

CHEOPS – exobolygók új nézetben I.

A következő években remélhetőleg gyakran hallunk majd a Characterizing ExOPlanet Satellite (CHEOPS) űrtávcső (pontosabban űrobszervatórium) eredményeiről. A tervet 2012 októberében fogadta el az ESA az S1 programban. Az ESA az S (Small) programokat – amelynek a CHEOPS az első tagja – kifejezetten a kis költségvetésű tagországok számára írta ki. A cél, hogy ezek az országok konzorciális formában, létező technika innovatív alkalmazásának eredményeképp, gyors fejlesztési fázis után olyan űrprogramokban vehessenek részt, ahol a nagy országok nem „lopják el a műsört”. Ezeket a programokat a kis országok ily módon sajátjuknak érezhetik. A Small programok sorsát is meghatározza majd, hogy a széria első tagja mennyire lesz sikeres. Szerencsére a CHEOPS konzorciumnak Magyarország is tagja, így ezt a vállalkozást egészen közelről, bennfentes résztvevőként szemlélhetjük majd.

Előzmények

Az elmúlt húsz évben az exobolygók felfedezésének két módszere bizonyult kiemelkedően sikeresnek. A történet a Meteor olvasói számára nagy vonalakban ismerős lehet, azonban nem árt pár gondolattal, a CHEOPS küldetésének szempontjai alapján összefoglalni az előzményeket.

A földi programok (WASP, HAT stb.) és az űrfotometriai programok (CoRoT, Kepler, K2 és a CHEOPS-szal nagyjából párhuzamosan működő jövőbeli TESS) eredményeképpen több ezer bolygót és bolygójelöltet sikerült megfigyelni, és több száz esetben a fizikai paramétereiket (pontos periódus, tömeg, sugár) is meghatározni. Ezeket nevezzük tranzitos bolygóknak.

Másrészt a radiálissebesség-módszerek értek el jelentős sikereket, annak köszönhetően, hogy az 1 m/s sebességmérési pon-

tosságot is sikerült megközelíteni (ELODIE, HARPS, HARPS-N). A két exobolygós minta meglehetősen elkülönül egymástól a fizikai paraméterek terében: a radiálissebesség-bolygók tipikusan hosszabb, több hónap, pár év periódusú pályán keringenek, és az átlagos tömegük is nagyobb a tipikusan pár napos pályán keringő tranzitos exobolygókénál.

Természetesen a legfényesebb csillagok körül keringő tranzitos bolygókat sikerült spektroszkópiai módszerrel utánkövetni, ám számos olyan eset van, amikor a bolygó, vagy bolygójelölt halvány csillag körül kering, és még nem került sor a spektroszkópiai utánkövetésre. Pontosan fogalmazva, ezeket az égitesteket bolygójelölteknek hívjuk, ha nincs dinamikai megerősítése annak, hogy bolygó tömegű égitest kering a rendszerben. Ugyanakkor az újabb sztenderdek szerint ehhez nincs feltétlenül szükség spektroszkópiai mérésre, ha a rendszerben több bolygó kering, ezek kölcsönös perturbációja megfigyelhető, és így is földedhető az egyedi tömegek. Így lehetséges, hogy a tranzitos bolygók jelentős részének ma már nincs spektroszkópiai utánkövetése, másrészt a radiálissebesség-bolygókat nagyon ritkán lehetett később tranzitban is megfigyelni.

Az átfedő megfigyelések fontosak a tömeg és sugár egyidejű meghatározása szempontjából. Azonban ezek megléte sem jelent automatikusan megfelelő pontosságot a fizikai paraméterek és a belső szerkezet meghatározásában. Mivel a sűrűség, mint kulcsfontosságú paraméter, a sugár köbének függvénye, 10% bizonytalanság a sugárban 30% bizonytalanságot eredményez a sűrűség értékében. A helyzet különösen a 30 földtömegnél kisebb szuperföldek esetén a legrosszabb, ahol csak kevés égitestről vannak adatok, és a pontosság alapján itt is legtöbbször találgatásról beszélhetünk.

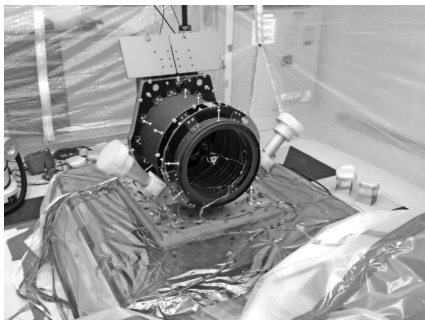
Pedig az élhető bolygók és élethyponok utáni keresés homlokterében ezek az égitestek szerepelnének elsősorban.

Ezt a hiányt képes betölteni a CHEOPS. Rugalmas mérési programmal, célzott megfigyelésekkel tudja legalább bő három éven keresztül megfigyelni a fényes csillagok körüli tranzitos bolygókat, és a sugár pontos meghatározását elvégezni több száz exobolygó esetében. Mivel ezen égitestek esetében már általában elég pontos spektroszkópiai adataink vannak, a belső szerkezet meghatározása ezzel a méréssel válik majd lehetővé.

A CHEOPS nem csak egy űrtávcső lesz. Legalább annyira fontos a részt vevő kutatók tudásának összegzése, ami a műszer közös működtetésén keresztül, napi szintű kapcsolattartás formájában valósul meg. Így válik lehetővé, hogy az észlelések hibaelemzésétől az exobolygók légkörfizikai finomságaiig terjedő tudásanyag konkrét kérdések és konkrét adatok körül koncentrálódjon, és így jussunk új szemléletű válaszokhoz az exobolygók szerkezetére, keletkezésére és fejlődésére területén.

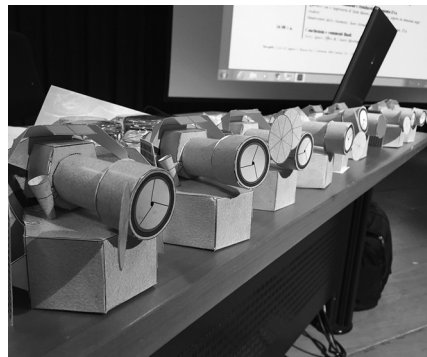
A műszer

A CHEOPS egy 32 cm átmérőjű, RC optikai elrendezésű távcső, monokromatikus detektorral (hátsó megvilágítású CCD) és támogató elemekkel. A kb. 800 km magaságú Nap-szinkron pályán a kommunikáció nem okoz különösebb gondot, ugyanakkor



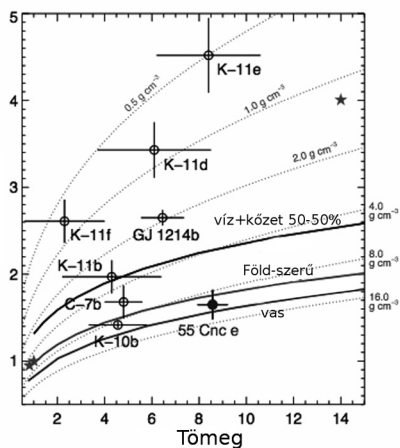
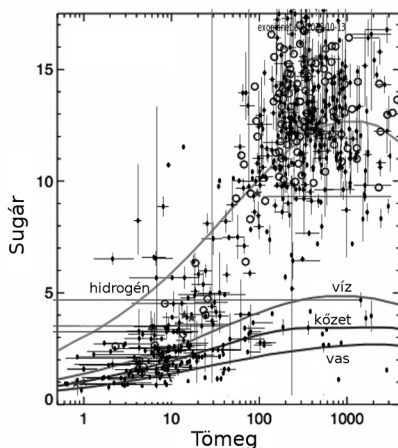
A CHEOPS űrtávcső optikai egysége összeszerelés közben

figyelni kell a Föld közelségéből adódó hatásokra (a megfigyelt terület a Naptól legalább 120 fokra, a Föld szórt fénye miatt a Földtől legalább 35 fokra, a Holdtól 5 fokra lehet). Figyelembe kell venni, és esetleges megszakításokat okozhat a Föld időszaki takarása). A kitakarások miatt egy adott időpontban az égbolt 25%-a figyelhető meg legalább 13 napon át folyamatosan. Ma már ismerünk annyi exobolygót, hogy a műszer állandóan ellátható lesz értelmes programokkal. Az adott szituációhoz illeszkedve (adott időben ismert exobolygók, prioritások stb.) az objektumlistát szoftveresen lehet összeállítani.



A CHEOPS űrtávcsőről készült papírmakettek „startra készen” egy konferencián

A mérési pontosság elégséges lesz szuperföldek megfigyelésére 9 magnitúdónál fényesebb csillagok körül. Neptunuszok esetében a határfényesség 11–12 magnitúdó körül alakul majd. A műszer támogató elemeinek elkészítése részben a tagállamok feladata. A miskolci székhelyű Admatis Kft. fejlesztésében készül az űreszköz hűtőegysége, ami az instrumentális oldalról jelentős magyar részvételt alapozott meg. A többi elem a konzorcium további tíz országában készül, a szoftveres támogatás például a konzorciumvezető országban, Svájcban kerül kifejlesztésre. A projekt további résztvevő országai: Ausztria, Olaszország, Portugália, Spanyolország, Svédország, Belgium, Franciaország, Németország, Nagy-Britannia.



Az exobolygók tömeg-sugár diagramja a 2016. október 13-i állapot szerint (exoplanet.eu). A különböző anyagú égitestek tömeg-sugár diagramjait a vonallal rajzolt modellek mutatják (Winn és mt. 2011). A sugár földsugár-, a tömeg földtömeg-egységben szerepel. Figyeljük meg a kőzet-gáz átmenetet!

Az üzemidő 80%-a a Science Team által meghatározott „belső” programok végrehajtására és a mérnöki feladatokra fordítható. Húsz százalék időtartamban vendégészlelői és projektvezetői hatáskörben kiosztott gyors mérések (DDT) valósulnak meg. Az objektumok megpályázása az ESA nyílt rendszerén keresztül történik majd.

Tudományos kérdések

A tömeg és sugár mérésén keresztül a pontos sűrűség meghatározása az egyik fontos feladat. Általában ez az exobolygók fundamentális paraméterei közül legkevésbé ismert változó, ugyanakkor a belső felépítés meghatározásához is fontos kiindulópont. A bolygók kialakulásuk után fejlődnek, folyamatos, egyre lassuló kontrakció állapotában vannak, ennek menetét a bolygótest tömege és a csillagról érkező sugárzás is befolyásolja. Ezért fontos a csillag életkorának meghatározása is, spektroszkópiai módszerrel, vagy akár szeizmológiai méréseken keresztül. Szuperföldek esetében, ahol a légkör járuléka még nem jelentős, a sűrűségéből a bolygótest szerkezetét és a víz arányát lehet meghatározni. A tömeg növekedésével a

légkör válik dominánssá, ekkor az életkor, a csillag elemösszetétele és a sugárzási környezet alapján a mag tömegjáruléka és a légkör szerkezete határozható meg.

A bolygó szerkezetének meghatározása a bolygókeletkezési elméletekhez vezet el minket. Az akkréciós modellben a bolygócsírák összeállása a bolygókeletkezés első lépése, majd a kritikus tömeg meghaladása után nagy arányú gázakkréció is megindul, és egyre nagyobb arányban válik jellemzővé. Ha a légkör tömege meghaladja a bolygótest tömegét, a további akkréció lényegében tisztán gázból áll, ami igen nagy tömegű légkör kialakulásához vezet. A folyamat szempontjából annak a bolygótestnek a tömege a meghatározó, ami fölött már megszalad a gázakkréció, és gázóriások alakulnak ki. Ez a tömeg jelenleg ismeretlen. Azonban megfigyelhetjük ezt a tömeget, ha megfelelő csillagok körül keringő, hasonló sugarú bolygók sűrűségeit hasonlítjuk össze. Arra lehet számítani, hogy a sűrűségeloszlásban bekövetkezik egy szakadás, ami kijelöli a gázakkréció megfutásához tartozó kritikus tömeget.

Ezt a képet árnyalja, hogy a bolygók keletkezésük során vándorolnak a protoplanetá-



Willy Benz, a CHEOPS projekt vezetője

ris ködben, az elképzelhető esetek túlnyomó részében befelé. A közben összegyűjtött közet és légköranyag őrzi a korong külső részeinek lenyomatát is. Ha a CHEOPS küldetése sikerrel zárul, és sikerül nagyjából száz, megfelelően válogatott bolygó pontos sűrűségét meghatározni, ezeknek a folyamatoknak is nyomára bukkanhatunk.

A bolygók másodlagos tranzitjának megfigyelése a hőmérsékletről és az albedóról ad információt. A két dolog elvileg összefügg: egy bizonyos hőmérséklet alatt felhők keletkeznek a légkörben, nagyobb albedóhoz vezetve, a kritikus hőmérséklet fölött viszont megszűnik a felhősödés, az albedó hirtelen kis értékre csökken a hőmérséklet emelkedése mellett. Ennek a folyamatnak a pontos megfigyelése is a CHEOPS feladata lehet.

További izgalmas terület lehet a radiális-sebesség-bolygók keresése tranzitban. Ilyen tranzitot keresni kockázatos, ugyanakkor csak néhány találat is jelentős lenne fényes csillagok körül. A tervezési fázisban ez a mérés még kiemelkedő újdonságnak számított, azóta a Spitzer mérései segítségével több radiális-sebesség-bolygót is megtaláltak tranzitban.

A CHEOPS tudományos programjában is részt vesznek magyar kutatók, az exobolygók holdjainak keresésének vállalkozásával. A párizsi Geofizikai Intézzel együttműködésben, a TÉT-14FR-1-2015-0012 pályázat keretében folytatott kutatások közben kiderült, hogy hol érdemes keresnünk holdakat, és miért nem találunk holdakat például a Kepler exobolygó-rendszereiben. A csillagokról származó, zaj jellegű kis fényesség-változások jelentőségét is felismertük, és kiderült, hogy a bolygók, esetleges holdak jelalakjainak illesztésekor hogyan vehetjük hasznát a hangtechnikában kifejlesztett zajszeparációs módszereknek. Erről számolunk be a cikk második részében.

Szabó M. Gyula

