

CHEOPS – exobolygók új nézetben II.

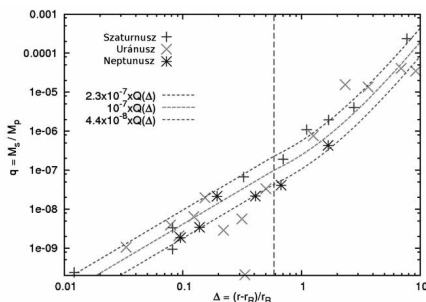
A Meteor 2016/11. számában beszámoltunk a CHEOPS programjáról és elsődleges tudományos feladatairól, amely programban a magyar csillagászoknak is fontos szerep jut. A magyar kutatók részvételét a Science Board testület magyar tagjai (Kiss L. László, Bárczy Tamás) és a Core Science Team tagja (Szabó M. Gyula) alapozzák meg. Lehetőség van további posztdoktorok és hallgatók bekapcsolódására is.

A Science Team a program fő tudományos műhelye, ahol a kutatók tagok egy-egy speciális részterületet képviselnek a testületen belül. Ez a magyar kutatások oldaláról a bolygók kísérőinek, a bolygóholdaknak, és esetlegesen a gyűrűknek a tanulmányozását jelenti. A kutatott területek hasonlósága miatt közvetlen munkakapcsolat alakult ki a párizsi Geofizikai Intézet kutatójával, Sébastien Charnozzal, a TÉT-14FR-1-2015-0012 magyar-francia pályázati együttműködésbe bekapcsolódott Dobos Vera, az MTA CSFK CSI kutatója is. A munka korábbi szakaszában részt vett Simon Attila, aki jelenleg a Berni Egyetemen a CHEOPS misszió szoftveres támogatásával foglalkozik. Most erről a munkáról számolunk be.

Mit üzennek a bolygóholdak?

A bolygóholdak két jellemző folyamat során jöhetnek létre. A kisebb tömegű holdak befogott égitestek, amelyek a naprendszeri példákhoz hasonlóan jöttek létre. Egy kis égitest ilyenkor megközelíti a bolygót, majd valamilyen kölcsönhatásban, ütközésben vagy perturbáció miatt energiát veszítve a bolygó körüli pályán marad. E folyamatra a Naprendszerben a legjobb példa éppen a Föld Holdja, ahol a szükséges energiavesztés ütközés során jött létre, így a befogásos holdkeletkezésnek itt egy extrém, már a nagy holdak keletkezésének elemeit (bolygópálya körüli összeállást) is felvonultató esetéről

beszélhetünk. Ha a többi naprendszerben is jellemző, hogy befogással csak kis tömegű, kis méretű holdak keletkezhetnek, ezeknek a jelentősége az exoholdak kutatásának szempontjából elhanyagolható, hiszen ezeknek a kis holdaknak a megfigyelésére egyelőre nem számíthatunk.

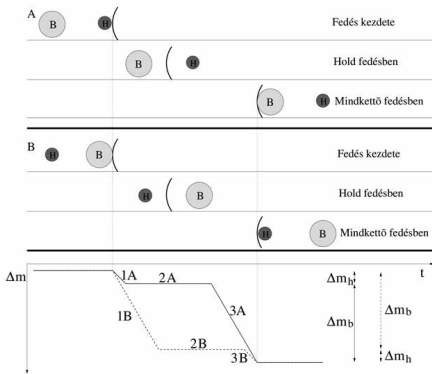


A holdrendszer bolygótömeghez skálázott relatív tömegei (függőleges tengely) és bolygósugarhoz skálázott relatív távolsága (vízszintes tengely) megmutatja a bolygó belső szerkezetét jellemző Love-számot. A szaggatott vonalról a bolygó felé a gyűrű hatású is jelentős, a távoli holdak tisztán a bolygó hatását mérik. (Crida és Charnoz 2012, Science, 338 alapján)

A másik jellemző keletkezési mechanizmus részleteiben a Naprendszer kutatásában vált ismertté. Ebben a folyamatban a bolygók körüli gyűrűkben állnak össze bolygóholdak, hasonló módon, mint ahogy a csillagok körüli protoplanetáris korongokban a bolygók alakulnak ki. A jelentős különbség a két folyamatban egyrészt az, hogy a holdak kialakulása hosszabb időn át, lényegében folyamatosan történik. Másrészt a holdak migrációja kifelé irányul, aminek az oka a bolygó forgása és az árapály. A nagyobb tömegű holdak kifelé vándorlása csökkenti a bolygó forgási sebességét is, és végül három lehetséges végállapot egyike áll be.

Stabilizálódik a hold akkor, ha a hold kerिंगési periódusa és a bolygó forgása azonosává válik még az előtt, hogy a hold elhagyná a

Hill-sugarat – ez írja le, hogy mikor van még elég közel a bolygóhoz a hold ahhoz, hogy a Nap ne szakíthassa ki a holdat a bolygó gravitációs teréből. Elszökik a hold akkor, ha ez a szinkronizáció nem következik be, mielőtt a hold a Hill-sugárra vándorol. Néhány egzotikusabb esetben pedig a hold visszaeshet a bolygóra. A számításokat a Roche-sugárról kell indítani, ennél közelebb a bolygóhoz ugyanis nem állhatnak össze holddái a törmelékek.



Az észlelt fényesség időbeli változása másodlagos tranzitban. Okklúció előtt és után az égitestekről visszavert csillagfény hozzáadódik a csillag észlelt fényességéhez. Naphoz hasonló csillagok esetén a bolygó és a hold okklúciós görbéje általában egymásra rakódik, míg vörös törpecsillagoknál, azok jóval kisebb mérete miatt, általában elkülönül (Dobos V/Kiss L./csillagaszat.hu.)

Ezeknek a folyamatoknak az érdekessége, hogy a holdrendszerben a holdak távolsága – a tömegük és néhány egyéb paraméter ismeretében – megmutatja azt, hogy mekkora a bolygó árapályát jellemző Love-szám, vagyis végeredményben a bolygó belső szerkezetére ad egy igen fontos paramétert. Egy nagy sűrűségű, kis maggal rendelkező égitest tranzit módszerrel mérhető átlagsűrűsége megegyezhet egy nagyobb, de kisebb sűrűségű mag köré szerveződött, vagy több vízzel borított bolygóval. Ezeknek a konfigurációknak a Love-száma azonban egy nagyságrenddel különbözik egymástól. Sűrűségméréssel tehát önmagában nem tud-

juk ezeket a belső különbségeket feltárni, de a bolygó körül lévő holdrendszer megmutatja a bolygó részletes belső szerkezetét! A naprendszeri eredmények alapján – többek között Sébastien Charnoz kutatásai nyomán – sikerült kimutatni a Jupiter, a Szaturnusz, az Uránusz és Neptunusz Love-számának eltéréseit – amit korábban más mérésekből persze pontosabban is ismertünk – de egy exobolygó-rendszerrel itt a legjobb esélyünk a holdrendszer megfigyelése lehet.

Hol számíthatunk holdakra?

A hold stabilitását erőteljesen korlátozza az árapály, és a stabilitása az árapályfejlődéssel szemben. Számunkra az az egyetlen eset releváns, ahol a hold stabilan szinkronizálódik a bolygó forgásával még a Hill-sugáron belül. Ehhez viszont szükséges, hogy a Hill-sugár elég messze legyen a bolygótól, hogy legyen tér kifelé migrálni, mindaddig, amíg a szinkronizáció bekövetkezik. Kimutattuk, hogy a jelenlegi tranzitos rendszereknél nem nagyon számíthatunk holdra. Ennek oka az, hogy ezen bolygók periódusa rövid, jellemzően pár nap. A bolygó forgása gyors (észerű föltételezni, hogy a keringési periódussal megegyezik, mert szinkronizálódott), a Hill-sugár a bolygóhoz közel van a csillag közelsége miatt. Ezekben a számításokban a hold gyorsan, pár millió, vagy akár néhány ezer (!) éven belül elhagyja a Hill-sugarat.

Az ismert bolygók közül ott van esély holdat detektálni, ahol legalább numerikusan, bizonyos általános kezdőfeltételekkel létrehozható olyan hold, ami legalább néhány száz millió évig a rendszerben marad. Mivel itt a bolygó tömege, periódusa, a csillag tömege stb. is számít, egyedi szimulációkra van szükség, a stabilitás nem egyértékű függvénye a bolygó pályaperiódusának. Az összes ismert tranzitos bolygórendszert végigszámolva azt találtuk, hogy az elegendően fényes, ismert periódusú rendszerekben a szökési idők mind nagyon rövidek. Lényegében 30–50 nap pályaperiódus alatt nincs stabil holdrendszer a jelenleg ismert exobolygók körül. Más esetekben a bolygó

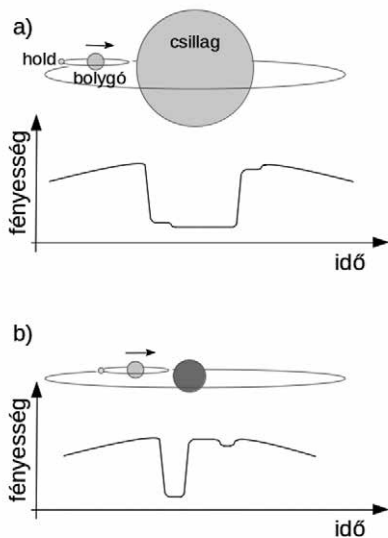
van túl közel a csillaghoz, vagy a pálya excentricitása olyan értékű, hogy emiatt nem számíthatunk stabilitásra.

A halvány rendszerekben (tipikusan Kepler-bolygójelöltek között) találunk elegendően hosszú periódusú bolygókat, itt azonban a hold detektálása a rossz jel/zaj viszony miatt nem remélhető. Sikerült kimutatnunk, hogy a Kepler-úrtávcső miért nem talált exoholdakat: a bolygókatalógusa nem volt elég bő a sikeres detektáláshoz, nem volt benne olyan bolygó, amely elég fényes csillag körül elég hosszú periódussal keringene. A holdak elsősorban a csillagtól távolabb keringő, Neptunusz méretű bolygók körül maradhatnak meg hosszabb ideig stabil pályákon, az ismert ilyen rendszerek központi csillaga viszont nem elég fényes. Így meg is válaszoltuk az előttünk tornyosuló központi kérdést („miért reméljük, hogy a Keplernél kisebb távcsövekkel exoholdakat lehet találni, amikor a Kepler sok száz bolygós mintájában sem találunk egyetlen egyet sem?”), és továbbra is optimistán tekinthetünk a jövőbeli exobolygós programok felé. Jó hír, hogy a Kepler is elég érzékeny volt, és a CHEOPS is elég érzékeny lesz egy bolygó körüli nagyobb hold megfigyeléséhez, és okkal remélhetjük, hogy a start idejére az ismert bolygók listája is tartalmazni fog dinamikailag is ígéretes rendszereket.

Az is kedvező, ha a bolygó körül gyűrűt találunk, mert a gyűrűkből nagy holdak keletkezése is várható. Egy bolygó körüli gyűrűt a tranzitban okozott fénycsökkenés alapján – sűrűségétől függően – akár könnyebb is megtalálni, mint egy holdat, mert a gyűrű képe nem mozog tranzitról tranzitra. A holdak kereséséhez tehát egy alkalmas előszűrő lehet a gyűrűk kutatása; persze egy fejlett gyűrű nem elegendhetetlen feltétele a holdak jelenlétének, gondoljunk csak a Jupiter példájára.

A holdak nemcsak azért érdekesek, mert máig folyik a verseny az első exohold megtalálásáért – későbbre hagyva a lehetséges interpretációk kiaknázását. Az exobolygórendszerek dinamikai érdekessége, hogy sok esetben dinamikailag kompakt (sűrű)

bolygópályákat látunk, ami hasonló a Naprendszer legtöbb holdrendszeréhez. E kompakt bolygórendszerek kialakulása máig vitatott. Azonban a kompakt holdrendszerek és a kompakt exobolygórendszerek összehasonlító vizsgálata közelebb vihet a kérdés megválaszolásához, mert segítségével feltárhajjuk a bolygó- és holdrendszerek keletkezésének hasonlóságait. Az exohold-rendszerek is valószínűleg sok esetben kompaktnak lehetnek, a több hold detektálása pedig más technikákat igényel, mint egy magányos hold kimutatása a megfigyelésekben. A több hold detektálására is alkalmas módszerek kutatása jelenleg is folyamatban van.



Különböző konfigurációjú holdak hatásának vázlatos illusztrációja tranzitban. Vezető hold esetén a hold fényességátlaléka a bolygó előtt jelentkezik, követő konfigurációnál utána. Az eredő tranzit mélység a két jel összege

A holdak asztrobiológiai jelentősége

Élhető környezet felfedezésének lehetősége a távoli kozmoszban az emberiség egyik legősibb kérdése, amely mára tudományosan vizsgálhatóvá vált. Az aktuális paradigma szerint az élhető bolygókra kell koncentrálni, a beeső és kisugárzott elektromágneses

sugárzások és az üvegházhatás figyelembe vételével. Dobos Vera és munkatársai kutatásainak köszönhetően azonban valószínűvé vált, hogy az árapályfűtés lehetővé teszi, hogy a csillagtól távol keringő holdakon is kialakuljanak az életet támogató körülmények, akár a központi csillagtól nagyon messze. A dinamikai és termofizikai fejlődés együttes vizsgálata nyújt majd betekintést a folyamat részleteibe, és szerepébe a világ-egyetem élhető helyeinek kialakításában.

Ha sikerülne egy exohold nyomára bukkanni, annak is lenne értelme, hogy a hold másodlagos tranzitját is megpróbáljuk megfigyelni. Erre akkor van esély, ha a hold nagy albedójú, jeges felületű égitest, mérete pedig meglehetősen nagy. A kívánt pontosság a jelenlegi űrtávcsövek (a CHEOPS, vagy akár a Kepler) pontosságán egy nagyságrenddel túl van, azonban ígéretes rendszer esetén, célzott megfigyelési programmal a nem

nyugon távoli jövőben esetleg elérhető lesz. Egy ilyen detektálásnak az lenne a jelentősége, hogy ki lehetne mutatni a holdak jeges felszínét, ami az Európához, Enceladushoz hasonló, életheletőségek szempontjából is kedvező égitestre utalhat.

Az ilyen típusú vizsgálatok természetesen jóval messzebb esnek a gyakorlati megfigyelő munkától, mint az első exohold detektálása. Még az utóbbi téren is éppen csak a megfelelő minta összeállításának szakaszában járunk. Azonban mára már világossá vált, hogy e téren a kutatások megfelelő szintű elméleti megalapozása szinte előbbre való a megfigyelések elindításánál, mert ez a föltétele annak, hogy úgy keressünk holdat, ahogy van is esélyünk megtalálni; és ott keressünk holdat, ahol arra tényleg számítani lehet.

Szabó M. Gyula

Meteor csillagászati évkönyv 2017

December folyamán jelenik meg évkönyvünk sok-sok előrejelzéssel, érdekes ismeretterjesztő cikkel.

Az évkönyv első felében (Kalendárium) az észlelőmunkához szükséges előrejelzések, észlelési ajánlatok olvashatók. Jövőre emlékezünk Charles Messier halálának 200. évfordulójáról, ezért számos Messier-ajánlattal is megörvendeztetjük olvasóinkat.

Cikkek, beszámolók a 2017-es kötetben:

Első eredmények a Plútó rendszeréről (Kereszturi Ákos)

Planetáris ködök (Szabados László)

Földönkívüli üzenetektől a gravitációs hullámokig – ötven éve fedezték fel az első pulzárokat (Barna Barnabás, Nagy Andrea, Ordasi Tamás, Szalai Tamás, Vinkó József)

Paál György és a kozmológia forradalma (Balázs Lajos)



A Magyar Csillagászati Egyesület 2015. évi tevékenysége (Mizser Attila)

Az MTA CSFK Csillagászati Intézetének tevékenysége 2015-ben (Szabó Róbert, Kiss L. László)

Az ELTE Csillagászati Tansekének működése 2015-ben (Petrovay Kristóf)

Az SZTE szegedi és bajai csillagászati tevékenysége 2015-ben (Szatmáry K., Hegedüs T.)

Beszámoló az ELTE Gothard Asztrofizikai Observatórium Multidiszciplináris Kutatóközpont 2015. évi tevékenységéről (Szabó M. Gyula)

Évkönyvünket mindazon tagtársainknak megküldjük, akik 2017-re is rendezik tagdíjukat. A kötet kapható lesz a Budapesti Távcső Centrumban és a Makszutow távcsőbolygótanban, továbbá az óbudai Polaris Csillagvizsgálóban is. Évkönyvünk csak korlátozottan kerül be a könyvtérjesztői hálózatba.

MCSE