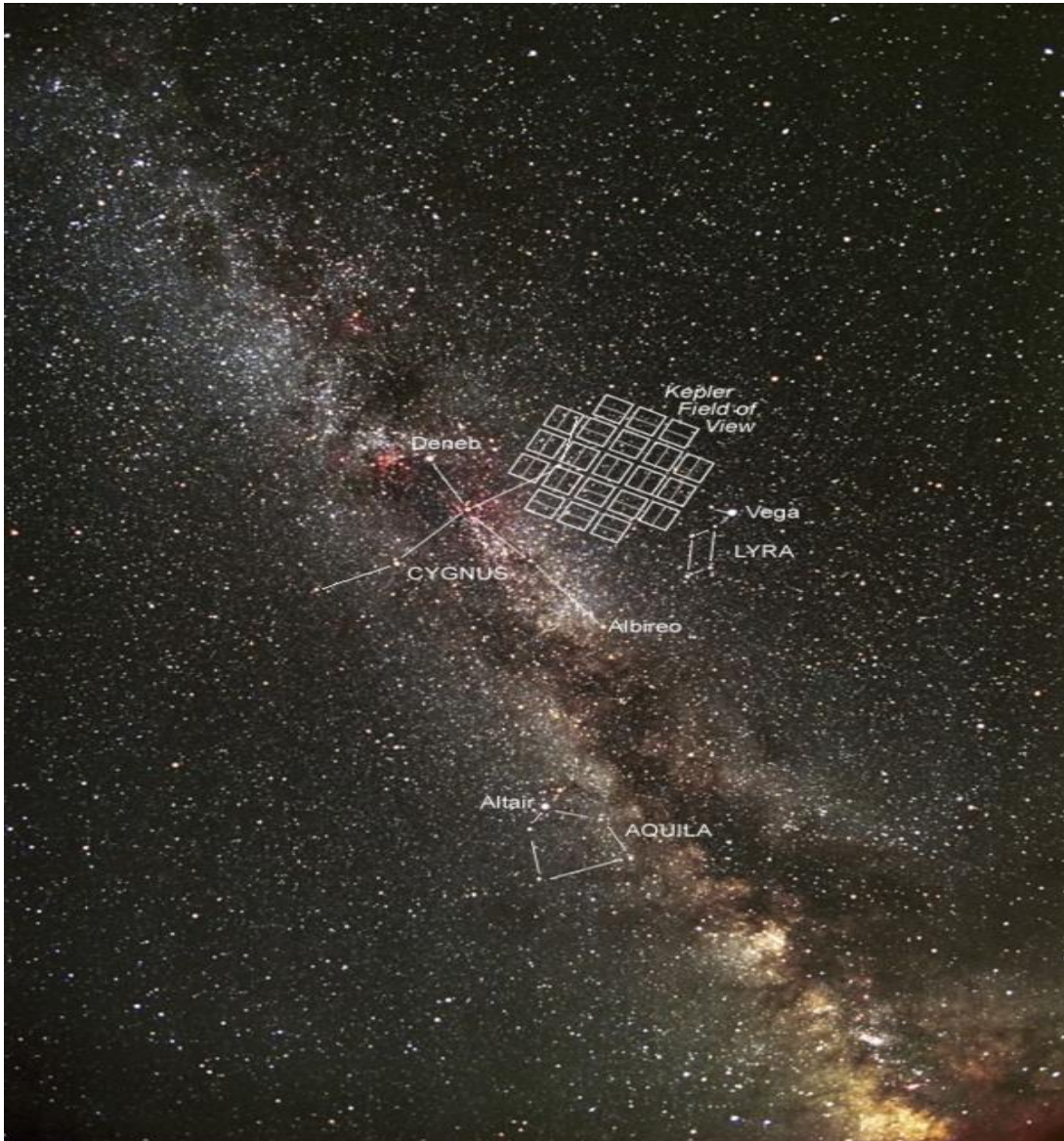
Objavný snímok ďalekohľadu Gemini ukazuje dve z troch potvrdených exoplanét. Kvôli veľkej jasnosti hviezdy bolo jej svetlo zatienené. Ako zdroj výskumu planetárnych atmosfér si vedci zobrali za cieľ planétu HR 8799c.

6. Ďalekohľady, ktoré raz zmenia náš pohľad na vesmír i človeka:

Inštalovanie týchto ďalekohľadov vo vesmíre je súčasťou výskumných projektov, ktoré majú objavovať a skúmať vlastnosti exoplanét. Niektoré z týchto projektov sa už realizujú, ďalšie sú pred spustením, zatiaľ čo iné sa zrejme rozbehnú až o desať-dvadsať rokov. V čase, keď pán Pokorný písal svoju knihu (v roku 2007), sa všetky tieto projekty ešte len pripravovali, preto musím jeho informácie doplniť aktuálnym stavom ich realizácie. Na prvom mieste treba spomenúť už niekoľko rokov sa realizujúci **projekt Kepler**, v rámci ktorého bola 7. marca 2009 vypustená družica s rovnomenným názvom (označovaná aj ako Discovery 10), nesúca fotometer s CCD prvkami, ktorý by mal, ako uvádza Wikipédia, na základe zmien intenzity žiarenia materských hviezd počas prechodu planéty popred disk hviezdy detegovať tieto planéty. Vo vybranej oblasti blízko galaktickej roviny by tak malo byť až do ukončenia projektu preskúmaných asi 100 000 „najpodozrivejších“ či najzaujímavejších hviezd. Hlavnou úlohou Keplera, ako uvádza Z. Pokorný, je totiž zistiť, „koľko percent terestrických a obrých planét sa nachádza v obývatelných zónach v rámci veľkého súboru hviezd“, ďalej určiť, „ako sú rozdelené veľkosti a výstrednosti planetárnych dráh týchto telies“, zistiť, „koľko planét sa nachádza v dvojhviezdnych a viacnásobných hviezdnych sústavách“, zistiť „vlastnosti hviezd, okolo ktorých obiehajú exoplanéty“, a nakoniec pri horúcich Jupiteroch zistiť „tvary a veľkosti ich obežných dráh a tiež veľkosti, hmotnosti, hustotu a odrážavé schopnosti vlastných planét“.

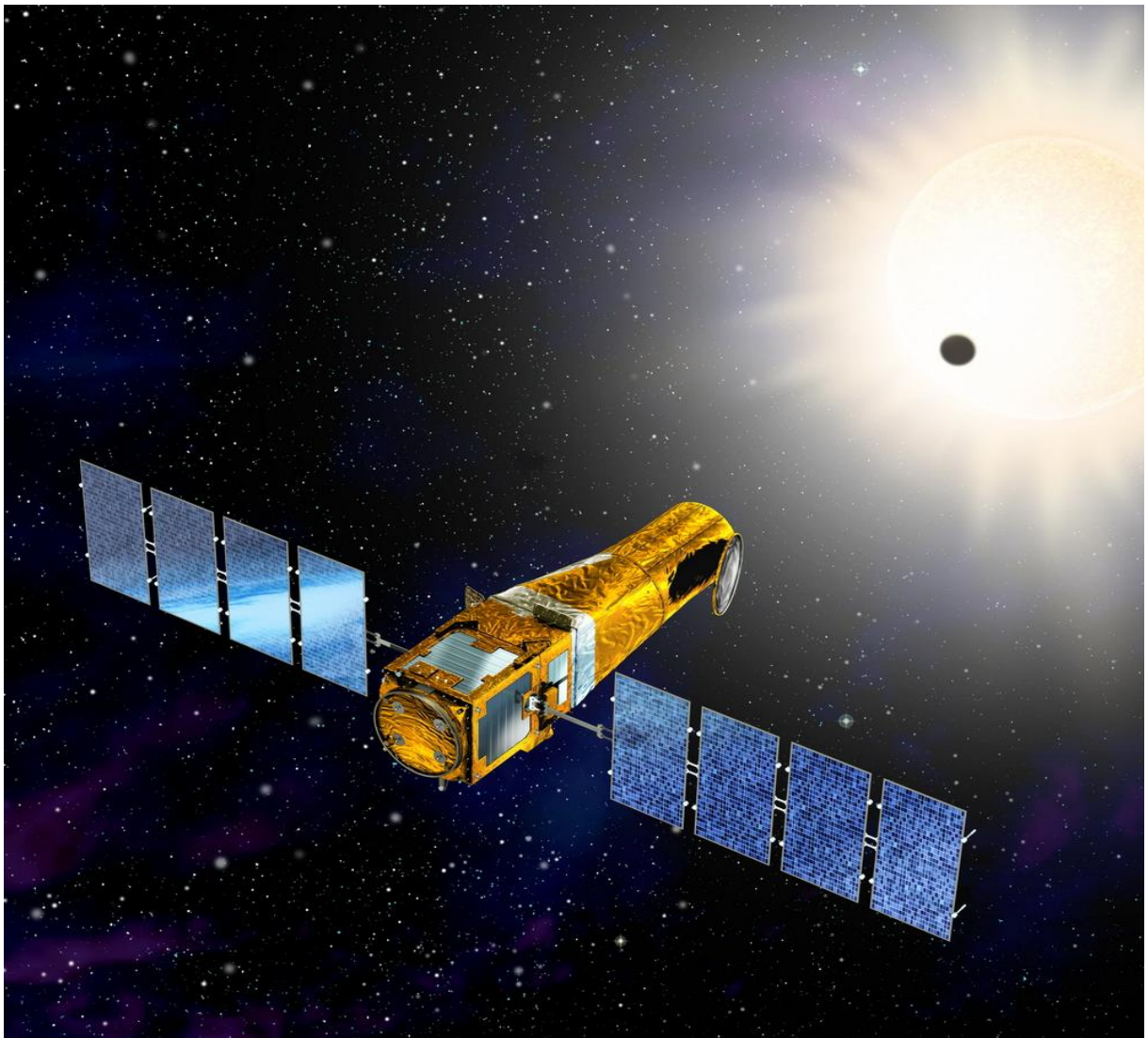


Celý projekt je pritom veľmi dôkladne premyslený, ako je zrejmé aj z toho, že na jeho začiatku bola družica o váhe 1039 kg navedená na heliocentrickú obežnú dráhu s obežnou dobou 372,5 dňa, pričom postupne sa od Zeme vzdďaľuje, a to až na vzdialenosť 0,5 AU (v najhoršom prípade), aby mohol jej ďalekohľad nerušene sledovať čo najväčšie množstvo zaujímavých hviezd mimo roviny ekliptiky, čomu občas bráni prítomnosť jasných objektov, ako sú Mesiac alebo Slnko, pričom sleduje oblasti s vysokou plošnou hustotou hviezd – **konkrétne lokalitu medzi hviezdami b a g v súhvezdí Labute.**

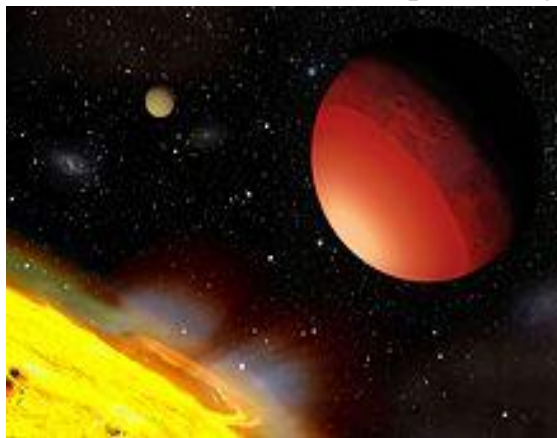


Pokiaľ ide o technické parametre samotného ďalekohľadu, podľa Pokorného ide o **ďalekohľad typu Schmidt** (s korekčnou šošovkou), ktorý umožňuje sledovať relatívne veľké zorné pole 105 štvorcových stupňov, pričom hlavné zrkadlo má priemer 1,4 m a korekčná šošovka 0,95 m. Zo 42 čipov, z ktorých každý je veľký 50 x 25 mm a obsahuje 2200 x 1024 pixlov, sa náboj sníma

„každé tri sekundy, aby sa čipy nezahltili, pričom celková integračná doba jedného merania“ dosahuje 15 minút. Namerané údaje sa prechodne ukladajú v pamäti palubného počítača a na Zem sa posielajú jedenkrát týždenne. O samotných výsledkoch pozorovania by už dnes bolo možné napísať celú knihu, ako je zrejmé napríklad z prehľadnej tabuľky, ktorú uvádza NASA na stránke venovanej projektu Kepler. Sú na nej doslova desiatky mimoriadne zaujímavých planét s veľkosťou od 18 Jupiterov až po veľkosť 1,8 Zeme, čo sú planéty, kde sa už celkom reálne dá uvažovať o existencii života, najmä ak sa tieto planéty nachádzajú v tzv. obývateľnej zóne svojej materskej hviezdy. Z priestorových dôvodov však musím čitateľa odkázať na domovskú stránku projektu Kepler, kde je možné nájsť aj ďalšie veľmi zaujímavé informácie. Ďalším projektom, ktorý sa skutočne realizoval, je **projekt Corot** Európskej vesmírnej agentúry, ktorý sa takisto zákrytovou metódou zameriaval na objavovanie exoplanét v relatívne nevelkej vzdialenosti od Slna.



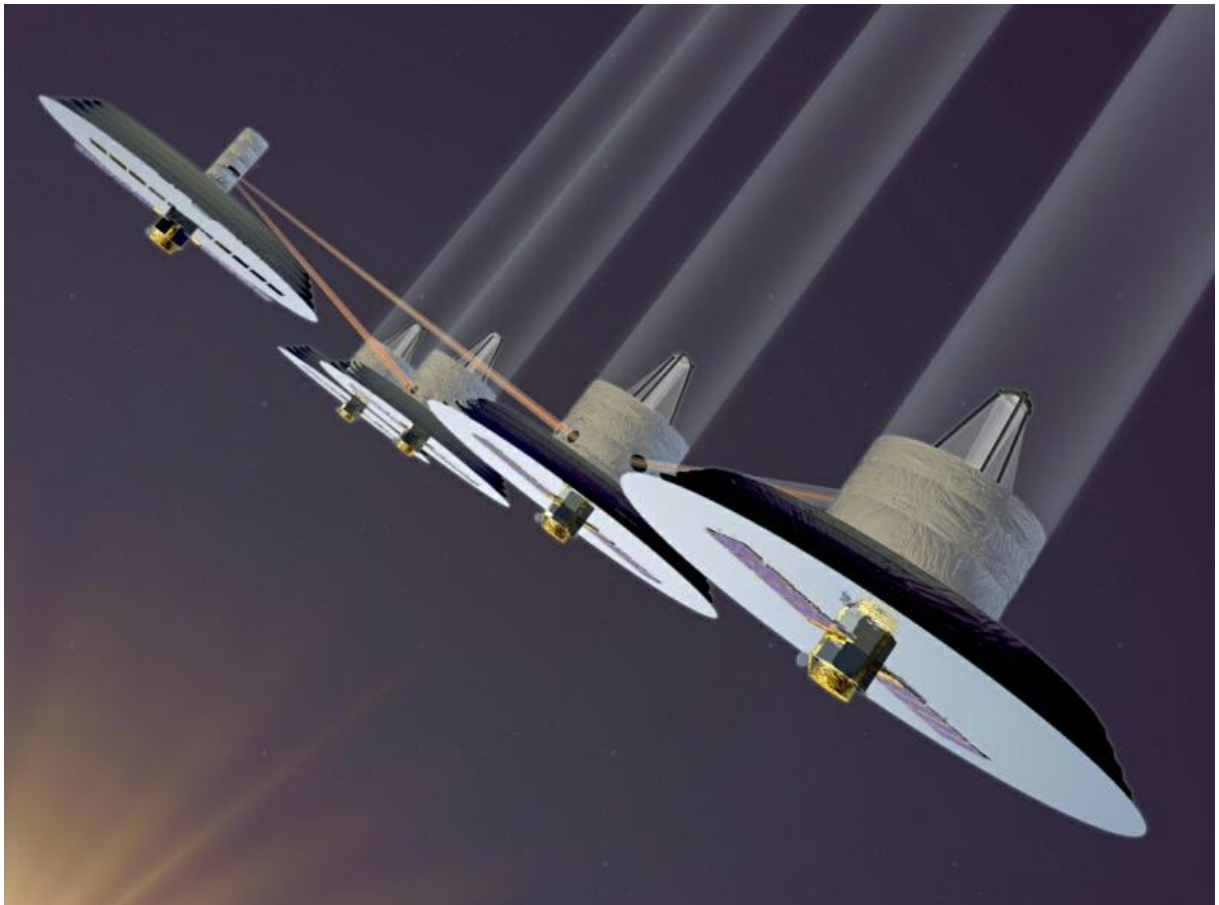
Informácie o projekte Corot (COnvection, ROtation and planetary Transists) som čerpal najmä z internetovej prednášky Š. Parimuchu, podľa ktorého bola družica Corot vypustená z Bajkonuru 27. decembra 2006 a pohybovala sa na polárnej obežnej dráhe okolo Zeme vo výške 896 km, pričom jej úlohou malo byť najmä pozorovanie a meranie hviezdnych zemetrasení a súčasne aj hľadanie exoplanét metódou ich prechodu cez hviezdy disk (rovnako ako tomu je pri Keplerovi). Samotná družica pozorovala kontinuálne dve oblasti na oblohe, každú približne pol roka, a to vo Vodnárovi a v Kozorožcovi. Pokiaľ ide o samotný ďalekohľad na jej palube, ten síce pozostáva len z malej pupily o priemere 27 cm, ale primárne oválne zrkadlo má ohniskovú dĺžku 1,2 m, zorné pole $2,7^\circ \times 3^\circ$, čo v spojení so 4 CCD kamerami s 2048 x 2048 pixlami, umožňuje nielen dvomi kanálmi sledovať hviezdne zemetrasenia a dvomi exoplanétami, ale ponúka aj veľmi slušný výkon, a tak nečudo, že aj po zlyhaní jedného z kanálov a teda aj 2 CCD kamier ponúkol Corot ešte pred Keplerom, ako hovorí J. Grygar, doslova „žatvu objavov“. V roku 2009 tak bola napríklad objavená terestrická planéta Corot-7b, ktorá síce obieha tesne okolo materskej hviezdy, ale svojím priemerom 1,7 Zeme a hmotnosťou 4,8 Zeme sa naozaj oveľa viac približuje našej planéte ako zatiaľ oveľa častejšie objavované joviálne exoplanéty. Anglická verzia Wikipédia okrem toho uvádza v prehľadnej tabuľke ďalších asi 30 exoplanét objavených Corotom.



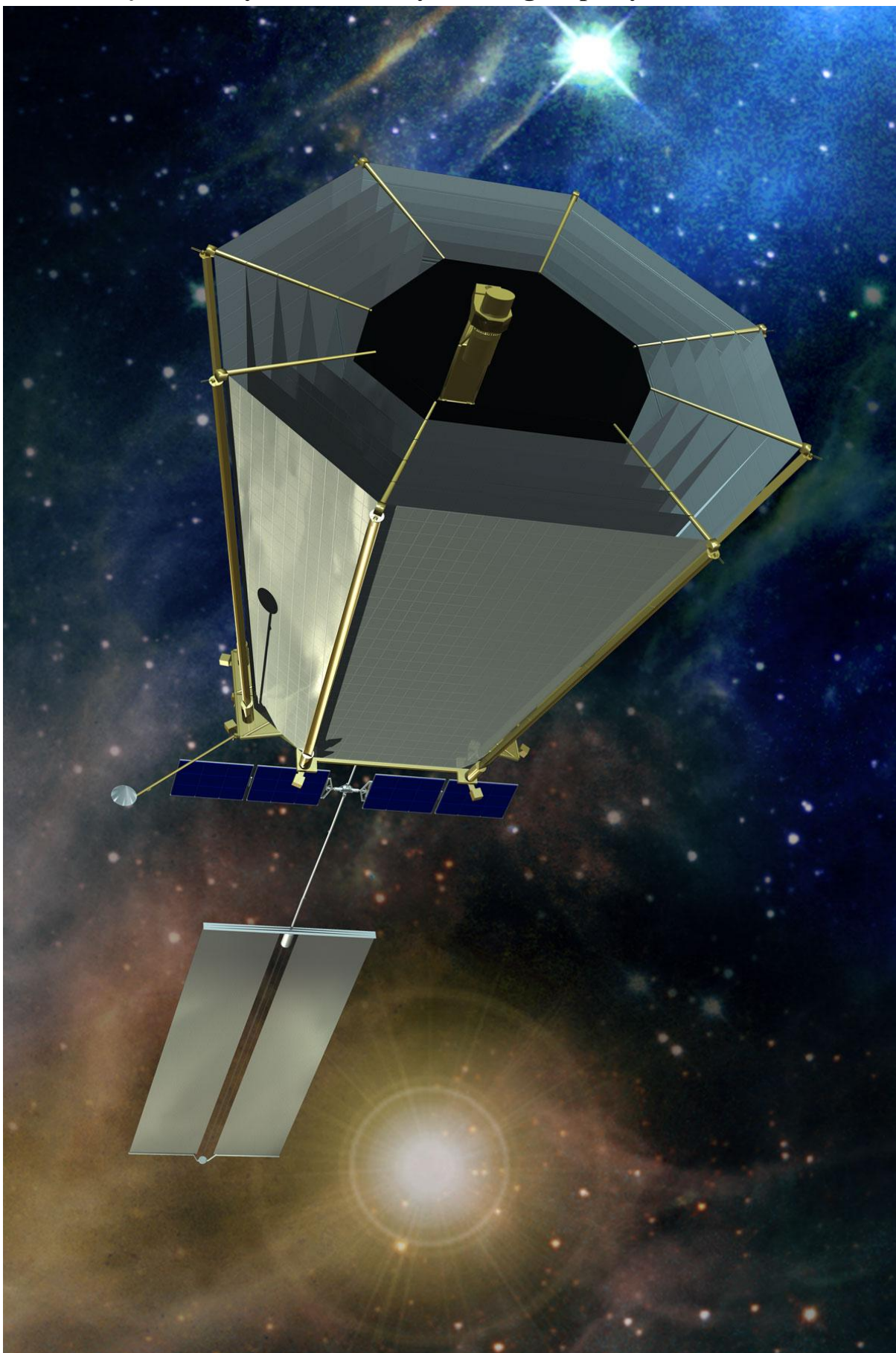
Umelcova predstava planéty Corot-7b, prvej kamennej Superzeme, ktorá bola pozemšťanmi objavená, zachytávajúca oceán lávy, ktorý musí existovať na hemisfére privrátenej k materskej hviezde

Z. Pokorný (2007) vo svojej knihe spomína aj viaceré ďalších pozorovacích projektov, ktoré by mohli (alebo mali) podstatne rozšíriť a prehĺbiť naše poznatky o extrasolárnych planétach, ale treba povedať, že ich realizácia je a bude sprevádzaná s extrémnymi technickými problémami či nárokmi.

Veľmi nádejný projekt SIM PlanetQuest bol napríklad definitívne zrušený v roku 2010, aj keď sľuboval pomocou optického interferometra o základni 9 m (a ďalších dvoch navádzacích interferometrov so základňami o dĺžke 7,2 metra) priniesť množstvo poznatkov najmä o terestrických exoplanétach pri blízkyh, Slnku podobných hviezdach a červených trpaslíkoch. Ešte viac vzdialené praktickej realizácii sú projekty TPF (Terrestrial Planet Finder) a Darwin, kedy sa pri TPF počíta s vypustením „dvoch oddelených, ale navzájom sa podporujúcich observatórií: prvé bude tvoriť koronograf pracujúci vo viditeľnom svetel, druhé zase interferometer s dlhou základňou, ktorý bude pozorovať objekty v infračervenej časti spektra“. Koronograf, označovaný ako TPF-C, „je konštruovaný ako ďalekohľad typu Cassegrain s eliptickým primárnym zrkadlom 8 x 3,5 m. Efektívna ohnisková vzdialenosť dosiahne 146 m, zorné pole bude mať veľkosť 3,6 uhlovej sekundy. Svetlo centrálnej hviezdy bude potlačené natoľko, aby bolo možné sledovať prípadné terestrické planéty pri asi 150 blízkyh hviezdach. Toto observatórium o celkových rozmeroch 16 x 37 m (po rozvinutá na obežnej dráhe) a hmotnosti 6200 kg bude umiestnené do tzv. libračného Lagrangeovho centra L_2 “, pričom „so štartom tohto projektu sa počíta niekedy pred rokom 2020“, pokiaľ americký kongres uvoľní potrebné peniaze, čo sa nezdá byť pravdepodobné.



A takto by mohol vyzerat' samotný koronograf po vynesení do vesmíru



Ešte ambicióznejší je projekt Európskej vesmírnej agentúry s príznačným názvom Darwin, v rámci ktorého by koncom tohto desaťročia mali štyri veľké vesmírne ďalekohľady (každý s priemerom zrkadla najmenej 3 m), pracujúce spoločne ako jeden obrovský interferometer, sledovať blízke okolie Slnka „a pátrať po stopách života na terestrických exoplanétach“. Pozorovania však budú realizované najmä v infračervenej časti spektra, pretože je vhodnejšie na pozorovanie ako viditeľné spektrum a navyše biologické aktivity sprevádzané vylučovaním plynov, ako sú kyslík, oxid uhličitý alebo metán, sa najlepšie pozorujú práve v infračervenom svetle. Ešte úžasnejšie je, že v rámci tohto projektu sa budú exoplanéty **skúmať priamo**, pretože jedným z cieľov projektu je zaobstarávanie priamych snímok exoplanét. Celý systém bude pozostávať zo 6 satelitov, z ktorých 4 „ponesú na palube ďalekohľady typu Cassegrain“ a dva budú zase slúžiť „ako moduly na napájanie prístrojov a komunikáciu“. Budú umiestnené vo vzdialenosti asi 1,5 milióna km od Zeme v opačnom smere ako je Slnko, a to do libračného centra L_2 , tak ako je tomu aj pri projekte TPF. Vzájomné vzdialenosti medzi prístrojmi sa budú v ich voľnej formácii udržiavať s presnosťou niekoľko centimetrov, ale ich presné vzdialenosti budú známe s úžasnou presnosťou asi 20 nanometrov. Nie je vylúčené, že obidve najväčšie svetové vesmírne agentúry nakoniec spoja svoje úsilie a pripravia spoločnú alebo koordinovanú misiu Darwin/TPF.



Kontrolné otázky:

1. Ako sa nazýva hviezda, pri ktorej sa astrometrickou metódou pomocou Hubblovho ďalekohľadu podarilo objaviť exoplanétu a odvodiť jej hmotnosť relatívnu chybou asi 20 percent?
2. Čo je najväčšou prednosťou astrometrickej metódy?
3. Aké zmeny sa merajú pri meraní radiálnej rýchlosti hviezdy?
4. Do akej vzdialenosti môžeme relatívne spoľahlivo detegovať planéty pomocou meraní radiálnej rýchlosti hviezdy?
5. K čomu dôjde pri zákryte hviezdy planétou, resp. pri prechode planéty cez hviezdny disk?
6. Uveď hlavné výhody alebo najväčšie prednosti zákrytovej metódy!
7. Ako fungujú gravitačné mikrošošovky?
8. Čo je najväčšou výhodou pozorovania pomocou gravitačných mikrošošoviek?
9. Ktorá metóda prináša najpresvedčivejšie dôkazy o existencii exoplanét, vrátane terestrických exoplanét?
10. Uveď najznámejšie realizované alebo plánované pozorovacie projekty zamerané na objavovanie a klasifikovanie exoplanét!
11. Čo je hlavnou úlohou stanovenou v rámci projektu Kepler?
12. Koľko kg váži družica Kepler a na akú vzdialenosť sa asi od Zeme nakoniec dostane?
13. Aký typ ďalekohľadu je na palube družice Kepler?
14. Aký má priemer jeho hlavné zrkadlo a aká jeho korekčná šošovka?
15. Ako sa nazýva projekt Európskej vesmírnej agentúry zameraný na hľadanie exoplanét v blízkosti Slnecnej sústavy?
16. Kedy bola z kozmodromu Bajkonur vypustená družica projektu Corot?
17. Ako sa nazýva najslávnejšia exoplanéta, ktorú sa pomocou Corota podarilo objaviť a aká bola jej veľkosť v pomere k Zemi?
18. Ako sa nazýva nedávno zrušený projekt NASA, v rámci ktorého sa mali takisto detegovať a objavovať exoplanéty a terestrické planéty?
19. Ako sa nazýva najambicióznejší projekt NASA zameraný na hľadanie terestrických exoplanét a akého typu ďalekohľad bude pri ňom používaný?
20. Koľko ďalekohľadov bude pracovať v rámci projektu Darwin?