

RR Lyrae csillagok vizsgálatai

Folytattuk az RR Lyrae csillagok komplex vizsgálatát **(62, 67)**. A névadó RR Lyrae-t a Kepler-űrtávcső is megfigyelte. A minden eddiginél pontosabb fénygörbe olyan dinamikai jelenségek felfedezését tette lehetővé, mint a perióduskétszereződés. A gyakorlatilag folyamatos adatsor kiterjesztésére amatőr csillagászok egy csoportja kis, autonóm távcsövekből álló megfigyelőrendszert épített (VTTs, Very Tiny Telescopes). Ezek adatait történelmi észlelésekkel és a Kepler megfigyeléseivel kombinálva megállapítottuk, hogy két, eltérő hosszúságú pulzációs periódussal jellemezhető állapot különíthető el az RR Lyrae-nél (0,56684 és 0,56682 nap). Ezek az állapotok 13-16 évente felcserélődnek, legutóbb 2009 közepén történt ilyen váltás. Az is kiderült, hogy a 40,8 napos modulációs periódus 1975-ben hirtelen 39,0 napra esett vissza. A VTT-hálózat adatai szerint a periódus Blazskó-moduláció miatti O-C változásának maximuma 2008-ra esett, míg 2013-ban történelmi minimumot ért el **(66, 72)**.

Dinamikai szempontból megvizsgáltunk négy, különleges hidrodinamikai RR Lyrae modellt. Mind a négy esetben kaotikus pulzációt állapítottunk meg. A fraktál (Lyapunov) dimenzió kb. 2,2-nek adódott. Megvizsgáltuk az alaplómódus és az első radiális felhang közötti lehetséges rezonanciák létrejöttét is, melyek közül a 6:8-as rezonancia a legfontosabb. Ezek a vizsgálataink is megerősítik, hogy a kaotikus modellek vizsgálata hozzásegít az RR Lyrae csillagok komplex pulzációs dinamikájának megértéséhez **(54, 68)**.

Folytattuk a Kepler-mezőbeli RR Lyrae csillagok spektroszkópiai analízisét. A vizsgálatok során a csillagok fémtartalmát, radiális sebességét és légkörparamétereit származtattuk. Harminchét RRab csillagból 16 mutat Blazskó-effektust. Négy csillag bizonyult RRC-nek, mind mutat frekvenciacsúcsokat az első radiális felhangon kívül is. A fémtartalom ($[Fe/H]$) -2,54 és -0,05 között szóródik, és néhány Blazskós csillagot kivéve jó egyezést mutat a korábban fotometriai úton származtatott értékekkel. Négy korábban talált fémgazdag csillag mellett – melyek fémtartalmát spektroszkópiai úton megerősítettük –, újabb négyről sikerült kimutatni, hogy fémben gazdagok. Érdekes, hogy 5 nem-Blazskós csillag fémtartalma magasabb, mint $[Fe/H]$ -0,9, míg mind a 16 modulált RRab ennél fémszegényebb **(48)**.

Az SDSS J015450+001501 jelű, nem-Blazskós, RRab csillag kiterjedt fotometriai megfigyeléseit analizáltuk. Felhasználtuk a Sloan Digitális Égboltfelmérés (SDSS) fotometriai és spektroszkópiai adatait, a LINEAR és Catalina Égboltfelmérés (CSS) optikai, valamint a 2MASS és a WISE infravörös fotometriai sávokban mért fotometriai adatpontjait. Kiemelendő a 2MASS által gyűjtött mintegy 9000 fényességmérés 3,3 év alatt, ami a legteljesebb és legpontosabb infravörös megfigyelés RR Lyrae csillagokra. Vizsgálataink alapján rámutattunk a sztatikus légkörmodellek hiányosságaira, és fontos megkötéseket adtunk a nemlineáris pulzációs modellek számára **(73)**.

Vörös óriások a Kepler-mezőben

Mintegy 300 M színeképtípusú vörös óriás 3 évnyi folyamatos, hosszú mintavételezésű Kepler mérésorozatának elemzését publikáltuk. Új szisztematikus műszereffektust fedeztünk fel: a Kepler-űrtávcső Nap körüli keringési periódusa több mint 50 csillag esetében szignifikáns jelként detektálható. Eredményeink alapján a 10 nap körüli periodicitások körül kimutatható a csillagrezgésekben bekövetkező változás, amit a gerjesztési mechanizmus megváltozásával magyaráztunk. Rövidebb periódusoknál a Nap típusú csillagokra jellemző konvektív gerjesztésű oszcillációk dominálnak, míg a 10 napnál hosszabb ciklusokat feltehetően a κ -mechanizmus gerjeszti **(34, 60)**.

Cefeidák

A V473 Lyrae jelű cefeidát vizsgáltuk, amely a Blazskó-effektusra hasonlító, erős amplitúdómodulációt

mutat. A csillag pulzációs amplitúdójában és fázisában is megjelenik a moduláció 1204 napos átlagos periódussal, de a ciklushossz és a jelenség erőssége is jelentős változásokat mutat. A moduláció legtöbb tulajdonsága megfeleltethető a Blazskó-effektusnak. Távcsőidőt nyertünk a MOST-úrtávcsőre a csillag további vizsgálata céljából **(44, 72)**. Három fényes, galaktikus cefeida spektroszkópiai vizsgálatából megállapítottuk, hogy ezek a csillagok kettős rendszerek tagjai. Az RZ Vel esetében a feltehetőleg csillagfejlődés miatti monoton periódusnövekedésre rövid periódusú fluktuációk is rakódnak, amire az első megfigyelt példát csoportunk szolgáltatta a Kepler megfigyelései alapján. Statisztikai vizsgálatokkal megmutattuk, hogy Galaxisunkban még sok fényes, klasszikus cefeida lehet spektroszkópiai kettős **(55)**.

Aktív csillagok

Harminckilenc gyorsan forgó, késői típusú, aktív csillag fénygörbéjét analizáltunk a Kepler-mintában. Kilenc csillagban találtunk 300 – 900 nap közötti periódusú aktivitási ciklusok jelenlétére utaló jeleket. Jelenlétüket a csillagfoltok helyzetének (egyenlítőitől mért távolságának) változása árulja el, ami a differenciális rotáció miatt megváltoztatja a megfigyelhető forgási periódust az aktivitási ciklus folyamán. Alsó becslést adtunk a differenciális rotáció nyírási paraméterére is. Ezek az eredmények a rotációs periódus – aktivitási ciklushossz diagram kevéssé tanulmányozott, rövid forgási periódusnak megfelelő tartományáról hordoznak új információt **(74)**.

Pulzáló vörös óriások excentrikus kettős rendszerekben

Excentrikus kettős rendszerekben található vörös óriás csillagok szeizmológiai vizsgálatát végeztük el, megszorításokat adva a főkomponensek tömegére és sugarára. A keringési periódusok 20 és 440 nap közé esnek, az excentricitás 0,20 és 0,76 között szóródott. A vörös óriást tartalmazó excentrikus kettősök többek között azért is fontosak, mert egyes kataklizmikus változók és a forró szubtörpe B csillagok szülőobjektumai lehetnek. Esettanulmányként a KIC 5006817 jelű kettőst vizsgáltuk, ami gazdag oszcillációs spektruma révén a legalkalmasabb szeizmológiai célpont. A csillag külső rétegeinek asztroszeizmológia révén megállapított forgási periódusa legalább 165 nap, ami kétszerese a keringési periódusnak. A csillag magja 13-szor gyorsabban forog, mint a felszíne **(61)**.

Exobolygók

A korábban általunk felfedezett Kepler-13 különlegessége abban áll, hogy első példája a gravitációs sötétedés miatt torzult tranzitot mutató exobolygóknak. Ezenkívül egy sor egzotikus jelenséget is mutat, pl. gyors precessziót. 928 napnyi, 1 perces mintavételezésű Kepler-adatot használva megmutattuk, hogy ennek következtében a tranzit időtartama, mélysége és aszimmetriája is változik. Évtizedes időskálán a lassan vándorló bolygópálya letapogatja a szülőcsillag felszínét. A fényváltozást vizsgálva találtunk egy 3 napos periodicitást, amely valószínűleg a csillag forgásával azonosítható. Egy 300 – 360 napos periódus is jelen van, ami az anyacsillag aktivitási ciklusával állhat kapcsolatban **(71)**.

PLATO

A PLATO-t az ESA a beszámolási időszakban választotta a 2022-24-ben indítandó közepes missziójának. Az exobolygó-kereső úrtávcsőrendszer az ultrapontos fotometria, kiterjedt földi kiegészítő mérések és csillagszeizmológia segítségével az exobolygók legfontosabb paramétereit (sugár, tömeg, sűrűség és kor) statisztikailag releváns számban fogja szolgáltatni. Ezáltal olyan alapvető kérdésekre kereshetjük majd a választ, hogy hogyan alakulnak ki és fejlődnek a bolygórendszerek, illetve milyen gyakoriak a Földhöz hasonló, lakható bolygók. A PLATO 34 darab 10-cm átmérőjű távcsőből áll majd, melyek részben átfedő, nagy kiterjedésű égbolttterületeket fognak megfigyelni bolygóátvonulások után kutatva. Az átfedő részek egyedi fénygörbéinek átlagolásával érhető el a rendkívül nagy fotometriai pontosság. A PLATO 1 millió csillagot fog megfigyelni, sok száz kisméretű közetbolygót fedez majd fel (a nagyobb gázbolygókból több ezret) egészen a lakhatósági

zóna távolságáig. A megfigyelési stratégia két terület hosszú, 2-3 éves megfigyeléséből, majd az égbolt mintegy felének néhány hónapos megfigyelésekkel lefedett monitorozásából áll. A műszer a fényes csillagok körüli planétákra fog koncentrálni, melyek karakterizációja a jövőbeli földi és űreszközökkel a legkönnyebben kivitelezhető **(69)**.

A beszámolási időszakban **14** cikkünk jelent meg impaktfaktoros folyóiratokban az OTKA-szám feltüntetésével (össz. IF: **69,466**), **11** pedig konferenciakiadványban. Két tucat ismeretterjesztő írást jelentettünk meg, és számos ismeretterjesztő előadást tartottunk.

Az alábbi nemzetközi konferenciákon vettünk részt:

- 6. KASC konferencia, *A New Era of Stellar Astrophysics with Kepler*, Sydney, 2013. jún.
- *PLATO 2.0 Science Workshop*, ESTEC, Noordwijk, 2013. júl.
- IAU 301. szimpóziuma, *Precision Asteroseismology*, Wrocław, 2013. aug. (Szabó R. meghívott review előadás)
- *Setting a new standard in the analysis of binary stars* konferencia, Leuven, 2013. szept. (Derekas A. meghívott előadás)
- *Observing techniques, instrumentation and science for metre class telescopes*, Tatraska Lomnica, 2013. szept (Szabados L. meghívott előadás)
- *II. Kepler tudományos konferencia*, NASA Ames Research Center at Moffett Field, CA, 2013. nov.
- International Francqui Symposium, *What asteroseismology has to offer to astrophysics*, Brüsszel, 2013. dec.

A Kepler Asztroszeizmológiai Tudományos Konzorcium két munkacsoportját továbbra is Kiss L. L. és Szabó R. vezetik. Részt vettünk a Kepler alternatív missziójának tudományos előkészítésében, ami az űreszköz újabb lendkerékének meghibásodása miatt vált szükségessé. Az ekliptikai K2 misszióban több javaslatunkat elfogadták; folytatjuk a célpontválogatást és az új adatok feldolgozását is. Tapasztalatainkat két elfogadott ESA-űrprogramban is kamatoztatjuk, hazánkat a legmagasabb szinteken képviselve (CHEOPS Board és Science Team, PLATO Board).

A beszámolási időszakban Molnár L. summa cum laude minősítéssel védte meg *Dinamikai jelenségek RR Lyrae csillagokban* c. PhD-dolgozatát. Molnár L. és Plachy E. Jedlik Ányos-ösztöndíjat nyertek el, Kiss L. Lászlót az MTA levelező tagjának választotta.