

# EXOPLANÉTY III. – OBÝVATEĽNÉ PLANETÁRNE SÚSTAVY (ALEBO SVETY)

**1. Niekoľko všeobecných poznámok:** V rámci prebiehajúcej diskusie o celkovom počte obývatel'ných planetárnych sústav alebo svetov sa postupne vykryštalizovali tri hlavné stanoviská. **V prvom prípade** sa jednoducho tvrdí, že naša planetárna sústava **je jediná**, v ktorej vznikol rozumný život, pretože nikde inde vo vesmíre na to neboli vhodné či všetky vhodné podmienky. **V druhom** sa síce pripúšťa, že rozumný život vzniká **len v niektorých lokalitách** nášho vesmíru, zatiaľ čo **v treťom** sa považuje rozumný život **za veľmi rozšírený**, pretože za možné lokality jeho vzniku alebo výskytu sa považujú aj také miesta, ktoré sa drvivej väčšine bádateľov zdajú byť krajne nepravdepodobné. V tejto časti nášho prednáškového cyklu sa detailne oboznámime so všetkými tromi prístupmi a na záver sa pokúsime zdôvodniť, ktorý z nich je najsprávnejší.

**2. Naša planetárna sústava je jediná obývaná sústava vo vesmíre:** Uvažujú tak napríklad M. Beer, A. King, M. Livio a J. Pringle v ich spoločnej a často diskutovanej štúdií **Aká výnimočná je Slnčaná sústava?** Opätovne v nej konštatujú, že v našej planetárnej sústave sú obežné dráhy veľkých jovial'nych planét takmer kruhové, pričom všetky štyri veľké planéty (Jupiter, Saturn, Urán a Neptún) sa nachádzajú pomerne ďaleko od Slnka. Pripomínajú tiež, že všetky doteraz objavené extrasolárne planéty sú nielen podobne veľké, ale nachádzajú sa aj **oveľa bližšie k materskej hviezde**, okolo ktorej sa mnohé z nich (tie vzdialenejšie) navyše pohybujú **po výrazne eliptických, t. j. silne pretiahnutých obežných dráhach.**

Beer ponúka dve možné vysvetlenia tohto prekvapujúceho javu. Môžeme napríklad rovno pripustiť, že planéty vznikajú viacerými výrazne sa odlišujúcimi spôsobmi a nie len jediným štandardným spôsobom, ako doteraz predpokladali skoro všetci astronómovia. Podľa štandardnej teórie sa aj veľké jovial'ne planéty sformovali okolo kamenného jadra, ktoré svojou väčšou hustotou a hmotnosťou dokázalo k sebe pritiahnúť veľké množstvá protoplanetárneho plynu. Kamenné jadrá, ktoré sa nachádzali blízko materskej hviezdy, však nemohli nazhromaždiť väčšie množstvá plynu, pretože v tejto oblasti bolo príliš horúco, a tak sa z nich neskôr stali terestrické planéty. Alternatívna kozmogonická teória namiesto toho

predpokladá, že veľké jovialne planéty sa formujú priamo pri gravitačnom kolapse protoplanetárneho mračna bez toho, aby sa museli skoncentrovať okolo relatívne veľkého a dostatočne ťažkého kamenného jadra. Lenže v takomto prípade terestrické planéty vôbec nevznikajú.

Nad špecifickosťou Slna sa zamýšľa aj Marco Masi vo svojej štúdií **Dynamické účinky radiálneho galaktického dmutia na Oortovo kometárne mračno pre hviezdy rôznej hmotnosti a v rôznej vzdialenosti od galaktického centra**. Podľa neho nedávno objavené extrasolárne planetárne sústavy sa výrazne odlišujú od našej slnečnej sústavy, čím sa definitívne potvrdzuje, že táto sústava je len jedným špeciálnym produktom značne rôznorodých a rôzne efektívnych planetárnych kozmogonických procesov. Aj naše Slnko je len jednou z mnohých možných (rôzne veľkých, starých, horúcich alebo sfarbených) hviezd, ktorá sa navyše nachádza v optimálnej vzdialenosti od galaktického centra. Primeraná veľkosť našej hviezdy a jej čiastočná efemérnosť tak najviac napomohli tomu, že obývame planetárnu sústavu s neklamnými prejavmi rozumného života.

Masi vychádza zo svojich výpočtov kometárnych dráh ovplyvňovaných jednak gravitačným pôsobením materskej hviezdy, jednak rušivým pôsobením vzdialeného galaktického centra, okolo prechádzajúcich hviezd a molekulárnych mračien, ktoré vyčlúujú kométy z ich stabilných dráh a navádzajú ich na oveľa kratšie alebo čoraz predĺženejšie obežné dráhy smerujúce buď bližšie k centru planetárnej sústavy a tam sa nachádzajúcim terestrickým planétam, alebo von z nej do blízkeho medzihviezdneho priestoru. Ako zdôrazňuje: „Jedným z našich cieľov bolo ukázať, že účinky radiálneho galaktického dmutia samotné, ktoré **nie sú príliš významné v slnečnej vzdialenosti od galaktického centra (~ 8 kpc), sa stávajú závažnými akonáhle sa vzdialenosť znižuje a dostatočne silnými na to, aby naviedli takmer parabolické kométy smerom do vnútra planetárnej sústavy**“ (www.fr.arxiv.org; podč. R. B.).

Masi preto celkom oprávnené konštatuje, že uvedené skutočnosti by mali byť významné aj z astrobiologického hľadiska. V centrálnych oblastiach Galaxie sa napríklad hviezdy pohybujú **tak blízko popri sebe**, že Oortovo kometárne mračno sa pri nich podľa všetkého vôbec nesformuje. Vo vzdialenosti 6 kpc od galaktického centra a menšej je zas celkové pôsobenie radiálneho galaktického dmutia natoľko silné, že výrazne narúša obežné dráhy mnohých komét a často ich núti pohybovať sa smerom k materskej hviezde a okolo rozmiestneným terestrickým planétam. Častejší výskyt

komét vo vnútri planetárnej sústavy by mal byť spojený so zvýšenou pravdepodobnosťou a frekvenciou ich vzájomných zrážok s terestrickými planétami, ktoré môžu **veľmi spomaľovať, ba až úplne znemožňovať ďalší rozvoj vyšších životných foriem.**

Kometárne mračná periférnych planetárnych sústav síce nebudú narúšané radiálnym galaktickým dmutím, ani veľkými molekulárnymi mračnami či okolo prechádzajúcimi hviezdami, ale nebudú môcť ani vyslať k mladým terestrickým planétam prvé životodarné kométy s primordiálnym biologickým materiálom. Len v sústavách, ktoré sa dlhodobo nachádzajú v zhruba rovnakej vzdialenosti od stredu Galaxie ako naša slnečná sústava, tak budú zrážky s kométami (resp. kometárne impakty) natoľko frekventované, že umožnia nielen včasný vznik nám známeho druhu života, ale aj následnú evolúciu jeho rozvinutejších foriem. Masi však zároveň pripúšťa, že v planetárnych sústavách blízko jadra Galaxie môžu byť kometárne impakty také časté, že sa na niektorých alebo všetkých ich planétach utvoria rozsiahle oceány, celé vodné svety umožňujúce tak spontánny vznik života, **ako aj nerušený (čiže vysokým vodným stĺpcom chránený) vývoj jeho pokročilých foriem** ([www.fr.arxiv.org](http://www.fr.arxiv.org)).

Marc Kuchner vo svojej štúdií **Na prchavé látky bohaté ako Zem hmotné planéty v obývateľnej zóne** (anglicky Volatile-Rich Earth-Mass Planets in the Habitable Zone) tiež naznačuje, že naša slnečná sústava by mohla patriť **medzi celkom špecifické a veľmi zriedkavo sa vyskytujúce hviezdno-planetárne sústavy.** Ako prehnane optimistické chápe očakávania spojené s plánovanými exoplanetárnymi pozorovacími projektmi (Kepler, Darwin, Terrestrial Planet Finder atď.), v ktorých sa počíta nielen s priamym pozorovaním extrasolárnych terestrických planét v rôzne veľkých okolohviezdnych obývateľných zónach, ale aj s ich spektrochemickým výskumom, pretože neberú do úvahy možnosť, že v OoZ sa môžu nachádzať aj planéty **navonok** svojou veľkosťou a hmotnosťou Zemi podobné, ale svojím chemickým zložením a pôvodom **výrazne odlišné.** Podľa neho informácie o extrasolárnych planetárnych sústavách a v súčasnosti uznávané kozmogonické teórie nám dovoľujú uvažovať nad planétami, ktoré sa síce nachádzajú v OoZ, ale sú zložené najmä z ľadu a ďalších prchavých látok.

Takéto planéty sa mohli sformovať ďaleko od materskej hviezdy za tzv. snežnou čiarou a odtiaľ sa po interakciách s masívnym okolohviezdny diskom dostať až do OoZ. Zo súčasných modelov prudko sa rozhárajúcich

akrečných diskov (anglicky flared accretion disks) okolo mladých hviezd pritom vyplýva, že uvedená snežná čiara sa pri Slnku podobných hviezdach môže nachádzať vo vzdialenosti 1 AU od materskej hviezdy. Planéty, ktoré sa formujú na hranici snežnej čiary a bližšie k materskej solárnej hviezde tak môžu obsahovať väčšie množstvo neprchavých ťažších chemických prvkov a disponovať dostatočne priezračnou a tepelne priestupnou atmosférou. Mnohé ako Zem hmotné planéty sa však mohli sformovať už za snežnou čiarou, **ale stále ešte v budúcej OOO, a v nej zostať fakticky neporušené celé miliardy rokov** až dovedy, kým ich naivne presvedčení o typickosti našej slnečnej sústavy nebudeme pozorovať.

Tieto na prchavé látky bohaté a prevažne z ľadu zložené planéty si mohli vytvoriť veľmi hustú a tepelne málo priestupnú atmosféru, ktorá dokázala znížiť hydrodynamický únik na minimum. Napriek veľkej blízkosti materskej hviezdy tak mohli zostať miliardy rokov **v podstate rovnako hmotné**, s len čiastočne modifikovaným chemickým inventárom. Kuchner sa preto domnieva, že takéto „zamaskované pseudoterestrické príšery“ sa budú nachádzať najmä pri menších, slabšie žiariacich a hrejúcich hviezdach triedy M, ktorých je v Galaxii najviac, zatiaľ čo pri väčších a silnejšie hrejúcich hviezdach vyšších spektrálnych tried F, G a K ich bude o čosi menej. Ich životnosť bude okrem toho limitovaná rôzne veľkými a frekventovanými kometárnymi a asteroidálnymi impaktmi, ktoré by mali ich pomerne husté atmosféry nielen narušovať, ale v niektorých prípadoch aj celkom odstraňovať. Pokiaľ sa zablúdená planéta tohto typu dokáže vyhnúť veľkým kométam a bude rovnako hmotná ako naša Zem, môže nerušene obiehať svoju materskú solárnu hviezdu už vo vzdialenosti 0,3 AU.

### **3. Obývateľné planéty sa v našom vesmíre vyskytujú celkom bežne, ale len v niektorých jeho lokalitách a v určitom čase:**

Ďalší planétológovia sa stále nazdávajú, že terestrické planetárne sústavy (s menšími terestrickými a väčšími joviálnymi planétami na takmer kruhových obežných dráhach) sú v našej Galaxii úplne bežné. Charles Lineweaver, Daniel Grether a Marton Hidas sa k tomuto názoru prikláňajú vo svojej štúdií **Čo nám môžu povedať exoplanéty o našej slnečnej sústave?** V nej prehľadne usporiadali všetky exoplanéty objavené do konca augusta 2002 v osobitnom parametrickom priestore podľa ich hmotnosti a vzdialenosti od materskej hviezdy a po analýze ich distribúcie konštatovali, že aj keď súčasná pozorovacia technika umožňuje objavovať najmä veľmi hmotné a svoju materskú hviezdu tesne obiehajúce planéty, predsa len **sa väčšina**

**novoobjavených joviálnych planét vyznačuje nižšou hmotnosťou a čoraz dlhšou obežnou dráhou, keďže sa nachádzajú v čoraz väčšej vzdialenosti od materskej hviezdy.** Náš Jupiter by preto mal byť typickou masívnou planétou a naša slnečná sústava len jednou z mnohých terestrických sústav našej životodarnej Galaxie ([www.fr.arxiv.org](http://www.fr.arxiv.org)).

Lineweaver, Grether a Hidas toto stanovisko obhajujú vo svojej ďalšej štúdií nazvanej **Aké bežné sú Zeme? Aké bežné sú Jupitery?** V nej okrem iného uvádzajú, že pri posudzovaní výskytu Jupiteru podobných planét treba vziať do úvahy aj excentricnosť extrasolárnych joviálnych planét, ktorá je zvyčajne oveľa vyššia ako pozorovaná excentricnosť planét našej slnečnej sústavy (rovnajúca sa  $\sim 0,1$ ). Podľa nich častý výskyt akréciou vytvorených (nie náhodne zachytených) mesiacov v našej planetárnej sústave svedčí o tom, že tvorba satelitov je bežným sprievodným javom globálnejších hviezdotočných a kozmogonických procesov, v rámci ktorých sa vlhké kamenné planéty (anglicky wet rocky planets) zdajú byť „prirodzenými úschovňami zostatkového žiaruvzdorného materiálu z veľmi a priemerne kovmi nasýtených okolohviezdnych diskov“ ([www.fr.arxiv.org](http://www.fr.arxiv.org)).

Odvolávajú sa tiež na niektoré výpočty G. W. Wetherilla (1994, 1995), z ktorých vyplýva, že ak má Jupiter včas naštartovať nezadržateľný gravitačný kolaps protoplanetárneho plynoprachového disku a zabrániť tak jeho rýchlemu rozptýleniu, musí disponovať kamenným jadrom s hmotnosťou desiatich Zemi ( $\sim 10 M_{Earth}$ ). Keďže pravdepodobnosť vytvorenia menšieho kamenného jadra (resp. protoplanéty) je podstatne vyššia a Jupiteru podobné planéty sa zdajú byť vo vesmíre bežné, dá sa očakávať, že **kamenné terestrické planéty sú v ňom ešte bežnejšie.** Lineweaver a spol. však následne upozorňujú, že pojem „Zemi podobná planéta“ je zatiaľ príliš vágny. Pokiaľ doň zahrnieme **len Zemi veľmi podobné planéty**, môže dôjsť k tomu, že sa ich celkový počet nakoniec ukáže byť mimoriadne nízky. Definovať **sociogénne planéty** preto budeme môcť až vtedy, keď dokážeme odlíšiť detaily súvisiace so vznikom a stálym udržaním života od detailov iba modifikujúcich jeho ďalší vývoj ([www.fr.arxiv.org](http://www.fr.arxiv.org)).

V spoločnej práci Geoffreya Marcyho, Paula Butlera, Debry Fischerovej a Stevena Vogta Vlastnosti extrasolárnych planét sa nachádzajú ešte závažnejšie argumenty v prospech hypotézy o bežnom výskyte terestrických planetárnych sústav v okolitom vesmíre. Aj títo autori uvádzajú, že **väčšina novoobjavených planét sa svojou hmotnosťou približuje Jupiteru (sú**

**Ľahšie ako  $2 M_J$ ), pričom celkový počet pozorovaných planét klesá tak prudko a dramaticky od hmotnosti  $1 M_J$  k  $8 M_J$ , že to umožňuje stanoviť maximálnu možnú hmotnosť extrasolárnej planéty, rovnajúcu sa približne  $13 M_J$ , po prekročení ktorej sa už planéta mení na hviezdu, pretože sa v nej začína spaľovať deutérium. Veľmi hmotné planéty (ťažšie ako  $4,1 M_J$ ) ešte neboli pozorované vo vzdialenosti menšej ako  $0,3 \text{ AU}$ , len niekoľko sa ich nachádza do vzdialenosti  $1 \text{ AU}$ ; zo všetkých extrasolárnych planét obiehajúcich materskú hviezdu vo vzdialenosti väčšej ako  $1 \text{ AU}$  **je však až 1/3 hmotnejších ako  $4 M_J$ .****

To naznačuje, že takéto planéty ( $> 4 M_J$ ) buď len výnimočne migrujú do vzdialenosti menšej ako  $1 \text{ AU}$  od materskej hviezdy, alebo pokračujú vo svojom putovaní do centra planetárnej sústavy až dovedy, kým ňou nie sú definitívne pohltené. Planéty, ktoré obiehajú materskú hviezdu vo vzdialenosti  $0,06 \text{ AU}$  a menšej, sa pohybujú po kruhových obežných dráhach v dôsledku periodického pôsobenia jej slapových síl, zatiaľ čo vzdialenejšie planéty sa pohybujú po excentrických obežných dráhach **s hodnotami rovnomerne rozloženými medzi  $e = 0,0$  a  $e = 0,7$ .** Pôvod týchto vlastností je stále nejasný. Podľa Marcyho a spol. je častejší výskyt masívnych planét na vzdialených obežných dráhach v súlade s tými kozmogonickými modelmi, ktoré „sa dovolávajú orbitálnej migrácie a súčasného čistenia plynového disku, aby vysvetlili konečné pozície obrých planét“ (www.obspm.fr; pozri aj P. J. Armitage a spol., 2002, MNRAS, 334, 248 a D. Trilling a spol., 2002, A&A, 394, 241).

Pokiaľ je tento migračno-čistiaci proces dostatočne účinný a rýchly, extrasolárne planéty nachádzajúce sa vo vzdialenosti  $5 \text{ AU}$  a väčšej môžu zostať na svojich takmer kruhových obežných dráhach a obiehať materskú hviezdu nerušene miliardy rokov bez toho, aby sa niekedy museli vydať do centrálnych oblastí planetárnej sústavy. V uvedenej vzdialenosti sa tak môže nachádzať veľký počet primerane hmotných ( $\geq 1 M_J$ ) a optimálne umiestnených joviálnych planét. Excentricnosť obežných dráh extrasolárnych planét zas môže súvisieť s gravitačnými interakciami medzi planétami, s gravitačným pôsobením hviezd vo viacnásobných hviezdnych systémoch, so zložitými procesmi v postupne sa čistiacich protoplanetárnych diskoch a pod. Ako v závere konštatujú naši autori, počas nasledujúcich 10 rokov sa ukáže, či v našej Galaxii skutočne prevažujú planetárne sústavy s veľkými joviálnymi planétami na vzdialených a kruhových obežných

dráhach. V tejto chvíli sa zdá, že doteraz nepozorované terestrické planetárne sústavy **sa v nej vyskytujú v najväčšom počte.**

Postupne pribúdajú planétológovia, ktorí sa tiež nazdávajú, že takéto planetárne sústavy sú v našej Galaxii bežné, ale len v určitom časopriestorovom intervale. Opäť tu môžeme uviesť Charlesa Lineweavera, ktorý nedávno spolu s Yesheom Fennerom a Bradom Gibsonom uverejnil dôležitú štúdiu **Galaktická obývatel'ná zóna a časová distribúcia komplexného života v Mliečnej ceste.** V nej sa pokúsili vysledovať rozmiestnenie štyroch základných predpokladov komplexného života – **pohostinnej hviezdy, primeraného množstva ťažších chemických prvkov pre vznik terestrických planét, dostatku času na rozvinutie biologických evolučných procesov a prostredia oslobodeného od sterilizujúcich supernov** – v časopriestorovom kontinuu našej Galaxie, aby nakoniec došli k vcelku očakávateľnému záveru, že GOZ je tvorená prstencom nachádzajúcim sa vo vzdialenosti 7 až 9 kiloparsekov od centra Galaxie, ktorý sa v určitom, presne vymedzenom čase postupne rozširuje a je zložený zo Slnku podobných hviezd, ktoré začali vznikať pred 8 až 4 miliardami rokov.

Neobývatel'né by preto mali byť nielen centrálné oblasti našej Galaxie (kvôli často vybuchujúcim supernovám a silnému žiareniu z mnohých husto na seba natlačených i silne interagujúcich hviezd), ale aj galaktické halo, ktorého hviezdy by mali trpieť nedostatkom ťažších chemických prvkov, pretože miestne zásoby hviezdotočného plynu sa spotrebovali už počas prvej miliardy rokov jej existencie. Podľa Lineweavera, Fennera a Gibsona by však mali byť dlhodobo neobývatel'né aj tie planetárne sústavy, ktoré sú primerane vzdialené od centra Galaxie, nachádzajú sa v jej aktívnom tenšom disku, ale celkové množstvo ťažších chemických prvkov je v nich už také veľké, že sa v nich tvoria len veľmi hmotné a pre život nevhodné planéty. Ak teda pripustíme, že pre vznik komplexného života sú potrebné všetky štyri jeho základné predpoklady, potom môžeme vymedziť GOZ **ako špeciálnu historickú fyzikálno-chemickú časť našej neprestajne sa vyvíjajúcej Galaxie, v ktorej je až 75 percent život generujúcich hviezd starších ako naše pomerne mladé Slnko.**

Pokiaľ sa ale zameriame na celkový výskyt (resp. celkovú rozšírenosť) života v našej Galaxii, hranice GOZ sa budú musieť smerom k súčasnosti značne posunúť a výrazne zmeniť, pretože sa jej súčasťou stanú aj mladšie planetárne sústavy, v ktorých hypotetické mimozemské organizmy kvôli

chýbajúcemu času na rozvinutie biologických evolučných procesov ešte len začínajú vznikajú, alebo sa nachádzajú v počiatočných štádiách svojho vývoja. V takto upravenej GOZ už bude Slnko patriť medzi staršie hviezdy, pretože len 30 percent život generujúcich hviezd tu bude starších ako 4,6 miliardy rokov. Lineweaver s Fennerom a Gibsonom pritom uznávajú, že pri vymedzovaní obidvoch GOZ vychádzali z podmienok v našej slnečnej sústave; no i tak dokázali zohľadniť aj objektívnejšie evolučné činitele – metalickosť extrasolárnych planét, distribúciu supernov a metalický vývoj Galaxie. Ich štyri základné predpoklady pre vznik komplexného života preto musia byť platné bez ohľadu na to, či sú komplexné živé systémy v Galaxii vzácne alebo naopak veľmi rozšírené ([www.fr.arxiv.org](http://www.fr.arxiv.org)).

O časovo ohraničenej a priestorovo vymedzenej existencii terestrických planetárnych sústav rovnako fundovane a vecne uvažuje aj Hans Zinnecker vo svojej štúdi **Pravdepodobnosť existencie Zemi podobných planét a života okolo na kovy chudobných hviezd** (anglicky Chances for earth-like planets and life around metal-poor stars). Podľa Zinneckera terestrické planéty vznikajú len okolo hviezd, ktorých metalicita (obsah ťažších chemických prvkov) dosahuje **aspoň 1/2 slnečnej metalicity**. Ak sa novovznikajúca hviezdno-planetárna sústava vyznačuje nižšou metalicitou, v jej centrálnych oblastiach budú vznikajú len veľmi malé kamenné planéty a asteroidy. Na týchto sa však biologická evolúcia nemôže rozvíjať, pretože si nedokážu zachovať primerane hustú, priehľadnú a tepelne priestupnú atmosféru. Nebudú mať ani dostatočne veľké kovové jadro, generujúce silné magnetické pole, ktoré odtieňuje a účinne filtruje škodlivé vysoko-frekvenčné žiarenie z materskej hviezdy a okolitého vesmíru.

Príliš malé kamenné planéty si okrem toho nebudú môcť dlho udržať svoje vnútorné teplo, pretože ich jadro bude mať nízku počiatočnú teplotu či už kvôli malému počtu a nízkej intenzite planetotvorných akrečných zrážok, alebo kvôli malému množstvu rádioaktívnych (a teplo uvoľňujúcich) prvkov. Takéto slabo rozohriate planetárne jadro preto vychladne ešte skôr, ako sa nad ním bude môcť rozbehnúť životodarná vulkanická činnosť, platňová tektonika a uhlíkovo-kremíkový cyklus. V dôsledku nelineárnej závislosti rastu hmotnosti a časového rozpätia planetotvorných akrečných procesov od povrchovej hustoty prachovej zložky v protoplanetárnom disku sa tak v OZ objavuje tzv. prahová hodnota ťažších chemických prvkov (anglicky threshold metallicity), rovnajúca sa  $\sim 1/2$  slnečnej metalicity, po prekročení



ktorej už uvedené procesy môžu rýchlo viesť k vzniku dostatočne veľkých a hmotných terestrických planét.

V opačnom prípade, ak je metalicita protoplanetárneho disku podstatne nižšia (rovná napríklad 1/4 či dokonca 1/10 slnečnej metalicity), počiatkové hmotnosti extrasolárnych protoplanét poklesnú až na 0,02 či dokonca 0,005  $M_Z$  namiesto toho, aby stúpili na 0,16  $M_Z$ , ako sa to zrejme udialo v našej planetárnej sústave. Tak malé a ľahké protoplanéty preto nebudú môcť v zostávajúcom čase (do vyčistenia protoplanetárneho disku) zväčšiť svoju hmotnosť na 1,00  $M_Z$ . Terestrické planetárne sústavy by teda nemali vznikáť v rozptýlenom hale našej Galaxie, vo Veľkom a Malom Magellanovom mraku a ani v ranom vesmíre, pretože vo všetkých týchto lokalitách bola alebo je metalicita oveľa nižšia ako vyššie stanovená a požadovaná (vo VMM a MMM napríklad v planétotvorných oblastiach klesá od 1/4 k 1/10 slnečnej metalicity). Zinnecker pritom nevyklučuje, že okolo niektorých starších hviezd 2. populácie sa už dávnejšie utvorili menšie disky s nižším momentom hybnosti, v ktorých je nízka metalicita kompenzovaná účinnejším zahusťovaním planétotvornej prachovej zložky.

Ešte častejšie a dôraznejšie sa však hlásia o slovo bádatelia, ktorí síce uznávajú, že terestrické planetárne sústavy musia vznikáť v určitých, historicky a dočasne existujúcich podmienkach, ale nestotožňujú sa s názorom, že úspešne prebiehajúca biologická evolúcia sa môže uskutočniť len na Zemi podobných planétach. Podľa nich život sa môže rozvinúť aj na planétach, ktoré boli alebo sú stále vystavené vyšším dávkam vysokofrekvenčného žiarenia, pohybujú sa okolo materskej hviezdy po mierne excentrických obežných dráhach, vyznačujú sa väčším a častejšie sa meniacim sklonom svojej rotačnej osi, ba aj na takých miestach, kde by sme ho na základe všetkých našich doterajších poznatkov a predpokladov vôbec nečakali – na geologicky aktívnych mesiacoch joviálnych planét, v Kuiperovom páse, v Oortovom kometárnom mračne a pod.

V spoločnej štúdií Davida Smitha, Johna Scala a Craiga Wheelera **Prenos ionizujúceho žiarenia v atmosférach terestrických exoplanét** (anglicky Transport of Ionizing Radiation in Terrestrial-like Exoplanet Atmospheres) sa napríklad porovnávajú rôzne hrubé, chemicky odlišné **a preto aj nerovnako priepustné atmosféry modelových terestrických exoplanét** vzhľadom na ich schopnosť výrazne urýchliť alebo spomaliť ďalšiu evolúciu nám známeho druhu života. Smith a spol. predpokladajú, že naša Zem, tak ako každá terestrická planéta, bola počas svojej existencie v rôzne dlhých

obdobíach viackrát vystavená silným dávkam ionizujúceho žiarenia z materskej hviezdy a okolitého vesmíru. Takéto silné (röntgenové a gama) žiarenie sa mohlo pri prechode našou pomerne hustou atmosférou mierne oslabiť a potom preniknúť až na povrch planéty, kde sa práve nachádzali prvé, najjednoduchšie pozemské organizmy. Niektoré z nich vzápätí zahynuli, ďalšie sa naučili opravovať svoje poškodené genómy a iné dokonca zmutovali do nových, oveľa vyspelejších organizačných a replikačných foriem.

Smith a spol. v tejto súvislosti poukázali na modelové experimenty D. E. Moriartyho a R. Miikkulainena (1995 a 1999) a F. Gomeza a R. Miikkulainena (1997) s neurálnymi sieťami, ktoré naznačili, že učenie je oveľa efektívnejšie pri silných mutačných spŕškach ako pri konštantnom mutačnom tempe. Na 37. strane svojej štúdie zas odvolávajú sa na R. E. Michoda a M. F. Wojciechowského (1994) pripomenuli, že na opravovaní DNK poškodenej pod vplyvom silného ultrafialového a ionizačného žiarenia **sa často zúčastňujú tie isté mechanizmy ako pri génovom transfere a meióze**. Raný život sa teda skutočne mohol naučiť opravovať poškodenú DNK a potom tieto autoreparačné postupy využiť aj pri prvom laterálnom génovom transfere a neskôr aj sexuálnej reprodukcii, a to i na takých terestrických planétach, ktoré disponovali veľmi hustou atmosférou, prepúšťajúcou len bežné, nie príliš silné ultrafialové žiarenie.

Preto je také dôležité presne vedieť, ako často a s akou intenzitou boli a sú ožarované okolité planetárne sústavy. Smith a spol. upozorňujú na nedávne pozorovania B. Schaefera a spol. (2000), z ktorých vyplýva, že **aj staršie Slnku podobné hviezdy spektrálnych tried F8 až G8**, nachádzajúce sa na hlavnej postupnosti, príležitostne tryskajú a vyžarujú s mimoriadnou silou. V deviatich prípadoch boli dokonca pozorované supervýtrysky (anglicky superflares) o sile  $10^{33}$ - $10^{38}$  ergov, ktoré určite neboli spôsobené interakciami vo viacnásobných hviezdnych systémoch, rýchlou rotáciou ani nízkym vekom tryskajúcej hviezdy, a môžu byť teda úplne bežné pri všetkých hviezdach tohto typu. Ešte aktívnejšie a nepokojnejšie sú mladé solárne hviezdy, ktoré i tak ďaleko zaostávajú za asi najpočetnejšími, ale pomerne malými M-hviezdami, okolo ktorých by sa podľa M. Joshiho a spol. (1997) a M. Joshiho (2003) mohli napriek synchrónnej rotácii pohybovať obývatel'né terestrické planéty, pretože cirkulácia atmosféry by tam mala viesť k jej zadržaniu a utvoreniu dostatočne veľkých a hlbokých oceánov.

Mimoriadne aktívne sú najmä tzv. dMe-hviezdy, na ktorých boli každých 100 hodín pozorované výtrysky s ionizačnou energiou až  $10^{35}$  ergov (S. Hawley a B. Pettersen, 1991; S. Cully a spol., 1993), pričom pri výtryskoch s vyššou frekvenciou sa energia uvoľňovala v ešte väčšom množstve, čo je veľmi dôležité z astrobiologického hľadiska, pretože pri tak malých a ľahkých hviezdach (0,1 až 0,4  $M_{\text{Sl}}$ ) sa OoZ musí nachádzať tesne pri materskej hviezde. Potenciálne obývateľné planéty pri takýchto hviezdach preto musia byť vystavené radiačným a ionizačným dávkam, ktoré svojou intenzitou o mnoho rádov prevyšujú dávky bežné na Zemi. Momentálne však nikto nemôže vedieť, či v takomto mutáciami nasýtenom prostredí dochádza k výraznému urýchleniu biologickej evolúcie alebo naopak k jej nezvratnému potlačeniu. Isté je len to, že žijeme vo veľmi aktívnej a nepokojnej Galaxii, v ktorej sú všetky potenciálne obývateľné planéty, **bez ohľadu na to, či sa nachádzajú v GOZ alebo mimo nej**, príležitostne vystavené silným radiačným a ionizačným dávkam.

#### **4. Darren Williams a jeho zásadný príspevok k problematike obývateľnosti extrasolárnych planetárnych sústav:**

Konvenčné predstavy o rozšírenosti obývateľných planetárnych sústav ešte viac spochybňuje Darren Williams, ktorý vo svojej doktorandskej práci **Stabilita obývateľných planetárnych prostredí** (1998) cieľavedome využíva celý súbor exaktných výskumných metód, vrátane modelovania klímy, sympletického integrovania, precesných rovníc atď. S ich pomocou študuje **modelové, mierne pozmenené planetárne sústavy**, v ktorých sa väčšia terestrická planéta buď nachádza na okraji OoZ, alebo sa okolo Slnka pohybuje po mierne excentrickej obežnej dráhe, či rotuje okolo svojej osi vo viac ako  $50^\circ$  uhle. V 7. kapitole svojej práce sa dokonca zamýšľa aj nad obývateľnosťou **dostatočne veľkých extrasolárnych mesiacov**, obiehajúcich joviálne planéty rozmiestnené v OoZ.

Výsledky jeho bádania sú vskutku pozoruhodné. Po vytýčení kontinuálne obývateľnej okolohviezdnej zóny (KooZ), nachádzajúcej sa v našom prípade vo vzdialenosti 0,95 až 1,15 AU od materskej solárnej hviezdy, a určení priemernej vzdialenosti medzi okolitými terestrickými planétami ( $\sim 0,4$  AU) napríklad Williams konštatuje, podobne ako Kasting s Whitmireom a Reynoldsom (1993), že pravdepodobnosť nájdenia terestrickej planéty v KooZ akejkolvek

Slnku podobnej hviezdy je asi 50 percentná. Podobne rozložené by mali byť aj planéty okolo menej žiarivých hviezd spektrálnych tried K až M, **ktoré by preto tiež mali byť obiehajúce obývateľnými planétami.** Pri M-hviezdach, ako sme už spomínali, sa však OoZ bude nachádzať blízko materskej hviezdy, a tak je dosť pravdepodobné, že mnohé obývateľné planéty v nej budú viazané synchronnou rotáciou, pri ktorej k hviezde privrátená časť planéty bude sústavne prehrievaná, zatiaľ čo odvrátená časť bude trpieť extrémnym a neustálym chladom.

Na druhej strane už dnes poznáme viacero mechanizmov, ktoré by tento problém mohli vyriešiť. Okrem už uvedeného atmosférického prúdenia, účinne vyrovnávajúceho extrémne teplotné rozdiely, by mohla pomôcť, podobne ako pri Merkúri, asynchronná spin-orbitálna rezonancia, uľahčujúca vyrovnávanie veľkých teplotných rozdielov a zadržiavanie chemicky stálej atmosféry s  $\text{CO}_2$  a  $\text{H}_2\text{O}$  v dostatočnom množstve. Na Zemi podobných planétach sa k tomuto prúdeniu pripája uhlíkovokremíkový cyklus, pri ktorom vulkány uvoľňujú  $\text{CO}_2$  do atmosféry, ktorá sa čoraz viac zahrieva. So vzrastom teploty sa však zväčšuje aj zvetrávanie kremičitanov, ktoré pohlcujú  $\text{CO}_2$  a následne znižujú celkovú tepelnú bilanciu. A naopak, pri výraznom znížení teploty sa zvetrávanie spomalí, množstvo  $\text{CO}_2$  v atmosfére sa zvýši a zároveň vzrastie aj jej teplota.

Williams predpokladá, že Zemi podobné terestrické planéty, ktoré sa nachádzajú **na okraji OoZ**, dostávajú zo svojich hviezd menej svetla a tepla a musia mať preto atmosféry viac nasýtené oxidom uhličitým, ktorý im pomáha dlhodobo udržiavať relatívne vyrovnanú a dostatočne vysokú celkovú teplotu, pri ktorej ich oceány nezamrzajú a život sa môže rozvíjať viac-menej nerušene. Celkové množstvo  $\text{CO}_2$  v atmosfére by sa malo zmeniť aj vtedy, keď sa viac nakloní alebo odkloní zemská rotačná os, resp. kontinenty zaujmú diametrálne odlišné pozície, pretože v jednom aj druhom prípade sa náhle musí zväčšiť alebo zmenšiť i zvetrávanie. Ak teda umiestnime Zem do vzdialenosti 1,4 AU od našej hviezdy a nakloníme jej rotačnú os do  $90^\circ$  uhla, pričom všetky ostatné parametre ponecháme nezmenené, s prekvapením zistíme, že spolu so vzrastom celkového množstva  $\text{CO}_2$  v atmosfére sa zvýši aj jej globálna tepelná inercia, v dôsledku čoho budú jednotlivé klimatické zóny pomalšie reagovať na zmeny

v insolácii a extrémne sezónne teplotné odchýlky budú výrazne redukované.

A čo je ešte dôležitejšie, takto umiestnená a naklonená Zem bude podľa všetkého **zbavená ľadu a schopná udržať život na oveľa väčšej ploche ako tá, ktorú práve obývame**. Ak ale zostane obsah CO<sub>2</sub> v atmosfére takejto Zemi veľmi podobnej planéty **nezmenený**, sotva bude vhodná pre rozvíjanie pozemského typu života, pretože dlhé obdobia bez slnečného svitu môžu narušiť fotosyntézu rastlín a vyššie živočíchy sa len ťažko budú prispôsobovať extrémne veľkým a rýchlym teplotným zmenám. Podobné planéty s menšími kontinentmi alebo s veľkými superkontinentmi v rovníkovej oblasti už nebudú trpieť tak veľkými sezónnymi teplotnými rozdielmi, pretože tieto sezónne odchýlky budú účinne tlmené väčšou tepelnou kapacitou oceánov, zatiaľ čo planéty s veľkými superkontinentmi v polárnych oblastiach nebudú vhodné pre povrchové formy života kvôli extrémnym teplotným gradientom, resp. veľmi nízkym a vysokým teplotám na svojom nerovnomerne osvecovanom a zohrievanom povrchu, a to aj v tom prípade, ak budú naklonené v tzv. ideálnom 23° uhle.

Stabilita planetárnej klímy tak úzko súvisí nielen s aktuálnym rozložením a celkovou veľkosťou kontinentálnych plôch, ale aj so správnym a dlhodobo sa zachovávajúcim sklonom planetárnej rotačnej osi. Williams preto venuje veľkú pozornosť štúdiu precesných pohybov, zákonov a rovníc v mierne pozmenených terestrických planetárnych sústavách, ktoré ho privádza k ďalším zaujímavým zisteniam. Ako uvádza, keby bol náš Mesiac len o polovicu menší ( $\leq 0,47 M_{Me}$ ), už dnes by bol precesný pohyb zemskej rotačnej osi chaotický. Mesiac teda skutočne udržuje rotačný a precesný pohyb zemskej osi v primeranom rozpätí, aj keď len vtedy, **ak sa Zemi podobná planéta nachádza vo vzdialenosti 0,9 až 1,4 AU od Slnka**. Bez Mesiaca by sa takáto planéta náhle ocitla v širokom pásme rotačnej a precesnej nestability, nachádzajúc sa medzi 1,0 až 1,4 AU, zatiaľ čo vo vzdialenosti 0,9 AU od Slnka (a pri neprítomnosti Mesiaca) by mal byť jej rotačný a precesný pohyb opäť viac-menej stabilizovaný.

K stabilizácii rotačno-precesného pohybu našej (a ktorejkoľvek rovnako veľkej) planéty však musí dôjsť aj vtedy, keď bude obiehať Slnko po súčasnej obežnej dráhe, nebude mať pri sebe žiadny

dostatočne hmotný Mesiac, ale bude sa môcť silnejšie naviazať na Jupiter posunutý do vzdialenosti 2,0 AU od Slnka, čo len znova potvrdzuje, aký citlivý je sklon planetárnej rotačnej osi na zmeny v jej orbitálnej pozícii. Výsledný (charakteristicky vlnovkovitý) precesný pohyb zemskej rotačnej osi je totiž vyvolávaný dvomi nerovnako silnými gravitačnými interakciami – jednak dominantným gravitačným pôsobením Slnka a Mesiaca na zemský elipsoid (resp. rovníkovú masu), v dôsledku ktorého sa rotačná os odchyľuje o  $50''$  za rok, jednak sekundárnym gravitačným pôsobením ostatných planét Slnčnej sústavy, ktoré obiehajú Slnko v iných pevných rovinách a nútia Zem, aby sa v póle ekliptiky vychýľovala v opačnom smere o  $-18,9''$  za rok. Keďže rotačná precesia je zhruba trikrát väčšia ako orbitálna a obidve sú navzájom protikladné, dochádza k tomu, že obidva precesné pohyby sa čiastočne anulujú a Zem sa nakoniec vychýľuje zo svojho stabilného sklonu ( $\sim 23,3^\circ$ ) len o  $1,3$  až  $1,5^\circ$ . Lenže Mesiac sa postupne od Zeme vzdiaľuje a rotačná precesia sa následne spomaľuje (zmenšuje). Asi o 1-2 miliardy rokov sa obidve precesie navzájom svojou rýchlosťou vyrovnajú a začnú rezonovať, pričom zemská os bude oscilovať v oveľa väčšom rozpatí a v ďaleko nepravidelnejších intervaloch ako dnes, čo môže viesť k častým a vskutku extrémnym klimatickým zmenám, ktorým sa vyššie živočíchy sotva dokážu pohotovo prispôbiť. Vzájomný vzťah medzi rotačnou a orbitálnou precesiou našej planéty pritom nemusíme sledovať len smerom do budúcnosti. Počas spätnej rekonštrukcie lunárnej obežnej dráhy napríklad Williams zistil, že **Mesiac vôbec nemusel vzniknúť počas náhodnej zrážky so Zemou a tá mohla byť neraz naklonená vo väčšom ako  $54^\circ$  uhle.**

Obývateľné by nakoniec mohli byť aj extrasolárne mesiace, obiehajúce menšie joviálne planéty v OoZ, pokiaľ budú mať podobne ako typické biogénne planéty stabilný pevný alebo tekutý povrch, blízko ktorého sa môžu zdržiavať suchozemské a vodné organizmy, dostatočne hustú atmosféru, schopnú zadržať väčšiu časť škodlivého ionizujúceho žiarenia, a dostatok tekutej vody, potrebnej na rozbehnutie zložitých biochemických reakcií (A. Brack, 1993). Aby uvedenú dostatočne hustú atmosféru mohli získať a nadhlo si ju udržať, musia byť ťažšie ako  $0,12 M_Z$ ; ak ale majú byť spoľahlivo chránené pred vysokofrekvenčným ionizujúcim žiarením, musia si vytvoriť vlastné magnetické pole, ktoré zároveň dokáže zabrániť tomu, aby sa ich

atmosféra rozptýlila v silnom magnetickom poli neďalekej joviálnej planéty. Mali by tiež disponovať platňovou tektonikou, ktorá podnieta uhlíkovo-kremíkový cyklus a pomôže tak stabilizovať klimatické pomery na mesiaci stále viac zohrievanom starnúcou hviezdou.

Tektonicky aktívne mesiace by mali byť ťažšie ako  $0,23 M_Z$ , pretože ináč sa nedokážu dostatočne rozohriať. Len v niektorých prípadoch sa pripúšťa nižšia hmotnosť (od  $0,12$  do  $0,23 M_Z$ ), ale vtedy musí byť tektonicky aktívny mesiac dodatočne zohrievaný slapovými silami pri rezonančnej gravitačnej interakcii s jedným alebo niekoľkými susednými mesiacmi. Jediným málo preskúmaným biogénnym činiteľom zostáva excentrickosť obežnej dráhy týchto potenciálne obývatel'ných telies, ktorá by už pri mierne vyšších hodnotách mohla viesť k extrémnym sezónnym teplotným odchýlkam. Hustejšia atmosféra by však aj v tomto prípade mohla zredukovať uvedené odchýlky na biologicky udržateľné optimum, čo napokon musí platiť i pre zatiaľ nepozorované terestrické planéty, pohybujúce sa v OoZ po mierne excentrických dráhach ([www.obspm.fr](http://www.obspm.fr)).

- 5. Život môže byť aj tam, kde ho vôbec netušíme či dokonca nepredpokladáme, naznačuje Freeman Dyson:** Skôr však, ako uvediem jeho naozaj neortodoxné názory, dovoľm si celkom na záver poznamenať, že sa prikláňam k stanoviskám, ktoré sú vyjadrené v bodoch 3. a 4, pretože sa mi zdajú byť najviac v súlade so súčasnými predstavami o vývoji vesmíru, Galaxie a života na Zemi, t. j. s tým súborom poznatkov, ktoré máme k dispozícii a ktoré sú už viac-menej overené a „isté“! Ale najďalej zo všetkých bádateľov v tejto skupine určite zašiel Freeman Dyson, ktorý v roku 2003 uverejnil veľmi neortodoxnú štúdiu **Hľadanie života na nepravdepodobných miestach: príčiny toho, prečo planéty možno nie sú najlepšimi miestami pre život**. V nej navrhol úplne novú stratégiu efektívneho hľadania vyšších foriem života v našej slnečnej sústave. Podľa neho v situácii, keď nedisponujeme žiadnou všeobecne uznávanou teóriou vzniku života, je asi najrozumnejšie zamerať sa na technicky realizovateľné a ekonomicky výhodné hľadanie jeho vyšších foriem nie v rámci nákladných výprav do okrajových oblastí Slnečnej sústavy, ale prostredníctvom citlivých detektorov (teleskopov), ktoré budú schopné zaznamenať slabé optické a infračervené vyžarovanie (alebo záblesky) z organizmov, ktoré sa nachádzajú na povrchu Jupiterovho mesiaca Európy, v Kuiperovom

asteroidálnom páse či iných podobných objektoch a pre svoje reprodukčné a replikačné aktivity potrebujú len trochu svetla a tepla.

Tieto hypotetické organizmy mohli vzniknúť pred stámiómi rokmi na dne hlbokého Európinho oceána a odtiaľ sa postupne po viacerých evolučných zmenách a kozmických zrážkach prepracovať až na jeho ľadový povrch. Tam sa s pomocou špeciálnych šošoviek, zrkadiel a iných optických koncentrátorov naučili veľmi efektívne zužitkovať prichádzajúce slnečné svetlo a teplo. Počas ďalších nárazov kozmických objektov potom v niektorých prípadoch získali takú vysokú únikovú rýchlosť, že dokázali svoj domovský mesiac a mohutný Jupiter definitívne opustiť. Keďže boli prispôbené životu vo vákuu a so sebou si niesli časť svojho pôvodného životného prostredia, mohli dlho putovať kozmickým priestorom a preniknúť až do najvzdialenejších oblastí Slnečnej sústavy. Dyson pritom nevyklučuje, že život mohol nezávisle vzniknúť aj na dostatočne veľkých telesách Kuiperovho asteroidálneho pásu, aj keď v tak veľkej vzdialenosti od Slnka už musel disponovať veľmi účinnými optickými koncentrátormi.

V rozľahlom Kuiperovom páse nie sú vzdialenosti medzi jednotlivými telesami príliš veľké. Pri ich vzájomných zrážkach sa preto miestne organizmy mohli ľahko a rýchlo premiestňovať z jedného telesa na druhé a vytvárať celé zhľuky navzájom spolupracujúcich jedincov, ktorí nielenže dokázali efektívne využiť miestne látkovo-energeticko-informačné zdroje, ale po určitom čase sa naučili aj samostatne prechádzať z asteroidu na asteroid. Na niektorých menších asteroidoch tak mohli vzniknúť celé spoločenstvá podobných vákuu odolných organizmov (rastlino-zvierat, ako ich výstižne pomenoval Ciolkovskij), ktoré veľmi účinne sústredovali slnečné svetlo a teplo a z relatívne malej plochy ho zároveň odrážali naspäť k jeho vzdialenému zdroju. Asteroidy, ktoré boli husto osídlené takýmito organizmami, by preto mali byť pozorovateľné oveľa ľahšie ako s nimi susediace väčšie telesá s podstatne nižším abiogénnym albedom.

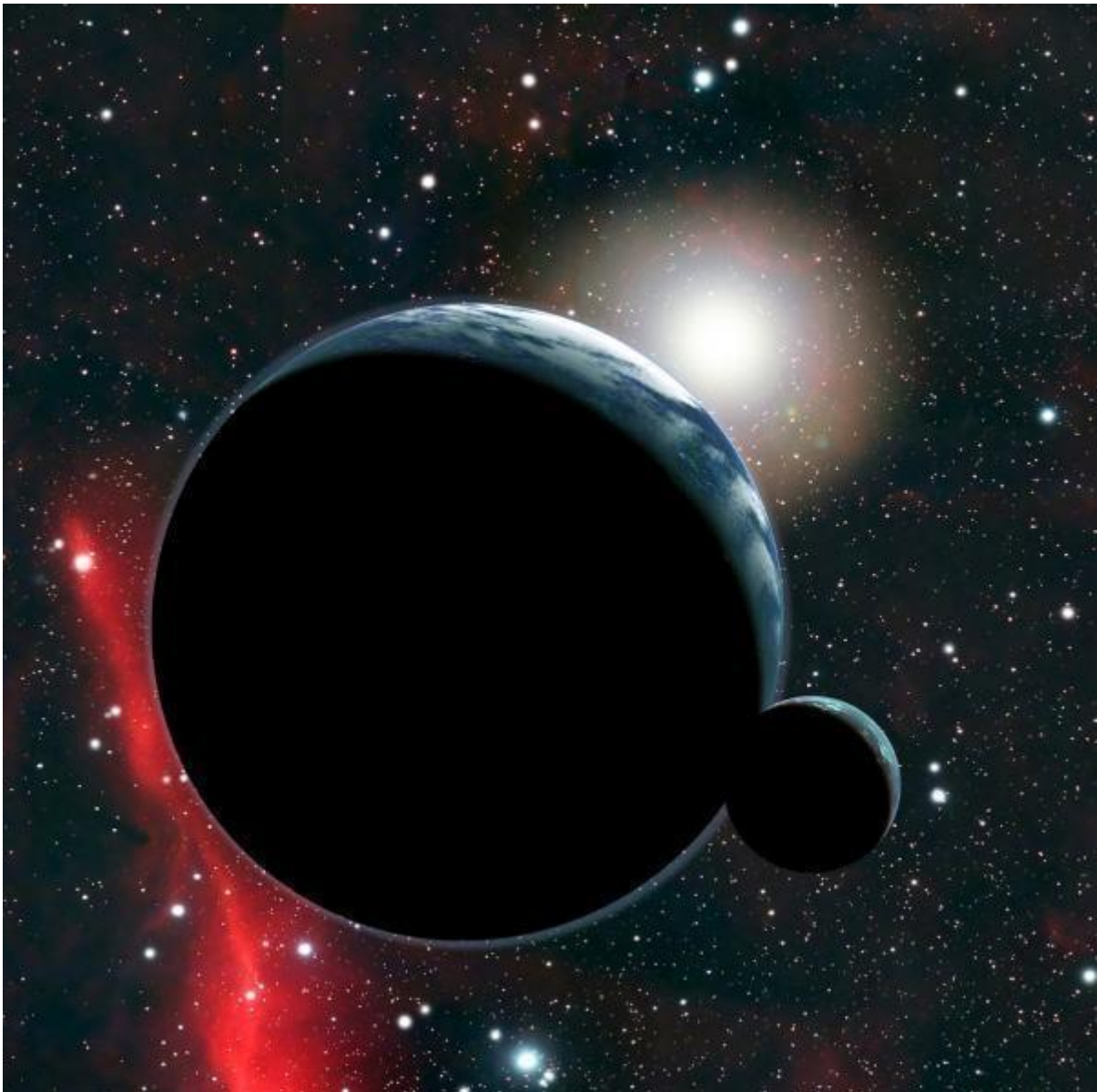
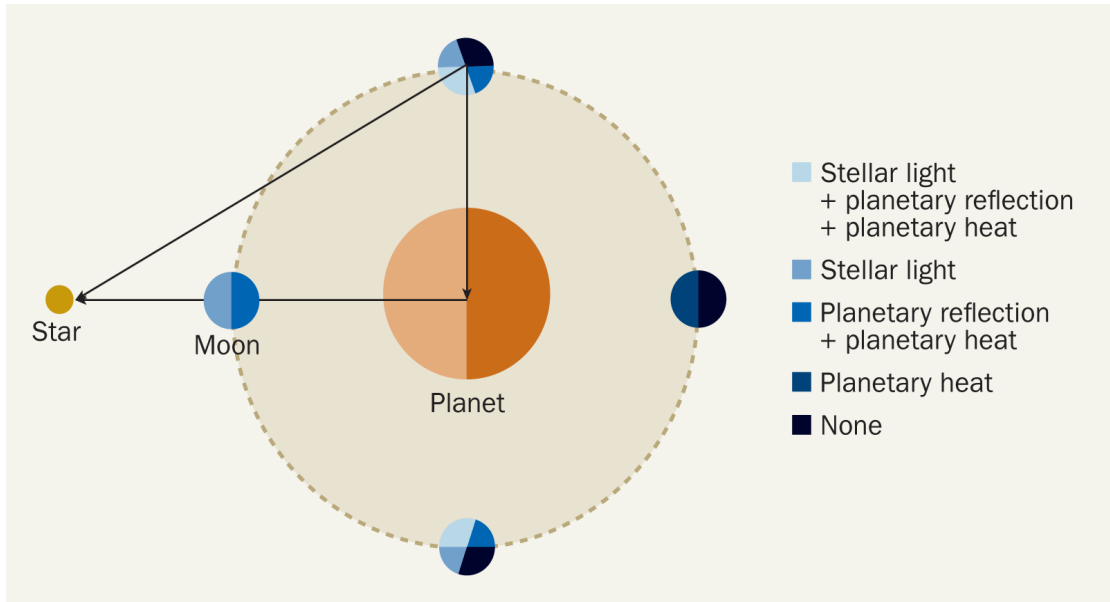
Pochopiteľne, ľudským bytosťami, ktoré sa vyvinuli na pomerne veľkej, optimálne naklonenej a rovnomerne zohrievanej terestrickej planéte, sa podobné úvahy môžu javiť ako úplne scestné. Dyson však upozorňuje, že vyššie životné formy, ktoré sú závislé na kyslíkom nasýtenej atmosfére a rozsiahlej hydrosfére, zostávajú naddlho a veľmi silno pripútané k rodnej planéte, zatiaľ čo hypotetické vákuové organizmy môžu nielen oveľa ľahšie putovať voľným vesmírom, ale aj úspešne osídľovať omnoho rôznorodejšie a rozsiahlejšie ekologické stanovištia. Ako ďalej argumentuje, terestrické

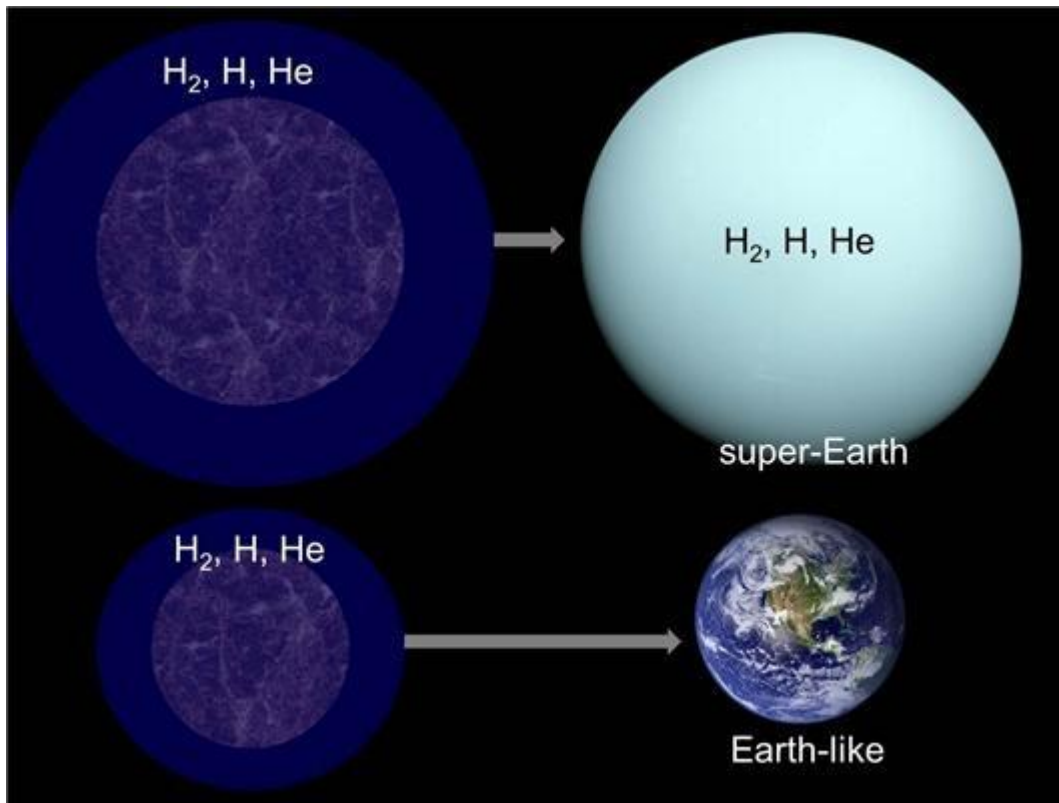


planéty nie sú vhodné sídla pre efektívne pracujúce živé systémy. Veľmi nepriaznivý je zvlášť vzájomný pomer medzi ich celkovou hmotnosťou a prijímanou slnečnou energiou, ktorý je na Zemi 12 000 ton  $W^{-1}$ , kým na priemerne veľkej kométe s optickými koncentrátormi je to iba 100 ton  $W^{-1}$ . Menšie telesá okrem toho oveľa účinnejšie rozptyľujú prebytočné teplo. Z dlhodobého hľadiska je preto pre vyššie organizmy výhodnejšie usadiť sa na takýchto menších kométach a asteroidoch.

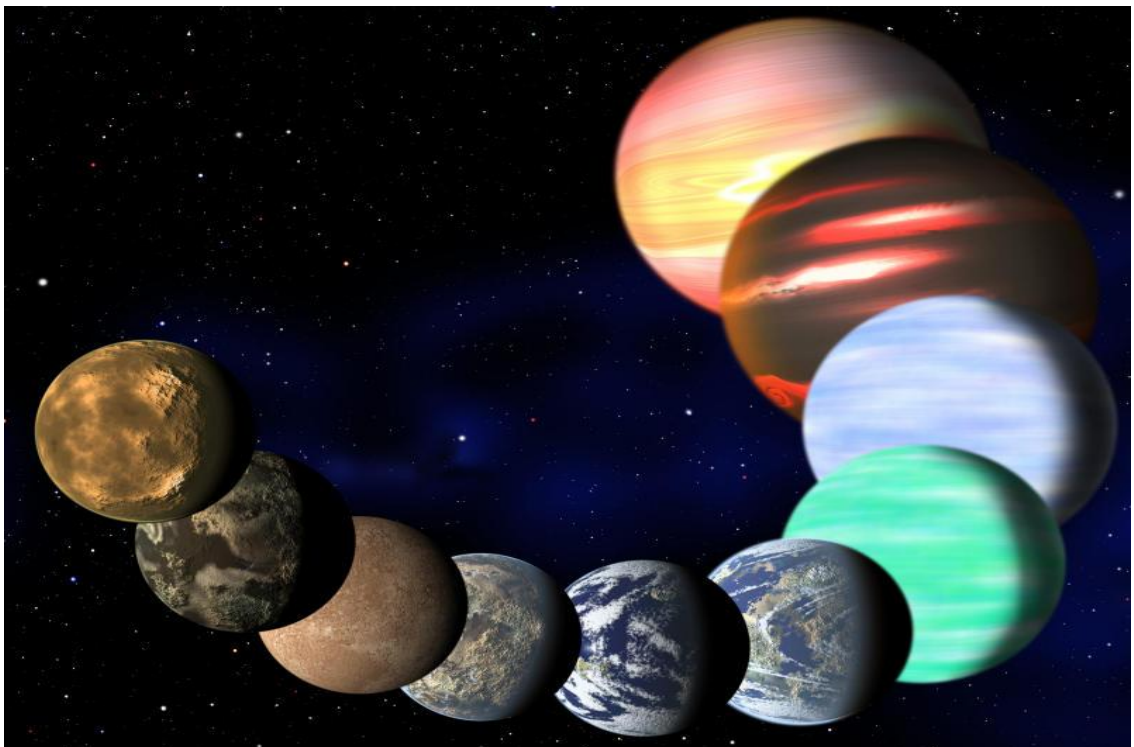
**Celkom na záver: niekoľko obrázkov z iných svetov...**







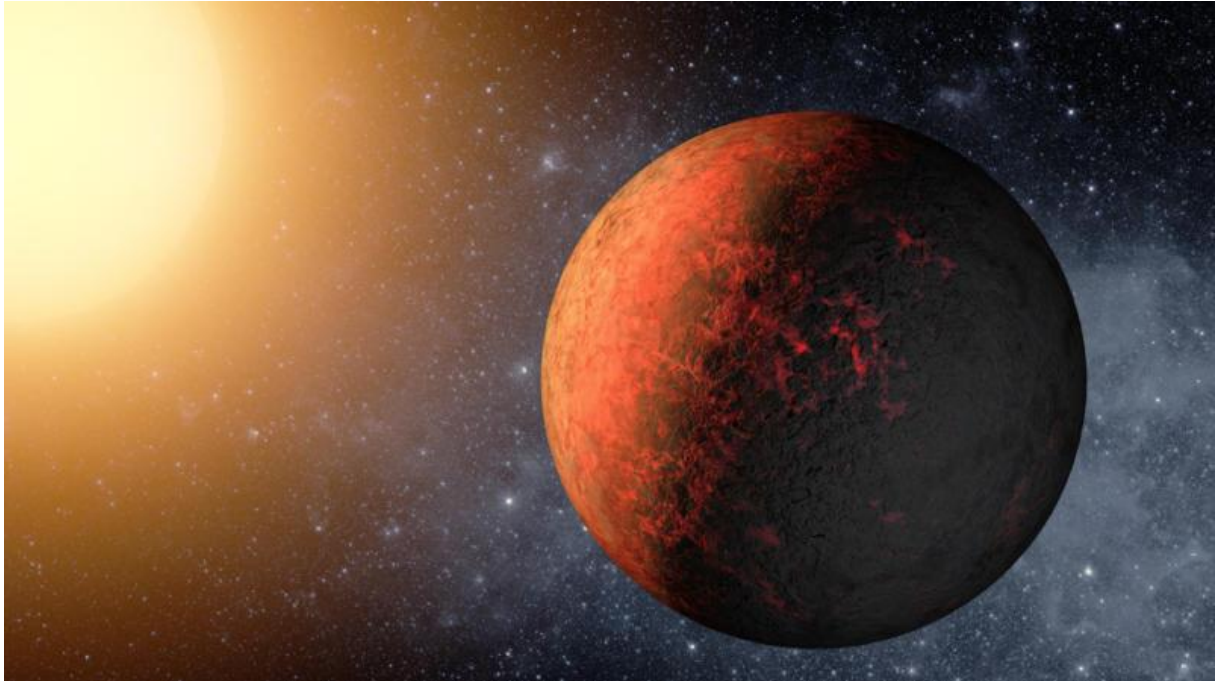
The mass of the initial rocky core determines whether the final planet is potentially habitable. On the top row of the diagram, the core has a mass of more than 1.5 times that of the Earth. The result is that it holds on to a thick atmosphere of hydrogen (H), deuterium (H<sub>2</sub>) and helium (He). The lower row shows the evolution of a smaller mass core, between 0.5 and 1.5 times the mass of the Earth. It holds on to far less of the lighter gases, making it much more likely to develop an atmosphere suitable for life.





This artist's illustration represents the variety of planets being detected by NASA's Kepler spacecraft. A new analysis has determined the frequencies of planets of all sizes, from Earths up to gas giants. Key findings include the fact that one in six stars hosts an Earth-sized planet in an orbit of 85 days or less, and that almost all sun-like stars have a planetary system of some sort.

(Hat tip to Robert Hurt for inspiring this illustration.)



Kepler-20e is the smallest planet found to date orbiting a Sun-like star. It circles its star every 6.1 days at a distance of 4.7 million miles. At that distance, its temperature is expected to be about 1,400 degrees F. This is an artist's rendering.

**A to sme len na začiatku celej slávnej éry objavovania  
nových svetov...**