

Dr. Garzó László

Exobolygó kalauz

– Az exobolygók izgalmas világa –

Második bővített kiadás

© Dr. Garzó László 2016.

Lektorálta: E. Kovács Zoltán

Tartalomjegyzék

1. Fejezet
Az exobolygók kutatása
2. Fejezet
A csillagok és bolygórendszerek kialakulása
3. fejezet
A lakhatóság kérdése
4. fejezet
Az exobolygók sokfélesége
5. Fejezet
Az exobolygók elérésének lehetősége, a csillagközi utazás
6. Fejezet
Nevezetes exobolygórendszerek
Újonnan felfedezett exobolygók
- Utószó

Előszó a második kiadáshoz

Az első kiadás kéziratának 2011-es zárása óta eltelt 5 év, ami a csillagászat e rohamosan bővülő ágában jelentős időnek számít. Azóta számos új, izgalmas exobolygót fedeztek fel, mondhatni, hogy erre az időszakra esett a Kepler űrtávcső fő tevékenysége, melyről az előző kiadásban még kevés szó esett. Ezért megkerülhetetlennek látszott a kiadvány bővítése, korszerűsítése. Fel kellett dolgozni az új ismeretanyagot. A témakörben megsokasodott a képanyag is, így már bőven lehetett válogatni olyan szabadon hozzáférhető képeket, melyek gazdagítják a művet.

A második bővített kiadás éppen olyan nagy és úttörő vállalkozás volt a részemről, mint 2011-ben nekifogni és összerendezni az addigi ismeretanyagot, hogy az átlagemberek számára is elérhetővé váljon ez a téma. Most számos olyan újdonság kapott helyet, melyek megragadják a képzeletet. Immár nem csak forró jupiterek léteznek a felfedezett bolygók között, hanem Neptunusz méretű planéták tucatjai, szuperföldek vagy még kisebb sziklás égitestek, melyek a lakható zónában foglalnak helyet. Sőt a közelünkben, vörös törpecsillagok újabb és újabb bolygóiról kapunk hírt, de az égbolt jól ismert csillagairól is kiderül, hogy bolygói vannak. Mert mostanra már egész bolygórendszerekről van tudomásunk.

Mindezek ellenére a nagy hír még várat magára, hogy megtaláljuk a testvér-Földet, vagy egy olyan naprendszert, mely nagyon hasonlít a miénkhez. Az elmúlt 5 év tapasztalatai alapján azonban elmondható, hogy nem kell már erre sem sokat várnunk.

A második, bővített kiadásban szinte minden fejezet átvizsgálásra kerül, és frissítve lett a lehetőségekhez mérten. Azonban ez a tudományág oly rohamtempóval gyarapszik, hogy meglehet, mire lezárom a kéziratot, máris lenne mit bővíteni, finomítani.

1. Fejezet

Az exobolygók kutatása

Felvetődik a kérdés, hogy vajon miért fontos az exobolygók, azaz a Naprendszeren kívüli bolygók kutatása. Vajon mi haszna lehet az emberiség szempontjából annak, hogy ismereteket szerezzünk olyan bolygókról, melyek 10-20 vagy akár több ezer fényév távolságra vannak tőlünk. Ezek roppant messzeségek. Ha volna egy közel fénysebességgel haladó űrhajónk, akkor is évtizedekig, sőt évszázadokig vagy évezredekig tartana eljutnunk oda. Jelenlegi technológiánkkal pedig elérhetetlenek. Az exobolygó kutatás egyik legfontosabb kérdése, hogy egyedül vagyunk-e a galaxisunkban? Vajon kivételes-e a Föld? Ha életet keresünk galaxisunkban és értelmes civilizációt, akkor elsősorban bolygókat kell találnunk más csillagok körül. A más csillagok körül keringő bolygók ugyanakkor képet adnak saját Naprendszerünk kialakulásának és fejlődésének titkairól. Megtudhatjuk, hogy mennyire átlagos jelenség a csillagok körül a bolygók léte.

A SETI-kutatás egyik sarkalatos pontja éppen az exobolygók léte. Frank Drake elhíresült egyenletében az egyik nagyon fontos tényező azoknak a csillagoknak a részaránya, amely körül bolygók keringenek, s azoknak a bolygóknak a részaránya, amelyek Föld-szerűek. Persze ma már jól tudjuk, hogy a Föld-szerű bolygók nem mind alkalmasak az élet hordozására. Itt a Naprendszerben a kőzetbolygók közül jelenlegi tudásunk szerint egyedül a Földön van biztosan élet. A Vénusz alkalmatlan az életre. Felszínén a légnyomás a földinek 90-szerese, a hőség pedig meghaladja a 400 Celsius fokot. A Mars ritka légköre nem képes kellő üvegházhatást kifejteni ahhoz, hogy a felszínén folyékony víz tartósan megmaradjon.

Az emberiség számára régóta fontos kérdés annak megválaszolása, hogy vajon hány Földhöz hasonló bolygó létezik a galaxisban. Már az ókori népek vallásos-tudományos mítoszaiban is megjelentek azok az elképzelések, amelyek a csillagok világáról szólnak. Voltak, akik korukat meghaladva már akkor azt feltételezték, hogy más bolygók is léteznek.

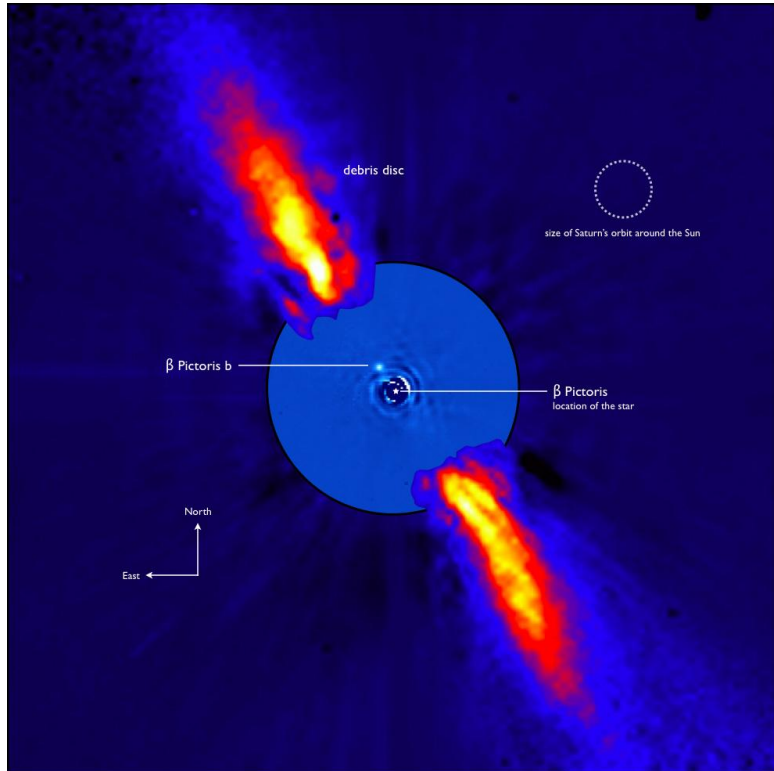
Egyes Dogon mítoszok elbeszélik a Szíriusz és bolygóiról érkező ősapák történetét. A Dogonok, ez a fekete afrikai törzs, szilárdan hitték, hogy őseik távoli csillagok bolygóiról érkeztek. A középkor vallásos világában, amikor azt hirdették, hogy a Föld a Világegyetem központja, ebben az időszakban is éltek olyan eretnek tudósok, akik meg voltak győződve, hogy más csillagok körül is lehetnek bolygók, sőt egyenesen odáig mentek el okfejtéseikben, hogy ezeken a bolygókon élet is lehet.

A XX. század végéig nagy kérdés volt, hogy valóban léteznek-e bolygók a Naprendszeren kívül. Bár a nagy számok törvénye, és az, hogy a Nap egy átlagos csillag, mindenképpen azt erősítették, hogy létezniük kell bolygóknak, de egyet sem sikerült találni. Ennek oka az észlelési módszerek tökéletlenségében rejlett. A Naprendszeren kívüli bolygók észlelése ugyanis nagyon nehéz feladat elé állították a tudósokat. Hiszen ezek a bolygók olyan távol vannak, hogy szinte lehetetlen megpillantani őket. A bolygók a csillagokhoz képes mind átmérőjüket, mind tömegüket nézve elhanyagolhatóak, fényük pedig elveszik a csillag ragyogása közepette. Ezt a gyenge fényt, mely a csillag fényességéhez képest milliommód részben mérhető, szinte lehetetlen észlelni. Legalábbis sokáig az volt. Szerencsére ma már rendelkeznek a csillagászok olyan érzékeny műszerekkel, melyeknek segítségével kitakarva a központi csillag fényét, észlelni lehet a bolygó fényét. Persze a bolygók ilyen megfigyelése csak az egyik felfedezési módszer. Más felfedezési módszerek is ismeretesek, melyekről bővebben később lesz szó.

1.1 Az exobolygók felfedezésének módszerei

Az exobolygók közvetlen megfigyelése nagyon nehéz, körülbelül olyan feladat, mintha egy egy méter átmérőjű reflektor fényénél szeretnénk megpillantani egy szentjánosbogarat egy ködös éjszakán több kilométer messzeségből (mivel a csillag fényereje elnyomja a megfigyelt exobolygóét), ezért számos olyan módszert dolgoztak ki, amellyel a csillagok jelenleg láthatatlan kísérőit ki lehet mutatni.

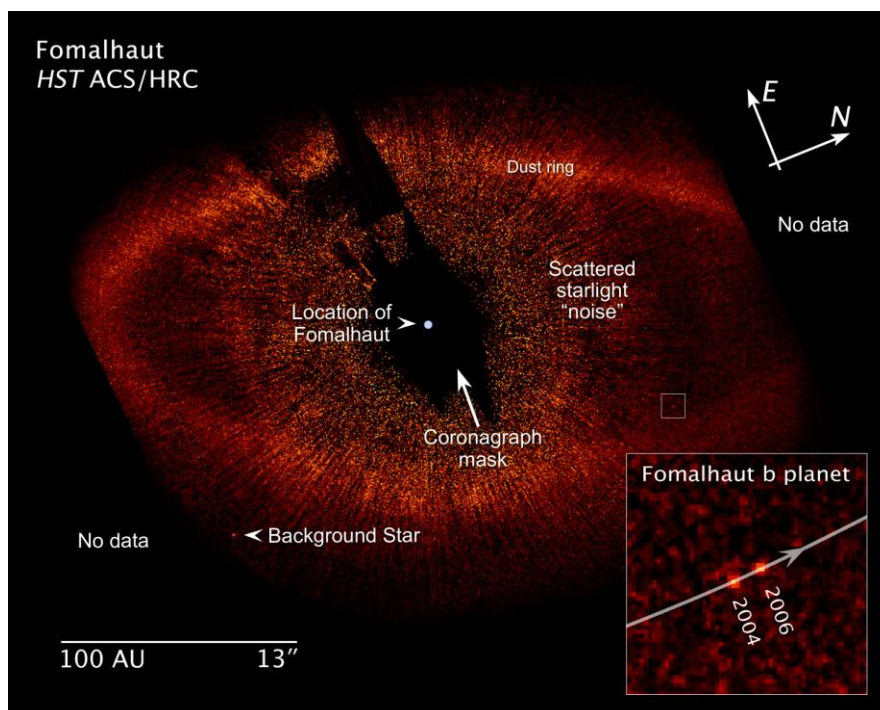
Eddig mindössze néhány esetben lehetett az anyacsillag körül keringő bolygót lefényképezni. 2006 szeptemberében ezek közül csak a 2M 1207b, később néhány másik égitest, például a β Pictoris b (Festő csillagképben) bolygó mivoltát erősítették meg független megfigyelésekkel.



Majd ezek a fényképek egyre gyarapodtak a módszer tökéletesedésével. Emiatt az ilyen rendszerek felfedezésére elsősorban indirekt módszerek léteznek. Ezek valamilyen más jelenséget keresnek a csillag mozgásában, fényességében, színpéében, mely által bolygóra lehet következtetni.

A β Pictoris

A Másik nevezetes ilyen felvétel a Fomalhaut (Déli Hal csillagkép) legfényesebb csillagának porkorongjáról, és a benne található bolygóról készült.



*A Fomalhautat
porkorongja*

Fedési módszer

A fedési módszer: a sötét, saját fény nélküli bolygó átvonul a csillag előtt, egy részét kitakarva, így fényességét lecsökkentve.

Ha egy objektum (például bolygó, barna törpe) elhalad a csillaga előtt, akkor a csillag fényességében csökkenést lehet észlelni, ez függ az adott bolygó méretétől. A nagy, Jupiter típusú bolygók többet takarnak ki, míg a Földszerű kicsi bolygók kevesebbet. A csillag fényességváltozása mindkét esetben a csillag fényességének csupán néhány milliomod része. A módszer csak akkor működik, ha az exobolygót a napja előtt látjuk elhaladni. Ez a becslések szerint minden ezredik bolygórendszer esetében áll fent. Például a Naprendszerben a bolygók pályasíkja kb. 66 fokos szöget zár be a Galaxis síkjával. Ahhoz, hogy az elhalványodást bolygónak tudjuk be, az kell, hogy periodikusan megismétlődjön. A fényességcsökkenés függ a bolygó és a csillag sugarának hányadosától, valamint a csillag hőmérsékletétől, vagyis minél hidegebb a csillag, annál kisebb az intenzitás csökkenése. A csillag fényességcsökkenésének mértékéből sok mindenre választ kaphatunk: a keringési periódusára, excentricitására (a bolygópálya elnyúltsága) illetve a bolygó sugarának nagyságára.



Jellegzetes kitakarás típusok

Átvonulás során az égitest légkörén átszűrődő fény által produkált spektrum is tanulmányozható, mivel a bolygó légkörének spektruma ráakad a csillagéra, és a bolygó színképvonalainak Doppler-eltolódásából adódóan szét lehet választani őket egymástól. Az első sikeres megfigyeléseket ezzel a módszerrel 2007 februárjában jelentették be, két, korábban felfedezett exobolygó, a HD 189733 b és a HD 209458 b színképét sikerült elemezni a jelenleg elérhető legérzékenyebb műszerrel, a Spitzer űrtávcsővel. Ennek a módszernek az adja a fontosságát, hogy ilyen módszerrel a bolygó színképe, ezáltal kémiai összetétele is tanulmányozható, ez

nagyon fontos a kutatások szempontjából, mivel elméletileg lehetővé teszi a felszínén az életre utaló víz, vagy szerves molekulák kimutatását kellő érzékenységgű műszerrel.

A fedési módszer az infravörös tartományban is működik, de pont „fordítva”: az exobolygók a központi csillagukhoz képest infravörösben kevésbé halványak, infravörösben a bolygó dominánsabb, mint pl. látható fényben, emiatt központi csillaguk mögött eltűnve észrevehetően lecsökken a rendszer infravörös össz sugárzása. Mivel az infravörös tartományban a megfigyelések végzése a földi légkör zavaró hatásai miatt sokkal nehezebb, ezért ezzel a módszerrel nem keresnek bolygókat.

A Hubble űrtávcső 2006 folyamán a SWEEPS program keretében a Tejútrendszer központi vidékének egy kiválasztott területéről készített egy héten át folyamatosan fényképeket, és a területen lévő 180 ezer csillag közül az egymást követő képeken számítógépes módszerrel 16 csillag elhalványodását figyelték meg, amit exobolygók is okozhattak, ezek közül két csillag esetében sikerült az exobolygó létét megerősíteni.

Radiális sebesség mérése

A csillag színképvonalai Doppler-eltolódást mutatnak a körülötte keringő bolygó gravitációs hatása miatt, a csillag Földhöz viszonyított sebessége periodikusan változik. Ennek oka, hogy bár a bolygók tömege a csillagokéhoz mérten nagyságrendekkel kisebb, ám mégis elegendő ahhoz, hogy a rendszer tömegközéppontja ne essen egybe a csillag geometriai középpontjával. Emiatt a csillag e pont körül imbolyogni látszik. A legkorábban alkalmazott, ma is eredményesen használt módszer, jelenleg a legkorszerűbb műszerekkel 1 m/s sebességváltozást lehet kimutatni, ez a közeljövőben 60 cm/s-re csökkenhet, a 2010-es évek közepére-végére megközelíthető az 1 cm/s.

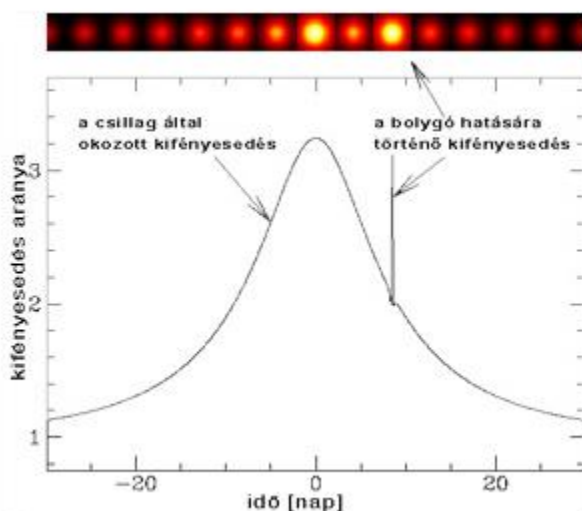
A Rossiter–McLaughlin-effektus

Ha egy forgó csillag előtt vonul el a bolygó, akkor az átvonulás elején és végén, a forgás miatt, a csillag gyorsabban közeledő és távolodó részeiből takar ki egy kis darabot, amit színképelemzéssel ki lehet mutatni.

Gravitációs mikrolencse-hatás

A bolygó és a csillag kettős gravitációs mikrolencseként viselkedik, hasonlóan ahhoz, amikor a galaxisok térítik el a mögöttük lévő más galaxisok fényét. Ez a jelenség a fényelhajlás

gravitációs mezőben. Amikor a rendszer elhalad egy harmadik, távoli csillag előtt, egy felfényesedést lehet észlelni, melyet a központi csillag okoz, ennek fénygörbéjére rakódik rá a bolygó által okozott kisebb fényesedés. A módszerrel nagy távolságból is ki lehet mutatni a csillagok kísérőit, és sok olyan paraméter is mérhető, amely más módszerekkel nem, vagy csak nehezen megállapítható.



Gravitációs mikrolencse hatás

Infravörös többlétsugárzás mérése

A bolygók sugárzási maximuma az infravörös tartományba esik. Célravezető lehet a látható és az infravörös fénycentrum eltérésének vizsgálata. A keresést végző műszernek a légkör zavaró hatása miatt azon kívül kell lennie.

A csillaglégkör anyagösszetételének anomáliái

A csillagok légkörének anyagösszetétele annak az óriási molekulafelhő anyagösszetételének felel meg, amelyből a csillag kialakult, mert a magfúzió csak a csillag magjában zajlik. Néhány fehér törpe esetében a Spitzer űrtávcsővel sikerült nehezebb elemeket (kalciumot és magnéziumot) kimutatni, ennek oka lehet, hogy a csillag bolygórendszerében lévő bolygók gravitációs hatása nagy mennyiségű aszteroidát juttatott a csillag közelébe (a Roche-határon belülre), ezek a csillag árapályerejétől szétszakadtak, végül a csillag légkörébe jutottak. A Naphoz hasonló csillagok 1-3%-ánál sikerült a jelenséget kimutatni, a feltételezések szerint ez alsó becslést ad az ilyen csillagok közetbolygóinak arányára.

Fedési kettőscsillagok periódusváltozásai

Amennyiben fedési kettőscsillagok körül bolygók keringenek, akkor a két csillag egymás közti keringésének periódusát a bolygó folyamatosan (kis mértékben) változtatja, így kimutatható zavar a csillagok fényességváltozásának periódusában. A módszerrel még nem fedeztek fel exobolygót.

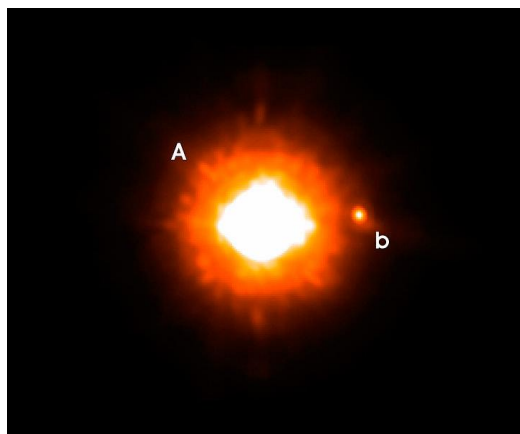
Közvetlen módszerek

Képalkotás koronográffal

Ebben az esetben a különlegesen felszerelt űrtávcső a bolygóknál 10 milliárdszor fényesebb csillagot kitakarja. Ehhez hasonló módszereket alkalmaznak a napkorona megfigyelésekor is. Ilyen esetekben megfigyelhető közvetlenül a rendkívül gyenge fényű bolygó is.

Észlelés a csillag mellett (infravörös tartományban)

A bolygók és csillagaik fényessége között sokkal kisebb a különbség az infravörös tartományban, így észlelésük sokkal könnyebb. A módszer több esetben valószínűleg sikeres volt, de így a csillagaiktól viszonylag messze lévő bolygók felfedezésére van lehetőség, ezek pedig nagyon hosszú idő (több száz év) alatt járják be pályájukat, így nehéz eldönteni, hogy a bolygónak vélt objektum valóban a csillag körül kering, vagy csak egy ahhoz közel látszó, a valóságban jóval messzebb vagy közelebb lévő égitest.



A 2M1207b bolygó

Fentebb a teljesség igénye nélkül kerültek felsorolásra azon módszerek, amelyek alkalmasak az exobolygók kutatására. Ezek közül nem használják mindegyiket. A leggyakoribb kutatási módszerek általában a fedési módszer (ezt alkalmazza a Kepler űrtávcső is), a radiális sebességmérés, a gravitációs mikrolencse hatás, és az infravörös tartományban észlelés.

1.2 A Kepler űrtávcső

A Kepler űrtávcső felbocsátása előtt is számos exobolygó felfedezése történt földi távcsövekkel és a Hubble űrteleszkóppal egyaránt. Ezek többsége forró jupiternek elnevezett típusba sorolható bolygó volt. Ez azt jelentette, hogy gázóriásokról volt szó, mint a Naprendszerben a Jupiter és a Szaturnusz, de ezek az újonnan felfedezett exobolygók sokkal közelebb, sokszor csak néhány millió km-re keringtek központi csillaguktól. Emiatt sok száz vagy akár 1000 Celsius fokra is felhevülhettek.



A Kepler űrteleszkóp

A kicsi Föld-szerű exobolygók felfedezése váratott magára. Ezért a tudósok úgy döntöttek, hogy megépítik a Kepler űrtávcsövet, amely kimondottan a kicsi, Földhöz hasonló bolygók felfedezésére lesz alkalmas, hiszen ezek állnak az érdeklődésünk középpontjában. A Kepler űrtávcsövet Nap körüli kb. 3 éves keringési periódusú pályára állították. Főtükre 1,4 m átmérőjű, tehát ezzel az értékével nem számít nagy távcsőnek. Mindig ugyanabba az irányba tekint, látómezeje 105 négyzetfok. Ez a tartomány egy csillagokban gazdag vidék a Lant és a Hattyú csillagkép között, közel a Tejút sávjához. A mintegy 3000 fényév tartományban körülbelül 100 ezer csillagot vizsgál. A Kepler nem tesz mást, mint újra és újra megméri nagyon pontosan a csillagok fényességét. Detektora 95 megapixel felbontású. Amennyiben periodikus fényességcsökkenés mutatkozik, akkor a csillagot Földi teleszkópokkal is szemügyre veszik. A fényességváltozás oka lehet ugyanis, mint arról szó volt, hogy egy bolygó halad el a csillag előtt, és fényének egy részét kitakarja.

1.3 Más távcsövek

Az Exobolygó kutatásban élen járó volt a Hubble űrteleszkóp, illetve a földi távcsövek közül a Keck I-II.

A Keck I távcső 1993 óta működik, ami a jelenleg használatban levő harmadik legnagyobb tükrös távcső. A tükrök effektív átmérője 10 méter, 36 darab hatszög alakú, speciális üvegből készült szegmensből áll, melyek mindegyike kb. 2 m átmérővel rendelkezik. A Keck I obszervatórium volt a prototípusa a szegmentált tükrös teleszkópoknak. A távcső technikailag a többtükrös távcsövekhez hasonlítható, azzal a különbséggel, hogy a tükrök egymás mellett helyezkednek el. Egy összetett elektronikájú berendezés lézersugarak segítségével állandó ellenőrzés alatt tartja a tükröket, és biztosítja, hogy a rendszer olyan optikai tulajdonságokkal rendelkezzen, mintha egyetlen nagy tükrövel lenne felszerelve. A Mount Palomar Obszervatórium 1948-ban átadott 508 centiméteres távcsövével fél évszázadig nem építettek nagyobb teljesítményű távcsövet (még a Szovjetunióban készült nagyobb, de nem igazán jobb), az új technológiával épült, 10 méter körüli átmérőjűek közül a Keck I volt az első. A Keck II távcsövet 1996-ban telepítették a fent említett ikertestvére mellé. Ha a két távcsővel egyszerre ugyanazt az objektumot figyelik meg, akkor jelentősen növelhető a felbontóképesség. A távcsövekkel az atmoszféra alsóbb rétegeiben már nem észlelhető infravörös- és mikrohullámok is megfigyelhetők.

2.1 Az exobolygók felfedezésének történeti áttekintése

A Naprendszeren kívüli bolygók létezésében a csillagászat megszületése óta azt lehet mondani, hogy mindig voltak, akik nem kételkedtek.

Giordano Bruno kijelentése a leghíresebb, aki azt állította, hogy más csillagok körül is keringenek lakható világok. E feltételezett bolygók kutatására azonban a 19. századig nem nyílt lehetőség.

Először 1855-ben W.S. Jacob a Kígyótartó csillagképben lévő 70 Ophiuci kettőscsillag mozgásának zavaraiából arra következtetett, hogy a csillagnak bolygója lehet. Valamivel később, 1890-ben Thomas J. J. See a Chicagói Egyetem munkatársa egy nem látható test jelenlétét jelentette be ugyanebben a rendszerben, mely az egyik csillag körül 36 éves periódussal kering. A feltételezett pályaadatok alapján végzett számításokkal Forest R. Moulton kimutatta, hogy ezek a pályaadatok meglehetősen instabilitást mutatnak, így valószínűtlen. Majd az 1950-es 1960-as években Peter Van de Kamp végezett megfigyelés sorozatot, ezúttal a Barnard csillagról, melynek távolsága mindössze 6 fényév, és megfigyeléseiből arra következtetett, hogy a vörös törpecsillag körül bolygók keringenek. Ezt a feltételezést azóta sem erősítették meg.

Az első sikeres megerősítés 1988-ra datálható, a Gamma Cephei feltételezett bolygójához köthető, melyet radiális sebesség mérés módszerrel mutattak ki. Felfedezésük meglehetősen bizonytalan volt, így a bolygó tömegét sem sikerült megadni, így kérdéses marad, hogy valóban bolygóról van-e szó. A bolygó felfedezését csak 2003-ban, jóval érzékenyebb műszerekkel, tudták igazolni.

1991-ben Andrew Lyne, M.Bailes és S.L. Shemar a PSR 1829-10 pulzár (egy szupernóva maradvány) körül keringő bolygók felfedezését jelentették be. Később állításukat visszavonták. Az első olyan exobolygó, melynek létét megerősítették, az 1990-ben a PSR 1257+12 pulzár körül felfedezett kísérő volt.

Az első normális csillag körül keringő bolygó felfedezését az 51 Pegasi (Pegazus csillagkép) főszorozatbeli csillaga körül 1995-ben Michel Mayor és Didier Queloz jelentették be. A forró jupitert nem hivatalosan Bellerophon-nak nevezték el.

A legelső infravörös tartományban készített fénykép 2005. őszén készült a 2M 1207 barna törpe bolygójáról. A bolygók elmozdulását a központi csillag körül pedig 2008 novemberében sikerült kimutatni a Fomalhaut b csillag esetében (Déli hal csillagkép).

2.2 Tervezett exobolygó keresési programok

A közelmúltig csupán a Jupiter, illetve Neptunusz méretű exobolygókat sikerült találni. Azóta néhány úgynevezett szuperföldet is sikerült azonosítani, melyek 1-2 Földtömegtől egészen 5 Földtömegig terjednek. Ellenben egy Neptunusz méretű bolygó 14 Földtömeg körüli. A Kepler űrtávcsővel azonban végérvényesen kezdetét vette az a korszak, melyben Föld típusú exobolygókat keresnek a csillagászok, és minden bizonnyal találnak is. Várható ezeknek a tömeges felfedezése, mely új korszakot nyit gondolkodásunkban.

A Sloan Digital Sky Survey programon belül 2008 és 2014 között 11.000 csillag színképének elemzését tervezik, az exobolygók radiális-sebesség módszerrel történő keresésének módszerével. A Marvels programban pesszimista becslések szerint is legalább 200 exobolygó felfedezése várható.

2011 decemberében tervezték, hogy startol a Gaia űrtávcső, mely nagyon pontos asztrometriai vizsgálatokat fog végezni, és várhatóan több száz vagy ezer csillag sajátmozgásából lesz képes bolygók jelenlétének kimutatására. Ennél a módszernél azonban elsősorban gázbolygók felfedezésére lehet majd számítani.



2012-ben tervezik felbocsátani a TESS űrtávcsövet, mely projektet a Google is támogatja.

A fedési módszerrel dolgozó űrtávcső mintegy kétmillió csillag fényerejét fogja vizsgálni az egész égboltot lefedve. A csillagok fényességváltozása segítségével kutat majd exobolygók után. A műhold alkalmas lesz többek között a Naphoz hasonló csillagok körül keringő Föld méretű bolygók kimutatására is. A távcső működésének érdekessége, hogy az általa rögzített tetemes mennyiségű adatnak csak egy

részét küldik a Földre.

2013-ban állítják pályára a James Webb űrtávcsövet, melynek szinte minden, napjainkban folyó program jelentős szerepet kíván szánni. Az űrtávcső segítségével a csillagászok képesek lesznek akár Föld-szerű exobolygókról is képet alkotni. A 2016-ban indítandó New Worlds program egy különleges űreszköz segítségével takarná ki a legkecsegtetőbb bolygók csillagainak korongját, ezzel segítve a James Webb munkáját.

2014-2020 között több a jelenleginél nagyságrendekkel érzékenyebb műszer működésbe állítása várható a tervek szerint. Ezek a japán SPICA és PLATO űrtávcsövek.

2.3. Jelenleg működő projektek

A legjelentősebb exobolygó-kereső programok a svájci Geneva Extrasolar Planet Search, az amerikai California and Carnegie Planet Search, a Systemic (amatőrök részvételével), a TrES, a SuperWASP, az Angstrom, valamint az eredetileg sötét anyagot alkotó égitestek felfedezésére létrehozott lengyel OGLE. 2009-ben indult a FINDS exo-Earths program.

Jelenleg működő űrből végzett keresések a következők: 2003-ban állították Föld körüli pályára a kanadai MOST mikroműholdat, mely a csillagok fényesség változásának ingadozásait méri, melyet exobolygó áthaladása okozhat. 2006. decemberében kezdett el működni a francia COROT űrtávcső, melynek egyik kiemelt célja az exobolygók felfedezése. Csillagfedési módszerrel keresi az exobolygókat, két nagyságrenddel érzékenyebb a földi műszereknél. Első felfedezését 2007 májusában jelentették be. Tömegesen várható a Föld-szerű exobolygók felfedezése. 2009-ben indították a COROT-hoz hasonló, de lényegesen nagyobb teljesítményű Kepler űrtávcsövet, mely kb. 170.000 csillagot tanulmányoz folyamatosan a csillagok fényességváltozását figyelve, azaz bolygófedéseket. Szerencsés esetben exoholdak, sőt akár exobolygók gyűrűi is felfedezhetők vele.

2. Fejezet

A csillagok és bolygórendszerek kialakulása

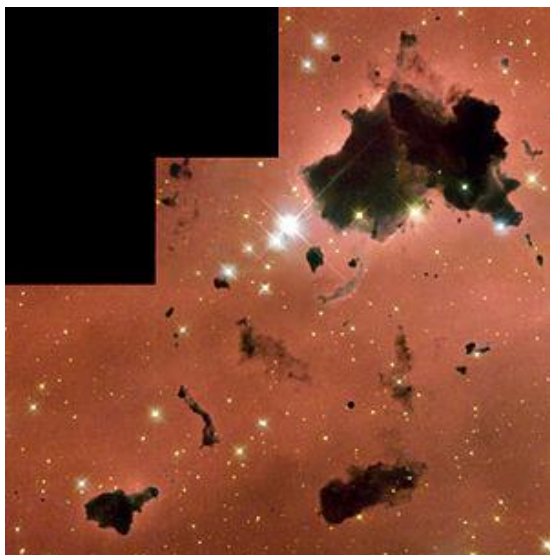
A csillagkeletkezés meglehetősen gyakori jelenség a Tejútrendszerben, ami még sok port és gázt tartalmaz, melyekből csillagok keletkezhetnek. Úgy vélik a csillagászok, hogy évente néhányszor tíz csillag jön létre. A csillagok keletkezése tehát folyamatos. A Tejút nagy por- és gázfelhői akár sok száz fényév átmérőjűek is lehetnek. Kezdetben hidegek és sötétek. Akár mínusz 260 Celsius fok is lehet a hőmérsékletük. Általában nyugalomban vannak, mindaddig, amíg valamilyen külső hatás nem éri őket és nem kezdődik meg az összeomlási folyamat, melynek során a felhő részekre szakad és elkezd a gravitáció hatására összehúzódni. Például egy közeli szupernóva felrobbanásának lökéshulláma könnyen csillagkeletkezést indíthat el egy ilyen gázfelhőben. Nyugodt és sötét gázfelhő például a Lófej-köd az Orionban. A sötét gázköd eltakarja a mögötte lévő világító gázködöt, s így érzékeljük jelenlétét. Hasonló sötét gázköd például a Szeneszsák-köd, vagy a Cygnus-hasadék a Hattyú csillagképben.



Lófej köd

E gázködök kémiai összetétele meglehetősen változatos. Természetesen főként hidrogénből állnak, de tartalmaznak héliumot is. Ezen túlmenően, ha a közelben elegendő szupernóva volt, mely robbanásával szétszórta a nehezebb elemeket, akkor ezek a csillagközi gáz- és porfelhők tartalmaznak minden egyéb más elemet, főként szenet, oxigént, nitrogént, de nehezebb elemeket is, így például vasat vagy akár uránt. Ezek a nehezebb elemek az egész gázfelhő tömegéhez képest szinte jelentéktelen részt képviselnek, de mégis

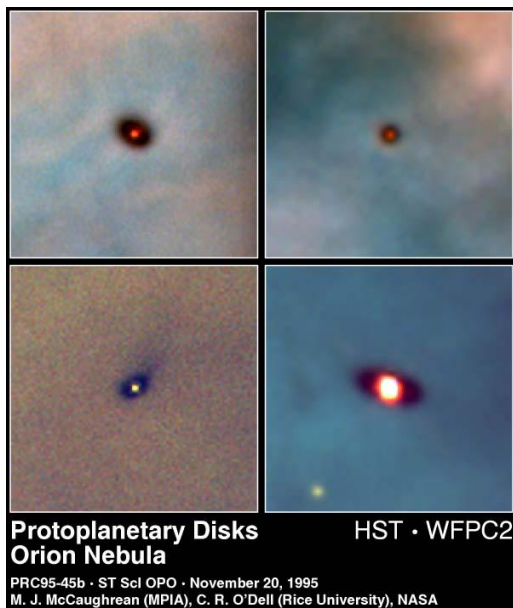
elegendő mennyiségben állnak rendelkezésre, hogy belőlük bolygók jöhessenek létre. A gázfelhőkben molekulákat is kimutattak, így vizet, vagy szerves vegyületeket, közöttük metánt, etánt, alkoholt.



globula

Amint a gravitációnak engedelmessévé a felhő elkezd összehúzódni, részekre szakadozik, tornyokká, oszlopokká áll össze, mely tovább sűrűsödik, majd kisebb úgynevezett globulák jönnek létre, melyek már csak néhány fényév átmérőjűek. Egy-egy gázfelhő, ha elég nagy, akár több száz csillag keletkezéséhez elegendő anyagot tartalmaz. A globulákból azonban már csak rendszerint egy-két csillag keletkezik. Az összehúzódás során létrejövő szerkezeteket jól megfigyelhetjük a Kígyó csillagképben lévő Sas-

ködben, vagy az Orion csillagképben lévő Orion-ködben. Amint az összehúzódás tovább folytatódik, a globula belsejében megjelenik a fokozatosan sűrűsödő és hevülő anyagból létrejövő csillagkezdemény.



Amint a hőmérséklet és a nyomás eléri a csillagkezdeményben a kritikus értéket, megindul a magfúzió. A csillagok keletkezése csillagászati értelemben gyors folyamat. Néhány százezer vagy 1-2 millió év alatt lezajlik. A csillagkezdemény magjában beindul a legegyszerűbb folyamat, a hidrogénnek héliummá fuzionálása, a proton-proton ciklus, mely a fősorozati csillagok energiatermelésének az alapja. A magfúzió kezdetben nem stabil, a csillag hol kitágul, hol összehúzódik, energia kibocsátása sem egyenletes. Ez az állapot néhány millió évig tart, majd megkezdődik a stabil korszaka a csillagnak. A csillagok élete nagyban függ a tömegüktől. Élettartamuk ugyanis tömegüknek köbével fordítottan arányos. Ha a gázfelhőben sok anyag volt, és nagy tömegű forró kék csillagok jönnek

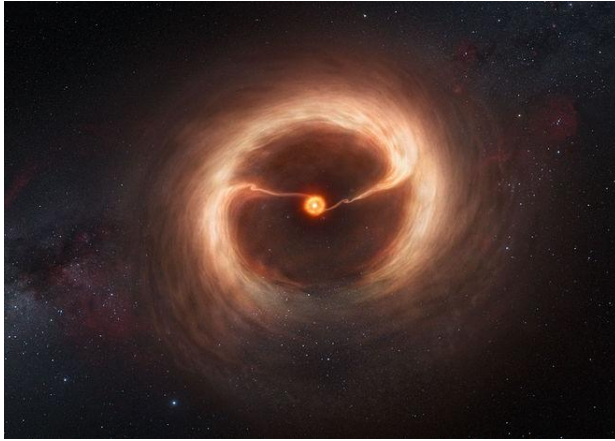
létre, akkor azok csupán néhány százmillió évet élnek. Egy Naphoz hasonló sárga csillagban mintegy 10 milliárd évig tart a hidrogén héliummá egyesülése, míg a vörös törpecsillagokban néhány száz millió évig.

Ha a csillagközi por- és gázfelhőben ideálisak a körülmények, és viszonylag sok fém elemet tartalmaz, akkor az kedvez a bolygók kialakulásának is. A születőben lévő csillag körül úgynevezett protoplanetáris korongok jönnek létre, melyek fokozatosan ellaposodnak és összesűrűsödnek, megjelennek bennük a bolygócsírák.

A bolygókeletkezés folyamata még nem kellően tisztázott, csak modellszámítások vannak, illetve korlátozott mértékben megfigyelések állnak rendelkezésre. Kant és Laplace egymástól függetlenül kidolgozott elmélete szerint az ősköd sűrűsödéséből születnek a bolygók, melyek először a Szaturnusz gyűrűihez hasonló alakzatokká állnak össze, majd ezek tovább növekednek.

A bolygókeletkezés ma általánosan elfogadott elmélete szerint a bolygók kialakulása közvetlenül a csillag születése után, a csillag körül kialakult protoplanetáris korongból indul el. A keringő anyag belső sűrűsödése miatt a protocsillag állapot végén megkezdődik egy akkréciós korong kialakulása a gyorsan forgó csillag egyenlítői síkjában a csillag keletkezése során visszamarad porból és gázból. Először a gázbolygók alakulnak ki a csillag sugárzása által a rendszer külső részébe fűjt gázból, nagyjából 2-3 millió év alatt. A rendszer belső vidékein a gáz kifelé távozása miatt csak a por marad. A füstszemcsékhez hasonló porszemcsék összetapadásával csomósodások jönnek létre az akkréciós korongban, a csomók pedig bolygócsírákká alakulnak. A bolygócsírák folyamatos ütközések során egymáshoz tapadnak és növekednek. A kezdeti időszakban több száz db. 100 km és 1000 km átmérőjű planetezimál jön létre, amelyek folyamatos ütközései alakítják ki a végleges bolygókat. A létrejövő bolygók ezt követően tisztára söprik az űrt a pályájuk mentén.

Érdekes ugyanakkor, hogy számos exbolygó rendszerben forró Jupiterekkel találkozunk, holott az elméletek szerint ezeknek csak a külső régiókban kellene lenniük a keletkezésmodellek szerint. Többen úgy vélik, hogy ezek az égitestek a jelenlegi helyüknél jóval kintebb jönnek létre, majd az akkréciós korongban a sűrűsödés miatt fokozatosan befelé vándorolnak.



A belső részben a kőzetbolygók felszíne a becsapódó testektől megolvad, majd a folyamat végén kialakul a szilárd kérgük a becsapódások elmúltával. A kőzetbolygók megolvadásával egyidejűleg létrejön a szerkezetükben a kémiai differenciálódás, a nehezebb elemek a mélybe süllyednek.

A bolygókon kívül más testek is létrejönnek az akkréciós korongból, a kisbolygók övezetei, valamint az üstökösmagok alkotta felhők, melyek a csillagokat kívülről határolják.

Egészen a legutóbbi időkig az a nézet uralkodott, hogy a bolygók születése a csillagok keletkezéséhez kötődik. Az elmúlt években azonban számos olyan megfigyelés történt, melynek alapján kiderült, hogy a csillagoknál kisebb tömegű barna törpék, melyeknek tömege nem éri el a Nap tömegének $1/10$ -ét, körül is kialakulhatnak bolygók. A barna törpék több szempontból is hasonlítanak az óriásbolygókra. Ezek a barna törpék magányosan bolyonganak a csillagközi térben. Egy részük csillagok körül keletkezett, majd onnan kilöködött, de valószínűbb, hogy sok közülük a csillagoktól függetlenül keletkezett. Egyszerűen nem volt annyi anyag a környezetükben, hogy csillag legyen belőlük. Mindazonáltal e barna törpék körül is van anyagkorong, melyben a bolygókeletkezés lezajlódhat. Megfigyelések támasztják alá, hogy az ilyen barna törpéket porkorongok veszik körül, melyben idővel anyagsomók keletkeznek.

Újabb elképzelés körvonalazódik tehát a bolygók születésével kapcsolatban. Azt már évekkel ezelőtt sikerült megállapítani, hogy a barna törpék csillagoktól függetlenül is keletkezhetnek. A mai tudományos eredményeknek köszönhetően pedig megállapítható, hogy ezek körül más égitestek is kialakulhatnak függetlenül a csillagoktól.

3. fejezet

A lakhatóság kérdése

A csillagászok többsége szerint a Naprendszer egy meglehetősen átlagos képződmény. Bár jelenleg még egyetlen más exobolygó rendszert sem találtunk, mely hasonlítana rá, de ez adódhat abból, hogy még nagyon keveset ismerünk. Más csillagászok ugyanakkor azt mondják, hogy a Naprendszer kivételes.

A Naprendszerben a hagyományos felfogás szerint a Vénusz és a Mars határolja az életövet, azt a területet, ahol a víz folyékony halmazállapotban megmaradhat. Ez mégis egyedül csak a Földön valósult meg. A Vénuszon elszabadult az üvegházhatás, óceánjai felforrtak, életre teljesen alkalmatlan a mintegy 400 Celsius fokos forráság. Ennek ellentéte a Mars, ahol a légkör nagy része elszökött, s az üvegházhatás hiánya miatt egy fagyos sivatag. Mindezek ellenére vannak, akik azt állítják, hogy még ilyen körülmények között sem elképzelhetetlen az élet a Marson, vagy akár a Vénuszon. A Vénusz felhőrétegeinek tetején, ahol a hőmérséklet már megfelelő, és némi vízgőz is található, élhetnek elméletileg olyan lebegő szervezetek, melyek alkalmazkodni tudtak a körülményekhez. A Marson pedig a talajban vagy a kövekben élhetnek olyan organizmusok, melyek elviselik a fagyot.

Az életövezetnek ez a felfogása azonban idejét múlta. Azóta felfedeztük, hogy az Európát, a Jupiter holdját a jégpáncél alatt sós óceán borítja, s az árapályerőknek köszönhetően a mélyben forró víz törhet fel, hasonlóan a földi mélytengeri füstölőkhöz. Így a napfénytől elzártan kialakulhat(ott) egy kemoszintézisen alapuló ökoszisztéma. A Jupiter holdja túl messze van ahhoz, hogy az életövbbe soroljuk, ám mégis lehetséges az élet a mélyben. Hasonló a helyzet a még távolabb keringő Szaturnusz Enceladus nevű holdján. Ennek a holdnak, mely körülbelül mindössze 500 km átmérőjű, jégkérgé alatt szintén sós folyékony víz található, mely időnként a déli pólus közelében lévő repedéseken, amelyeket tigriskarmolásoknak neveztek el, feltör. Valószínűleg a mélyben egy egycellás áramlás lehet.

A Szaturnusz legnagyobb holdja, és a Naprendszer második legnagyobb holdja, a Titán még különösebb az élet szempontjából. Olyan távol kering az életövtől, hogy felszínén az etán és a metán cseppfolyós formában kicsapódik, eső formájában aláhull északon, ahol folyókba gyűlik össze, melyek tavakat táplálnak. Felvetődik a kérdés, hogy a metánon, mint folyékony közegen alapuló élet kialakulhatott-e rajta? Ugyanis ideje megbarátkozni azzal a gondolattal, hogy az élet lehet a földitől teljesen eltérő is.

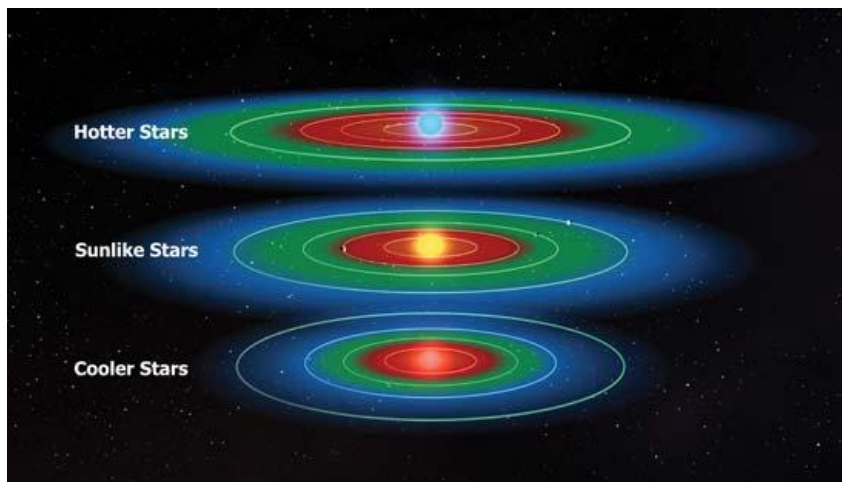
Amikor sorra fedezzük fel az exobolygókat, sőt exobolygó rendszereket, akkor nem szabad megfeledkezni arról, hogy itt a Naprendszerben is milyen változatosak a körülmények. A felfedezett exobolygók nagyon sokfélék. Vannak közöttük Jupiter vagy Szaturnusz méretű óriások, melyek közel keringenek a csillagukhoz, néha olyan közel, hogy akár 1000 Celsius fokra is felhevülhetnek, vagy éppenséggel az életövbben. De akadnak Uránuszhoz és Neptunuszhoz hasonló jégóriások is. Az újabb eredményeknek köszönhetően már néhány Föld-tömegű úgynevezett szuperföldeket is azonosítottak, melyek valószínűleg kőzetekből épülnek fel. Ezek akár az életövbben is keringhetnek.

A hagyományos életöv kifejezést tehát ki kell tágítanunk. Elképzelhető, hogy a felfedezett exobolygók extrém körülményeik ellenére alkalmasak az életre, még akkor is, ha nem feltétlenül a szűken értelmezett életövbben keringenek. Olykor lehet, hogy nem is magán az exobolygón van élet, amely sok esetben egy gázóriás, hanem annak egy nagyobb holdján. Az élet ugyanis nagyon sokféle lehet. Kialakulhat folyadékszerűen viselkedő gázban is, meg lehet, hogy nem egyedül a víz az az oldószer, mely közvetíti a kémiai folyamatokat. Lehetnek

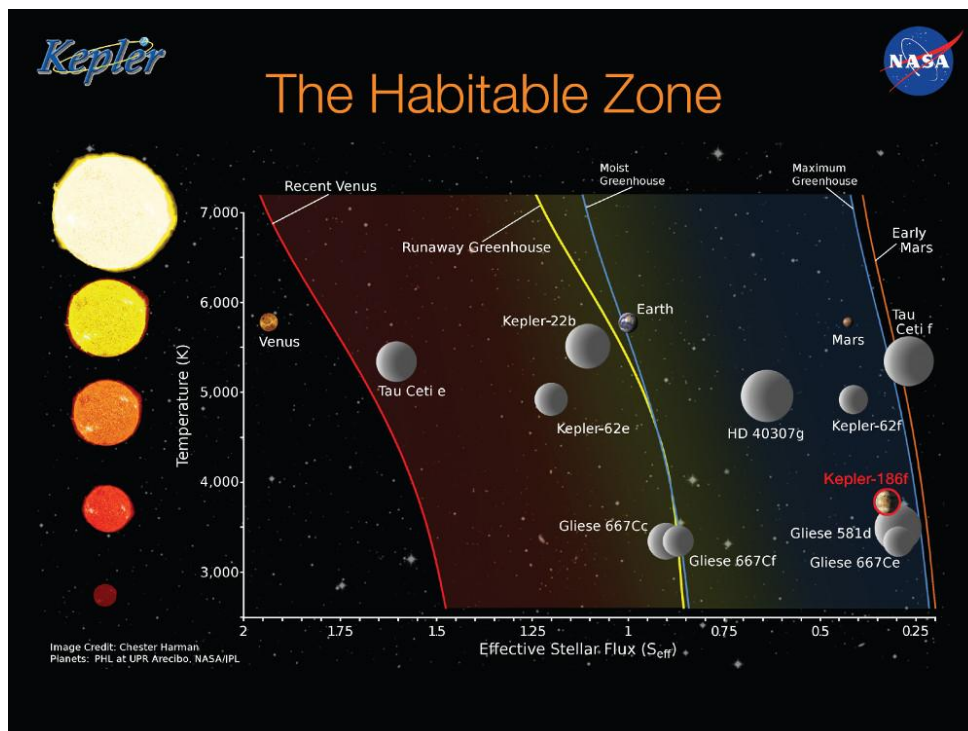
olyan életformák is, amelyek nincsenek rászorulva a központi csillag energiájára, nem fotoszintetizálnak, hanem kemoszintézisre alapítják életműködésüket.

Felfogásunk az életről meglehetősen szűk látókörön belül mozog. Jelenleg nincs viszonyítási alapunk, mert egyetlen viszonyítási pontunk van, s ez a Földi élet. A csillagvilág azonban meglehetősen változatos, sokszor extrém és fantasztikus körülményeket produkál.

Könnyen elképzelhető, hogy az exobolygó, ha az történetesen egy gázóriás, de található a felhőrétegekben megfelelő mennyiségű víz és szerves anyag, akkor megtelepedhet rajta az élet. Ha pedig nagy holdjai vannak, melyeken víz található, akkor azokon akár bonyolultabb felépítésű élet is kialakulhat. A kőzetek alkotta exobolygók is sokfélék lehetnek. Ha nagyobbak, mint a Föld, akkor gyökeresen eltérőek is lehetnek. Összetételük nagyban függ attól is, hogy az anyagfelhő, melyből kialakultak, milyen elemeket tartalmazott.



lakhatósági zónák



4. fejezet

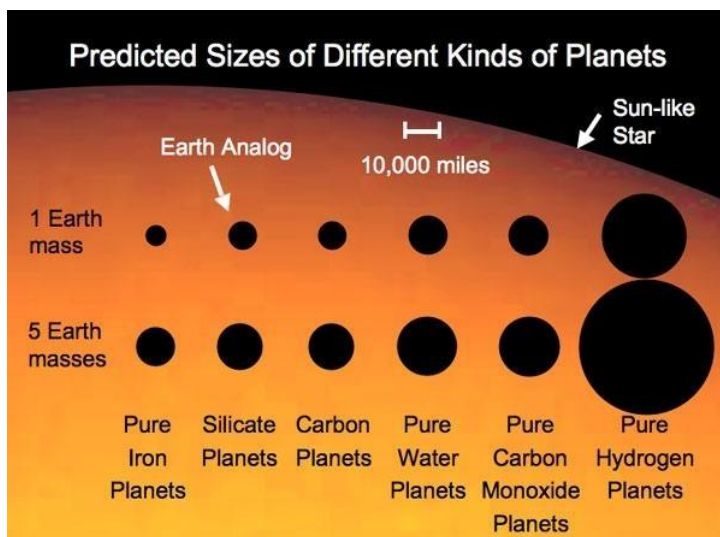
Az exobolygók sokfélesége

A Föld típusú bolygókból itt a Naprendszerben, a Földet leszámítva még három található. Ezek a Merkúr, Vénusz, Mars. Meglehetősen eltérnek egymástól. A Merkúr nagyrészt – mintegy átmérőjének kétharmad része – vasból áll, s csak a maradék a szilikátos felső a harmadrész.

A Vénusz hasonlít méretben és összetételben leginkább a Földre. Egy szilikátokat tartalmazó bolygó. A Mars csupán feleakkora, mint a Föld, vasmagja is, tehát sűrűsége is kisebb.

A Földhöz hasonló bolygók az exobolygók között is minden bizonnyal szép számban akadnak. A tudósok ki is dolgoztak egy osztályozási módszert, mely összetételükben és méretükben elkülöníti ezeket. Az 1 Föld-tömegnyi, de a Földnél kisebb átmérőjű exobolygók jórészt főként vasból állnak. Ezek leginkább összetételükben a Merkúrhoz lehetnek hasonlatosak. Az egy Föld-tömegnyi, de a Földnél nagyobb átmérőjű exobolygók összetételük szerint lehetnek szénbolygók, tiszta vízből álló bolygók, tiszta széndioxidból álló és tiszta hidrogénből álló bolygók. A legalább 5 Föld-tömegnyi bolygók esetében átmérő függvényében ugyanez a sorrend, ahogy az átmérő növekszik, a vasbolygótól a hidrogénbolygóhoz jutunk el.

Néhány szót érdemes ejteni ezekről a különleges bolygókról. A Földnél nagyobb tömegű és átmérőjű úgynevezett szuperföldek önálló kategóriát alkotnak. Ezek között akár 7 Föld-tömegnyi és 2 Föld-átmérőjű is akad. Ezeknek a bolygótípusoknak várhatóan más lesz az összetételük is. A tudósok megalkották ezeket az elméleti kategóriákat. Például egy olyan bolygókeletkezési zónában, ahol sok a szén, várható, hogy szilikátos helyett inkább szénbolygók jönnek létre. Ezek vas-nikkel-szén magból állnak, melyeket karbidos köpeny és szén tartalmazó kéreg vesz körül. Meglehetősen különlegesek lehetnek mind kinézetükben, mind az élet szempontjából. A Földnél nagyobb átmérőjű szuperföldek között akadhatnak olyanok is, amelyek külső rétegét több száz kilométer víz alkotja. Ezek leginkább a Naprendszer-béli Európára hasonlíthatnak. A legnagyobb szuperföldek pedig már átmenetet képezhetnek az óriásbolygók világába, mivel sok hidrogént tartalmaznak.

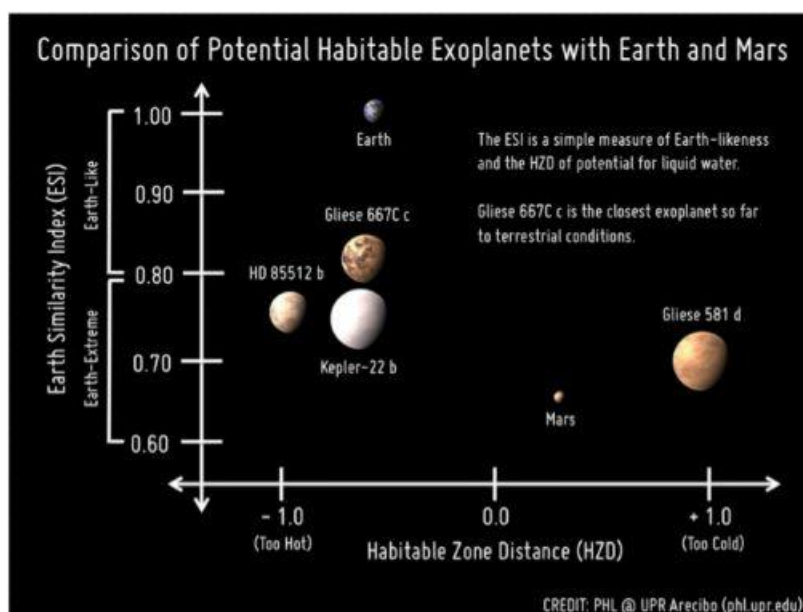
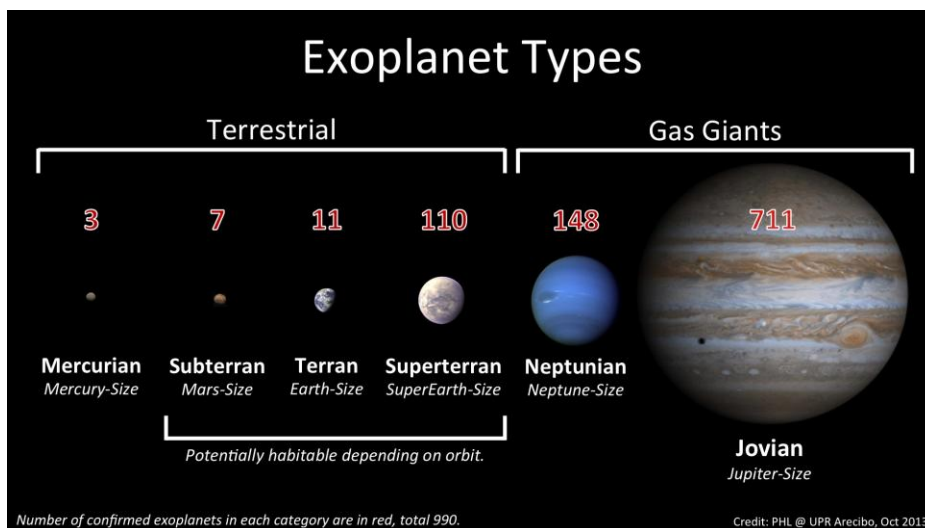


Exobolygó típusok

A gázóriások külön kategóriát alkotnak itt a Naprendszerben is. Tömegben először a jégóriásokkal kell kezdeni, ilyenek a Neptunusz és az Uránusz. Ezek 14 Föld-tömegnyiek. Kőzetekből álló magjuk van, sok jeget, vizet és gázt tartalmaznak. Főként hidrogént, de

emellett metánt és etánt is. Továbbá elemi szén is található bennük. Az exobolygók között számos Neptunusz méretűt fedeztek fel. Ezek a gázbolygók mind összetételükben, mind szerkezetükben eltérnek a náluk nagyobb átmérőjű és nagyobb tömegű gázóriásoktól. A néhány ezek kilométer vastag főként hidrogén-metán légkör alatt egy valószínűleg vízből és más szénvegyületekből álló „óceán” forr, mely lefelé haladva fokozatosan sűrűsödik, míg legfelül a kőzetekből, jégből és esetleg szénből álló mag lehet.

A fentiekkel ellentétben a Jupiter típusú gázóriások összetétele és felépítése merőben más. Ilyen a 95 Föld-tömegnyi Szaturnusz és a 318 Földtömegnyi Jupiter. Az ilyen típusú bolygók főként hidrogénből és héliumból állnak. Légkörük fokozatosan sűrűsödik, míg végül folyékony hidrogén fázisba megy át, mely végül fémes hidrogénné alakul. Legfelül egy kőzetekből álló mag található. Jupiter típusú gázóriásokból találták a legtöbbet. Akadnak köztük szép számmal Szaturnusz méretűek, de olyanok is, melyek még a Jupiternél is nagyobbak. A határt nagyjából 50 Jupiter tömegnél húzhatjuk meg. E fölött már nagy valószínűséggel nem bolygóról, hanem barna törpéről beszélhetünk. Olyan égitestről, melyben deutérium fúzió folyhat. Nem volt elegendő anyag ahhoz, hogy valódi csillaggá hízzon, hiszen körülbelül 100 Jupiter-tömeg esetén már vörös törpecsillagról beszélünk.



5. Fejezet

Az exobolygók elérésének lehetősége, a csillagközi utazás

Az emberiség nagyon régóta álmodozik a csillagközi utazásról. Már az ókori népek vallásos misztériumaiban helyet kapott a gondolat. Egyiptomban a Napbárka volt az, mellyel Ré utazik a csillagok között. „Aton égi hajója” földi mása volt az, melyet a piramisok mellé temettek, vagy az, amelyen az Opet-ünnep alkalmával Amon, a rejtett istenség szobrát végighordozták.

Azután a 20. században, amikor a tudomány feltárta a csillagok világának valódi mibenlétét, ismét előtérbe került a gondolat. Először sci-fi írások foglalkoztak vele, később már a tudományos közösség is reális lehetőségként számolt ezzel. Ma rengeteg olyan film fut, amelyek tudományos alapokra építve elénk tárják a csillagok közötti utazást, s az mindennapos része valamilyen galaktikus kalandnak. A csillagászok persze már jóval óvatosabban kezelik a kérdést. A roppant távolságok, melyek a csillagok között vannak, józanságra intik őket. Ennek ellenére lehetségesnek tartják, hogy egy napon az emberiség eljusson más csillagok bolygóira. A hidegháborús űrverseny éveiben születtek is tervek ezzel kapcsolatban. A két legnevezetesebb az Orion- és a Daedalus-terv volt. Ezek azonban csak elméleti elgondolások. Egyik sem jutott el a megvalósítás fázisába. Azóta az űrhajózás is megtorpant. A Mars utazás eredetileg 2010-es dátumát is már többször módosították, s ha minden igaz, talán 2030 táján lesz belőle valami. Sajnos a gazdasági-társadalmi és politikai helyzet nem kedvez az efféle nagy vállalkozásoknak. Az űrrepülőgép flottát nyugdíjazzák, a helyettesítésére kidolgozott tervek akadoznak. Reménysugárt jelent a magánszektor szédítő ütemű fejlődése. Ma már magánűrhajók terveiről hallani innen-onnan.



A Daedalus-terv űrhajója

A csillagközi utazás azonban merőben más. Nem olyan, mint eljutni a Holdra, vagy a Marsra, s még attól is jóval nehezebb feladat, mint a Plútóhoz küldeni a New Horizon szondát. Hogy érzékeltessem ennek mibenlétét, elmondom, hogy a Naprendszerből kifelé tartó Pioneer és Voyager szondáknak 70 ezer évbe tellene, hogy eljussanak a legközelebbi csillagig, amely az útjukba esik, pedig jelenleg 64 000 km/h a sebességük.

Egy ennél százszor gyorsabb űrhajónak is értelemszerűen 700 évbe tellene ez a vállalkozás. Még ha sikerülne is építenünk olyan járművet, amelynek a sebessége jelentősen megközelíti a fény sebességét, akkor is a legközelebbi csillagig, a Proxima Centauri-ig az út 4,2 évig tartana. És ez csupán egy jelentéktelen vörös törpecsillag, aminek minden jel szerint nincsenek bolygói. Felesleges tehát odamenni. Az ígéretes csillagok ennél 10-szer vagy akár 100-szor messzebb vannak.

Egyelőre, talán érthető okok miatt, nincsen meg az a nemzetközi akarat sem, hogy kimunkáljanak a gyakorlatban olyan technikai megoldásokat, amelyek lehetővé tennék a csillagközi utazást. Még a Naprendszer sem ismerjük eléggé, s még csak a Holdon járt ember. Érthető tehát a probléma. Igazuk van azoknak, akik azt állítják, hogy először szűkebb környezetünket kell meghódítanunk, s csak azután jöhetnek a nagyobb feladatok. Tapasztalatlan még az emberiség. Egyelőre nincs is olyan célpont, ahová nyugodt szívvel elindulhatnánk. Eddig többnyire csak gázóriásokat fedeztek fel más csillagok körül. Nincsenek olyan potenciális bolygójelöltek, amelyek Föld-szerűek lennének, s életet hordoznának, vagy arra alkalmasak volnának. Ezek felfedezésére még éveket kell várni.

Mindezen nehézségek ellenére én hiszem és vallom, hogy az emberiség le fogja győzni az elé táruló akadályokat. Hogy lesz majd olyan cél, amelyért érdemes belevágni ebbe a nem kis feladatba, mely minden bizonnyal az emberiség történetének legnagyobb vállalkozása lesz majd, s új fejezetet nyit. Ez az írás végigveszi a lehetőségeket, mindazt, amit ma ismerünk, s a jövőbe tekintve felvázolja a ma ismert lehetséges megoldásokat e kérdéskörben.

1.1 A csillagközi repülés nehézségei

A távolságok

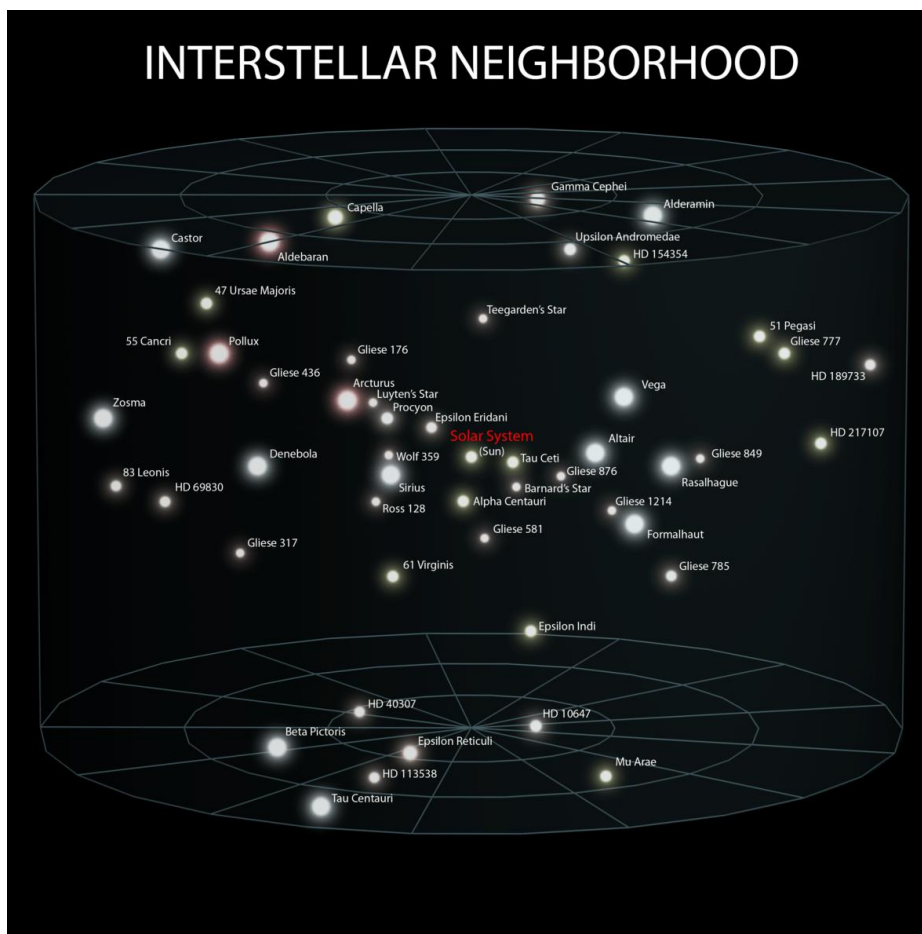
A csillagközi utazás legnagyobb problémája a távolság. A csillagok a környezetünkben, a Tejút Orion-karjának nevezett régiójában meglehetősen távol helyezkednek el egymástól. A legközelebbi rendszer egy hármas, az α Centauri A és B valamint a Proxima Centauri. Az előző kettő egy, a Napunkhoz hasonló sárga csillag, a harmadik komponens (Proxima) pedig egy vörös törpecsillag. 4,2 illetve 4,3 fényévnnyire vannak, azaz a fény, mely vákuumban 300 ezer km-t tesz meg másodpercenként, a fenti csillagokig több mint négy év alatt teszi meg az utat. A Naprendszer környezetében lévő többi csillag ettől kétszer-háromszor messzebb van. A Nap 20 fényéves körzetében 59 csillagrendszer található, 81 látható csillaggal. A következő csillagok egy csillagközi misszió elsődleges célpontjai lehetnek:

Rendszer	Távolság (fényév)	Megjegyzések
Alfa Centauri	4,3	Legközelebbi rendszer. Három csillag, (G2, K1, M5). Az A komponens hasonló a Naphoz (G2 csillag).
Barnard-csillag	6,0	Kisméretű, alacsony luminozitású M5 vörös törpe. A Naphoz második legközelebbi csillag.
Szírusz	8,7	Óriási, nagyon fényes A1 csillag, egy fehér törpe kísérővel.
Epszilon Eridani	10,8	Egyedüli K2 csillag, valamivel kisebb, és hidegebb, mint a Nap.
Tau Ceti	11,8	Egyedüli G8 csillag. Hasonló a Naphoz. Nagy valószínűséggel a Naprendszerhez hasonló bolygórendszerrel rendelkezik.
Gliese 581	20,3	A Gliese 581 d exobolygó felszínén folyékony víz is előfordulhat.

A Föld-Hold távolság mindössze 1,3 fénymásodperc, míg az egyes bolygók távolsága a Naptól néhány fényperctől egészen 5-6 fényóraig terjed. A jelenleg rendelkezésre álló meghajtásainktól a fény kb. 200 ezerszer gyorsabb. A Naprendszerben az egyes bolygók esetében, helyzetüktől függően, néhány hónap és néhány év közötti az az idő, amely alatt elérhetőek.

Még ez is meglehetősen soknak tűnik. Gondoljunk csak akkor bele abba, ha ezt csillagközi távolságok viszonylatába helyezzük át, mint azt az előszóban leírtam. A Naprendszeren kívülre indított leggyorsabb űrszonda a Voyager-1, és ennek a sebessége körülbelül 17 km/s. Ezzel a sebességgel számolva egy a Proxima Centaurihoz indított repülés 72 000 évig tartana. Megjegyzendő azonban, hogy a Voyager program célja nem a gyors csillagközi utazás volt, és a jelenlegi technológia gyorsabb repülést tesz lehetővé, de még ezzel is legoptimálisabb esetben is kb. 100 évet venne igénybe.

Jól érzékelteti a fentiek egy példa, melyben, ha méretarányosan lekicsinyítünk mindent, a következőket kapjuk: ha a Föld-Nap távolság 1 méter (valójában 150 millió km), akkor a legközelebbi csillag távolsága 271 km.



Közeli csillagok

Az oda-vissza út, a késedelmi idő

Ezzel a problémával már ma is találkozunk. Ennek oka egyszerű: az információ terjedésének leggyorsabb lehetősége a fénysebesség. Ám mint láttuk, a fénynek is időre van szüksége, hogy bizonyos távolságokat megtegyen. Ezért, ha például egy Mars-járművet szeretnénk a Földről irányítani, akkor a parancsok és az arra adott válaszok több percet késnének.

Annak ismeretében, hogy az információ nem képes gyorsabban haladni a félynél, ez az időtartam az űrszonda idővel kifejezett távolságának minimum kétszerese. A Voyager-1 esetében ez az időtartam most körülbelül 30 órát jelent, míg a Proxima Centauri közelében 8 évet. Gyorsabb reakció eléréséhez magát a reakciót és a kiváltó eseményt előre be kell programozni. Természetesen egy személyzettel ellátott űrhajón a legénység azonnal képes reagálni,

a megfigyeléseiknek megfelelően. Mindazonáltal az oda–vissza késedelmi idő nem csak fizikailag, de a kommunikációt tekintve is elszigeteli az űrhajón lévőket a Földtől; hasonlóan a távíró feltalálása előtt tett nagy utazásokhoz a Földön. Ennek megfelelően előállna az az érdekes jelenség, hogy sohasem hírek érkeznének hozzánk, hanem mindig csak történelem. A távolsággal arányosan egyre régebben és régebben történt események.

Ezáltal lehetetlen volna, hogy a Föld segítséget nyújtson például egy adott probléma esetén. Ez minimum 4-5 éves késedelemmel történhetne csak meg. Ezen túl pedig mindig kétszeres idővel kell számolni az üzenet és a válasz esetén. Az expedíciós űrhajóval történő kommunikáció szinte lehetetlenné válna, mert egy-egy üzenet és válasz között évek, vagy távolabbi cél esetén évtizedek telnének el.

Nem kell különösebben ecsetelni, azt hiszem, hogy pszichológiailag ez az elszigeteltség mennyire próbára teheti a misszió tagjait. Az utazás során azzal is szembesülnének, hogy mire visszatérnének, a Földön akár évtizedek is eltelhetnek, sok minden megváltozna, mialatt ők távol voltak.

Vitatott, hogy egyáltalán egy 50 éven belül nem befejezhető küldetést érdemes-e elindítani. Ehelyett, az erre szánt pénzt célszerűbb jobb meghajtási módszerek tervezésébe fektetni, mert egy lassan haladó űrhajót feltehetőleg megelőzne egy később indított, ám korszerűbb meghajtású másik űrhajó. Másrésztől azonban Andrew Kennedy kiszámította, hogy ha egy megadott úticélra a várható utazási időt a sebesség várható (akár exponenciális) növekedési rátájából származtatjuk, akkor az utazás összidejére egy minimum adódik. Ez azért jelentős, mert a minimumból meghatározható a legkedvezőbb időpont az indulásra. A gyakorlatban ez azt jelenti, hogy az ekkor indult űrhajó megelőz bármely korábban indított űrhajót, ám ő maga a később indítottak számára szinte utolérhetetlen. Tehát bármely csillagok közt utazó civilizáció meghatározhat egy egyedi időpontot, amely a legkedvezőbb az indulásra; és a leghatékonyabb, a befektetett időt és pénzt tekintve.

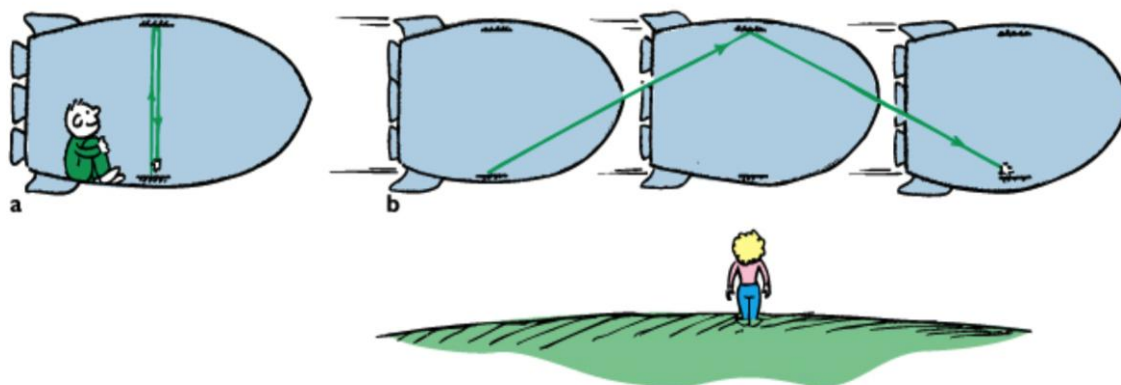
Az ikerparadoxon

Einstein általános relativitáselméletéből ismert jelenség, mely szerint a gyorsuló vonatkoztatási rendszer órái lassabban járnak.

A speciális relativitás elmélet szerint a fedélzeten annál jobban, minél inkább megközelíti az űrhajó a fénysebességet az órák lassabban járnak. A Földön természetesen az idő változatlanul telik. Így megtörténhet az, hogy egy ikerpár esetén az egyik néhány hónapot öregszik, míg a másik évtizedeket. Ez lehetőséget nyújt a távolságok leküzdésére. A fedélzeten az űrhajósok számára az út lényegesen kevesebb idő, mint a földi megfigyelő számára. Az alábbi táblázat a sebesség és az idő kapcsolatát mutatja.

v/c	t'	t	objektum
0,1	4,278446	4,3	Alfa Centauri
0,5	5,196152	6	Barnard csillag
0,8	4,8	8	Szíriusz
0,9	4,794789	11	Tau Ceti
0,99	3,526684	25	Vega
0,999	21,01378	470	Betelgeuse
0,9999	14,14178	1000	

Ahol v az űrhajó sebessége, c a fénysebesség, t' a fedélzeti idő és t a külső megfigyelő számára eltelt idő.



Hewitt, *Conceptual Physics*, Ninth Edition.
Copyright © 2002 Pearson Education, Inc., publishing as Addison Wesley. All rights reserved.

Energetikai problémák

Egy jelentős probléma, amely hozzájárul a nehézségekhez, egy megfelelően rövid utazáshoz szükséges energia. A szükséges energia alsó határa a mozgási energia: $E = \frac{1}{2}mv^2$, ahol m az űrhajó tömege. Amennyiben az érkezéskor lassítás szükséges, akkor az energiaszükséglet még magasabb.

Személyzettel ellátott, néhány évtizedig, a legközelebbi csillagokhoz tartó hosszú utazáshoz is a jelenleg elérhető űreszközök sebességének legalább ezerszerese szükséges. A sebesség négyzetével arányosan nő a szükséges energia, tehát milliószeres. Ahhoz, hogy egy tonnát a fénysebesség tizedére gyorsítsunk fel, $4,5 \times 10^{17}$ J vagyis 125 milliárd kWh munka szükséges, nem számolva a veszteségeket. Ezt az energiát tárolni kell, amit nehezít, hogy jelenleg nincs olyan hatékony energiatermelés a kezünkben, mellyel ez megoldható. Megoldásként a fúzió vagy még inkább az annihiláció, azaz anyag és antianyag energiaként való szétsugárzódása jöhet számításba. 1 kg antianyaggal már elhagyható a Naprendszer. Probléma azonban az antianyag előállítása és tárolása. Manapság ugyan már a részecskegyorsítókban képesek vagyunk antianyagot előállítani, de ennek mennyisége elhanyagolható, csak kutatási célokra alkalmas. A tárolás is jelentős gond, mivel nem érintkezhet semmivel. Speciális mágneses erőtér elvű palackokra lenne szükség, melyek semmilyen körülmények között sem eresztenének.

Egyes vélemények szerint az energia nagysága lehetetlenné teszi a csillagközi utazást. A 2008-as Joint Propulsion Conference-en, ahol a jövőbeni űreszközök meghajtását vitatták meg, a résztvevők azt a következtetést vonták le, hogy rendkívül valószínűtlen, hogy az ember valaha is elhagyja a Naprendszert. Brice N. Cassenti a Rensselaer Intézet Műszaki és Tudományos Részlegének (Department of Engineering and Science at Rensselaer Polytechnic Institute) professzora egyenesen azt állította, hogy „az Alfa Centauri csillaghoz eljutni a világ energiatermelésének legalább 100-szorosára van szükség”. A jelenlegi helyzetet figyelembe véve jogos az állítás, de nem szabad elfeledkeznünk arról, hogy 200 vagy 500 év múlva merőben más lehetőségek állhatnak az emberiség rendelkezésére.

Sugárzások

A csillagközi utazás egyik kiemelt problémája az űrhajót érő sérülésekre irányul; extrém magas sebességeknél a csillagközi gáz és por bizonyosan nagy károkat okoz; amelynek oka az egymáshoz viszonyított nagy sebesség, illetve az óriási mozgási energia. A sérülések enyhítésére különféle pajzs-technológiákra születtek javaslatok. A nagyobb tárgyak (például szabad szemmel is látható porszemcsék) kevésbé gyakoriak, ám hatásuk sokkal destruktívabb lehet. A finom por, vagy akár elemi részecskék keltette nagyon erős gammasugárzás elpusztít minden életet, sőt magában az űrhajó jövőbeni vezérlőrendszerében is kárt okozhat. Emellett számolni kell azzal a csillagközi sugárzással is, mely más csillagok felől érkezik, s itt a Naprendszeren belül megvéd tőle minket a Nap mágneses tere, ebből kilépve azonban hatásuk nem elhanyagolható.

2.1 A csillagközi repülésre javasolt módszerek

Ahogy szó volt a csillagközi távolságokról, beláthatjuk, hogy minimálisan a fénysebesség $\frac{1}{10}$ -ét el kellene érni ahhoz, hogy a legközelebbi csillag legfeljebb 40 év alatt megközelíthető legyen. Ebben az esetben az ikerparadoxon még alig éreztetné hatását. Távolabbi csillagok esetében már hosszabb volna az út, mint egy emberélet. Erre a feladatra több meghajtási rendszer is képes, de jelenleg még egyik sincs kifejlesztve.

Nukleáris meghajtás

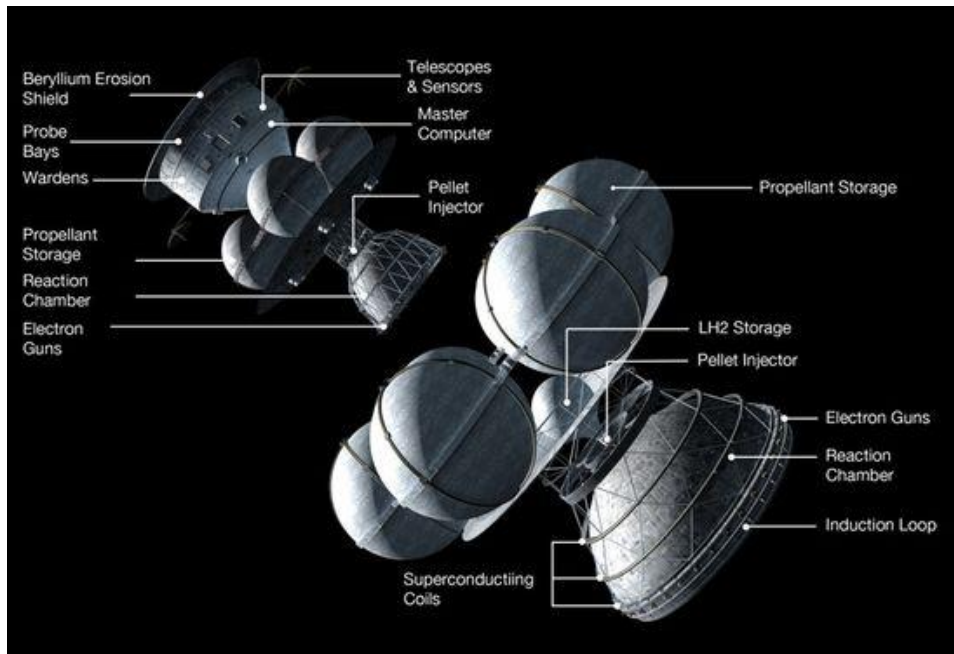
Technikailag az 1960-as évektől lehetséges nukleáris impulzusmeghajtású űrhajók építése. Az ilyen meghajtás nem más, mint nukleáris robbanások sorozata. Ez a fajta meghajtási rendszer előreláthatólag nagyon magas specifikus impulzust (a fogyasztás megfelelője az űrrepülésben) és nagy sebességet biztosít, ennél fogva a legközelebbi csillagok elérése inkább évtizedekben, mintsem évszázadokban mérhető. Az építési és üzemeltetési költségek a szállítható teher alapján számolva a vegyi hajtású űrhajókéhoz hasonló.

A javasolt nukleáris impulzusmeghajtású csillagközi űrhajók közt található az Orion-terv, amely nukleáris bombát használ hajtótöltetként. Az Orion egyike annak a nagyon kevés ismert csillagközi űrhajó javaslatnak, amelyet teljes egészében fel lehet építeni létező technológiával. Mindazonáltal a csillagközi utazás csak egy fejlesztett típussal lenne lehetséges, amelyet 0,08-0,1 c elérésére terveztek. A tanulmányozott verziók sebessége 20-30 km/s volt (nem sokkal több a Voyager szonda sebességénél), túlzottan alacsony egy ésszerű csillagközi repüléshez. Másrészt a tervezetet elvetették az ENSZ időközben megszületett világűr egyezményei miatt, melyek kimondják, hogy nukleáris kísérleteket nem folytathatnak a világűrben.

Magfúzió

A fúziós reaktorokkal felszerelt fúziós rakéták képesek lehetnek a fénysebesség 10%-ának elérésére. Az ilyen űrhajók olyan könnyű elemek izotópjának fúziójából nyernek energiát, mint amilyen a deutérium, trícium. Az egyik fúziós rakétát tartalmazó javaslat a Daedalus-terv. Mivel a fúzió a nukleáris fűtőanyag tömegének körülbelül 1%-át sugározza ki energia formájában, ezért energetikailag előnyösebb a maghasadásnál; amely a fűtőanyag tömegének energiájának csupán 0,1%-át bocsátja ki. Mindazonáltal a kivitelezhető fúziós reakciók az energia legnagyobb részét nagy energiájú neutronok formájában sugározzák ki, amelyeket nem egyszerű felhasználni a meghajtáshoz.

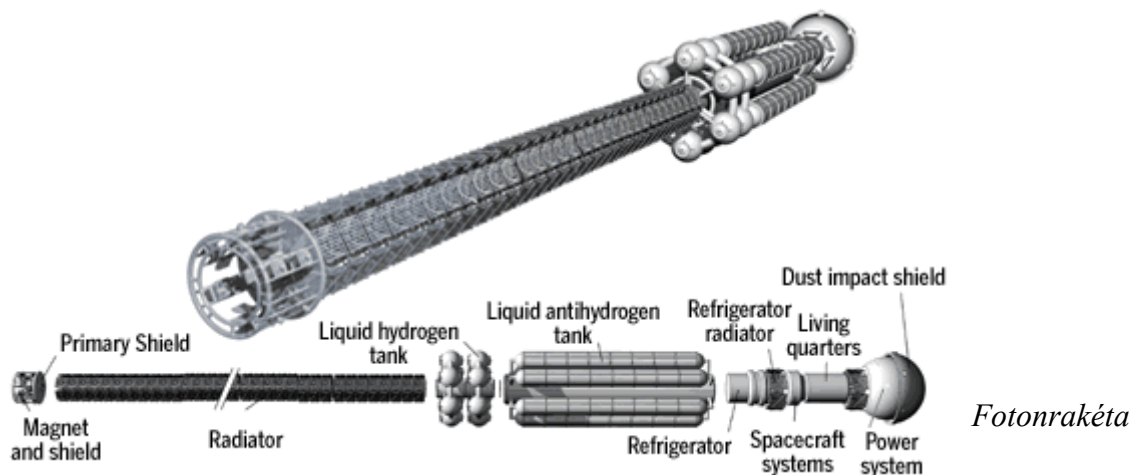
A Daedalus-terv űrhajója kidolgozásakor az Angol Bolygóközi Társaság a Barnard Csillagot javasolta úticélként, mely 6 fényévre van, s a tervek szerint mintegy 50 év alatt elérhető lett volna. A megvalósítás költségeit 1980-as árakon 100 milliárd dollárra becsülte. A terv megvalósítására nem történtek lépések, részben a technikai, részben az anyagi források hiánya miatt. Májig nem megoldott például az ellenőrzött magfűzió. Valamint elmondhatjuk azt is, hogy az 50 évnyi utazás túl hosszú idő. Gyakorlatilag, még ha 20 évesek indulnak útnak, akkor is már 70 évesek lesznek, mire megérkeznek.



A Daedalus

Antianyag (foton) rakéta

Egy antianyag rakéta energiasűrűsége és specifikus impulzusa lényegesen magasabb lenne, mint bármely más rakétának. Elméletben az anyag és antianyag teljes tömege energiává alakul egy kisugárzott foton segítségével. Amennyiben erőforrásokat és hatékony termelési módszert találnak a szükséges mennyiségű antianyag előállításához, akkor egy ilyen űrhajó elméletben megközelítheti a fénysebességet; így az idődilatáció hatása egyre inkább érzékelhetővé válna. Tehát egy külső szemlélő számára lelassulna az idő múlásának üteme az űrhajón. A fotonrakéta megvalósítása azonban számtalan akadály előtt áll. Nem megoldott a megfelelő mennyiségű antianyag gyors, és olcsó előállítása, és tárolása. Néhány kg antianyaggal már elérhető a legközelebbi csillag. Probléma továbbá, hogy az űrhajó a nagy sebesség miatt kemény gammasugárzást szenvedne a beléje ütköző részecskéktől. Szükséges volna pajzsrendszer kidolgozása. A fotonrakéta elméleti felépítését már korábban kidolgozták. Az annihilation egy el nem párolgó tükrrendszer fókuszában zajlana. Létezik ugyanakkor lézermeghajtásos változata is, ahol kvantumerősítő hozza létre a nyalábot.



Részecskesugár meghajtás

Egy, a kiinduló Naprendszerben felépített hatalmas lézer, vagy részecskegyorsító által meghajtott napvitorla, illetve mágneses vitorla lényegesen nagyobb sebességet képes elérni a hagyományos rakéta- és impulzusmeghajtásoknál, tudniillik nem kell magával vinnie a saját meghajtásához szükséges anyagának tömegét, csupán az űrhajó hasznos rakományát. A részecskesugár meghajtás a jelenleg elérhető legjobb módszernek látszik a csillagközi utazásra, hiszen ismert fizikát és ismert technológiát használ fel, amelyet jelenleg más célokra fejlesztenek.

Egyéb meghajtás

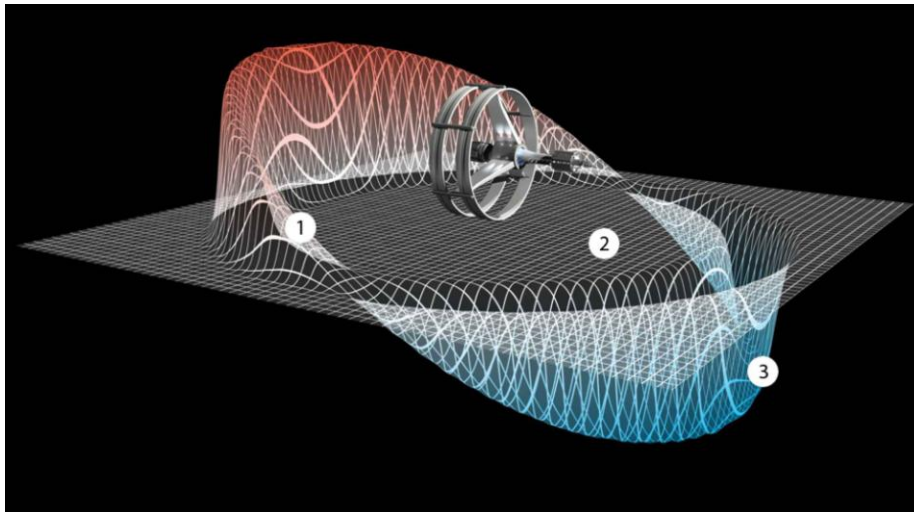
Igen merész ötlet egy parabola tükör segítségével egy mikrofeketelyuk Hawking sugárzását felfogni. Mégis kidolgozták egy ilyen elméleti űrhajó tervét. A Hawking-féle mikrofeketelyuk csupán egy protonnyi nagyságú, s néhányszor tíz tonna tömegű, de párolgása során elegendő energiát termelhet. 2009-ben a Kansasi Állami Egyetem (Kansas State University) tudósai, Louis Crane és Shawn Westmoreland kiadtak egy munkát, amely az ötlet megvalósíthatóságát taglalja. Azt a következtetést vonták le, hogy a módszer a megvalósíthatóság határát súrolja; nagyban függ a ma még nem ismert kvantumgravitációs hatásoktól.

A térhajtómű

A tudósok és írók számos módszert ötlöttek ki, melyek képesek lehetnek felülmúlni a fény sebességét; ám még a legkomolyabban átgondoltak is spekulatívak, s vannak köztük olyanok, melyek logikai bukfenceket tartalmaznak. Korábbi elméletek közül megemlíthető a tachion-hajtás. Ezek be nem bizonyított elméleti részecskék, melyek képesek a féynél nagyobb sebességre. A másik ilyen az idősűrítés elve, mely által fokozható a sebesség. Ez azonban fizikai képtelenség.

A téridő görbületét kihasználva elképzelhető lenne, hogy egy tárgyat az egyik pontból a másikba egy „rövidítőúton” juttassunk el. Ez a térhajtás koncepciójának egyik formája.

A fizikában, az Alcubierre hajtás arra épül, hogy a görbület akár egy hullám alakját is felveheti; melyben az űrhajót a „buborék” szállítja. A buborék egyik végén a téridő összeomlik, míg a másik végén kiterjed. A hullám mozgása képes az űrhajót kevesebb idő alatt a kívánt pontig szállítani, mintha az utat a fény tenné meg meggörbítetlen téridőben. Mindazonáltal az űrhajó nem mozog a féynél gyorsabban a buborék belsejében, így nem sérülne a fizikának az a nagyon fontos alaptétele, miszerint a fény sebessége határsebesség. A koncepció azonban megköveteli az egzotikus részecskék, vagyis a negatív tömeg és energia létezését.



Térhajtómű

A féregjáratok olyan feltevésen alapuló torzulások a téridőben, melyek az elméleti szakemberek szerint képesek összekapcsolni az univerzum két tetszőleges pontját egy Einstein-Rosen hídon keresztül.

Még nem bizonyított, hogy a féregjáratok a valóságban is léteznek. Habár az általános relativitás egyenleteknek vannak olyan megoldásai, amelyek megengedik a féregjáratokat; ezek mindegyike feltételezésekkel jár, mint például a negatív energia létezése. Ugyanakkor Cramer és mások azzal érvelnek, hogy ilyen féreglyukak létrejöhetnek a korai univerzumban, melyeket kozmikus húrok stabilizáltak. A féregjáratok azonban Kip Thorne és Hawking munkássága alapján meglehetősen instabil képződmények. Létrehozásukhoz ugyanakkor jelentős energiák szükségesek, illetve a negatív energiasűrűségű anyag a stabilizálásához. Ezek jelenleg inkább elméleti megoldások. Megvalósításuktól, ha egyáltalán a fizika törvényei megengedik, nagyon távol vagyunk.

3.1 Alternatív megoldások

Léteznek olyan alternatív megoldások is a csillagközi utazás tekintetében, melyeknek nem alapfeltétele a nagy sebesség. Ezek a módszerek általában közeljövőbeni meghajtásokat használnak. Ez azt eredményezi, hogy az utazás ideje extrém hosszúra nyúlik, kezdve néhány száz évtől, akár évezredekig is eltarthat az út hossza. Az ilyen személyzettel ellátott repülések lehetnek egyirányú utak is, melyek célja kolóniák létesítése. Az út hossza már önmagában hatalmas akadályt és feladatot jelent.

Generációs (nemzedékváltásos) űrhajó

A generációs hajó egy olyan megoldás, amely fedélzetén a legénység normálisan él, egymást váltják a nemzedékek, a célhoz érő utazók valójában a repülést elkezdők leszármazottai. A generációs hajók jelenleg nem megvalósíthatóak. Ennek okai a kellően hatalmas méretű kivitelezés nehézségéből erednek, illetve a fedélzeten való élethez kapcsolódó biológiai és szociológiai problémák. Gondoljunk csak bele, hogy milyen morális és etikai problémákat vet fel, hogy valakik távolra szakadnak a Földtől a visszatérés reménye nélkül, majd utódaik élettere nemzedékeken át egy űrhajóra szűkül. A megérkezők már nem is emlékeznek a Földre, nem kötik érzelmek hozzá, sőt az is meglehet, azt sem tudják majd, honnan származnak.

Felfüggesztett életműködés

A tudósok és sci-fi írók változatos technikákat dolgoztak ki az életműködések felfüggesztésére. Ideértve az emberi hibernációt, és krionikus megőrzést. Jelenleg még egyik sem gyakorlati megoldás, ám olyan alvóhajók lehetőségét kínálja, amelyekben az utasok tehetetlenül

fekszenek az utazás hosszú évei alatt. Ehhez ki kell dolgozni olyan mesterséges intelligencia rendszert és automatizálást, mely a hajót a hibernáció alatt pályán tartja, majd érkezéskor sikeresen feléleszti a lefagyasztottakat. Számos veszély közül a legjelentősebb az, ha a hajót sérülés vagy meghibásodás éri, akkor nincs, aki korrigáljon, illetve javítson.

Út közben felnövés

További elméleti lehetőség egy robotizált repülés, amely számos korai fázisban lévő emberi embriót szállít, melyek le vannak fagyasztva, majd nem sokkal ez érkezés előtt beindítják fejlődésüket. Mire megtörténik a célhozérés, a legénység az optimális huszonéves kornál jár. Az űrkolonizációnak e módja többek közt megköveteli a méhben lévő környezet és körülmények tökéletes lemásolását; egy Föld típusú bolygó korai észlelését; és a jelentős előre lépést a teljesen önálló mozgó robotok, és nevelő robotok területén, hiszen a robotok helyettesítik az emberi szülőket a fedélzeten. Ez egyúttal önmagában rejti a hibalehetőséget is. A másik tényező az emberi létből fakad, miszerint vajon az automata és mesterséges intelligenciák képesek-e felnevelni és a feladatra felkészíteni a fedélzeten lévő gyerekeket. Meglehet, hogy elvadulnak, felüti fejét a deviancia, s mire megérkeznek a kijelölt célhoz, lehetetlenné válik a küldetés végrehajtása.

A fenti 3 lehetőség a hosszúra nyújtott utazás miatt lehetetlenné teszi a kapcsolatot az elindulókkal. A Földön évszázadok vagy évezredek is eltelhetnek, mely alatt nagyon sok minden megváltozhat. Ez azt is jelentheti, hogy a Föld elfeledkezik az útnak indítottakról. Ezek a megoldások csak új kolóniák létrehozására alkalmasak, melyek azután teljesen függetlenek lesznek a Földtől. Nem alakul ki kommunikáció, kereskedelem, hacsak időközben a technika fejlődése folytán egy gyorsabb űrhajót nem indítanak a már létrejött kolónia felé.

Zárszó a fejezethez

Ma még fantasztikusnak hatnak a sci-fi filmek megoldásai, melyek menetrendszerinti közlekedésről és csillagközi államokról szólnak. A tudományos háttér, mely az elméletek kidolgozására hivatott, adva van, de a gyakorlatban a technika és technológia nem tud ezzel lépést tartani.

Mint láthattuk, az emberiség előtt nyitva áll az út, hogy elinduljon más csillagok felé, de nem mindegy, hogy milyen áron. Jelenleg hiányzik az a politikai akarat, mely megteremthetné a feltételeit a csillagközi utazásnak. Egy ilyen út előkészítése hosszú időt és nemzetközi összefogást kíván.

A csillagközi utazás utópiaként hat, ennek ellenére reális lehetőség, amellyel élni kell a jövőben. Az emberiség számára túl nagy kockázatot rejt, ha hosszútávon a Földhöz, illetve a Naprendszerhez van kötve. Bár a Naprendszer tartalékai jelentősek, melyek kiaknázása generációkon keresztül biztosítaná a földi civilizáció fenntartását, előbb-utóbb azonban azok is kimerülnek. Nem beszélve arról, ha akár a Nap, akár a bolygók állapotában kedvezőtlen változások történnek, amelyek rákényszeríthetik az emberiséget a Naprendszer elhagyására.

És végezetül szólni kell arról, ha az emberiség egy idegen civilizációt fedez fel. Ez jelentős lökést adhat a csillagközi utazásnak. Ennek oka lehet az ismeretanyag cseréje, ha a felfedezett civilizáció fejlettebb, illetve annak az igénye, hogy személyesen meglátogassuk őket.

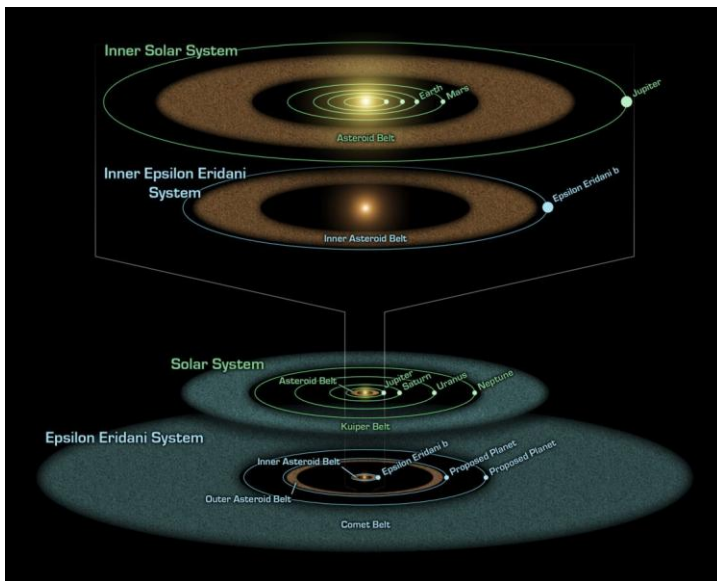
6. Fejezet

Nevezetes exobolygórendszerek

Eszilon Eridani (Folyó csillagkép)

A Jupiter méretű bolygó a Napunkhoz hasonló, 10,5 fényévnyi távolságban levő ϵ (epszilon) Eridani körül kering. A rendszer olyannyira közeli, hogy 2007 végén, amikor a bolygó a 6,9 éves keringési periódusa során legközelebb lesz a csillagához, várhatóan elegendően sok fény fog visszaverődni róla ahhoz, hogy a HST-vel és nagyobb földi távcsövekkel közvetlenül megfigyelhessék.

Az ϵ Eridani a legközelebbi, szintén Nap típusú csillagként kiemelt fontosságú célpont volt az exobolygók keresésében. 2000-ben jelentették be több évet átfedő radiálissebesség-mérések alapján egy bolygójelölt létezését. Ám sokan kételkedtek az eredményekben. Nemrégiben azonban a G.F. Benedict (University of Texas) által vezetete kutatócsoport minden kétséget kizáróan igazolta egy bolygóméretű test keringését az ϵ Eridani körül. A Hubble Űrtávcső nagyon pontos pozícióméréseivel kimutatták a központi csillag mozgását a közös tömegközéppont körül, ami alapján a bolygó tömege 1,5 jupitertömeg.



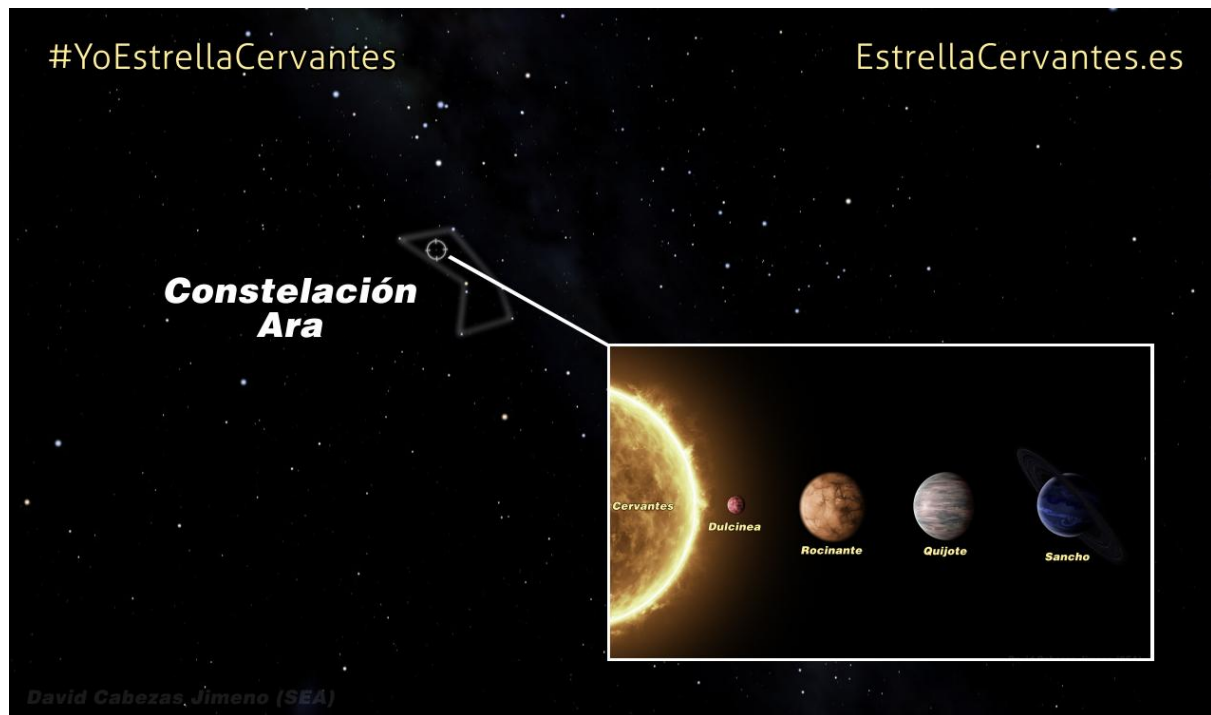
Az is fontos eredmény, hogy a számítások szerint a bolygó pályája a látóirányunkhoz képest 30 fokban hajlik, ami pontosan megegyezik az ϵ Eridani-t övező porkorong hajlásszögével. Mindez igazolja, hogy a bolygók csillagközi porkorongokból állnak össze, ami minden bolygókeletkezési elméletnek alapja, ám mindeddig közvetlen bizonyíték más csillagok esetében nem volt. Az ϵ Eridani a Nap 4,5 milliárd éves koránál jóval fiatalabb, mindössze 800 millió éves, ezért törmelékkorongjának egy része még a csillag körül található.

Az a tény, hogy a csillag ilyen fiatal, lehetőséget nyújt, hogy betekintést nyerjünk saját Naprendszerünk keletkezésébe is.

Mű Arae (Oltár csillagkép)

Az exobolygó, melynek tömege csupán 14-szerese Földünkének (ekkor az Uránusz tömege), egy, a Napunkhoz hasonló csillag körül kering. A kutatók szerint az új planéta szilárd fel-színnel és vékony légkörrel rendelkezik, így egyfajta „szuper-Föld”-nek is tekinthető.

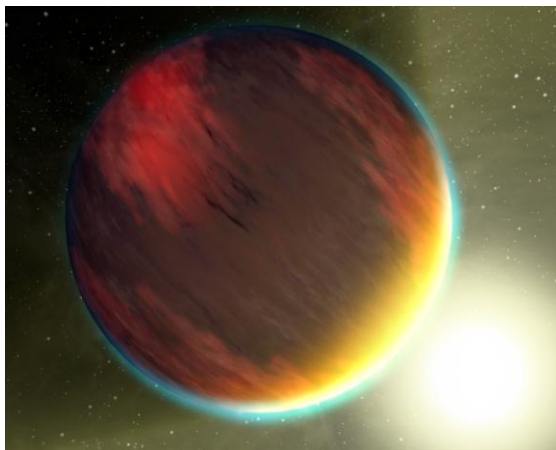
A bolygó azonban eléggé különbözik a miénktől. Nagyon közel, 0,09 CsE-re kering csillagához (közel körpályán, keringési ideje mindössze 9,55 nap), így a felszínén minden bizonnyal perzselő a forróság, igencsak magas, kb. 1200 Celsius-fokos lehet ott a hőmérséklet.



A μ (mü) Arae tőlünk mindössze 50 fényévnire található. Az Ara (Oltár) csillagkép csak a déli féltekéről látható. A csillag a Naphoz hasonló, G5V színtípusú sárga törpe. Fényes, $V=5,12$ magnitúdójú, tömege 1,1 Nap-tömeg. Kora legalább 2 milliárd év, forgási periódusa közel 31 nap.

A csillag körül két másik bolygót is ismerünk. Az egyik egy nagyjából Jupiter-méretű égitest, amelynek keringési periódusa 650 nap, míg a harmadik planéta még távolabb helyezkedik el a csillagtól. Hárombolygós rendszer, melynek egyik tagja ráadásul kőzetbolygó.

HD 149026 (Hercules csillagkép)



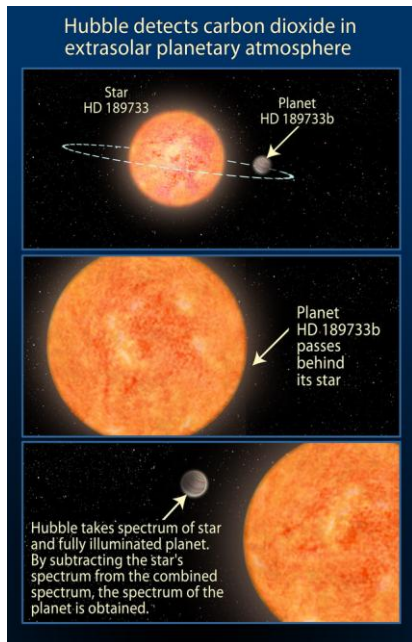
HD 149026b katalógusjelű objektum a legforróbb ismert exobolygó. A tőlünk 256 fényévre, a Hercules csillagképben megfigyelhető HD 149026b katalógusjelű, szintén fedési exobolygót vizsgálta a Spitzer a műszereivel. A bolygó napja mögé kerülésekor az infravörös sugárzásban bekövetkező csökkenésből kimutatták, hogy az atmoszféra hőmérséklete meghaladja a 2000 Celsius fokot, ezzel forróbb, mint néhány kistömegű csillag. Ezen tulajdonságával természetesen az elméleti

Fantáziakép: HD 149026b

szakembereket is elgondolkodtató feladat elé állítja. A magas hőmérséklet miatt valószínű, hogy a csillagától kapott energia nem terjed szét úgy a légkörében, mint a HD 189733b esetében, így a nap felőli oldala nagyon forró, míg a másik jóval hidegebb. A kutatócsoport vezetője szerint a bolygó légköre valószínűleg az összes ráeső energiát elnyeli, abból szinte semmit nem ver vissza, így nemcsak az ismert legforróbb, de egyben a legfeketebb exobolygó címmel is büszkélkedhet. A HD 149026b egyébként a legkisebb és legsűrűbb ismert fedési

exoplanéta, mérete a Szaturnuszéhoz hasonló, tömege azonban jóval nagyobb annál, csak a magja tömegét 70-90 Földtömegnyire becsülik. Csillagát 2,9 naponként kerüli meg.

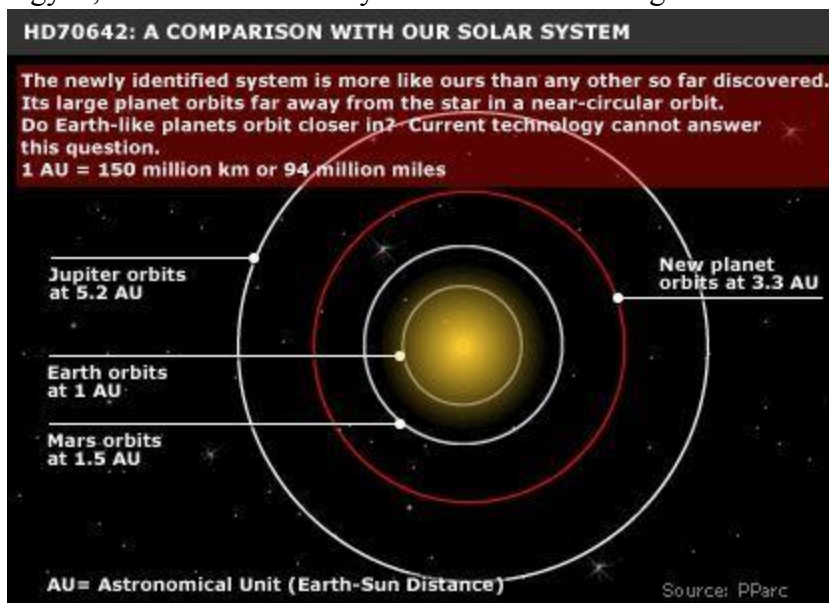
HD 189733 (Róka csillagkép)



A HD 189733b tőlünk 60 fényévre, a Vulpecula csillagképben figyelhető meg. Csillaga körül 2,2 naponként tesz meg egy keringést, periodikusan elé, illetve mögé kerülve, azaz a jelenleg ismert legközelebbi fedési exobolygó. A Spitzer segítségével a keringés során, ahogyan a bolygó más és más részeit fordította felénk, 33 órán keresztül mérték a planétáról érkező infravörös sugárzást. A mintegy negyedmillió mérési adatból rekonstruálták a bolygó egész légkörének hőmérsékleti eloszlását. Az eljárást az tette lehetővé, hogy az elképzelések szerint az összes forró Jupiter típusú exobolygó keringése kötött, azaz tengelyforgási és keringési ideje megegyezik (hasonlóan a Holdéhoz), így a keringési periódussal ismert a rotációs periódus is. A kötött keringés miatt a forró jupiterek egyik oldala mindig a napjuk felé néz, a másik pedig sötét.

HD 70642

Egy brit–amerikai–ausztrál csillagászokból álló csoport a Földtől alig 95 fényév távolságban egy olyan naprendszerre bukkant, amely az eddig felfedezett kb. 400 bolygórendszer (exobolygók) közül egyedülként hasonlít a mi naprendszerünkhöz. A szakértők úgy vélik, az új bolygó és a csillag között létezhet akár egy olyan, kisebb sziklás bolygókból álló övezet is, amelyben a Földhöz hasonló planéta is lehet. A kutatók a bolygót a HD 70642 elnevezésű csillag körül fedezték fel, amely túl bágyadt fényű ahhoz, hogy szabad szemmel is látható legyen, de távcsővel könnyen felfedezhető az égbolt déli felén. Az új gázbolygó (a Föld

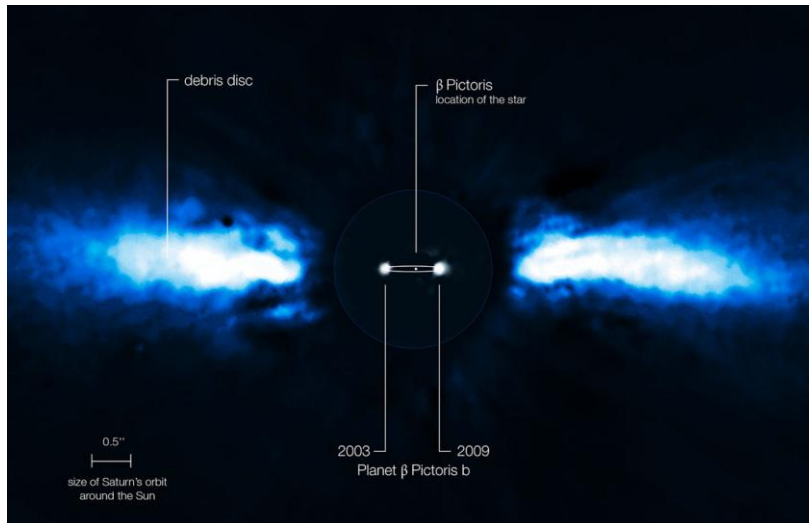


típusú bolygókénál sokkal kisebb sűrűségű, szilárd felszín nélküli planéta) atmoszféráját szélkavarta időjárási rendszerek színezik: sötétvörös metánfelhők sietnek el a nagy magasságban tündöklő fagyott ammóniakristályok előtt, a pólusoknál sarki fény ragyog, és villámok fénye cikázik. A HD 70642 körül keringő planéta nem az első Jupiterre hasonlító bolygó, hiszen az eddig felfedezett összes

exobolygó többsége – ugyanúgy, mint a mi naprendszerünk óriása – gázbolygó. A különbség

annyi, hogy míg a többi exobolygó központi csillagjához közel kering, addig az új csaknem olyan távolságra (467 millió kilométer), mint a Jupiter a Nap körül (778 millió kilométer – asztrológiai fogalmak szerint ez nem jelentős különbség). A hasonlóságok itt nem érnek véget: az újonnan felfedezett égitest keringési ideje 6, míg a Jupiteré 12 év.

Béta Pictoris (Festő csillagkép)



Sikerült közvetlenül megörökíteni a Béta Pictoris nevű csillag körül régóta feltételezett bolygót. A planéta nyolcszor nehezebb a Jupiternél, és a Szaturnusz naptávolsága környékén járja körül csillagát.

A Béta Pictorist már régóta tanulmányozzák, mivel látványos törmelékgyűrűt övezi, amelyben bolygók is kialakulhattak. Ez az első égitestek egyike, amelyekkel kapcsolatban először

felmerült az exobolygók felfedezésének lehetősége.

A poros korong anyaga feltehetőleg a benne megbújó, és alkalmanként egymással ütköző bolygócsírákból kap utánpótlást. A korong külső részével szöveget bezáró kisebb, belső tartomány, valamint a Béta Pictorisba alkalmanként behulló üstökösökre utaló megfigyelések alapján már régóta sejtették, hogy egy planéta rejtőzik a korongban, és annak gravitációs hatása felel a fenti jelenségekért. A csillag közelében feltételezett bolygó megörökítése azonban a központi objektum nagy fényessége miatt nehéz feladat.

A felfedezett exobolygó a kiterjedt porkorong belső zónájában található, mintegy 8 csillagászati egység (CSE) távolságra a központi égitesttől – azaz 8-szor messzebb annál, mint amilyen távolságban a Föld kering a Nap körül. Eszerint körülbelül olyan messze mozog csillagától, mint a Szaturnusz a Naptól. Az égitest egy óriásbolygó, amelynek tömege közel 8-szorosa lehet a Jupiterének. Az eddigi megfigyelések során még nem volt alkalom az exobolygó csillag körül várható mozgásának kimutatására. Mivel a korábbi modellek alapján várt távolságban van, illetve nagyjából a becsült tömeggel bír az égitest, valószínű, hogy nem egy előtérobjektumról van szó.

Tau Bootis (Ökörhajcsár csillagkép)



Fantáziakép: Tau Bootis

A Bootes (Ökörhajcsár) csillagképben levő, szabad szemmel éppen megfigyelhető, tőlünk körülbelül 51 fényévre levő csillagot különösen érdekessé teszi furcsa bolygója. A megfigyelések szerint a saját

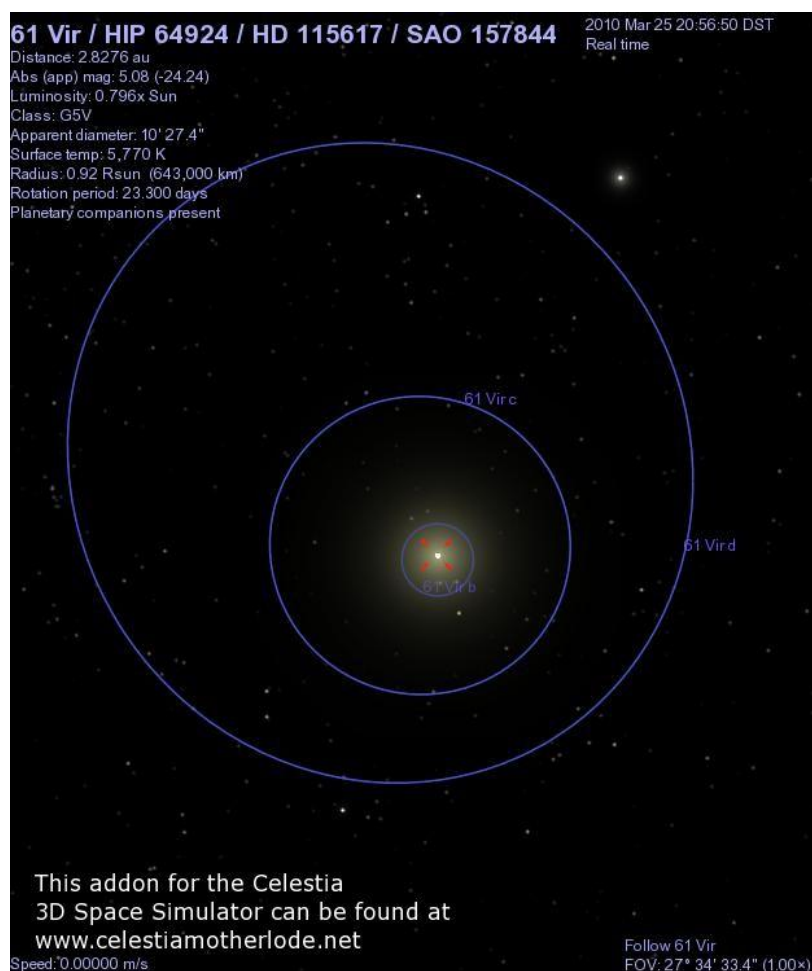
Jupiterünknél nagyjából 6,5-szer nagyobb óriásbolygó a Nap-Föld

távolság alig huszadára kering a csillag körül. A roppant közelség révén fellépő intenzív gravitációs árapályhatás miatt a bolygó kötött keringést végez, vagyis folyamatosan ugyanazt a félgömbjét fordítja a központi csillag felé (ugyanúgy, ahogyan a Hold is ugyanazt az oldalát mutatja a Föld felé).

Az a tény, hogy a mágneses tér átfordulását a megfigyelés rövid, két éves időszaka alatt sikerült észlelni, arra utalhat, hogy a tau Bootis esetében a ciklus jóval rövidebb lehet, mint a Napnál. Erre magyarázat lehet, hogy a csillaghoz közel keringő bolygó is árapályhatást gyakorol a csillagra, ami révén a tau Bootis felszínének anyaga igen gyorsan áramolhat, illetve a bolygó hatással van a mágneses tér kialakulásáért felelős, a csillag belsejében zajló folyamatokra.

A tau Bootis megfigyelése tovább folytatódik, remélve, hogy rövidesen sikerül észlelni a következő mágneses átfordulást is. A tau Bootishoz hasonló csillagok vizsgálata segít megérteni, hogyan keletkezik és működik a mágneses tér a csillagokban, köztük saját Napunkban.

61 Virginis (Szűz csillagkép)



Bolygónk nagytestvéreit azonosították Napunkhoz hasonló csillagok körül. Bár az úgynevezett szuperföldek nagyobbak a Földnél, elvileg jobb körülményeket biztosíthatnak az élet számára, mint a mi bolygónkhoz hasonló, kisebb planéták. A felfedezés tovább erősíti a nézetet, amely szerint a Földnél 4-5-ször nehezebb planéták gyakoriak lehetnek a Világegyetemben. Az exobolygók sajátos csoportját képezik a szuperföldek. Több ilyen is azonosítottak már, azonban eddig kizárólag a Napunktól eltérő csillagok körül. Ezúttal első alkalommal sikerült két, a Naphoz hasonló központi égitestnél is ilyeneket felfedezni.

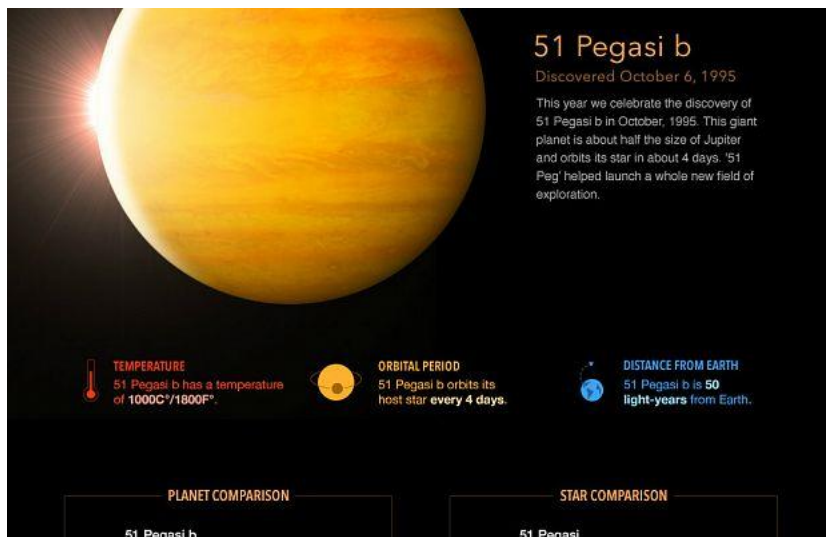
A Földnél nagyobb, de az Uránusznál és a

Neptunusznál kisebb bolygókat találtak, még hozzá meglepően közel a csillagukhoz. A Naprendszeren kívüli planéták, azaz exobolygók kutatása a csillagászat forradalmian fejlődő területe, ahol a fő cél a miénkhez hasonló égitestek felfedezése.

A 28 fényévre lévő, a Napunkhoz hasonló 61 Virginis jelű csillag, amely körül három, viszonylag kistömegű planétát találtak. Közülük a legkisebb ötször nagyobb tömegű a mi

bolygónknál, és igen közel kering csillagához: négy óránként tesz egy fordulatot körülötte – ez egyike a ma ismert legkisebb tömegű exobolygóknak. Két újonnan felfedezett társa 18-szor és 23-szor nagyobb tömegű a Földnél.

51 Pegasi (Pegazus csillagkép)



Az 51 Pegasi b jelű égitest volt az első Naprendszeren kívüli planéta, amelyet egy, a Napunkhoz hasonló csillag körül azonosítottak. Ez egy úgynevezett forró Jupiter-típusú objektum, amely annyira közel kering csillagához, hogy átlagos légköri hőmérséklete 1000 Celsius-fok körül lehet. Keringési ideje mindössze négy nap, tengelyforgása az eddigi megfigyelések alapján kötött, azaz mindig

ugyanazt az oldalát fordítja a csillaga felé.

HD 1461

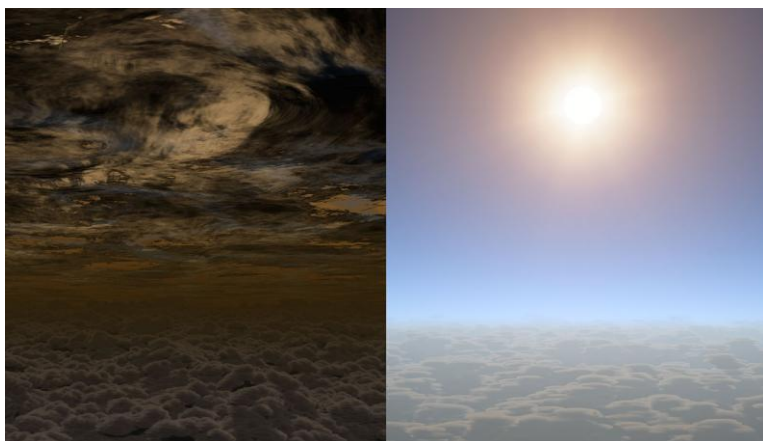


A 76 fényévre található, szabad szemmel szintén megfigyelhető, s szintén a Nap ikertestvérének mondható HD 1461 katalógusjelű csillag körül kering egy 7,5 földtömegű kísérő. Azonosítása teljesen biztos, és legalább még egy, de valószínűleg inkább két további bolygója is van a rendszernek. 7,5-szeres földtömegével a HD 1461b körülbelül félúton helyezkedik el a Föld és az Uránusz között. Az adatok alapján az még nem dönthető el, hogy a bolygó a Földnek egy felnagyított változata, azaz főleg kőzetekből és vasból épül-e fel, vagy inkább az Uránuszhoz és a Neptunuszhoz hasonlíthat.

Fantáziakép: Hd1461b

A kis sebességamplitúdók miatt mindegyik bolygó detektálásához rendkívül nagy érzékenységű és pontosságú műszerekre volt szükség. A radiális sebességek mérését precíz fotometriai észlelésekkel is kiegészítették. Mivel egyik vizsgált csillagnál sem tapasztaltak fényesség-változást, a megfelelő színekpvonalak Doppler-eltolódását biztosan nem sötét csillagfoltok rotációs modulációja okozta, hanem valóban a kistömegű bolygók.

HAT-P-1



Fantáziakép a felszínről

Az eddigi legnagyobb sugarú és legkisebb sűrűségű exobolygót magyar csillagász, Bakos Gáspár fedezte fel, az általa üzemeltetett HATNet távcsőrendszerrel. AHATP 1 b exobolygó a ADS 16402AB G0 színképtípusú kettőscsillag körül kering. Átmérője a Jupiter átmérőjének 1,36-szorosa, tömege 0,53-szorosa. A felfedezés értékét

növeli, hogy a kevesebb, de alaposabb eredményt produkáló fedési módszerrel találták meg.

HD 154345



Ígéretes kutatási célpont a HD 154345 jelű távoli csillag, mert kering körülötte egy Jupiterhez hasonló exobolygó. Az ilyen óriásbolygók pedig védelmet nyújtanak a kisebb kőzetbolygóknak, így azokon könnyebben kialakulhat az élet.

Hiába ismerünk több száz exobolygót, eddig egyik távoli bolygórendszer sem hasonlított eléggé a mi Naprendszerünkhöz. Egy amerikai kutatócsoport azonban talált egy Jupiterhez nagyon hasonló exobolygót, és elképzelhető, hogy később felfedeznek a közelében olyan kőzetbolygókat is,

Fantáziakép: HD 154345b

amelyeken akár élet is kialakulhatott.

A HD 154345b jelű exobolygó tömege nagyjából akkora, mint a Jupiteré, pályájának fél nagytengelye $4,19 \pm 0,26$ csillagászati egység, keringési periódusa $9,15 \pm 0,26$ év, ami a Jupiter esetében 5,2 csillagászati egység, illetve 11,86 év. A pályaellipszis becsült excentricitása $0,044 \pm 0,046$, azaz közel kör alakú pályán kering. A központi égitest a Napnál valamivel kisebb, körülbelül 0,88 naptömegű és 0,94 napátmérőjű, hűvösebb, és fémszegényebb, sárga törpecsillag.

A Naprendszerben végzett vizsgálatok alapján egy csillagtól távolabb lévő óriásbolygó elősegíti a belsőbb tartományokban való kőzetbolygó-képződést. A földi élet kialakulása is nagymértékben köszönhető a Jupiternek: az óriásplanéta erős gravitációs tere ugyanis eltéríti a külső tartományokból érkező üstökösök nagy részét, melyek – a Jupiter hiányában – jóval gyakrabban bombázhatnák bolygónk felszínét.

A HD 154345 körül egyelőre nem sikerült másik bolygót találni, mert ehhez több keringés kimérésére, illetve más, érzékenyebb megfigyelési módszerekre lenne szükség, de a következő évtized Föld típusú planéták után kutató űrmissziói számára ígéretes célpontnak tűnik.

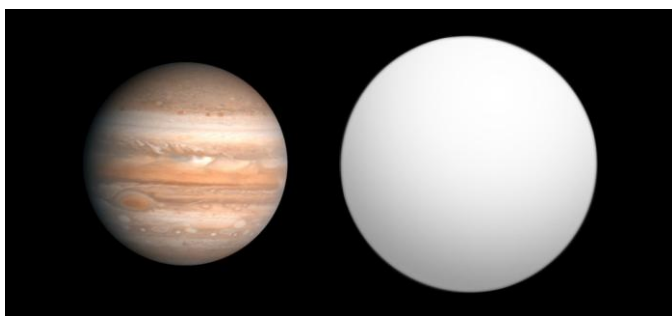
HD 28185



Az első exobolygó, mely anyacsillaga lakhatósági zónáján belül van, azaz a bolygó olyan távolságban van csillagától, hogy felszínén a víz folyékony állapotú lehet. Bár a bolygó gázóriás, azaz nincsen szilárd felszíne, holdjain kialakulhatott az élet.

Fantáziakép: HD 28185

WASP-25



A nemrég felújított Hubble-űrtávcső színeképelemző berendezésével a WASP-12b jelű exobolygót, azaz egy Naprendszeren kívüli planétát vizsgálták. Az égitest egy Jupiter-típusú óriásbolygó, amelynek központi csillaga az Auriga (Szekeres) csillagképben, tőlünk 600 fényévre található.

A Jupiter és a WASP-25 méretarányosan

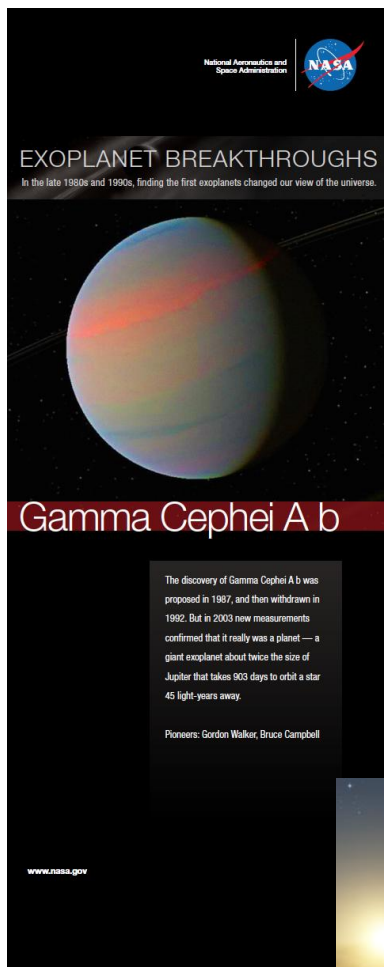
A planéta annyira közel kering a Napunkhoz hasonló csillagához, hogy mindössze 1,1 földi nap alatt tesz meg egy fordulatot körülötte. Mivel tengelyforgása feltehetőleg kötött, egyik oldala állandó sugárzásban fürdik, míg a másik folyamatos sötétségben lehet. A csillaghoz közeli helyzete miatt légkörének megfigyelt tartománya valamivel 1500 Celsius-fok fölé forrósodott. A bolygó ezzel az eddigi legmelegebb égitest lett a pontosan meghatározott légköri hőmérsékletű exobolygók közül.

Bár az égitest tömege csak közel 1,4-szerese a Jupiterének, mérete mégis háromszor nagyobb annál. Ennek oka szintén a csillagához közeli helyzetben keresendő: a bolygó és csillaga között a kis távolság miatt olyan nagy árapályerők ébrednek, amelyek eltorzítják az égitest alakját. A bolygó egy elnyúlt objektumra emlékeztet, amelyből az anyag fokozatosan „szakad le” és a zuhan a csillagba.

Hasonló anyagátadást korábban kettőscsillagoknál figyeltek meg, de ez az első alkalom, hogy egy bolygó és csillaga között is azonosították. A planéta és a csillag légkörében alumíniumot, ónt és magnéziumot is azonosítottak, amelyek a bolygóról hullottak a csillagra. Az anyagátadás miatt az exobolygó várhatóan még közel 10 millió évig fog létezni, miközben csillaga a teljes anyagát felemészti.

Gamma Cephei (Cepheus csillagkép)

A McDonald Observatory (Texas, USA) bolygókereső programjának munkatársai az első olyan Naprendszeren kívüli bolygót (exobolygót) fedezték fel, amely egy szoros kettős csillagrendszer egyik tagja körül kering.



A felfedezés azért jelentős, mert – bár Napunkkal ellentétben a csillagok többsége kettős vagy többes csillagrendszer tagja – eddig csak magányos, vagy a kísérők szempontjából gyakorlatilag magányos csillagok körül fedeztek fel exobolygókat. Az új eredmény megerősíti a feltételezést, miszerint számos hasonló rendszerben keringő bolygó létezhet galaxisunkban.

A bolygót a Gamma Cephei rendszerének nagyobbik tagja körül fedezték fel, amelynek tömege Napunkénak 1,59-szerese (a Gamma Cephei mintegy 45 fényévnyi távolságban, azaz viszonylag közel fekszik Földünkhöz). A bolygó minden bizonnyal a Naprendszer külső bolygóihoz hasonló gázóriás: tömege 1,76-szorosa a Jupiterének. Csillagtávolsága két csillagászati egység, azaz a Nap-Mars távolsághoz hasonló. A rendszer másik, viszonylag kis méretű csillaga mindössze 25-30 csillagászati egységre kering a nagyobb csillagtól (ez körülbelül a Nap-Uránusz távolságnak felel meg). Korábban is találtak exobolygókat kettős rendszerekben, ám azok tagjai ennél több százszor távolabb vannak egymástól - azaz a lehetséges kísérők szempontjából már teljesen függetlennek tekinthetők.



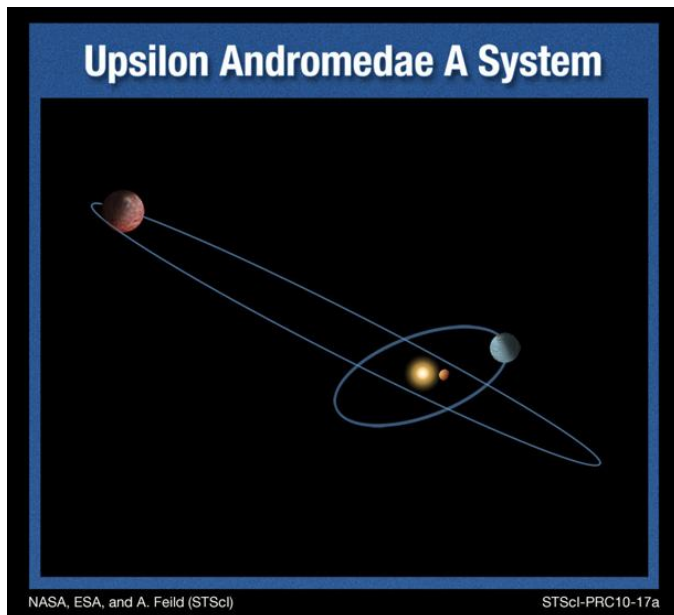
Fantáziakép

Üpszilon Andromedae (Andromeda csillagkép)

Az Üpszilon Andromedae b egy régóta ismert exobolygó, és már két társát is sikerült felfedezni. A b jelű planéta egy forró Jupiter-típusú égitest, amely 4,6 óra alatt kerüli meg csillagát. Tengelyforgása a kis távolság miatt kötött, tehát mindig ugyanazt az oldalát mutatja a központi égitest felé. Ennek következtében az állandó napfényben fürdő, örökösen nappali oldal légköri hőmérséklete 1400 Celsius-fokkal magasabb, mint az állandó éjszakai sötétben rejtőző túloldalon.

A szakemberek már több mint egy évtizede vizsgálják a Napunkhoz hasonló, közeli (mintegy 44 fényévre lévő), υ (üpszilon) Andromedae nevű csillag körüli bolygórendszer tulajdonságait. A csillaghoz legközelebbi bolygót (υ Andromedae b) 1996-ban, az első exobolygók között fedezték fel, míg a két távolabbi komponens jelenlétét (υ Andromedae c és d) három évvel később.

A több éves adatsorok elemzése alapján egy 2005-ös tanulmány szerzői kimutatták, hogy a két külső bolygó meglehetősen elnyúlt pályán kering csillaga körül, ennek okaként a bolygórendszer korai fejlődési szakaszában bekövetkező gigantikus ütközéseket, vagy egy eddig nem ismert égitest gravitációs perturbáló hatását jelölték meg. A legfrissebb vizsgálatok szerint a bolygópályák további különleges tulajdonsággal is bírnak: a c és d jelű bolygó



pályasíkjai ugyanis csaknem 30 fokban zárnak be egymással. A Hubble űrtávcsővel készített, 14 évet átfigyelt asztrometriai, azaz égi pozíciómérések mellett a 9,2 méteres Hobby-Eberly Távcsővel (Texas, McDonald Observatory) felvett színeképekből meghatározott látóirányú sebességadatok segítettek elő a két külső bolygó pontos tömegének (amik a korábban becsülteknél jóval nagyobbak, 14, illetve 10 jupitertömegnek adódtak), valamint a pályák lapultságának és relatív szögeltérésének meghatározását.

Ez az első eset, hogy exobolygók pályasíkjainak relatív helyzetéről

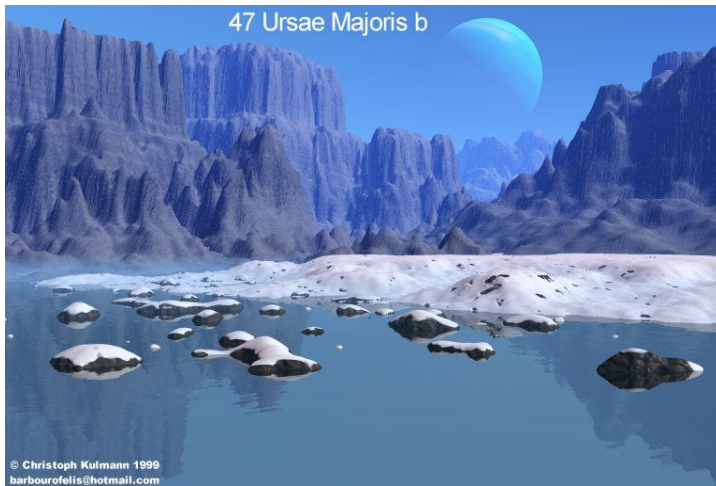
megbízható adatok állnak rendelkezésre, és ez egyben rögtön meglepetést is tartogatott. Saját Naprendszerünkben ugyanis a bolygók közel azonos síkban keringenek, ami jól alátámasztja azt a klasszikus elképzelést, hogy a bolygók a fiatal anyacsillaguk körül gyorsan forgó, vékony, úgynevezett protoplanetáris korongban születnek, és további életük során is őrzik az ebből az időszakból eredő, közelítőleg egy síkban való elrendeződés tulajdonságát. És bár a kisebb égitestek (törpebolygók, kisbolygók, üstökösök) egy része a korai fejlődési szakaszban lejátszódó ütközések és gravitációs kölcsönhatások miatt ettől eltérő jellegű pályára kerül, nagyobb méretű testek esetén ezt a lehetőséget korábban nem igazán tartották valószínűnek.

Az υ Andromedae c és d példája azt bizonyítja, hogy az egyes bolygórendszerek fejlődését még erőteljesebben befolyásolják az első évmilliók alatt bekövetkező események, mint eddig gondolták. Azt, hogy egy, a Jupiternél tízszer nagyobb tömegű bolygót mi kényszeríthet ennyire ferde pályára, egyelőre még csak találgatják a szakemberek. A lehetséges okok között a fiatal bolygók migrációs vándorlása, egy nagytömegű planéta kilökődése, valamint a sárga színű főcsillagtól jelenleg nagy távolságban keringő, de korábban feltételezhetően közelebb tartózkodó vörös törpecsillag kísérő (υ Andromedae B) gravitációs hatásai szerepelnek.

47 Ursae Majoris (Nagy Medve csillagkép)

A Nagy Medve csillagkép területén lévő 47 Ursae Majoris nevű csillag körül újabb bolygóra bukkantak. A felfedezés alapján egy olyan bolygórendszer képe bontakozik ki előttünk, amely Naprendszerünkhöz hasonló, így felcsillantja a reményt, hogy előbb-utóbb a Földhöz hasonló bolygót (vagy bolygókat) is találunk benne. A 47 Ursae Majoris a Naphoz hasonló, 7 milliárd éves, sárga színű csillag, így elméletileg alkalmas az általunk ismert élet fenntartásához. Távolsága 51 fényév, vagyis csillagászati léptékkel mérve a „szomszédban” van.

Az újonnan felfedezett bolygó tömege legalább háromnegyede a Jupiterének. Csillagtávolsága a Mars és a Jupiter naptávolsága közé esik. Korábban felfedezett bolygótestvére valószínűleg kétszer nagyobb tömegű a Jupiternél.



A jelenlegi felfedezés fontos megállapítása, hogy a 47 Ursae Majoris mindkét planétája közel körpályán, s nem erősen elnyúlt ellipszispályán kering.

A bolygók elhelyezkedése a Naprendszerben igen fontos az élet kialakulása és fenntartása szempontjából: a Jupiter távolságában vagy azon túl elhelyezkedő gázóriások gravitációs hatásukkal pajzsként védik a belső, kisebb méretű és szilárd felszínű

kőzetbolygókat az üstökös- és kisbolygó-beccsapódásoktól. A 47 Ursae Majoris rendszere éppen ezért ígéretes - az ottani „Jupiter” is hasonló szerepet tölthet be. Egyelőre csak remélni tudjuk, hogy valóban van mit védelmeznie – olyan kisebb, belső bolygókat, amelyek szilárd felszínén gyökeret eresztethet az általunk ismert élet is.

16 Cygni (Hattyú csillagkép)



Fantáziakép: 16 Cygni B

Geoff Marcy csillagász meglepő felfedezést tett a Hattyú csillagkép mintegy 70 fényévre található 16 Cygnus B csillaga körül keringő bolygóról. Elnyújtott pályája miatt az égitest hol eltávolodik csillagától, hol közel kerül hozzá. Mintha a Föld minden évben hol 30 százalékkal közelebb kerülne a Naphoz, hol pedig elröppenne a Mars mellett, egészen a Jupiterig. Könnyű belátni, hogy ez

döbbenetes éghajlati szélsőségekkel jár a bolygó felszínén.

Gliese 581

Az új planéta mérete körülbelül másfélszerese a Földének, tömege pedig ötször nagyobb anyabolygónkénál, s a Libra (Mérleg) csillagképben található Gliese 581 katalógusjelű vörös törpe körül kering. Az új égitest a Gliese 581c jelölést kapta, utalva arra, hogy a rendszerben ez a második bolygó, ugyanis korábban már felfedeztek a törpe körül egy Neptunusz tömegű kísérőt, ami 5,4 nap alatt kerüli meg a csillagot.



Emellett a kutatók bizonyítékokkal rendelkeznek arról is, hogy 84 napos periódussal még egy körülbelül 8 földtömegnyi kísérő is keringhet a Gliese 581 körül. A Gliese 581c pályamérete 14-szer kisebb, mint a Földé, s mindössze 13 nap alatt tesz meg egy fordulatot a napja körül. A tőlünk 20,5

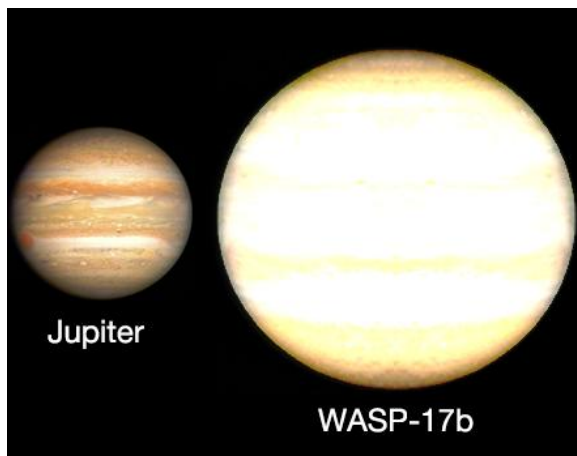
fényévnnyire található vörös törpe tömege a Napénak csak harmada, hidegebb is nála, ennek megfelelően az összes energiakibocsátása, a luminozitása is sokkal kisebb, így az új kísérő még ilyen közeli pályán is a csillag ún. lakható zónájában kering. Ez az a zóna egy csillag körül, amelyben a fizikai feltételek megfelelőek lehetnek a folyékony víz stabil jelenlétéhez, így az élet esetleges kialakulásához. A kutatók becslése szerint a Gliese 581c felszíni hőmérséklete 0 és 40 Celsius-fok közötti, így – a méretét is figyelembe véve – valóban alkalmas lehet arra, hogy a felszínén folyékony halmazállapotú víz létezhesen.

A kutatók szerint a sokkal kisebb energiakibocsátásuk miatt a vörös törpék lakhatósági zónája jóval közelebb van a csillaghoz, mint a Napnál, így esetükben a radiális sebesség méréseivel könnyebb a folyékony víz hordozására is alkalmas kistömegű bolygókat keresni. Hőmérséklete és viszonylagos közelsége miatt a Gliese 581c is fontos célpontja lehet a közeljövő Földön kívüli élet kutatását célzó űrmisszióknak.

WASP-17

Több szempontból is rekorder a tőlünk ezer fényévnnyire lévő WASP-17 nevű exobolygó, brit csillagászok felfedezése.

A bolygók ugyanabból a forgó gázból jönnek létre, amiből a naprendszerük központi csillaga.

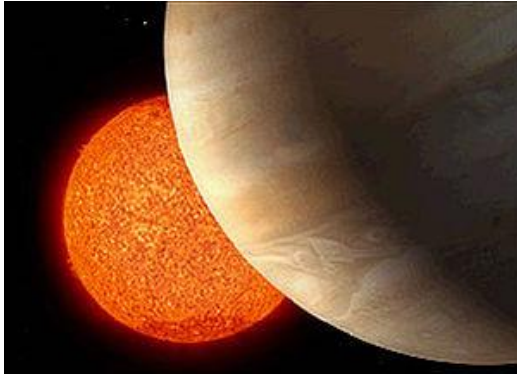


Ez a magyarázata annak, hogy a pályájuk és a forgásuk iránya általában megegyezik a csillag forgási irányával. Brit csillagászok azonban megtalálták az első fekete bárányt, a WASP-17 nevű távoli bolygót

Ismerünk olyan bolygókat, amelyek ellentétes irányba forognak, ilyen például a Vénusz is. Viszont a WASP-17 az első, amelynek a keringési pályája fordított. A WASP-17 más tekintetben is rekorder, az eddig felfedezett exobolygók közül ez van a legjobban felfúvódva. Kétszer nagyobb a térfogata, mint a Jupiteré, miközben a tömege feleakkora.

A kutatók szerint mindkét különleges tulajdonsága annak köszönhető, hogy korábban összeütközött egy másik bolygóval. A Vénusz is valószínűleg azért forog rossz irányba, mert valaminek nekiment. A WASP-17 fordított irányú és nagyon elliptikus pályájának is köze lehet a bolygó felduzzadásához. A központi csillag tömegvonzása miatt feltehetően rendszeresen kitágult és összehúzódott a WASP-17, ami felpuffasztotta a bolygót, és nagyjából olyan sűrű lett, mint a hungarocell.

Egyébként a WASP-17 a Földtől ezer fényévre van, és a neve arra utal, hogy a nyolc brit egyetem által működtetett Wide Angle Search for Planets projekt keretében fedezték fel. Ez a résztvevő kutatók tizenhetedik találata.



Iota Draconis (Sárkány csillagkép)

Az Iota Draconis nem Nap-típusú, hanem K2III színképi óriáscsillag. A Doppler-módszerrel kimutatott, legalább 9 Jupiter-tömegű bolygója igen elnyúlt pályán, 1,5 éves periódussal kering körülötte.

Fantáziakép: Iota Draconis

HD 47536

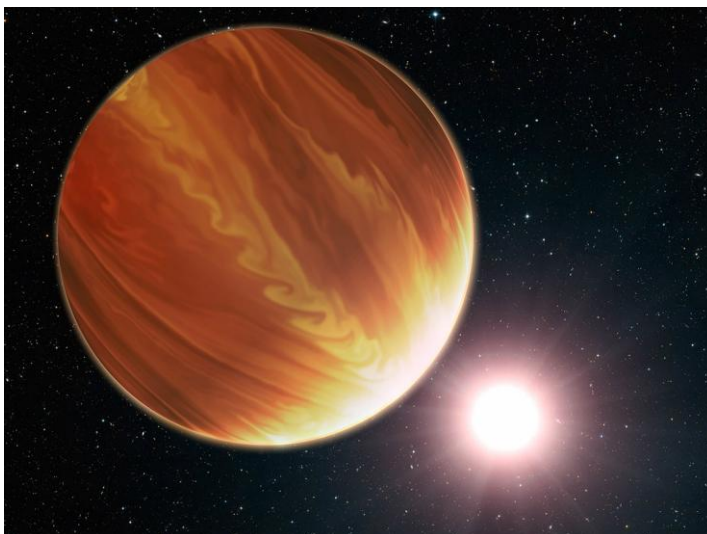


Az ESO egyik új felfedezése a majdnem 400 fényévre lévő HD 47536 bolygója. A csillag egy K1III színképtípusú óriás, amely 23,5-szer nagyobb a Napnál. A csillag színképvonalainak Doppler-eltolódása alapján egy 5-10 Jupiter-tömegű óriásbolygó kering körülötte 712 napos periódussal, 1,6-2,3 AU félnagy tengelyű, 0,2 excentricitású pályán. A csillagfejlődési elméletek szerint a központi égítést néhány tízmillió év múlva annyira felfújódik, hogy elnyeli bolygóját.

Fantáziakép: HD 47536

HD 209458

A Hubble-űrtávcső új méréseivel sikerült bizonyítani, hogy a HD 209458b jelű exobolygó légköréből elszökő gázanyag üstökös-szerű alakzatba rendeződve követi pályáján az extrém gyorsan keringő planétát.



Fantáziakép: HD 209458b

Az 1999-ben felfedezett, HD 209458b jelű exobolygó több szempontból is tudománytörténeti mérföldkőnek számít. Ez volt az első olyan, más naprendszerben keringő bolygó, melynél sikerült megmérni a csillaga előtt való átvonulása által okozott fényességcsökkenést; s szintén ez volt az első exoplanéta, melynek közelítőleg meg tudták határozni légköri szerkezetét és összetételét (többek között oxigént, szén- és hidrogént azonosítva benne). A

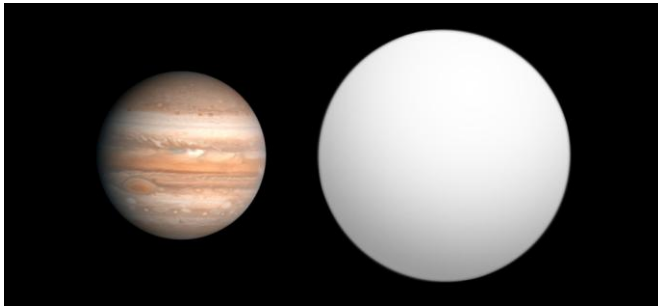
Földtől mintegy 150 fényévre lévő rendszer központi csillaga egy Napunkhoz hasonló, sárga törpe, míg a HD 209458b a Jupiternél kb. 30%-kal kisebb, ám mindössze 3,5 nap keringési idejű égitest (ún. „forró Jupiter”).

A bolygó és a csillag rendkívüli közelsége már korábban arra a következtetésre juttatta a szakembereket, hogy a HD 209458b atmoszférája forró és kiterjedt, s a rendkívül erős csillagszél „lefújja” a légkör egy részét, mely üstökös-szerű gázkiáramlásként követheti a bolygót, annak gyors keringése folytán. Utóbbi állítást azonban nem sikerült közvetlen megfigyelésekkel is alátámasztani – egészen mostanáig.

J. Linsky (University of Colorado, Boulder, USA) és munkatársai a Hubble-űrtávcső tavaly üzembe állított, COS (Cosmic Origins Spectrograph) nevű színeképelemző detektorával több átvonulás során vizsgálták a HD 209458 rendszerét, ami meghozta a várva várt áttörést. A már „életében” legendává váló űrtávcső ultraibolya tartományban működő, az eddigieknél lényegesen jobb felbontással bíró spektrográfjának adatai segítségével a kutatók szén és szilícium jelenlétét mutatták ki a planéta légköréből kiáramló gázanyagban. Ez annak a bizonyítéka, hogy a csillag sugárzása a bolygó teljes atmoszféráját felfűti, az erős hőáramlási folyamatok következtében pedig a nehezebb elemek a légkör felső rétegeibe kerülve kiszabadulhatnak a planéta gravitációs vonzaskörzetéből.

A részletes színeképvonal-analízisek révén Linsky és kollégái ki tudták mutatni, hogy a gázanyag áramlási sebessége helytől függően változik, és maximális értéke mintegy 550 km/s – a meghatározott sebességprofilok pedig jól illeszthetők az említett (a tranzitok során a Föld felé mutató), csővaszerű kiáramlás modelljével. Bár a HD 209458b anyagvesztése első hallásra igen jelentősnek tűnik (másodpercenként kb. 10 ezer tonna), a számítások szerint több milliárd év kell ahhoz, hogy a planéta légköre teljesen elpárologjon – már ha a bolygó az egyéb hatások miatt nem semmisül meg korábban.

WASP-33



Az eddigi legforróbb exobolygót, azaz Naprendszeren kívüli planétát fedezték fel a közelmúltban. A gázóriás légkörében a hőmérséklet eléri a 3200 Celsius-fokot, vagyis az égitesten magasabb hőmérséklet uralkodik, mint némely kistömegű csillagon.

Jupiter és a WASP-33b méretaránya

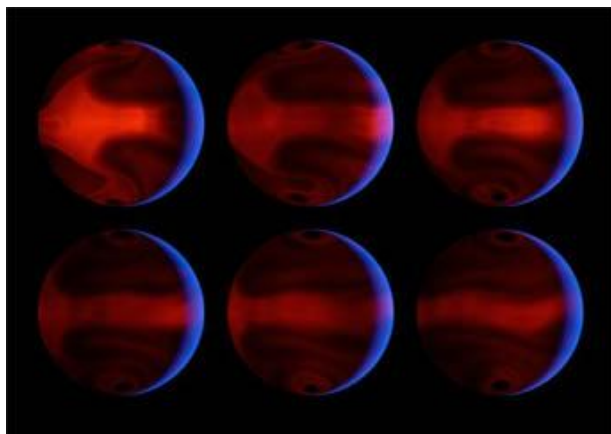
A WASP-33b katalógusjelű bolygó létezésére már 2006-ban gyanakodtak, a további méréseknek köszönhetően pedig 2010-ben igazolták a planéta létezését. A bolygó és csillaga 378 fényévnnyire, az Androméda csillagképben található. Tömege a Jupiter tömegének négyszerese, és egyik érdekessége, hogy pályáján „visszafelé” halad.

A bolygók általában ugyanabba az irányba keringenek csillagjuk körül, mint amerre az a tengelye körül forog. Akad azonban kivétel, ilyen a most felfedezett WASP-33b jelű planéta, amely fordított, azaz retrográd irányban halad pályáján. Emellett pályasíkja a csillag egyenlítői síkjával sem esik egybe, ami ellentétes a bolygóknál egyébként általánosan jellemző helyzettel.

Az exobolygó igen közel van a csillagához. Ennek köszönhetően egy év a WASP-33b bolygón mindössze 29,5 óráig tart. A közelség másik következménye a bolygó légkörében

uralkodó magas hőmérséklet. A bolygó anyacsillagának felszínén 7160 Celsius-fok jellemző, tehát forróbb a Napnál, amely „mindössze” 5600 Celsius-fokos a felszínén. A közelségnek és a csillag forróságának eredményeként a WASP-33b légkörében pokoli viszonyok uralkodnak, a hőmérséklet 3200 Celsius-fok körüli.

HD 80606



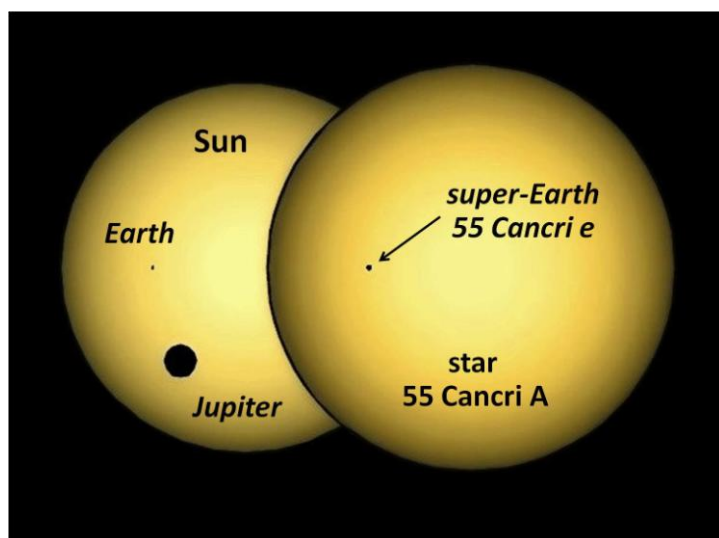
A csillagászokat már régóta foglalkoztatja a HD 80606b jelű exobolygó, egészen pontosan annak különleges keringése. Míg a legtöbb ismert bolygó kis lapultságú (ez az érték 0 és 1 között változhat), közel kör alakú pályán kering, addig a tőlünk mintegy 200 fényév távolságban lévő, Jupiter-méretű planéta pályájának elnyúltsága 0,93-as értékű.

Szimuláció: HD 80606b

A HD 80606b egy teljes keringése 111 napig tart; és míg pályájának a csillagtól legtávolabb eső pontjában (apsztrón) kb. 0,86 Csillagászati Egységre (CSE), addig a csillaghoz legközelebbi pontban (periasztrón) alig 0,03 CSE-re (kb. 4,5 millió km) van a központi égitesttől. Ilyen extrém pályalapultságot eddig csak üstökösöknél figyeltek meg.

Az észlelési adatok alapján a kutatóknak sikerült megállapítani, hogy a központi csillag forgása és a bolygó keringése nincsen összhangban egymással – ez pedig megerősíti azt az elképzelést, miszerint a HD 80606b erősen lapult keringési pályájáért a rendszer egy másik, eddig ismeretlen csillaga lehet felelős.

55 Cancri (Rák csillagkép)

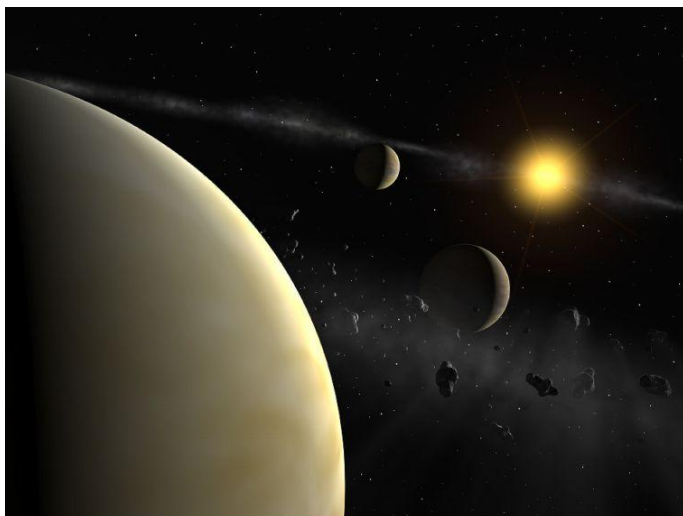


Több tucat egzotikus pályán keringő bolygó felfedezése után a tudósok végre egy olyan bolygórendszert találtak, ami hasonlít Naprendszerünkhöz. Az 55 Cancri néven ismert naprendszer körülbelül 41 fényévnire van és valószínűleg a csillagászok érdeklődésének középpontjába fog kerülni, amikor az elkövetkezendő években megkezdik a Földünkhöz hasonló bolygók utáni kutatást.

Az újonnan felfedezett Jupiterre emlékeztető világnak 13 évre van szüksége, hogy megkerülje szülő

csillagát, a Jupiter esetében ez az idő közel 11 év. Az új bolygó azonban jelentős különbségeket is mutat. Durván a Jupiter tömegének négyszeresével rendelkezik, pályája pedig enyhén elnyújtott.

HD 69830



Artist View of Planetary System Around HD 69830

ESO Press Photo 18a/06 (18 May 2006)



Három, a Neptunuszhoz hasonló tömegű exobolygót tartalmazó rendszert azonosítottak egy közeli csillag körül. Az égitest egy Napunknál kisebb tömegű objektum, amely 41 fényévre van a Puppis csillagképben. Maga a csillag +5,95 magnitúdós fényességével hazánktól délebbre lévő, sötét egű helyszínekről szabad szemmel is megpillantható. Bolygói persze sokkal halványabbak, amelyeket csak közvetett módon, gravitációs hatásuk révén sikerült azonosítani. A három planéta 8,67, 31,6, illetve 197 nap alatt kerüli meg csillagát, távolságuk a központi égitesttől pedig 0,08-, 0,19- és 0,63-

szorosa az átlagos Föld-Nap távolságnak. Tömegük legalább 10 és 18 földtömeg között lehet. A Naprendszerben tapasztalhatókhöz viszonyítva tehát mindhárom planéta igen közel kering csillagához. Az elméleti modellek alapján a belső exobolygó főleg kőzetekből állhat, a középsőbe már sok gáz is keveredhetett, a legtávolabbit pedig főleg különböző jegek alkotják, részben szintén olvadt, illetve gáz állapotban. A számítások alapján a rendszer dinamikailag stabil, azaz tagjai régóta mozoghatnak mai pályájukon, és feltehetőleg még sokáig is teszik azt. Külön érdekesség, hogy a legkülső bolygó, a csillagra számolt ún. lakhatósági zóna belső részén mozog.

HD 37605



Az újonnan felfedezett bolygó a HD 37605 jelű csillag körül kering, tömege mintegy két és félszerese a Jupiterének, keringési ideje 54,23 nap. A központi csillag Napunknál valamivel kisebb és felszíni hőmérséklete is alacsonyabb. A K0 színképosztályba tartozik, így nehezebb elemekben is gazdagabb a Napnál. Az eddig ismert mintegy 120 exobolygó közül a harmadik legelnyúltabb pályán kering, átlagos távolsága csillagától 0,26 csillagászati egység. (A Nap-Föld távolság 1 CsE)

Fantáziakép: HD 37605b

Az exobolygót radiális sebességméréssel fedezték fel. Megvizsgálták a bolygó mozgását, amelyben érzékeny műszerekkel ki lehet mutatni egy nagytömegű közeli kísérő „rángató” hatását. A bolygó felfedezését a távcsőre szerelt nagyon érzékeny spektrográf tette lehetővé.

A kutatók bíznak benne, hogy a műszer segítségével további új bolygókat sikerül majd Naprendszerünkön túl felfedezni.

HD 189733



Fantáziakép: HD 189733b

A HD 189733 jelű, tőlünk mindössze 63 fényévnire található csillag körül keringő, Jupiterhez hasonló gázóriást fedezett fel egy francia csillagászcsoporth. A HD 189733b jelzéssel ellátott exobolygót az úgynevezett tranzit-módszerrel találták meg: amikor a bolygó elhalad központi csillaga előtt, annak egy részét kitakarva

fényességváltozást okoz. Ennek eredményeképp a bolygó méretét (mintegy 1,26 Jupiter-átmérő), a radiális-sebesség mérésekből közelítő tömegét (1,15 Jupiter-tömeg), mindezek összevetésével pedig sűrűségét (kb. $0,75 \text{ g/cm}^3$) is sikerült megbecsülni. A bolygó a Föld-Nap távolság alig három százalékának megfelelő távolságban kering csillaga körül (kb. 0,031 CsE). Mindez azt eredményezi, hogy felszíne (illetve légköre) igen forró, több száz Celsius-fokos. A magas hőmérséklet miatt jelentős infravörös sugárzást bocsát ki, amit egy amerikai csillagászból álló csoportnak a Spitzer-űrtávcsővel sikerült észlelnie. A HD 189733b esetében az objektum annyira forró és olyan erős az infravörös sugárzása, hogy a Spitzer-űrtávcső felvételein meglepően könnyen azonosították. Az infravörös mérések alapján az exobolygó légkörének átlaghőmérséklete 844 Celsius-fok. A módszer finomításával (és a jövőbeli műszerekkel) akár a hőmérséklet-eloszlást is fel lehet majd térképezni – legalábbis nagy léptékben – egy exobolygó felszínén vagy légkörében. Nagy kérdés, hogy vajon a megfigyelt hőmérséklet a szilárd felszínre vagy légkörére vonatkozik. Kis sűrűsége alapján ugyanis a Jupiterhez, Szaturnuszhoz hasonló anyagokból állhat, azaz hagyományos értelemben talán nincs is szilárd burkolata.

HD 188753

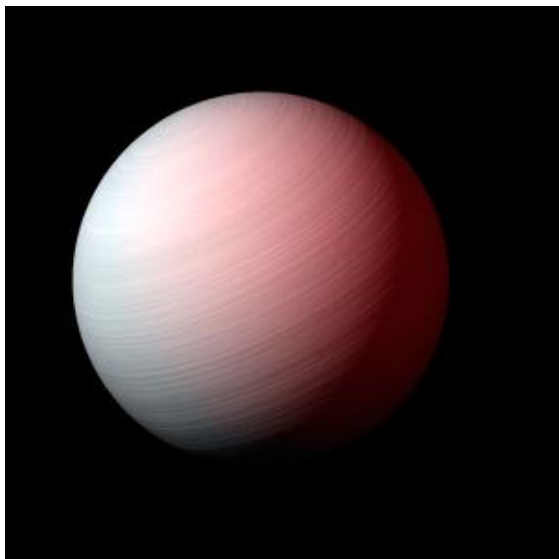


Fantáziakép: a HD 188753A b felszín

A HD 188753 A b jelű exobolygó (népszerű nevén a Csillagok háborújából ismert Tatooine) az első planéta, amelyet egy három csillagból álló rendszerben azonosítottak. A bolygó a Földtől 149 fényévre lévő főcsillag körül kering. Tömege legalább 14%-kal nagyobb a Jupiterénél, és mintegy tízszer közelebb mozog csillagához, mint

amilyen távol a Föld a Nap körül. A közeli helyzet miatt ez is forró Jupiter-típusú égitest, amelynek felszínén a nap és az év hossza feltehetőleg megegyezik, és mindkettő csak 3,3 földi napot tesz ki.

A HD 82943



Két bolygója legalább 2 és 1,75 Jupiter-tömegű. Erősen elnyúlt, 0,75 és 1,19 CsE fél nagytengelyű pályán keringenek 219 és 441 nap periódussal. Mivel keringési idejük közel 1:2 rezonanciában van, az égi mechanika törvényei szerint erősen perturbálják egymást, azaz pályájuk hosszabb idő alatt jelentősen megváltozhat. A csillag színekéből kiderült, hogy légköre sok ${}^6\text{Li}$ -izotópot tartalmaz, ami szokatlan egy idős, Nap típusú csillagnál. Az egyik lehetséges magyarázat erre az lehet, hogy egy közeli, Jupiter típusú bolygóját már elnyelte, és annak anyagából került lítium a csillagra.

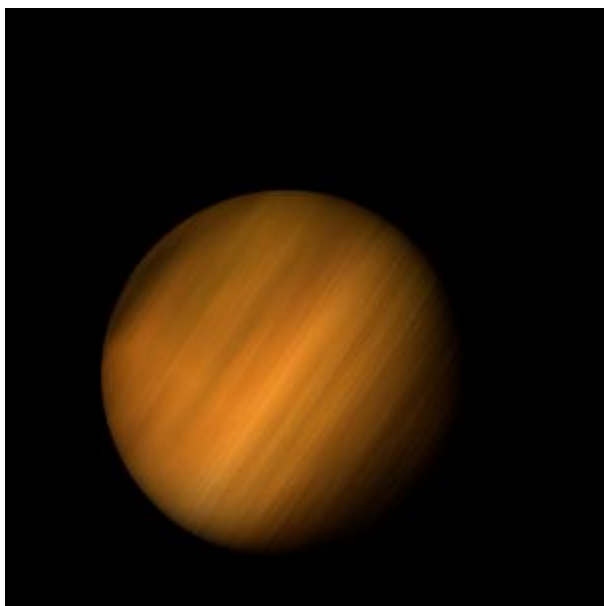
Fantáziakép: HD 82943b

HD10180

A Naprendszerhez nagyon hasonló bolygórendszert fedeztek fel az Európai Déli Observatórium csillagászai. A rendszerben akár 7 bolygó is keringhet, közülük egy az eddig ismert legkisebb tömegű, ebben talán Földünkhöz hasonló exobolygó lehet.

Legalább öt bolygót tartalmaz az a bolygórendszer, amelyet a HD 10180 jelű, a Naphoz hasonló csillag körül fedeztek fel az Európai Déli Observatórium (ESO) csillagászai. Az eddigi adatok szerint a rendszerben további két bolygó keringhet, amelyek egyike a legkisebb tömegű exobolygó lehet.

Ha valóban hét bolygó van ott, akkor eddig ez a miénkhöz leginkább hasonló bolygórendszer (a Naprendszerben 8 bolygó van, a Plútó már nem minősül planétának). Az adatok szerint a HD 10180 bolygóinak csillagtávolsága meghatározott mintázatot követ, ahogyan azt a Naprendszerben is látjuk.



Fantáziakép HD 10180f

A HD 10180 jelű csillag 127 fényévre van tőlünk. A Naphoz hasonló égitest. Az eddig biztosan azonosított öt bolygó tömege egyenként a Földének 13-szorosa és 25-szöröse között van. Keringési idejük 6 és 600 földi nap közötti. Csillaguktól 0,06 és 1,4 csillagászati egység (CSE) közötti távolságban mozognak. Egy CSE az átlagos Föld-Nap távolságot jelenti (körülbelül 150 millió kilométer).

Két további planéta léteire is utalnak a megfigyelések. Közülük az egyik a Szaturnuszhoz hasonlíthat, a másik pedig az eddig ismert legkisebb tömegű, a Földnél mindössze 1,4-szer nagyobb tömegű bolygó

lehet. Ez tömegében, talán összetételében is a Földhöz hasonló, azonban sokkal magasabb hőmérséklet van rajta, mint a mi bolygónkon.

A magasabb hőmérséklet oka, hogy ezt az égitestet csak 0,02 CSE választja el napjától, és egy keringést 1,18 földi nap alatt tesz meg körülötte. Feltehetőleg kötött a tengelyforgása, tehát mindig ugyanazt az oldalát mutatja csillaga felé – emiatt akár hatalmas hőmérsékletkülönbség is lehet nappali és éjszakai oldala között.

A bolygórendszer tehát igen érdekes: öt, a Neptunuszhoz hasonló planétát kell benne elképzelni, amelyek nagyjából a Mars és a Jupiter naptávolságában mozognak. A mi Jupiterünkhöz hasonló óriásbolygó azonban nincs közöttük. Az égitestek helyzete sem véletlen eloszlású, hanem egyszerű mértani szabályszerűséget követ. Ez az úgynevezett Titius-Bode-szabály, amely ezek szerint nem csak a Naprendszerben adja meg közel helyesen az égitestek naptávolságát. A sajátos térbeli elhelyezkedés oka az égitestek keletkezési viszonyaiban, a kezdetben közöttük fellépett gravitációs kapcsolatban keresendő.

Egyébként az sem elképzelhetetlen, hogy a most felfedezett rendszer egyik nagyobb bolygójának lehet az általunk ismert élet hordozására alkalmas óriásholdja – de ezt egyelőre nem tudjuk érzékelni.

HD 40307



Első alkalommal sikerült három „szuperföld” kategóriájú bolygót azonosítani egy csillag körül, ami fontos lépés a Földünkhöz még hasonlóbb égitestek felfedezéséhez.

Az Európai Déli Obszervatórium (ESO) szakemberei fontos eredményt jelentettek be a Naprendszeren kívüli planéták, azaz exobolygók kutatásának területén. A chilei La Silla

Obszervatórium 3,6 méteres távcsövével (annak HARPS detektorával) a HD 40307 jelű, a Napunknál valamivel kisebb tömegű, K-színképtípusú csillagot vizsgálták az elmúlt öt év folyamán.

A csillag mozgásában megfigyelt periodikus változások alapján három, körülötte keringő exobolygót azonosítottak. Ezek tömege közelítőleg 4,2, 6,7 és 9,4-szerese a Földének. Csillagukhoz közel mozognak, egyetlen év mindössze 4, 10 és 20 napig tart rajtuk.

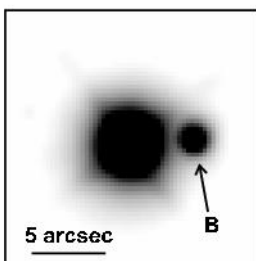
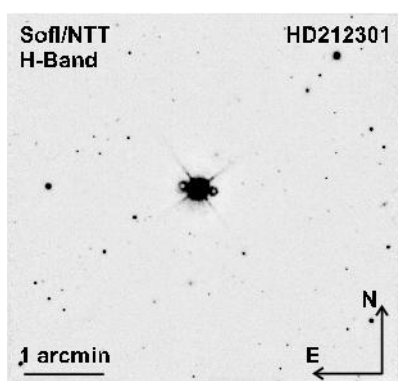
A szuperföldeknek nevezett égitestek csoportjába a Jupiternél lényegesen kisebb tömegű, nagyságrendileg a Föld tömegkategóriájába eső objektumokat sorolnak. A tömeg alapján ugyanakkor nem mindig lehet eldönteni, hogy az adott égitest az Uránuszhoz vagy a Neptunuszhoz hasonló, azaz főleg jégből és folyadékból áll, avagy a Földhöz közelítő, szilárd felszínű planéta.

Mivel a fenti objektumok a csillagukhoz igen közel vannak, a kialakulásukkor ott uralkodó magas hőmérséklet alapján kőzetekből álló égitestekkel lehet dolgunk – hacsak nem nagyobb távolságból, pályaháborgások révén jutottak mai helyzetükbe. Esély van tehát arra, hogy a mi planétánkhoz hasonló összetételű objektumokra bukkantak.

Csillagukhoz közeli helyzetük miatt azonban annyira magas hőmérséklet lehet a felszínükön, hogy ott folyékony víz stabilan nem várható. Ennek ellenére fontos a felfedezés, mivel újabb lépés az első, a Földhöz igazán hasonló távoli planéta azonosítása felé. Eddig 45 olyan exobolygót találtak, amelyek tömege 30 földtömeg alatt lehet, és keringési idejük 50 napnál rövidebb. Ezek részben a mi planétánkhöz hasonlító szuperföldek lehetnek. Statisztikailag azt mondhatjuk, hogy átlagosan minden harmadik, a Napunkhoz hasonló csillag körül lehetnek ilyen, viszonylag kisebb tömegű exobolygók.

A nagy kérdésre, hogy vajon minden átlagos csillag körül kering-e bolygó, egyelőre nem tudjuk a választ. Az elmúlt évek kutatásai azonban arra utalnak, hogy igen elterjedtek az ilyen égitestek, és a bolygókeletkezés általános jelenség a Világegyetemben, a csillagok kialakulásának normális „melléktermékeként”.

HD 212301



Egy vörös törpecsillag körül egy Naprendszeren kívüli bolygót találtak. A felfedezés megerősíti a korábbi feltételezést, hogy az ilyen apró csillagok is fontosak a Földön kívüli élet kutatásában.

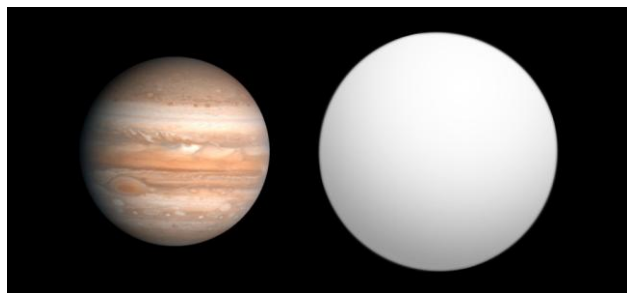
Az Európai Déli Obszervatórium (ESO) la sillai 3,6 méteres teleszkópjával, valamint az arra rögzített HARPS detektorral egy új Naprendszeren kívüli

bolygót (exobolygót) találtak egy közeli csillag körül. Az égitest tőlünk 20,5 fényévre, a Libra csillagképben található. A Gl 581 jelű, M3 színképtípusú vörös törpecsillag tömege mindössze harmada a Napénak. A körülötte keringő exobolygó is csak 17-szer nagyobb tömegű a Földnél, azaz kb. olyan tömegű, mint a Neptunusz.

A most talált planéta központi csillagához igen közel, attól mindössze 6 millió km-re kering (a Naprendszerben a legközelebbi bolygó, a Merkúr 58 millió kilométeres távolságban járja körül csillagunkat). A közeli pálya miatt keringési ideje mindössze 5,366 nap, azaz egy év a planétán egyetlen földi hétig sem tart.

TRES-2

Koromfekete bolygó található a Sárkány-csillagképben. A TrES-2b jelű, Jupiter-méretű, Naprendszeren kívüli gázóriás a ráeső napfénynek alig egy százalékát tükrözi vissza.



A TRES-2b és a Jupiter aránya

Azonosították az eddigi legsötétebb Naprendszeren kívüli bolygót, azaz exobolygót. A planétát 2006-ban a Transatlanti Exobolygó-kutató Rendszer (TrES, Trans-Atlantic Exoplanet Survey) segítségével fedezték fel, de csak most

vizsgálták a NASA Kepler-űrtávcsővel, amely képes nagy pontossággal mérni a távoli csillagok fényességét.

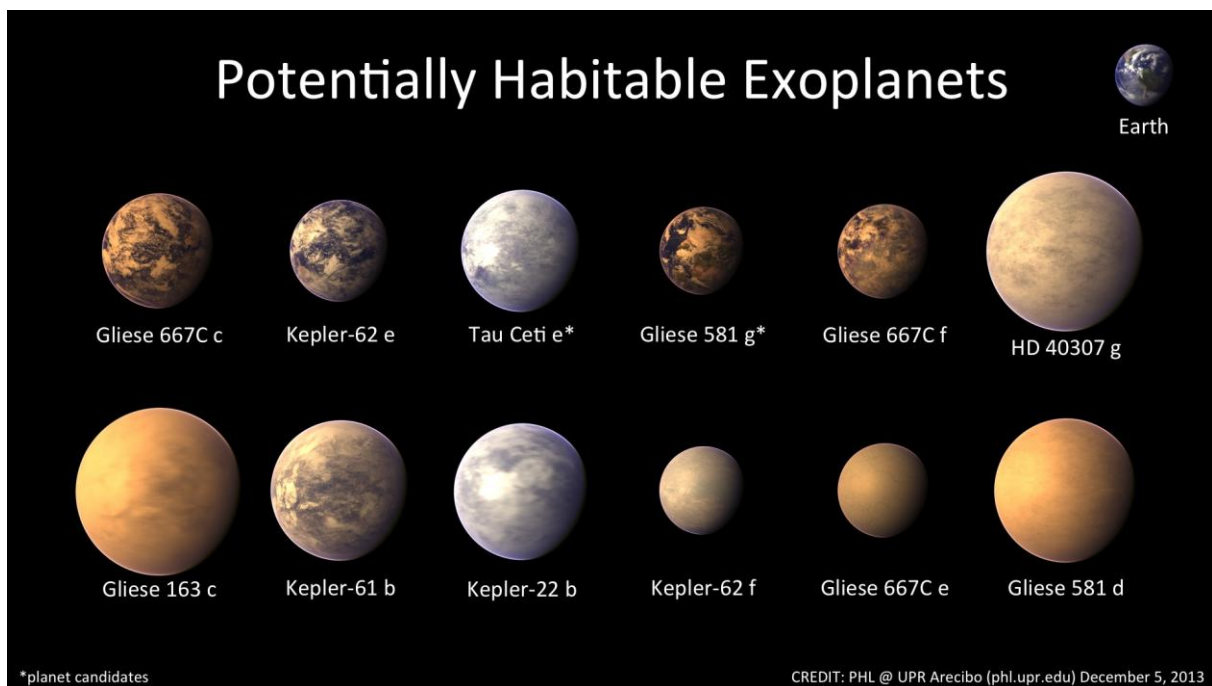
Az exobolygó a 750 fényévnire található GSC 03549-02811 katalógusjelű csillag körül kering. Egy év (tehát a csillaga körüli egy keringés) két és fél földi napig tart rajta, de mivel kötött a tengelyforgása, egyik oldalán állandóan nappal, másikon éjszaka van.

A hozzá feltehetőleg hasonló tömegű Jupiter a Naprendszerben a ráeső fénynek több mint a harmadát visszatükrözi ammóniafelhői révén. A TrES-2b viszont a bolygón uralkodó 1000 Celsius fokos hőmérséklet miatt nem tehetett szert ammóniafátyolra, helyette légkörét fényelnyelő anyagok – porlasztott nátrium és kálium, valamint titán-oxid alkotja, bár ezek egyike sem magyarázza meg teljesen, hogy miért oly sötét az égitest.

A TrES-2b kevésbé tükrözi vissza a fényt, mint a fekete akrilfesték. A koromfekete bolygó oly forró, hogy az égitestet egyfajta halvány vörös izzás veszi körül.

Újonnan felfedezett exobolygók

Az utóbbi években megszorodtak a Kepler űrtávcső és más exobolygókereső programok által felfedezett izgalmas planéták. Ezekről összefoglaló táblázatot adok közre, és egynémelyikről részletes leírást teszek.



List of extrasolar Earth-like planets detected by gravitational microlensing, transit timing variation and radial velocity. Data from the Habitable Exoplanets Catalog (HEC) suggests that, of the 725 exoplanets which have been confirmed as of 14 January 2012, four potentially habitable planets have been found, and the same source predicts that there may be 27 habitable extrasolar moons around confirmed planets.

terrestrial planets



Current Potential Habitable Exoplanets

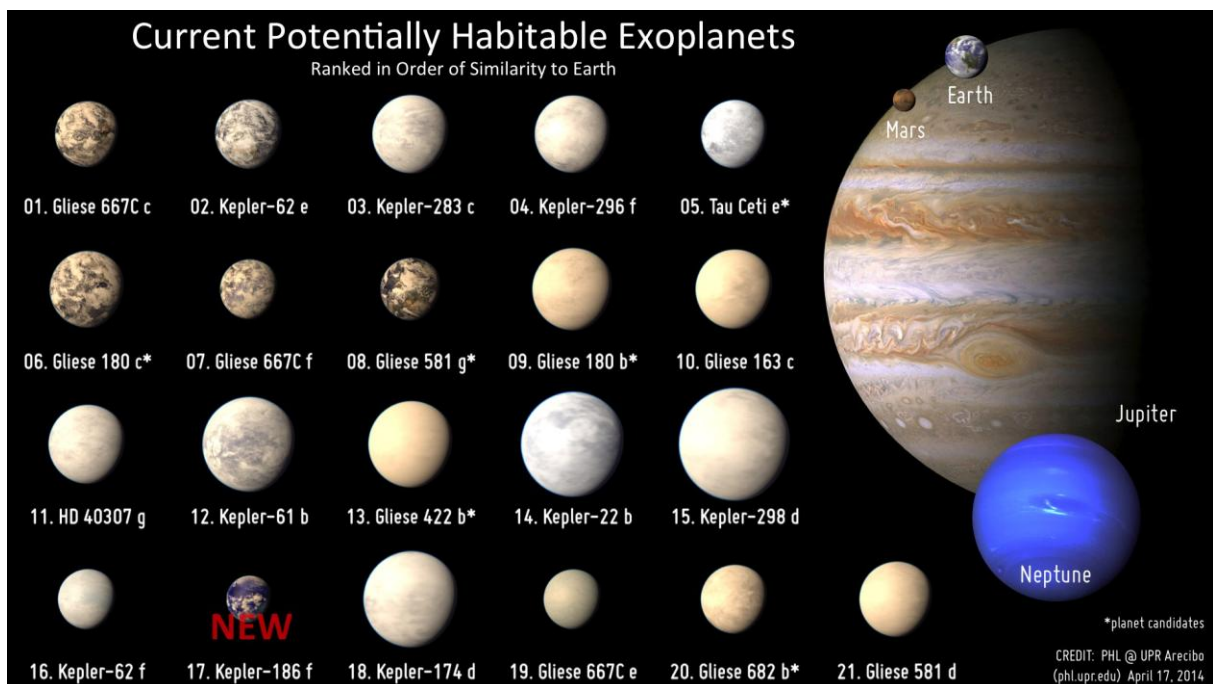
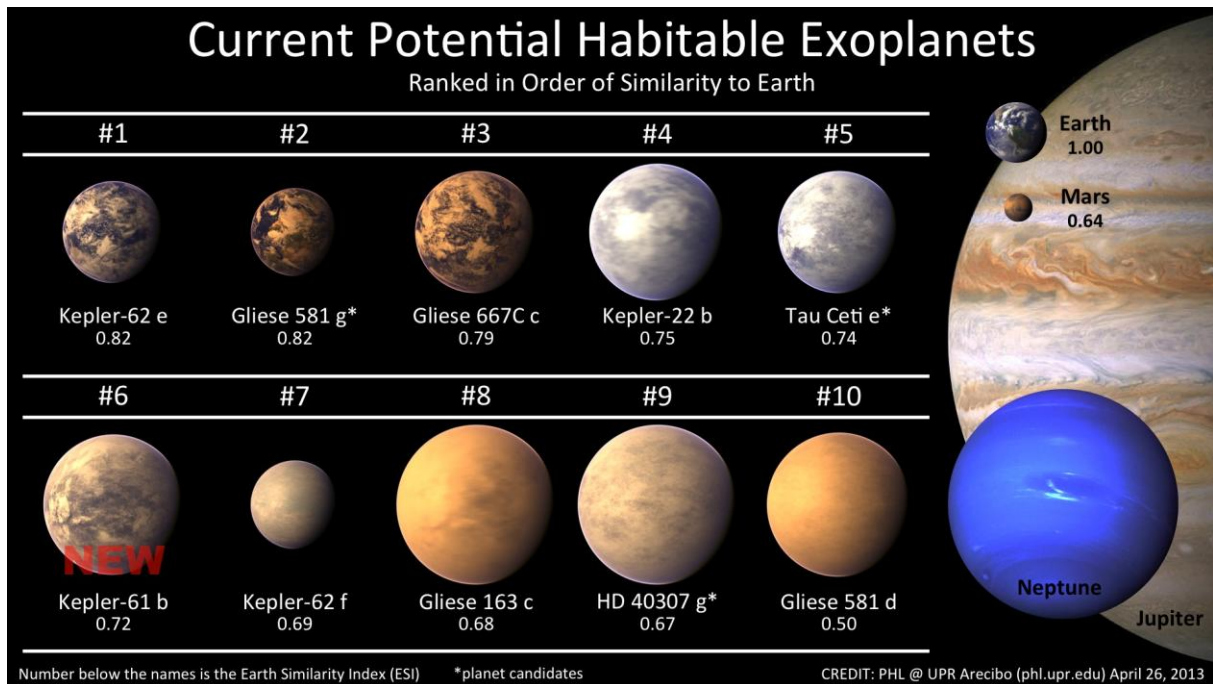
Compared with Earth and Mars and Ranked in Order of Similarity to Earth



#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7
0.92	0.85	0.81	Earth Similarity Index 0.79	0.77	0.73	0.72
Gliese 581 g*	Gliese 667C c	Kepler-22 b	HD 40307 g*	HD 85512 b	Gliese 163 c	Gliese 581 d
Sep 2010	Nov 2011	Dec 2011	Discovery Date Nov 2012	Sep 2011	Sep 2012	Apr 2007

*unconfirmed planets

CREDIT: PHL @ UPR Arecibo (phl.upr.edu) Nov 7, 2012



Kepler's Small Habitable Zone Planets

Planets enlarged 25x compared to stars

G Stars



Kepler-452b (Earth)

K Stars



Kepler-442b

155c

235e

62f

62e

283c

440b

M Stars



Kepler-438b

186f

296e

296f

Current Potentially Habitable Exoplanets

Ranked in Order of Similarity to Earth



01. Gliese 667C c



02. Kepler-62 e



03. Kepler-283 c



04. Kepler-296 f



05. Tau Ceti e*



06. Gliese 180 c*



07. Gliese 667C f



08. Gliese 581 g*



09. Gliese 180 b*



10. Gliese 163 c



11. HD 40307 g



12. Kepler-61 b



13. Gliese 422 b*



14. Kepler-22 b



15. Kepler-298 d



16. Kepler-62 f



17. Kepler-174 d



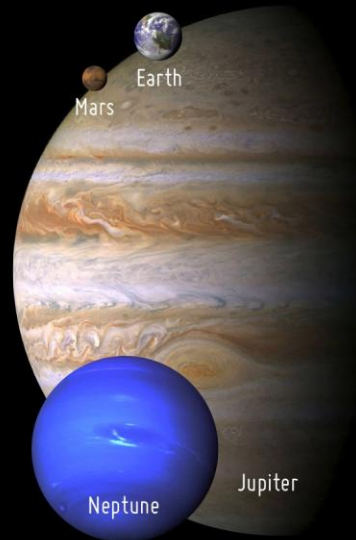
18. Gliese 667C e



19. Gliese 682 b*



20. Gliese 581 d



*planet candidates

CREDIT: PHL @ UPR Arcibo (phl.upr.edu) March 4, 2014

Gliese 667C



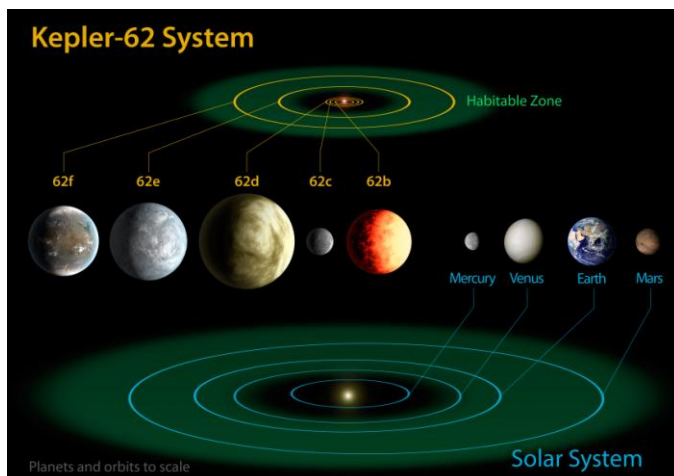
A Skorpíó csillagképben megfigyelhető, 22 fényévre található, mindössze harmad naptömegnyi Gliese 667C egy rendkívül alaposan tanulmányozott csillag. Mint ahogyan a neve is mutatja, a Gliese 667 (más jelzéssel GJ 667) hármas csillagrendszer egyik tagja, melynek A és B komponense viszonylag szoros kettőst alkot, amely körül egy társ pályán mozog

a harmadik, C jelű komponens. A korábbi vizsgálatok eredményei szerint a Gliese 667C körül három bolygó kering, közülük egy a csillag lakhatósági zónájában, azaz ott, ahol például egy kőzetbolygó felszínén a víz hosszú ideig folyékony állapotban maradhat.

A Gliese 667C színeképeiből nyert radiális sebesség-adatok alapján a kutatók statisztikai analízissel hét bolygó nyomát mutatták ki. Az első öt szignál konfidencia-szintje nagyon magas, azaz ezek biztosan valósak, a hatodik bizonytalanabb, míg a hetedik egyelőre csak feltételezés. A planéták közül három szuperföld méretű és ezek mindegyike a csillag lakhatósági zónájában kering, teljesen ki is töltve azt, abban az értelemben, hogy több stabil pálya nem létezhet ebben a tartományban. A további négy bolygó közül kettő a zónán belül, kettő pedig azon kívül rója pályáját a Gliese 667C körül. Az öt belső bolygó valószínűleg kötött keringésű, azaz mindig ugyanazt az oldalát fordítja a csillag felé. (Más megfogalmazásban a napjuk és az évük ugyanolyan hosszú.) Ezen az oldalon tehát mindig nappal van, a másikon pedig örök éjszaka. A hármas csillagrendszer másik két komponense a bolygók nappali oldaláról is nagyon fényes párként látszana, de még az éjszakai féltekén is a teliholdnál jóval nagyobb megvilágítást adnának.

A három szuperfölddel a Gliese 667C rendszere az első bolygórendszer – beleértve a sajátunkat is -, ahol tehát a lakhatósági zónában három planéta is van. A Naprendszerben a Vénusz ezen régió belső, a Mars pedig a külső határához közel kering, de azon kívül. A lakhatósági zóna határainak pozíciói persze sok tényezőtől függenek, így azokat nem egy éles vonalként kell elképzelni.

Kepler 62



A Kepler 62 bolygói közül kettő a lakhatósági zónában kering, egy a Napnál kisebb és hűvösebb csillag körül, a Földtől 1200 fényévnyi távolságban (a csillag színeképtípusa K2, átmérője kétharmada a Napénak).

A csillag körül egyébként öt bolygót ismernek (Kepler 62b, 62c, 62d, 62e és 62f). A legizgalmasabb a legkülső, a

Kepler-62f, amelynek átmérője csak 40%-kal nagyobb a Földénél. Ezzel jelenleg a legkisebb olyan exobolygó, amely egy csillag lakható zónájában kering. Keringési ideje 267 nap. A Földhöz hasonlóan valószínűleg kőzetbolygó, amelynek felszínén folyékony víz lehet. Azt még nem tudják, van-e rajta élet is.

Mivel a Kepler 62 jelű csillag kora 7 milliárd év (a Napé 5 milliárd), itt is volt idő az élet fejlődésére, amennyiben kialakult (a Földön 3,5-4 milliárd éve született meg az élet).

A rendszer másik érdekes bolygója a Kepler-62e, amely a lakható zóna belső peremén kering (itt 122 földi napig tart egy év), és átmérője 60%-kal nagyobb a Földénél.

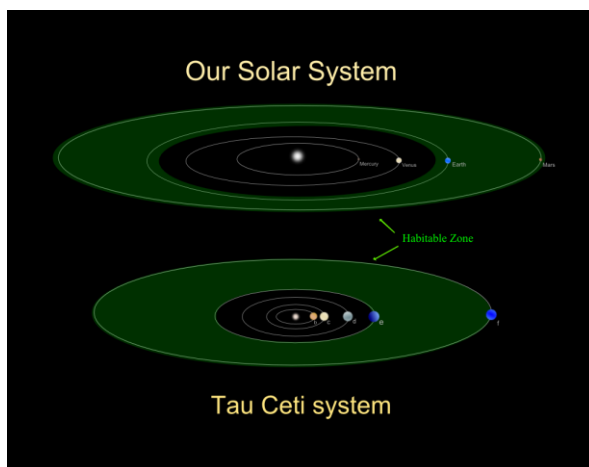
A harmadik érdekes, csütörtökön bejelentett bolygó egy másik csillag lakható zónájában kering. A Kepler-69c átmérője 70%-kal nagyobb a Földénél.

A kutatók szerint az ehhez hasonló felfedezésekkel közel jutottunk ahhoz, hogy megtudjuk: vajon a Tejútrendszerben hemzsegnak a Föld testvérei, vagy bolygónk ritka szerencsés égitestnek számít a galaxisban.

Tau Ceti

Felfedezésük azt sugallja, hogy hiába rendelkezik a rendszer a Tau Ceti névre keresztelt nap-típusú központi égitesttel, az élet kialakulásának feltételei valószínűleg mégsem adóttak. Az aszteroidák becsapódásainak potenciálisan nagy száma nem teszi lehetővé fejlettebb életformák kialakulását a csillag körüli, eddig még csak feltételezett jelenlétű, bolygókon.

Földünk körüli nyugodt környezet szokatlan jelenség az Univerzumban



A Tau Ceti a Cet csillagképben található, 11.9 fényévnyi távolságban lévő 0.8 naptömeggel rendelkező csillag. Naprendszerének felépítése nagyban hasonlít a mi Naprendszerünkhöz, ugyanolyan méretű és formájú üstökös és aszteroida korong veszi körbe, mint azt a Nap esetében megfigyelhetők. Azonban a mostani eredmények arra utalnak, hogy az aszteroidák és üstökösök mintegy tízszer nagyobb mennyiségben találhatóak meg itt. Nem tudjuk, hogy van-e egyáltalán az

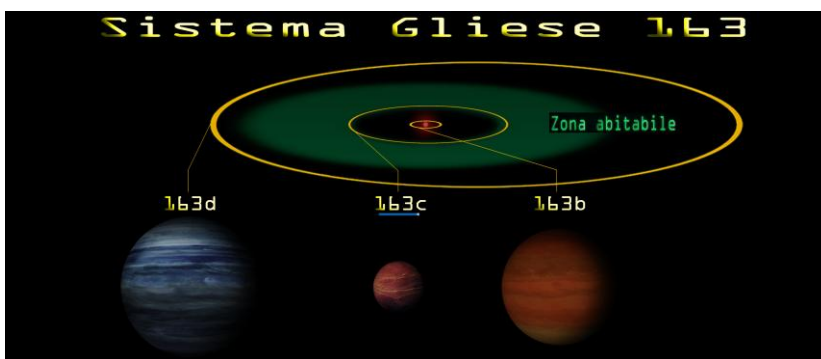
élet kialakulásának szempontjából optimális méretű és elhelyezkedésű égitest a Tau Ceti körül, de ha van is, igen valószínű, hogy a folyamatos üstökös és aszteroida becsapódásoknak szolgálna céltáblaként.

A felfedezés újragondolásra ösztönzi a Naprendszerünkön kívüli tartományokban életnyomokat kereső kutatókat. Nem ismert továbbra az sem, hogy miért található ennyi aszteroida a Tau Ceti környezetében. Elképzelhető, hogy a nap túl közel helyezkedett el egy másik csillaghoz kialakulásának valamely pontján, így elcsábíthatta annak az aszteroidáit.

Gliese 163

Újabb lakhatónak tartott bolygót azonosított egy nemzetközi kutatócsoport, amely négyszáz vörös törpecsillagot és a hozzájuk tartozó planétákat elemezte. A tudósok Xavier Bonfils, a grenoble-i Joseph Fourier Egyetem asztrofizikusának irányításával a Chilében lévő Európai Déli Obszervatórium (ESO) 3,6 méter átmérőjű teleszkópjára szerelt nagy pontosságú spektrográffal, a HARPS-szal végezték a vizsgálatokat.

A most felfedezett szuperföld, a Gliese 163c katalógusjelű csillag lakhatási zónájának a peremén található, azaz a hőmérséklet megfelelő ahhoz, hogy folyékony víz legyen a felületén. A Gliese 163c társával a Gliese 163 katalógusjelű csillag körül kering, amely 50 fényévnnyire, az Aranyhal (Dorado) csillagképben található. A kutatók találtak arra utaló jeleket is, hogy a bolygórendszernek egy harmadik tagja is lehet, de egyértelműen még nem sikerült bizonyítani a létét.



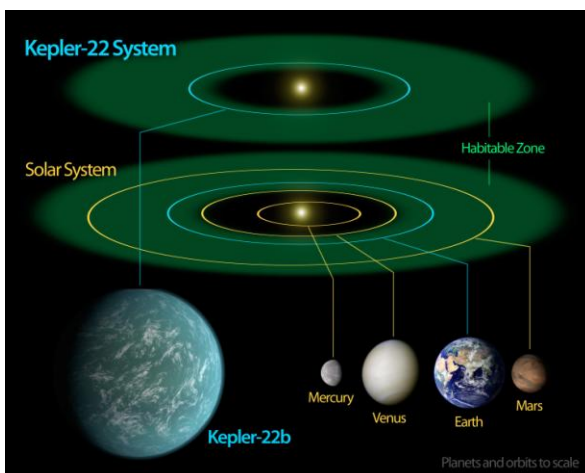
A Gliese 163c tömege hétszeresen múlja felül a Földét, és akár kőzetbolygó is lehet, vagy zsugorított gázóriás. Xavier Bonfils szerint nem tudjuk biztosan, hogy Föld-szerű bolygóról van-e szó. Az ilyen tömegű planéták lehetnek

kőzetbolygók,

óceánbolygók, vagy a Neptunuszhoz hasonlító égitestek. A lakhatósági zóna belső peremén lévő Gliese 163c huszonhat nap alatt kerüli meg szülőcsillagát, amely lényegesen haloványabb, mint a Nap. A másik bolygón, a Gliese 163b-n egy év mindössze 9 napig tart, míg a harmadik, feltételezett planéta távolabb keringhet.

Kepler 22

Az asztronómusok elmondták, hogy a Kepler 22b névre keresztelt égitest kétszer (azaz 2,4-szer) akkora, mint a Föld, és nagyjából 600 fényévnnyire van tőlünk. A bolygón egyébként ideális, 22 Celsius fokos átlaghőmérsékletet mértek. A tudósok azt is elmondták, hogy a „Föld 2.0” égitest tulajdonságai hasonlítanak a mi bolygónkéhoz.



Ami tény: a Kepler 22b a mi Napunkéhoz hasonló égitest körül kering. A „Föld 2.0”-ás bolygókból tehát van bőven, de ez idáig csak a Kepler 22b prezentálja az ideális élhető körülményeket.

Kepler 22b 15 százalékkal közelebb van a saját napjához, mint Földünk a Naphoz, és egy év 290 napból áll. Tény az is, hogy a most felfedezett égitest napja 25 százalékkal kevesebb fényt bocsát ki, pont annyit, amennyi biztosítja a felszínen levő vizek folyékony állapotát. A feltételezések szerint víz lehet a

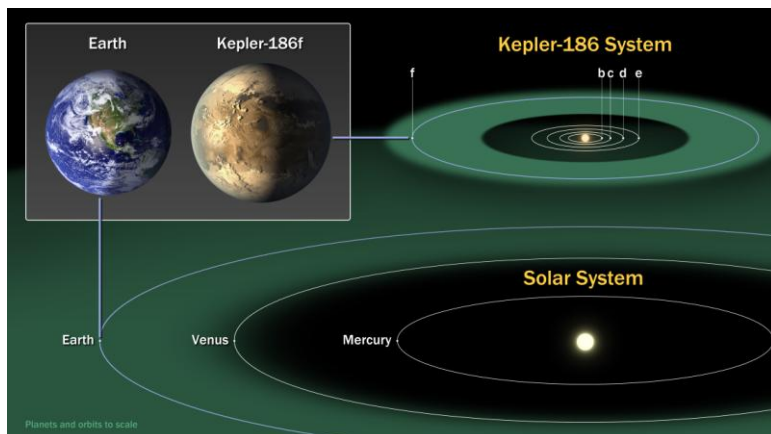
felszínén, ugyanis kellő távolságra van „anyacsillagától”. A Kepler-csoport azt is elmondta, hogy háromszori bolygóelhaladást követően „hagyták jóvá” a bolygó élıhetőségét. Először 2009-ben detektálták az égitestet. William Borucki, a NASA Kutatási Központjának főmunkatársa elmondta: a szerencse rájuk mosolygott a Kepler 22b felfedezésével.

Az űrkutatók egyelőre még vizsgálják a Kepler 22b összetételét, ugyanis még nem tudni, hogy kőzetek, gázok vagy folyadékok alkotják-e.

Kepler 186

Alig nagyobb a Földnél a Kepler-186f exobolygó. Egy vörös törpecsillag lakható zónájában kering, igaz, annak fagyosabb részén, és ebben ki is merül a hasonlóság. Nem tudjuk, miből áll, van-e légkör, és van-e rajta víz. Ha viszont van, akkor az folyékony lehet.

A Kepler-186f egy öt bolygóból álló rendszer legkülső tagja, négy társa a lakható zónán belül kering. Ez viszont azt jelenti, hogy ha a bolygónak a földihez hasonló légköre van, és ha egyáltalán előfordul víz a Kepler-186f felszínén, akkor az folyékony halmazállapotban lehet jelen. (Hangsúlyozni kell, hogy a H₂O előfordulása és a légkör létezése csak feltevés. Természetesen egyik feltétel fennállására sincs semmiféle bizonyíték, így a folyékony vízére



sem. Következésképpen a bolygót igazából nem kiálthatjuk ki a „Föld ikertestvérének”, mert erre még nincs bizonyítékunk.)

A bolygó sugara a mérések szerint 1,11 földsugár, 0,14 földsugár bizonytalansággal. Érdekes, hogy a rendszer másik négy tagja is a Földhöz hasonló méretű, 1,5 földsugárnál kisebbek, 3,9 és 22,4 nap közötti keringési idővel. Ezt a

négy bolygót két év megfigyelései alapján fedezték fel, az f jelűt csak egy évvel később. A Kepler-186f keringési ideje 129,9 nap, ennek megfelelően a csillagától 0,35 csillagászati egység (cse) távolságra kering. (Ez nagyjából a Merkúr távolságának felel meg, de az M típusú vörös törpe mérete kisebb, sugárzása jóval gyengébb a Napénál, ezért esik a bolygó a lakható zónába.)

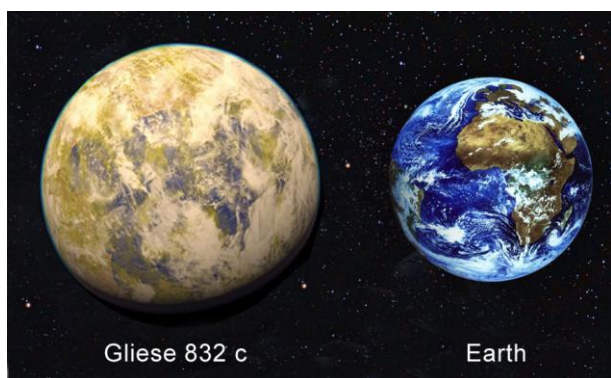
A bolygó tömegére csak becsléseket tehetünk, a feltételezett kémiai összetételétől függően eltérő eredményeket kapunk. Ha a bolygó teljes egészében vízből és/vagy jégből állna, akkor tömege csak 0,32 földtömeg lenne, ha döntően vasból állna, akkor 3,77 földtömeget kapunk. A realisabb (egyharmad rész vas, kétharmad rész szilikátos kőzetek) összetételt feltételezve a bolygó tömege 1,44 földtömeg lehet.

A csillag, amely körül a Kepler-186f kering, vagyis maga a Kepler-186, egy M1 színképtípusú, fősorozathoz tartozó vörös törpecsillag. A csillag felszíni hőmérsékletét 3800 kelvin körülire mérték (Nap: 5780 K), sugara pedig 0,47-szer akkora, mint a Napé, vagyis mintegy 650 000 km lehet az átmérője. Következésképpen a bolygó és a csillag sugarának aránya 0,021 (ugyanaz az arány a Föld/Nap esetében 0,009, a Neptunusz/Nap esetén 0,035). A csillag tőlünk mért távolsága 151 parszek (kb. 500 fényév).

A lakható zóna a csillag fizikai tulajdonságai alapján végzett számítások szerint 0,22 és 0,40 cse között húzódik. Számítások szerint az M típusú törpecsillagok lakható zónájának belső részében hiába megfelelő a hőmérséklet a folyékony víz létezéséhez, az ott keringő bolygók nem tudják tartósan megtartani a vizet, az megszökik a felszínéről. A Kepler–1876f azonban a lakható zóna külső széléhez közelebb kering, ott nagyobb az esély a víz megtartására. Ha tehát eredetileg is volt víz a bolygón, akkor az valószínűleg folyékony lehet.

Gliese 832

A University of New South Wales kutatói felfedeztek egy szuperföldet, amely a Gliese 832 nevű csillag lakható zónájában kering. A vörös törpe csillagról korábban azt lehetett tudni, hogy egy Jupiter-szerű hideg exobolygót tartalmaz, a 832b-t, amit 2009-ben fedeztek fel. A rendszer 16 fényévre kering a Földtől, a Daru csillagképben. A bolygót csillagának gravitációs vonzása alapján fedezték fel.

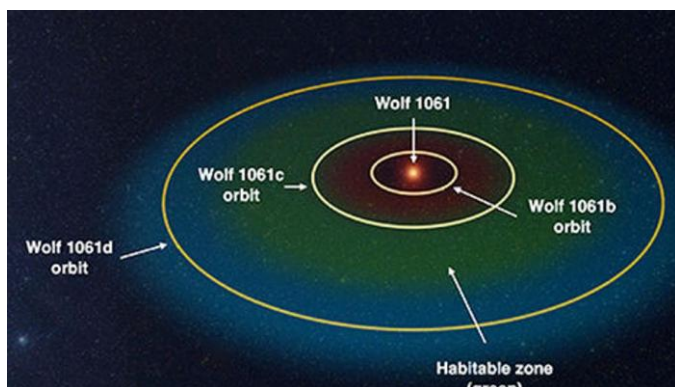


Az új bolygót Gliese 832c-nek nevezték el a csillagászok. Keringési ideje 35,68 nap, tömege 5,4-szerese a Földének, nagyjából annyi energiát kap napjától, mint a Föld a Naptól. A bolygón valószínűleg a földihez hasonló hőmérséklet uralkodik, de sokkal extrémebben váltakoznak az évszakok.

Légköre is sokkal sűrűbb lehet, mint Földünké így könnyen lehet, hogy túl forró az élethez, és inkább a Vénuszra hasonlít. Az eddigi adatok alapján azonban egyelőre a

bolygó benne van a három, Földhöz legjobban hasonlítóban.

Wolf 1061



Az újonnan talált bolygó tömege körülbelül négyszerese a Földének és egyike annak a három planétának, amit a Wolf 1061 vörös törpe körül figyeltek meg a Földtől 14 fényévnire

A felfedezést az Európai Déli Observatórium (ESO) által üzemeltetett chilei La Silla obszervatórium teleszkópjával, egészen pontosan az arra szerelt HARPS spektrográffal tették.

Ráadásul a középső planéta, a Wolf 1061c pont a Goldilocks-zónában (*lakható övezetben*) található, ahol megvan az esélye a folyékony víz jelenlétének.

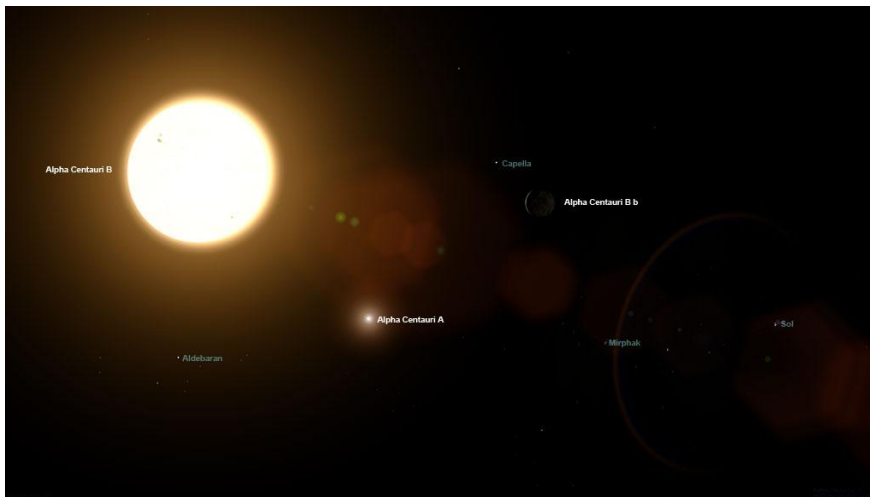
A három bolygó egy kicsi és viszonylag hűvös vörös törpecsillag körül kering. Keringési idejük 5, 18, illetve 67 napos. Tömegük 1,3-szerese, 4,3-szerese, valamint 5,2-szerese a Földének.

A legnagyobb, külső bolygó éppen a lakhatósági zónán kívül esik, míg legbelső, legkisebb társa túl közel van a csillaghoz, hogy az élet szempontjából kedvező feltételek legyenek rajta. A kutatók következőleg a bolygók légkörét szeretnék alaposabban megvizsgálni.

Alfa Centauri B

Alfa Centauri rendszerében egy a Földéhez hasonló tömegű bolygó kering. Az Alfa Centauri valójában egy három csillagból álló rendszer. Két nagyobb, a Naphoz hasonló csillaga az Alfa Centauri A és B, ezeknél halványabb a harmadik tag, a Proxima Centauri, amely egy kistömegű vörös törpecsillag. Már a 19. század óta tudjuk, hogy ez a hozzánk legközelebbi rendszer, ezért különösen izgalmas kérdés volt, hogy vannak-e benne bolygók.

A most felfedezett bolygó az Alfa Centauri B körül kering 6 millió kilométeres távolságban, mindössze 3,2 napos keringési idővel. Ez igen kis távolság (a Nap-Merkúr távolságnak töredéke), ezért felszíne sajnos az élet számára túl forró. Lehetséges azonban, hogy más bolygók is vannak a rendszerben.



Az Alfa Centauri B minden szempontból nagyon hasonló a Naphoz. Tömege 0,934 naptömeg, vagyis alig 7%-kal marad el a Napétól. Felszíni hőmérséklete 5214 K (szemben a Nap 5500 K hőmérsékletével), színképtípusa K1V, ahol az V (római ötös) azt jelenti, hogy a Naphoz hasonlóan

úgynevezett fősorozati, tehát stabil működésű csillag. Akárcsak a Nap, az Alfa Centauri B is viszonylag gyenge aktivitást mutat, ami segít pontos színképi méréseket végezni.

Végül megállapították, hogy a bolygó periodikusan az említett 0,51 m/s-mal változtatja meg a csillag sebességét. Keringési periódusa 3,326 nap, pályájának fél nagytengelye, vagyis közepes távolsága a csillagtól 0,04 csillagászati egység, tehát körülbelül 6 millió km. (A Merkúr legkisebb távolsága a Naptól 46 millió km.) Ami pedig a legfontosabb, a bolygó tömege nagyjából akkora, mint a Földé. Következésképpen, ez az eddig talált legkisebb tömegű exobolygó, amelyik egy Naphoz hasonló csillag körül kering, továbbá ez a Naprendszerhez legközelebbi exobolygó.

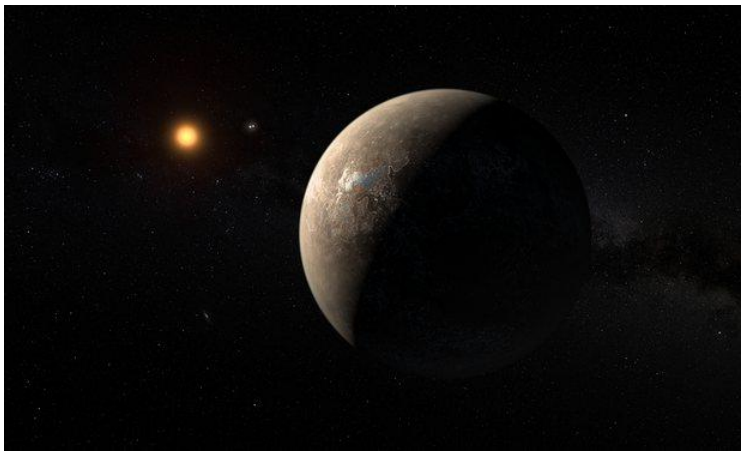
Akadnak kételkedők, akik a csak érzékeltetett nehézségek miatt nem tartják elég meggyőzőnek a felfedezés hírét. A felfedezők mindenesetre remélik, hogy hamarosan mások, más műszerekkel megvizsgálva az Alfa Centauri rendszert, meg tudják erősíteni a bolygó létezését.

Egy bökkenő azonban így is marad. A felfedezett bolygó túlságosan közel van csillagához ahhoz, hogy folyékony víz lehessen a felszínén, vagyis jóval a lakható zónán belül kering az Alfa Centauri B körül. A felfedezőket azonban bizakodással tölti el, hogy az exobolygók statisztikai vizsgálatának eredménye szerint a kis tömegű bolygók rendszerint több bolygót

tartalmazó rendszerekben fordulnak elő. Remélhetjük tehát, hogy az Alfa Centauri B körül további, a Földhöz hasonló tömegű bolygók is keringenek, talán valamelyik a lakható zónában. Ugyanakkor roppant bonyolult és érzékeny méréseikkel bebizonyították, hogy a radiális sebességen alapuló módszer ma már alkalmas lehet a Naphoz hasonló, sőt, akár a Napnál hűvösebb (M színképtípusú) csillagok lakható zónájában is a kis tömegű bolygók kimutatására.

Proxima Centauri

Földhöz hasonló bolygót fedeztek fel a Naphoz legközelebbi csillag, a Proxima Centauri, a Kentaur csillagkép vörös törpéje körül.



Az asztrofizikusok szerint a Proxima b nevű exobolygó (Naprendszeren kívüli bolygó) olyan távolságra kering napjától, hogy felszínén folyékony halmazállapotú víz is előfordulhat. A déli égbolton látható Proxima Centauri 4,24 fényévnyi - 40 billió kilométeres - távolságával a Nap legközelebbi csillagszomszédja. a planéta viszonylagos közelségéből adódóan a kutatóknak jó esélyük

van rá, hogy felvételeket készítsenek annak kiderítésére, van-e az égitestnek légköre - és ha igen, akkor az tartalmaz-e olyan, a földi értelemben vett életről árulkodó kémiai jeleket, mint a metán -, illetve található-e víz a felszínén.

A csillagászokban 2013-ban merült fel először a bolygó létezésének lehetősége, de további megfigyelésekre és precízebb műszerekre volt szükségük a felfedezés megerősítéséhez.

Egy 31 tagú nemzetközi kutatócsoport a Proxima Centauri, a Kentaur csillagkép vörös törpéjének apró imbolygásait megfigyelve állapította meg, hogy azokat egy, a csillag körül keringő bolygó gravitációs hatása váltja ki.

A szakemberek megállapították, hogy a Proxima b legalább 1,3-szor nagyobb tömegű a Földnél, a mérete azonban a többszöröse is lehet. Nagyjából 7,5 millió kilométer távolságban kering a csillaga körül, és ez jóval kisebb mint a Föld-Nap távolság. (A Naprendszer legbelső bolygója, a Merkúr 57,91 millió kilométerre van a Naptól.) Ez a kis távolság a Proximánál nem jelent akkora gondot, mert a vörös törpék sokkal kisebbek és gyengébb fényűek, mint a Nap. Az viszont már érdekes lehet, főleg ha valóban ember lép e távoli bolygóra, hogy a Proxima b 11,2 nap alatt tesz meg egy teljes kört.

A kutatók nem biztosak benne, hogy a Proxima Centaurihoz hasonló vörös törpék alkalmasak-e az élet támogatására. Azok a planéták, amelyek elég közel keringenek a napjukhoz ahhoz, hogy a felszínükön előfordulhasson folyékony halmazállapotú víz, csaknem 100-szor erősebb sugárzásnak vannak kitéve, mint a Föld, habár, hogy ez milyen hatással van az életre, tudományos vita tárgyát képezi.

A mágneses mező és a légkör ugyanakkor némi védelmet nyújthat ezeknek a bolygónak, azt azonban egyelőre nem tudni, hogy a Proxima b rendelkezik-e bármelyikkel is a kettő közül.

A kutatók szerint a Proxima b talán nincs is egyedül, felmerült ugyanis a gyanú, hogy egy másik jel is van a csillag körül, ennek kiderítéséhez azonban további vizsgálatokra lesz szükség.

A bejelentés újabb lökést adhat annak az áprilisban bejelentett 100 millió dolláros projektnek, amelyet Jurij Milner orosz milliárdos is támogat. A projekt célja egy miniatűr lézerhajtású űrhajó megépítése, amely mindössze nagyjából 20 év alatt eljutna az Alfa Centauri csillagrendszerhez.

Utószó

A kézirat lezárásakor több ezer exobolygót tartanak nyilván, s ez a szám, lehet azt mondani, hogy minden egyes nappal növekszik. Szinte nem telik el úgy hónap, hogy be ne jelentenének új felfedezéseket, vagy a már felfedezett exobolygókról ne jelenne meg valamilyen érdekes hír. Nagyon dinamikus tehát ez a tudományterület.

Számos helyen leltem forrásra e könyv megírásakor, s pontosan ez volt az indító ok. Úgy éreztem, végre össze kell gyűjteni azokat az itt-ott elszórt információ morzsákat, melyek fellelhetők voltak, valamint le kívántam írni saját meglátásaimat is. Jelen exobolygó kalauz messze nem törekedett a teljességre, hiszen lehetetlen volna minden egyes exobolygó rendszert részletesen leírni, és ugyanakkor fölösleges is, hiszen egyik-másik hasonlít egymásra, közöttük felállíthatók bizonyos csoportok. Külön köszönet illeti az Origó hírportált, ahol segítségre leltem a munkában, hogy kiválogassam a nevezetes exobolygó rendszerek listáját, mint azt mindenki tudja, rendszeresen jelennek meg tudósítások, némelyiket külföldi médiákból veszik át, másokat hazai szerzőktől. Ezeket a tudósításokat válogattam át és gyűjtöttem az érdekesebbeket egy csokorba.

Az exobolygók teljes katalógusának áttekintésében, mely valamennyi ma ismert exobolygót tartalmaz, a SKY-MAP.org oldal listája volt segítségemre.

A képek a NASA és az ESA honlapjáról származó ábrák és diagramok, valamint szabadon felhasználható grafikák.