

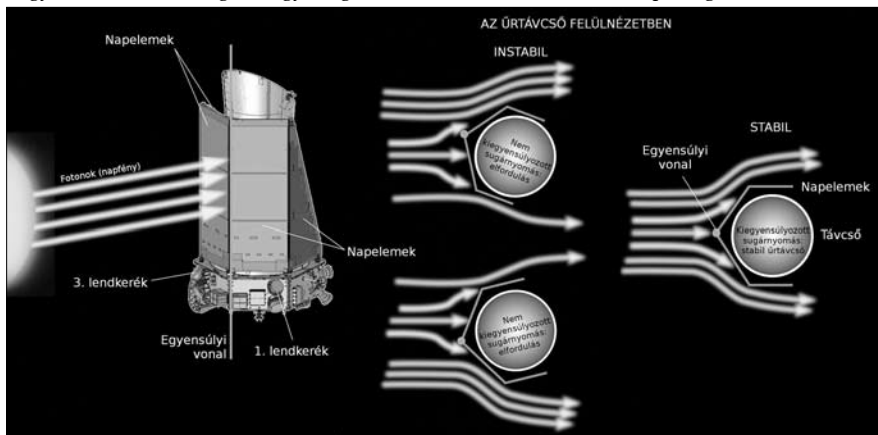
# A Kepler-űrtávcső második élete

Tűlzás nélkül állítható, hogy a Kepler-űrtávcső átfőrtárolta mind az exobolygókról, mind a csillagokról alkotott képünket. Négyéves működése alatt a valaha létezett legpontosabb és legjobb időbeni lefedettséget biztosító adatsorokat gyűjtötte össze, amivel a kutatók dolgozhatnak. De vajon lesz-e folytatás?

A Kepler sikersorozata alig fél évvel azután szakadt meg, hogy 2012 novemberétől meghosszabbították a küldetést. Már akkor is Damoklész kardjaként lebegett felette, hogy bármikor követheti az első lendkerék meghibásodását egy újabb, ami 2013 májusában be is következett. Nagy csapás volt ez, mert az űrtávcső, a lendkerekektől eltekintve, igen jó állapotban van: a 42 CCD-ből csak egy páros romlott el, a maradék 40 továbbra is kiválóan működik. A fedélzeten lévő üzemanyag is még jó néhány évre elegendő. Nem is tett le a NASA, illetve a Keplert gyártó Ball Aerospace arról, hogy felélessze az űrtávcsövet: 2013 nyarát a lendkerekek földi másodpéldánya-inak vizsgálatával, illetve a fedélzeten lévő tesztelésével töltötték. Bár sikerült mindkét megszorult kereket ismét megmozdítani, túl nagy súrlódással forogtak, így augusztusra

biztos volt a diagnózis: az űrtávcső eredeti üzemmódja nem állítható vissza.

Nem ez az első eset persze, hogy lendkerekek, giroszkópok tönkremennek egy űreszközön. Ott van például az IUE (International Ultraviolet Explorer) űrtávcső esete, aminek szép sorban öt lendkereke ment tönkre a hatból, így a térbeli orientációt a végén már az egyetlen lendkerék mellett a napszenzor és a csillagkövető kamerák biztosították. A Kepler esetében azonban nem ilyen egyszerű a helyzet. Az űrtávcső fő erejénél jelentő extrém fotometriai pontosságnak egyedi feltételei vannak. A CCD chipek mindegyik pixele kissé eltérő érzékenységgű. Ha egy csillag képe átcsúszik egyik pixelről a másikra, más fényességet detektál a kamera. Földi távcsöveknél ez persze kiküszöbölhető a rendszeres flat-field korrekciókkal (teljesen homogén felületről készített felvételekkel), de a Keplerral az űrben ez nem kivitelezhető. A másik lehetőség a csillagok képét nagyon szigorúan azonos pixeleken tartani, tized- de akár századpixelnyi pontossággal. Három térbeli irány esetén ehhez három lendkerék kell: kettővel ez a képesség elveszett.

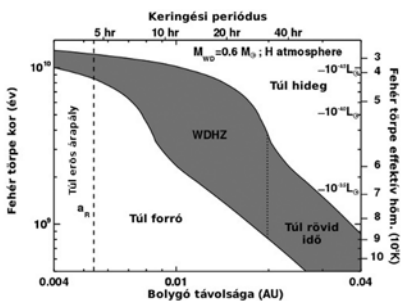


Az egyensúlyozás problémája. Ha a két oldalát nem ugyanakkora sugárnyomás éri, az űrtávcső fogorni kezd a hossz tengelye, vagyis az optikai tengely körül

A fő probléma a Nap: a belőle érkező fotonok sugárnyomása elfordítja a távcsövet, ha a tömegközépponthoz képest valamelyik irányban nagyobb forgatónyomatékot tud kelteni, mint a többiben. A működő lendkerekek két irányban szabályozzák a Kepler helyzetét, de a harmadikban vagy kiegyensúlyozzák valahogy, mint a ceruzát az ujjhegyen, vagy billenés, forgás fog fellépni.

## Kepler-mentő brainstorming

A Kepler működtetéséért felelős NASA Ames Kutatóközpont tavaly augusztusban felhívást tett közzé: ötleteket várt arra, hogy a tudományos közösség szerint hogyan lehet irányítani a távcsövet, és kinek milyen elképzelései vannak, mit lehetne kezdeni egy kissé billegős űrtávcsóval. Az egy hónapos határidőre 42 mű érkezett, igen változatos témákban és minőségben. Kettőt magyar kutatók állítottak össze: a Szabó Róbert vezetésével készült javaslat a déli ekliptikai pólus, a Nagy Magellán-felhő melletti égtérületet javasolta, míg az általam és társszerzőink által jegyzett mű az eredeti területen található, nagyobb amplitúdójú változók (fedési kettősök, RR Lyrae és  $\delta$  Scuti csillagok stb.) továbbészlelése jelentette előnyöket foglalta össze.



A fehér törpék körül is van lakhatósági zóna! Ha nincs túl közel a bolygó, akár évmilliárdokon át elsűtkérezhet a lassan hűlő csillagmaradvány fényében

Számos tanulmány foglalkozott exobolygókkal is, méghozzá kis csillagok, vörös, barna és fehér törpék körüli bolygók keresésével, hogy minél jobb legyen a jel-zaj viszony. Egy fehér törpe lakhatósági zónájában keringő szuper-

föld például kevesebb mint egy nap alatt kerülné meg a csillagát. A fedése csak 1–2 percig tartana, de akár egészen ki tudná takarni a csillagot, teljes fedést létrehozva. De több javaslat született naprendszerbeli észlelésekre is, a Neptunusz oszcillációtól a 67P/Churyumov–Gerasimenko-üstökös megfigyelésén át földközeli kisbolygók kereséséig. A kedvencem egy nagy infravörös lézert is bevetne, amivel a Kepler látómezejébe világítanának, felfedve a közelünkben keringő, legkisebb kisbolygókat is.

## Megmászni a K2-t

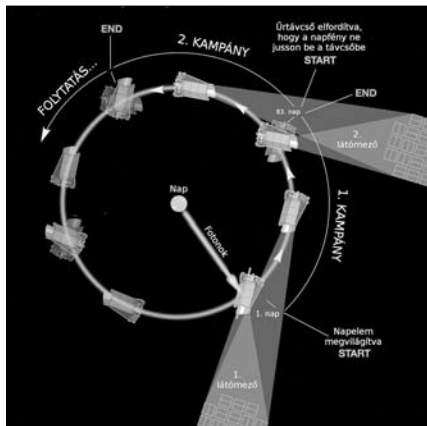
A novemberi, második Kepler tudományos konferenciára aztán már kikristályosodott, hogy mi lehet a járható út. Ott mutatták be az egyelőre egyszerűen K2-nek hívott küldetés terveit: a kettes szám egyszerre utal a Kepler második életére és a két működő lendkerékre is. Meg kicsit a Mount Everestnél is nagyobb kihívást jelentő K2 hegycsúcsra is.

A legkomolyabb féjtörést az okozta, hogy hogyan lehet a Nap sugárnyomásával szemben kiegyensúlyozni az űrtávcsövet. Ehhez az kell, hogy a napelemekkel pontosan olyan irányban álljon, hogy a középvonalaóhoz képest mindkét oldalán azonos forgatónyomaték ébredjen, és ne forduljon el, mert akkor a látómező is elfordulna a CCD-ken. Az eredeti látómező – és bármely, az ekliptikától távol eső látómező, így az általunk javasoltak is – esetében ez nem kivitelezhető. A távcső ekkor a pályasíkjára közel merőlegesen áll: ahhoz, hogy az egyensúlyi helyzetet a Naphoz képest tartani tudja, minden nap kb. egy fokkal el kellene fordulnia. Ennek megfelelően a csillagok is körbejárnának a látómezőben.

Ehelyett az űrtávcsövet elfektetik: a napelemek középvonala fog a pályasíkba esni. A Kepler pályasíkja nem sokkal tér el az ekliptika síkjától, így lényegében az ekliptika, a Föld pályasíkjának vetülete mentén fog körbenézni az égen. Ennek a pozíciónak is vannak hátrányai, ugyanis a Napot is az ekliptika mentén látjuk körbejárni.

A fentiek miatt az eredeti üzem mód, vagyis hogy éveken át egyetlen terület csillagait

figyelje, már nem kivitelezhető. A számítások szerint maximum 83 napig észlelhet egy adott területet az égen, majd újabbat kell keresni számára. Hosszabb idő alatt ugyanis egyrészt túl kis szögben esik már a fény a napelemekre, másrészt a távcsőbe is beszűrődhet a Nap fénye. A két évre tervezett programba, 40–80 nap hosszúságú kampányokkal számolva, 8–12 terület férhet bele.



A K2 kampányok menete. A Kepler „tolat” a Nap körül, 83 napig észleli az első látómezőt, majd közel derékszöggel elfordulva rááll a következőre, mielőtt napfény jutna a tubusba

A Kepler térbeli helyzetének egy további érdekes hozadéka is van. Az űrtávcső jelenleg úgy fél csillagászati egységgel lemaradva követi a Földet a Nap körül. A kampányok alatt a Földnek háttal fog elhelyezkedni, hogy a bolygónk ne mutakozzon a látómezőben. A geometriából adódik, hogy ugyanazt az éterületet mi a Földről nem fogjuk tudni szimultán mérni, mert épp eltűnik az esti szürkületben. Meg kell várunk, amíg újra felbukkan majd keleten, hét hónappal később. Ez ugyanakkor lehetőséget ad arra, hogy a kampány lefutása, az adatletöltés, a nyers adatok feldolgozása, majd azok átvizsgálása után a Földről pont jó helyzetben legyen a látómező ahhoz, hogy földfelszíni távcsövekkel további méréseket végezhessünk. Így például új bolygójelöltekről azonnal el lehet kezdeni radiálissebesség-méréseket gyűjteni.

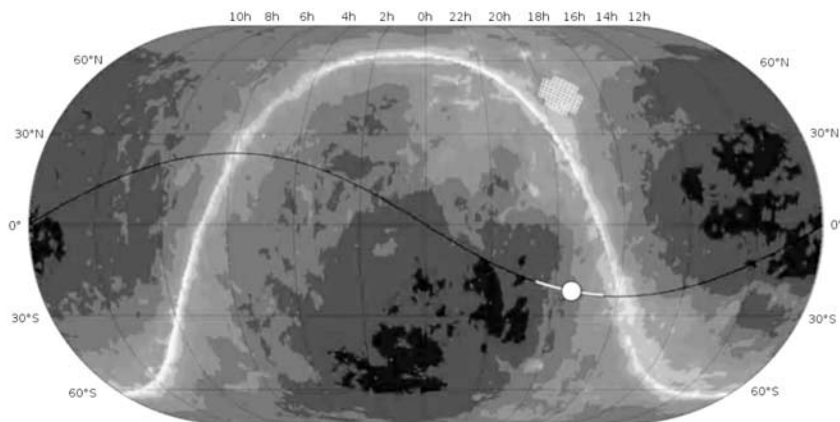
Az éveken átnyúló megfigyelések mellett az eredeti pontosságot sem fogja már elérni a Kepler. Az első becslések szerint az egyedi fényességmérések a 300 ppm (300 a millióhoz) körüli értéket fogják majd teljesíteni, ami egy nagyságrendnyi romlást jelent – de a Kepler még így is a legpontosabb fotométerek közé fog tartozni. Minden attól függ majd, hogy mennyire pontosan lehet beállítani az űrtávcsövet az instabil egyensúlyi helyzetbe.

## Hány bolygó marad?

Felmerülhet persze a kérdés, hogy mi értelme 40–80 napos megfigyelésekkel, csökkent pontossággal bolygókat keresni. A válasz az, hogy többé nem a tökéletes Föld-analógok – nagy, G színképtípusú csillagok körüli, távoli, kicsi bolygók – megtalálása a cél. Helyette a kisebb csillagok, vörös törpék körül kőzetbolygók után fog kutatni a Kepler. A vörös törpéknek számos előnye is van: mivel az egyre kisebb csillagokból egyre több található a Tejútban, rengeteg vörös törpe van körülöttünk, amiből lehet válogatni. Minél kisebb a csillag, annál jelentősebb fedést képes létrehozni egy előtte elvonuló apró bolygó. Végül egy vörös törpéhez sokkal közelebb húzódik a lakhatósági zóna, így az abba beleeső kőzetbolygókat is megtalálhatja a Kepler.

Az új területek nagy előnye, hogy sokkal szabadabban lehet válogatni a célpontok között. Jól megválasztott látómezővel olyan csillagpopulációk is vizsgálhatóak lesznek, amelyek csak mutatóban voltak, vagy teljesen hiányoztak az eredeti területről. Az egyik ilyen cél a fiatal (akár a fősorozatot még el sem ért) csillagok körüli bolygók keresése, mert azokról még igen keveset tudunk.

Ahhoz, hogy a 40–80 napot még inkább kontextusba helyezzük, nem árt összehasonlítani a hasonló űrtávcsövek teljesítményével. A már nem működő CoRoT rövid, 20–25 napos és hosszú, 140–150 napos megfigyeléseket végzett. A kanadai MOST nagyjából egy hónapig észlel egy adott célpontot. A 2017-re tervezett TESS látómezője sokkal nagyobb lesz, de csak



Az ekliptika (fekete vonal) és a Tejút (világos sáv) viszonya: az ekliptika mentén a galaxis sűrűjébe, és teljesen kifelé is lehet majd észlelni. Az eredeti látómezőt a kis fehér téglalapok jelölik

27 napig fog mérni egy szeletet az égbolttól. A K2 megfigyelései tulajdonképp a hosszabb kampányok közé tartoznak majd.

Azt is érdemes észben tartani, hogy az ekliptikamenti, fényesebb csillagokat a TESS is fogja észlelni, három-négy évvel később. A K2-vel való összehasonlítás nagyon hasznos lesz akár távolabbi bolygók hatásainak kimutatására is.

## Csillagok, halmazok, szupernóvák

Az exobolygók keresése mellett természetesen a csillagok asztrofizikája is jelentős hangsúlyt kap majd a K2 programjában. Azoknak a csillagoknak a vizsgálata, amelyek körül bolygó kering, már eddig is fontos volt, mert az asztroszeizmológiai vizsgálatok (a csillagok oszcillációinak megfigyelése és modellezése) sokkal pontosabb adatokat szolgáltatottak, mint a színképek. De a szabaddab célpontválasztás ebben az esetben is jelentősen kibővítheti a tudományos célokat.

Így például csillagkeletkezési régiók felé is fordulhat az űrtávcső. A kialakulóban lévő, illetve még fiatal csillagok fényességváltozások egész tárházát képesek produkálni: bolygófedések mellett a csillagszeizmológia, a csillagok forgása, a protoplanetáris korongok és az akkréció okozta változások is várhatóak. A csillagfejlődés későbbi állomásain

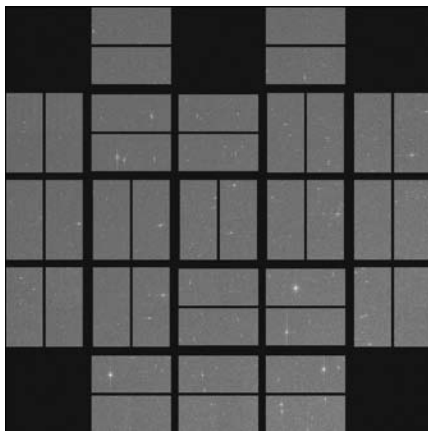
is végigmehet majd a Kepler, hiszen számos eltérő korú nyílthalmaz található az ekliptika mentén, olyan jól ismertek is, mint a Fiastyúk (M45) vagy a Jászol (M44).

Az eredeti területről más égitestek is hiányoztak, vagy csak alig egy-kettő akadt belőlük: forró OB csillagok, röntgenkettősök, cefeida változók, kisbolygók, üstökösök, hozzánk közeli, fényes csillagok is megfigyelhetővé válnak a Kepler számára. Az eddigi, bő 40 RR Lyrae csillag helyett is akár több százat megfigyelhet majd.

Mivel az ekliptika és a Tejútrendszer síkja meglehetősen nagy szögben hajlik egymáshoz, a galaxisunk középpontja felé is és teljesen kifelé is nézhet az űrtávcső. Előbbi esetben akár mikrolencsézést is megfigyelhetne: kellően távol van a Földtől ahhoz, hogy azonos forrásból is egészen más mértékű lencsézést lásson, a földi és a Kepler által végzett mérések különbségeiből pedig sokkal pontosabban lehet meghatározni a lencséző csillag-bolygó páros tulajdonságait. A mikrolencsézés viszont még elég nagy kérdőjellel szerepel a célok között, mert a riasztásokat legalább hetente kellene eljuttatni az űrtávcsőnek.

A Tejútból való kitekintés is igen kecsegtető lehetőség. Aktív galaxismagok, kvazárok, blazárok megfigyelése önmagában is érde-

kes, de ennél is fontosabb, hogy bármelyik galaxisban felrobbanhat egy-egy új szuper-nóva. Az elsődleges program négy éve alatt négy szupernóvát sikerült végigkövetni a Keplerrel. A folyamatos megfigyelések értéke felbecsülhetetlen: a felfénylés kezdete rengeteget elárulhat a keletkezési mechanizmusról, arról, hogyan jut ki a mélyből a robbanás lökéshulláma a felszínre. Ezt azonban a Kepler előtt szinte lehetetlen volt elcsípni.



A K2 első fénye: a Nyilasról készült, első teljes felvételt két lendkerekes üzemmódban. Az egyetlen, fél órás integrációs idejű kép minősége kevesebb mint 5%-kal marad el a korábbi teljesítménytől

## Változások és állandóságok az üzemeltetésben

A K2 az eredeti üzemmóddhoz meglehetősen hasonlóan fog működni. A kampányok alatt, egy látómezőben 10–20 000 célpontot fognak megfigyelni: ez egy nagyságrenddel kevesebb, mint az eredeti létszám volt, de praktikus okok állnak a döntés mögött. Például nem havonta, csak a kampányok végén tervezik letölteni az adatokat, illetve az egyes csillagokról is valamivel több pixelt fognak rögzíteni, a pontatlanabb iránytartás miatt. Az integrációs idők nem változnak: a kiemelt célpontok fényességét továbbra is egyperces, az összes többiét pedig félórás időközökkel fogják mérni. A kampány végén letöltött adatok, a korrekciókat követően, mindenki számára szabadon elérhetőek. Továbbra is

lesz lehetőség vendégkutatói (guest observer) pályázatok benyújtására bárkinek, aki érdekes célpontokat talál az ekliptika mentén.

Az új üzemmódot már javában tesztelik is: összeül az ekliptika felé fordították a Keplert és vizsgálták, hogy mennyire áll stabilan, illetve hogy gond nélkül vissza tud-e fordulni a Föld felé, és le tudja sugározni az adatokat. Januárban pedig, főpróbaként, egy teljes hónapon át végzett megfigyeléseket a Halak csillagképben. Az adatok minősége minden bizonnyal perdöntő lesz a K2 misszió jövője szempontjából.

De vajon megvalósul-e bármi is a fentiekből? Ezt csak nyár elején fogjuk megtudni. A K2 küldetés tervét a NASA Asztronómiai Divíziója befogadta a 2014-es felülvizsgálaton (Senior Review) részt vevő programok közé. A két évente elvégzett felülvizsgálatok alapján dől el, melyik programokat támogatja tovább a NASA. A 2014-es jelöltek: Fermi, Kepler (K2), NuSTAR, Spitzer, Swift, az újravezetett WISE, valamint a NASA részvétele az európai XMM-Newton és Planck, illetve a japán Suzaku űrtávcsövek programjában. (A két nagy, a Hubble és a Chandra tőlük független értékelésen esik majd át.) A probléma, hogy az amerikai költségvetés állapotát figyelembe véve könnyen előfordulhat, hogy januárban újabb automatikus költségvetési zárolás történik, de akár a 2013-as, szövetségi szintű leállás is megismétlődhet. Az is megtörténhet, hogy egyszerűen nem jut mindegyik asztronómiai programnak támogatás, és valamelyiket le kell állítani. Csak bízni tudunk abban, hogy a Kepler még egyszer képes lesz meggyőzni a képességeiről a döntéshozókat.

Molnár László

*A kutatás a TÁMOP-4.2.4.A/2-11/1-2012-0001 Nemzeti Kiválóság Program című kiemelt projekt keretében zajlott. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg. A kutatás infrastruktúrája a KTIA URKUT\_10-1-2011-0019 pályázat által biztosított forrásból valósult meg.*