

Kárfelelősség a világűrben

Dr. Gál Gyula

A Nemzetközi Asztronautikai Akadémia rendes tagja

Az ENSZ Világűrbizottsága jogi albizottságának 1962. szeptemberi ülésén az USA delegátusának képviselője tekintélyes méretű fémdarabot tett le a tárgyalóasztalra. Közölte, hogy azt Wisconsin állam Manitowoc városának utcáján találták, s a Smithsonian Asztrofizikai Intézet megállapítása szerint a Szputnyik-4 földre hullott darabja. Ezzel kívánta érzékeltetni egy világűr-kártérítési egyezmény szükségességét, amire az Egyesült Államok már javaslatot tett.

Káreset addig ténylegesen nem történt, bár híre járta, hogy Kuba Oriente tartományában egy lehulló tárgy (természetesen amerikai) egy tehenet megölt. 1969 júniusában Japán a Világűrbizottságban közölte, hogy a szibériai partok előtt egy űrtárgy darabjai egy japán teherhajóra zuhantak, és öt tengerészt megsebesítettek.

Tíz év múlva, 1979-ben a szabálytalanul visszatérő amerikai „égi laboratórium”, a Skylab-4 egész Közép-Európában okozott indokolt félelmet, amire a média sem késett rájátszani, „Halál a világűrből” és hasonló szalagcímekkel. A számítások szerint becsapódási helyként szóba jöhető dél-német térségben élelmes kereskedők védősisakokat árúsítottak, figyelmeztető felirattal díszített „T-shirtökkel” együtt. A 85 tonna tömegű Skylab végül Közép-Európát és Dél-Ázsiát elkerülve Ausztrália lakatlan sivatagi területén zúzódt szét anélkül, hogy kárt okozott volna.

Kárfelelősség – államfelelősség

A világűrjog mindmáig alapvető forrása az 1967. január 27-én aláírt nemzetközi szerződés a világűr-tevékenységet szabályozó elvekről. A „Világűrszerződést” máig 98 állam ratifikálta. Hazánk 1967 óta részese (1967. évi 41. tvr.).

A szerződés a két világűrhatalom közti kompromisszum eredményeként jöhetett létre. A Szovjetunió ugyanis azt kívánta elérni, hogy űrtevékenységet csak államok folytathassanak. Ez az Egyesült Államok merőben eltérő gazdasági rendszerével nem volt összeegyeztethető. Annál kevésbé, mert főként az űrtávközlés területén egyre több magánvállalkozás jött létre. Így az Intelsat már 1964-től üzleti alapon működött. A kompromisszum a szerződés alaptételében valósult meg: az államok nemzetközi felelősséggel tartoznak a világűrben folytatott nemzeti tevékenységeikért, „akár kormánysszervek, akár nem állami intézmények végzik azokat.” Ez vonatkozik a földön, légkörben vagy világűrben keletkező károkért viselt felelősségre is. Ez azt a nemzetközi jogban példátlan helyzetet eredményezte, hogy egy állam olyasmiért felel, amihez neki közvetlenül nincs köze. Azon túl, hogy a világűr-tevékenység az ő engedélye alapján folyik, és felbocsátó államnak minősül. Hogy aktuális példát vegyünk: ha az amerikai UARS műhold kárt okozott volna, kárigényt az Egyesült Államokkal szemben lehetett volna érvényesíteni. De ugyanígy felelne az USA, mint felbocsátó állam, ha nem egy NASA-műholdról lenne szó, hanem egy tisztán magánkézben levő amerikai űrtárgy okozna kárt.

A kártérítés szabályait egy tízéves előkészítés után, 1972-ben létrejött egyezmény tartalmazza. Az „űrobjektumok által okozott károkért való nemzetközi felelősségről szóló egyezmény”, amelynek ma 83 állam, köztük hazánk is részese (1973. évi 3. tvr.). Ez a nemzetközi szerződés megerősíti a felbocsátó államok felelősségét az ilyen károkért. Idesorolja az élet elvesztését, a testi sérülést, az egészség más károsodását, a természetes és jogi személyek tulajdonának károsodását vagy elvesztését. A felbocsátó állam objektív felelősséggel tartozik minden kárért, amit egy űrtárgy a Föld felszínén, vagy repülésben levő légi jármű-

vön okoz. Ezzel szemben egy másik űrtárgyban okozott kár esetén a felelősség csak akkor állapítható meg, ha a kár az azt okozó hibájából keletkezett.

Bennünket, a szó szoros értelmében földi halandókat az első változat érdekel. Ha netán egy lezuhanó űrtárgytól kárt szenvedünk, azért a felbocsátó állam a vétkesség vizsgálata nélkül tartozik felelősséggel. Akkor is, ha azt egy magánvállalkozás ürtevékenysége okozta. Igényünket államközi szinten Magyarország feladata volna érvényesíteni a felbocsátó állammal szemben. Olyan kárigényrendező eljárásban, amit a szerződés szerint egy éven belül kell kezdeményezni, a kár bekövetkeztétől vagy a felbocsátó állam azonosításától számítva, de legfeljebb tíz éven belül.

Az egyezmény immár negyven éve van hatályban. Alkalmazására egyetlen alkalommal kerülhetett volna sor. A szovjet Kozmosz–954 felderítő mesterséges hold 1978. január 24-én szerencsére lakatlan kanadai területre zuhant. Különös veszélyt azért jelentett, mert energiaellátását nem napelem, hanem dúsított urániummal működő atomreaktor szolgáltatta. Az Északnyugati Területeken, Alberta és Saskatchewan tartományokban ezernyi kisebb-nagyobb sugárzó töredék szóródott szét. A szovjet segítséget érthető okból elutasító kanadai hatóságok a nagy kiterjedésű területet átvizsgálni és megtisztítani voltak kénytelenek. A felmerült költségek fejében Kanada 6 millió dollár kártérítést követelt a Szovjetuniótól. Egy három év múlva létrejött egyezség szerint 3 millió dollárban állapodtak meg. A szovjet fél azonban került az egyezményre hivatkozást azzal az indoklással, hogy a terület semlegesítésének költségei nem tekinthetők az abban meghatározott kárnak. Ez ugyan tiszta jogászai okoskodásnak tűnhet, de adott esetben nem volna közömbös, hogy egy ügyre az általános nemzetközi jogi, vagy világűrjogi felelősség szabályait alkalmazzák.

A Kozmosz–954 ügye azonban hasznos volt azért, mert felkeltette a nemzetközi figyelmet a nukleáris erőforrásokkal felbocsátott mesterséges holdak veszélyeire. Ennek köszönhető, hogy az ENSZ Világűrbizottsága kidolgozta ezek alkalmazásának szabályait.

Ami a világűr-károkozás valószínűségét illeti, jellemzésül elég a fentiekre utalnunk. Az 1957 óta folyó világűr-tevékenység során olyan vészhelyzet is alig fordult elő, mint amit legutóbb az UARS visszatérésének tulajdonítottak. Olyan vészhelyzet, amiben a személyi sérülés valószínűségét szakértők 1:3200 arányra becsülték. A kiszolgált szerkezet húszéves égi útját anélkül fejezte be, hogy okot adott volna a kártérítés világűrjogának alkalmazására.



A korábban a felsőlégkört kutató amerikai UARS (Upper Atmosphere Research Satellite) műhold darabjai 2011. szeptember 24-én lakott területektől távol, a Csendes-óceánba zuhantak. A műhold a Discovery űrrepülőgépről indult 1991-ben, ekkor készült róla a fénykép. (Kép: NASA)

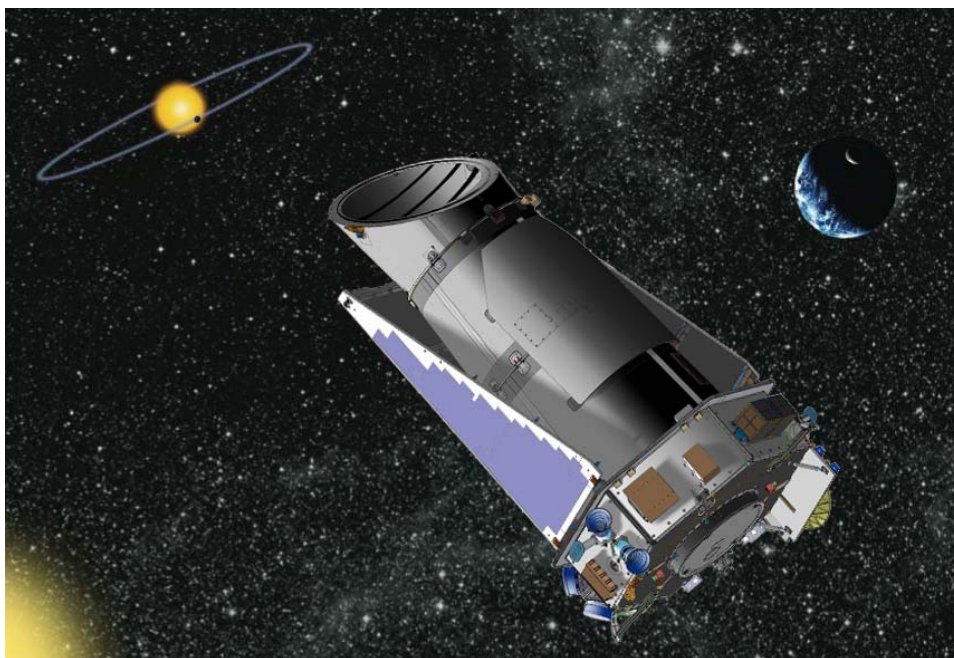
Az év másik nagy, irányítatlanul lezuhanó műholdja a ROSAT (Röntgensatellit) űrobszervatórium volt, amely ugyancsak károkozás nélkül, az Indiai-óceánban végezte pályafutását, október 23-án. Az 1990-ben Floridából indított röntgensillagászati űrteleszkóp német, amerikai és brit együttműködésben készült.

Kutatás a Földhöz hasonló méretű bolygók után

Futó Péter

Az egyik nagy kérdés, amely mindig is foglalkoztatta az embereket az, hogy vajon egyedül vagyunk-e a világmindenségben? Léteznek-e olyan Földhöz hasonló bolygók más csillagok körül, amelyeken az élet általunk ismert, vagy ahhoz akár csak kis mértékben is hasonlító formái kialakulhattak? Ezekre a kérdésekre jelenleg még nem tudunk válaszolni, de sejtésünk van róla, hogy azok a feltételek, amelyek itt a Földön lehetővé tették az élet megszületését és fejlődését, ugyanúgy kialakulhattak másutt is. Ezért a nemzetközi csillagásztársadalom szakavatott tagjai és a világ nagy űrügynökségei kísérletet tesznek annak vizsgálatára, hogy valóban léteznek-e más csillagok körül is biológiai értelemben fejlett életet hordozó bolygók.

A földi típusú összetett bioszféra kialakulásához, fejlődéséhez és hosszú távú fennmaradásához nagyon különleges környezeti feltételek szükségesek. Egy ilyen planétának a lakhatósági zónában kell keringenie csillaga körül, vagyis ott, ahol a felszínén megfelelő légköri viszonyok mellett nem forr fel és nem is fagy meg a víz, hanem hosszú ideig nagy mennyiségben folyékony formában is jelen van. Ahhoz azonban, hogy nagy vonalakban becslést tudjunk adni a földi típusú fejlett élet létezésére és elterjedtségére vonatkozóan, először meg kell becsülni a Földhöz hasonló méretű bolygók számát galaxisunkban, a Tejútrendszerben. Ennek megállapítására bocsátotta fel az amerikai űrhivatal Kepler nevű űrtávcsövé, amely az exobolygó-keresés egyik leghatékonyabb módszerével kutat a kisméretű planéták után galaxisunknak egy, a fősíkhoz közeli szegmensében.



A Kepler-űrtávcső a NASA fantáziaképén

Kepler: a NASA bolygókereső űrtávcsöve

Az amerikai Nemzeti Légügyi és Űrhajózási Hivatal, a NASA nagy pontosságú fényességmérésekre alkalmas űrtávcsövét a bolygómozgás törvényszerűségeit megfogalmazó matematikus-csillagászról, Johannes Keplerről (1571–1630) nevezték el. A 2009 tavaszán Nap körüli pályára állított Kepler-űrtávcső a csillagok fényességének pontos, folyamatosan történő mérése által rögzíti a nagyon csekély fényesség-változásokat is. Az 1,4 m-es főtükörrel rendelkező, 95 cm nyílású Schmidt-rendszerű távcső fókuszsíkja 95 megapixelből álló CCD-detektort helyeztek el, amelynek fejlettsége hozzájárul a kisméretű exobolygók felfedezéséhez szükséges technikai feltételekhez. A Kepler kutatási módszerének lényege: amikor egy csillag körül keringő bolygó pályasíkja látóirányunkba esik, vagy legalábbis kis szöveget zár be vele, akkor bizonyos időközönként a bolygónak a csillaga korongja előtti átvonulását lehet megfigyelni. A bolygó az átvonulás alkalmával kismértékben lecsökkenti a csillag fényességét. Ebből a változásból – a csillag átmérőjének ismeretében – a bolygó átmérőjére, az átvonulás időtartamából pedig a bolygópálya paramétereire lehet következtetni. A bolygók pályasíkjaiknak véletlenszerű térbeli elhelyezkedése miatt meglehetősen kicsi az átvonulás megfigyelésének esélye, ezért megfelelően nagy számú csillagot kell hosszú ideig folyamatosan megfigyelni a sikeres detektálás érdekében. Egy Nap-szerű csillag Föld-méretű bolygójának átvonulása például mindössze 0,47%-os eséllyel figyelhető meg. A világűrben történő megfigyelésnek szintén nagy fontossága van, hiszen a földi légkör zavaró hatásaitól mentes környezetben lényegesen nagyobb fotometriai pontosság érhető el. Ezen kívül lehetőség van a folyamatos, megszakítások nélkül történő észlelésre, ami szintén kulcsfontosságú tényező a Földével összemérhető planéták sikeres detektálása terén.

Az űrtávcső programjának másik fontos része a csillagok *asztroszeizmológiai* vizsgálata, aminek során a kapott adatok segítségével minden eddiginél pontosabb képet kaphatunk a csillagok szerkezetére, korára, sugarára és tömegére vonatkozóan.

A Kepler a Hattyú, a Lant és a Sárkány csillagképek határvidékén kutat, tudományos programjának fő célja tehát a Földével összemérhető méretű bolygók keresése a csillagok lakhatósági zónájában. Ha sikerül találni ilyeneket, akkor meg tudjuk majd becsülni a Föld-méretű bolygók gyakoriságát a cirkumsztelláris (csillag körüli) lakhatósági zónákban és a későbbi alapos vizsgálatok során az is kiderülhet, hogy van-e rajtuk élet.

Az űrtávcső bolygókereső programjának több magyar vonatkozása is van. Így például az első, tesztelés céljából megfigyelt planéta a HATNet program keretében működtetett magyar-amerikai távcsőhálózat által felfedezett HAT-P-7b jelzésű exobolygó volt.

Föld-méretű és Föld-szerű bolygók

Természetesen nem szabad összetéveszteni a *Föld-méretű* és a *Föld-szerű* bolygók fogalmát, hiszen az első megnevezés csupán a bolygó fizikai méretére utal, míg a második már azt jelzi, hogy az adott planéta olyan speciális adottságokkal is rendelkezik, amelyek lehetővé teszik (vagy tették) az ahhoz hasonló típusú élet létrejöttét, mint amit mi itt a Földön megismertünk. Tehát a Föld-szerű jelleg megállapításához további összehangolt, roppant precíz mérésekre van szükség, amelyek elsősorban a légköri összetétel meghatározására irányulnak.

A Föld-méretű (*Earth-sized*) jelzővel a 0,8–1,25 földtömeg közé eső bolygókat illeti a szakirodalom. Ugyanakkor a szuper-Földek alsó tömeghatára 1 földtömeg, így némi átfedés mutatkozik a két tömegkategória között. A Föld-szerű bolygók már szélesebb körű értelmezést nyernek a planetáris tömeg tekintetében, hiszen például egy többszörös földtömegű közetbolygó is rendelkezhet a Földhöz hasonló asztrobiológiai jellemzőkkel. A lemeztektonika pedig a vizsgálatok szerint számos téren kedvez az élet fejlődésének, ezért egy a Földnél valamelyest nagyobb tömegű, aktívabb lemeztektonikájú bolygón az élet akár még kedvez-

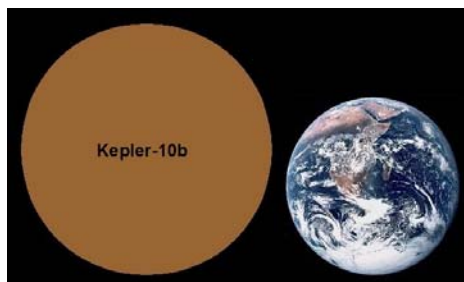
zőbb körülmények között virulhat, mint Földünkön. Példaként említhetünk egy 2 földtömegű, bolygónkhoz hasonló felépítésű planétát [1]. Egy ilyen bolygó átmérője mintegy húsz százalékkal volna nagyobb bolygónkénál, a kontinentális típusú kőzetlemezek átlagos vastagsága pedig alig háromnegyede lenne a Földünkön lévő hasonló lemezekének. Nagyobb tömege révén a magasabb belső hőmérséklet aktívabb lemeztekonikát tarthat fenn, mint Földünk esetében.

Azonban itt fontos megjegyezni azt is, hogy nem csupán a Földhöz sok tekintetben hasonlító bolygókon találhatunk életet, ugyanis ismerünk olyan életformákat is itt a Földön, amelyek a meglehetősen extrém körülmények között érzik jól magukat [2]. Ezek az extremofil szervezetek a távoli exobolygóknak a földtől nagyon eltérő felszíni (vagy felszín alatti) környezetében is létezhetnek. Tehát nem biztos, hogy csak a nagyon specifikus környezetben lehetséges az élet kialakulása. Megjelenhet az a csillag lakhatósági zónájától távol eső régióban keringő bolygón vagy holdon, sőt még a csillag környezetéből kisodródott planéták esetében is. Erről és még sok minden másról az exobolygókkal kapcsolatban bővebben olvashatunk Almár Iván *Kozmikus társskereső* című könyvében [3]. Viszont a Föld-szerű bolygók keresése mutatkozik a legígéretesebbnek, ezért sokan ezek keresését javasolják a kutatások élvonalába helyezni.

Eddigi eredmények

A Kepler eddig (2011 őszéig – a szerk.) ezernél is több bolygójelöltet azonosított távoli csillagok körül, azonban ezek többségének létezését még további vizsgálatokkal igazolni kell. A program során eddig több mint kéttucatnyi bolygó igazolt létét jelentették be. Ez a szám lassan ugyan, de jelentősen növekedni fog a jövőben. A még meg nem erősített bolygójelöltek többsége valószínűleg a Földünk tömegének néhányszorosa csupán, szemben a korábban a felfedezésekben domináns számban jelentkező, Jupiterhez hasonló tömegű óriásbolygókkal. Az adatok vizsgálatából következik, hogy nagyobb számban léteznek a kis méretű exobolygók, mint a nagy méretű társaik. Bár még a jelöltek legtöbbszörének tömege nem ismert, az adatokat alaposabban szemügyre véve azt a következtetést vonhatjuk le, hogy galaxisunkban a Neptunuszhoz hasonló, és a nála kisebb tömegű exoplanéták akár több mint háromnegyed részét is kitehetik a létező bolygók teljes számának. Elsősorban a Neptunusz-jellegű és a szuper-Föld (1-10 földtömeg, [4]) kategóriába tartozó planéták a gyakoriak. A Földéhez hasonló, sőt még nála kisebb átmérőjű bolygójelölteket is tartalmaz a lista. A jelöltek között 68 bolygónkéhoz nagyon hasonló méretű planétát találtak, ami mintegy 5,5%-át teszi ki az eddig közölt teljes bolygójelölt-listának. Ez azt jelzi számunkra, hogy a Föld-méretű bolygók viszonylag gyakoriak lehetnek a Tejútrendszerben (ez a szám akár több milliárd is lehet!). Már csak annak megbecslését kell elvégezni e tekintetben, hogy vajon milyen gyakorisággal jelentkeznek a Föld-méretű bolygók a csillagok lakhatósági zónáiban. A vizsgálatok szerint a kőzetbolygók sokkal gyakoribbak a központi csillag környezetében, mint a gázóriások, ez pedig csak növeli az esélyét annak, hogy viszonylag sok, a csillag körüli lakhatósági zónában keringő Föld-méretű bolygót találjunk.

A Kepler-űrtávcső által detektált, eddig bejelentett szuper-Föld kategóriájú bolygók közül a Kepler-10b jelű (4,56 földtömeg, 1,416 földátmérő) minden bizonnyal valódi Föld típusú planéta. A precíznek mondható megfigyelési adatokból számított átlagsűrűsége alapján arra lehet következtetni, hogy a Kepler-10b összetételében meghatározó szerepe van a vasnak illetve a hozzá hasonló atomtömegű fémeknek, így nagy valószínű-



séggel a teljes bolygótömeghez képest nagyobb méretű fémes maggal rendelkezik, mint például a mi Földünk. Ugyanakkor a Kepler-11b jelű planéta átlagsűrűsége kisebb annál, mint ami egy Föld típusú összetételből adódna, ezért feltehetőleg a tömegének tekintélyes részét kitevő kis sűrűségű anyag(ok)ból (vízből és/vagy gázokból) álló szerkezeti övvel is rendelkezik a fémes mag és a szilikátos öv mellett. További szuper-Föld felfedezés a 2011 szeptemberében bejelentett Kepler-18b esete. Ez a bolygó a számított átlagsűrűsége alapján valószínűleg egy szilikátos belsővel és egy kisebb sűrűségű anyagokat tartalmazó külső burokkal rendelkezik.

E kevés számú felfedezés már arra enged következtetni, hogy a kisméretű exobolygók világában mind a teljes bolygótömeghez mérten nagy fémes maggal rendelkező bolygók, mind pedig a fémeknél és a szilikátoknál könnyebb anyagokat is nagy tömegben tartalmazó bolygók gyakoriak lehetnek a Tejútrendszerben. Azonban a nagyméretű fémes maggal rendelkező kőzetbolygók felszínén erős a gravitáció, ez pedig nem kedvez a viszonylag nagy testű élőlények kifejlődésének. A tekintélyes tömegben kis sűrűségű anyagokat is tartalmazó bolygóknak pedig nincs szilárd felszíne. Ezen kívül gázburkuk mélyén a nyomás rendkívül nagy értéket vehet fel, ami szintén nem kedvező a fejlett életformák számára. Ezért az általunk ismert fejlett ökoszisztémákból álló bioszféra kialakulását csupán a Földünkhöz sok tekintetben hasonló paraméterekkel rendelkező bolygók esetében remélhetjük. Eddig még nem találtunk olyan Föld-méretű bolygót, amely a Naphoz hasonló csillag lakhatósági zónájában kering, és az átlagsűrűsége alapján is a mi kozmikus otthonunk fizikai jegyeit hordozza magában. Azonban várakozásaink szerint a Földhöz hasonló méretű és szerkezetű kőzetbolygók is meglehetősen gyakoriak a Galaxisban, ezért érdemes tovább folytatni a még alaposabb kutatásokat egy Föld-szerű bolygó felfedezése reményében.

Összegzés

A kisméretű exobolygók detektálásához és méretük meghatározásához elengedhetetlenül szükséges az ultraprecíz fotometria világűrbeli alkalmazása. Ezzel a módszerrel, megfelelően nagy számú csillag fényességváltozásainak megfigyelése révén tömegesen fedezhetők fel a miénkhöz hasonló méretű planéták. Az adott planéta esetében a sugár és a tömeg ismeretében kiszámítható az átlagsűrűség, amiből következtetni lehet az összetételére, s így lehetőség adódik a bolygó típusának meghatározására.

A Kepler mérései tehát az első próbálkozást jelentik annak megállapítása érdekében, hogy vajon mennyire gyakoriak a Föld-méretű bolygók galaxisunkban és a Naphoz hasonló fizikai tulajdonságokkal rendelkező csillagok lakhatósági zónáiban. Első lépésben az ilyen jellegű bolygók megtalálása a cél, hiszen jelenlegi tudásunk alapján ezek alkalmasak leginkább a fejlett élet hordozására. Második lépésben pedig a Föld-szerű planéták felkutatása lesz a jövőben az élvonalbeli exobolygó-kereső programok fő célja.

E tekintetben korunk a tudomány történetének talán legizgalmasabb fejezete. Ha pedig a jövőben felfedeznénk egy fejlett életformákat hordozó bolygót, akkor ez a tény alapvetően megváltoztatná a világról és a benne elfoglalt helyünkről alkotott képünket. Ezen kívül a felfedezés nagy hatással lenne a társadalomra nézve is.

Irodalom

- [1] P. Futó: Detailed internal structure model for super-Earths in case of Earth-like composition. *Lunar and Planetary Science XLI*, 1024, Houston, 2010
- [2] Kereszturi Á., Simon T.: Asztrobiológia. *Meteor Csillagászati Évkönyv 2005*, pp. 190–218, Magyar Csillagászati Egyesület, Budapest, 2004
- [3] Almár I.: *Kozmikus társskereső*. Kossuth Kiadó, Budapest, 2011
- [4] Futó P.: Szuper-Földek. *Természet Világa*, Vol. 141, pp. 520–522, 2010