

4. félévi beszámoló

Forró Adrienn (forro.adrienn@csfk.mta.hu)

Program: Részecskefizika és csillagászat

Témavezető: Dr. Szabó Róbert

Társ-témavezető: Dr. Molnár László

Doktori téma: Space photometric investigations of classical pulsating variable stars

1. Bevezetés:

Kutatásomban pulzáló és egyéb típusú változó csillagokat keresek a Kepler-űrtávcső adatsoraiban. A Kepler-űrtávcső eredeti missziója során (2009-2013) a Hattyú és a Lant csillagképek irányában, kb. 160000 csillag fényességét vizsgálva kutatott exobolygó tranzitok után. Az eszköz több nagyságrenddel pontosabb fényességmérést tett lehetővé, mint a korábbi földi műszerek. Ráadásul a nagy számú csillagot gyakorlatilag megszakításmentesen tudta megfigyelni, 30 (esetenként 1) perces mintavétellel. Az űrtávcső negyedévente 90 fokos fordulatot tett a napelem-paneljének hatékony működése érdekében, így mérései, adatsorai negyedekre (quarter, Q0 – Q17) oszthatók.

Az űrtávcső missziója során csak a célobjektumokhoz tartozó pixeleket és körülöttük néhány háttérpixelt töltöttek le, az eddigi kutatások pedig a fő célpontlista csillagait célozták. A háttérpixelek tartalmának szisztematikus vizsgálatára még nem került sor. Az eredeti célpontok körüli háttérpixelek számos csillag eddig nem ismert változásait fedhetik fel.

A Kepler Pixel Project célja új pulzáló és egyéb típusú változócsillagok keresése a fő célpontok körüli eddig alig vizsgált háttérpixelekből. A projekt első lépése a Q4-es negyed (2009. december 19. – 2010. március 19.) idősorainak alapos elemzése volt, melynek során a mintegy 6 millió egyedi pixelben kerestünk pulzáló változócsillagokat. Ezek között nagy számban találtunk egyéb típusú változókat, így például fedési kettősöket is.

2. Az előző három félévben elért kutatási eredmények összegzése:

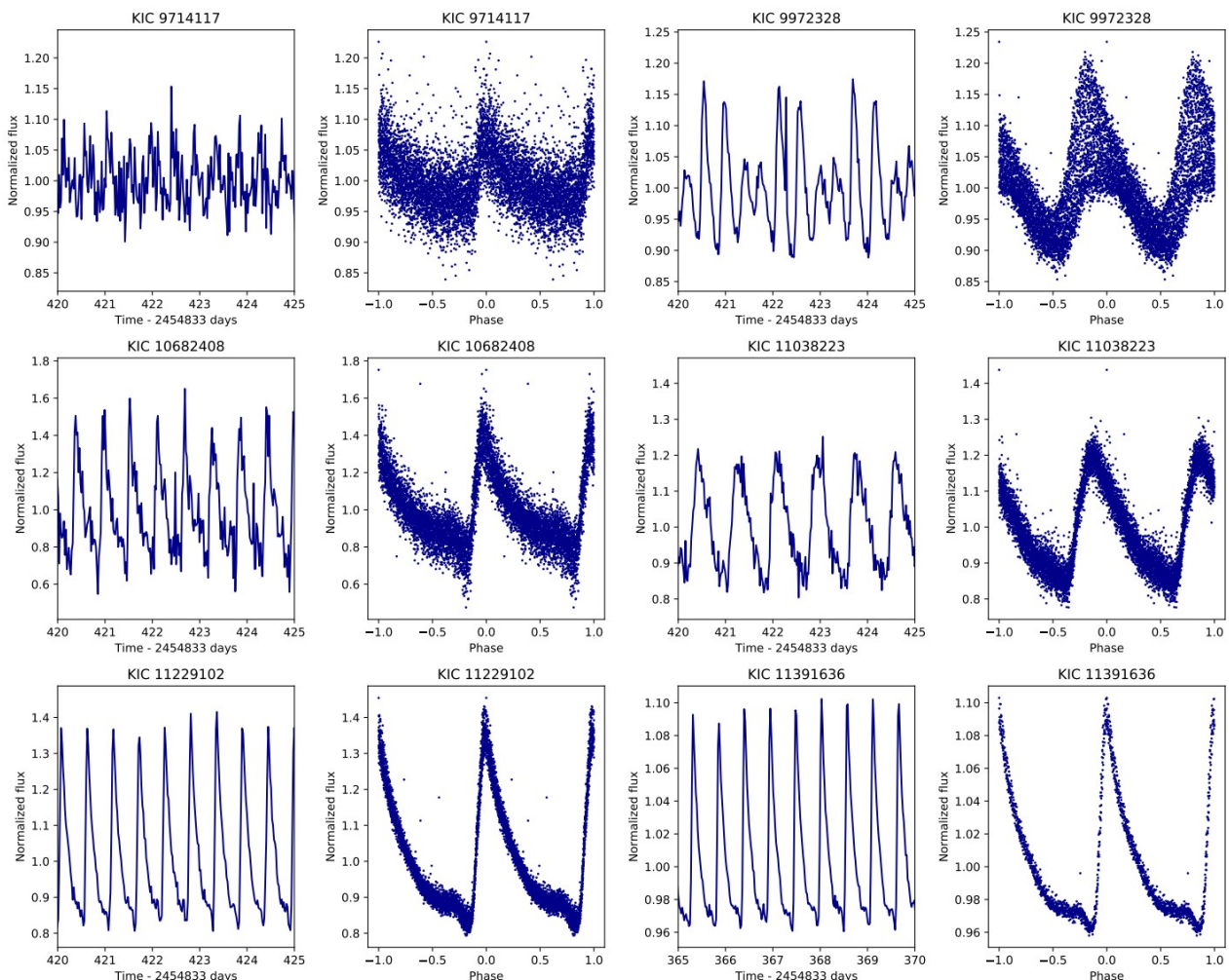
A változócsillagokat kereső algoritmus a Q4-es negyedben mért összes csillag TPF-jét (Target Pixel File) egyedi pixelekre darabolta, majd kifotometrálta azokat. A TPF-ek nem csak a mért célpontot tartalmazzák, hanem egy viszonylag szűk hátteret is, célunk ezekben az eddig kevésbé vizsgált háttérpixelekből rejlő változók megtalálása. Első körben pulzáló változókat (RR Lyrae-eket) kerestünk, így a keresési kritérium alapja a periódus volt. Azokat a pixeleket tekintettük jelöltnek, melyek 0,25-1 nap közötti periódust mutattak és a fő frekvencia minimum két harmonikusa jelen volt monoton csökkenő amplitúdóval a Fourier-spektrumban. Így összesen ~12500 pixel jelöltünk lett, több pixel természetesen ugyanahhoz az objektumhoz tartozik, azonban vannak olyan esetek is, hogy egy halvány háttércsillag csak egy pixelen figyelhető meg. A Kepler mezőben így 33 új RR Lyrae jelöltet találtunk, azonban ennél sokkal nagyobb számban talált a módszer fedési kettős csillagokat, összesen 1272-t.

A fedési kettős csillag jelölt vizsgálatával kezdtem a kutatásomat. A jelöltek közül 495-öt sikerült azonosítanom a Kepler-látómezőben található fedési változókat gyűjtő, Kepler Eclipsing Binary Catalog nevű katalógusban. Ezután meggyőződtem a megmaradt jelöltek valódiságáról, kiszűrve a lehetséges instrumentális hatásokat és a kontaminációkat. Egy hamis pozitívet találtam a mintában, így 776 jelöltem maradt, ami jelentős hozzájárulás az említett katalógus 2922 csillagához. A következő lépés a (főleg a) háttérben azonosított jelöltek lehető leghosszabb időszakot lefedő fénygörbéjének elkészítése volt, így a többi negyed méréseit is felhasználtam. Előfordul, hogy nem

minden negyedben találunk mérést az adott célponthoz, mert az a CCD modul, ahova esett épp a csillag, nem végzett mérést abban a negyedben, vagy mert az eredeti célpont körül az adott negyedben kisebb háttérrel töltöttek le. Elkészítettem automatikusan a jelöltek 4 éves (Q1-17) fénygörbéjét. Minden pixelnek átszámoltam a képi koordinátáját égi koordinátákra, és a többi negyedben ezen égi koordináták alapján kerestem meg őket, majd a végén összeadtam az egy jelölthöz tartozó pixeleket. A módszerrel előállított fénygörbéknek, és azok fázisban feltekert változatainak manuális átnézése során több probléma is felmerült. Részben a koordináta-átváltások közbeni kerekítések miatt, részben amiatt, mert nem feltétlenül az összes (jó) pixelt találtuk meg, sok jelölt esetében egyes negyedekben jelentősen eltérő minőségű fénygörbét kaptam, a feltekert fénygörbéken pedig az látszott, hogy néhol nem teljesen pontos a periódus, ezért ezek pontosításra szorultak.

3. Az aktuális félévben elvégzett kutatások ismertetése:

A félév kezdetén elkezdtem vizsgálni a 33 RR Lyrae jelöltet is. A Gaia DR2 katalógussal való keresztazonosítás után 27 jelölt maradt, a maradék nem szerepelt a DR2-ben, és emellett rendkívül zajos fénygörbét mutató, egyedi pixelek voltak, így őket kizártuk a további kutatásból. A 27 jelöltből 20-at megtaláltam vagy a Pan-STARRS PS1 alapján készült RR Lyrae katalógusban, vagy a Gaia is RR Lyrae-típusú változónak klasszifikálta őket, rendszerint min. 3-4 tizedesjegyre megegyező periódussal. Ezekre a jelöltekre előállítottam a Q1-Q17 teljes fénygörbét, minden negyedben manuálisan meghatározva az ideális apertúrát. Néhány jelölt fénygörbéjének egy rövid, 5 napos szakasza, valamint a fázisban feltekert fénygörbéje látható az alábbi ábrán.



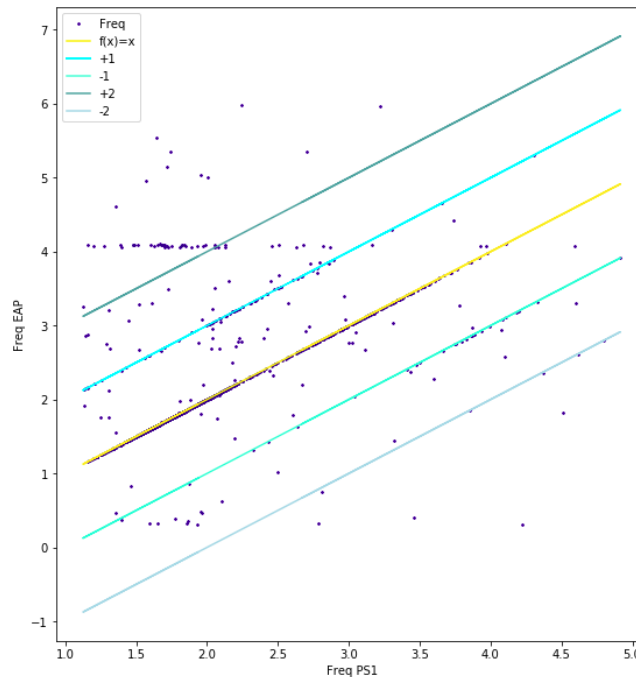
1. ábra: Néhány RR Lyrae jelölt fénygörbéje

A fedési kettősök vizsgálatát tovább folytatva a pontos periódus meghatározása volt a következő lépés. Több jelölt példáján azt tapasztaltam, hogy korábban a kereséskor Lomb-Scargle periodogrammal meghatározott periódusokat lehet pontosítani (4-5. tizedesjegyben), ha PDM (fázis diszperzió minimalizálás) módszerrel számítjuk ki azokat. Azonban nagy adatmennyiségen ez lassú számolás, viszont jól párhuzamosítható, így érdemesebb GPU-n végezni a számításokat, ebben Bódi Attilával dolgoztam együtt. Az Attila által írt kód nemcsak meghatározta a periódust minden (Q4-en korábban már azonosított) pixelre, hanem a Q1-Q3 negyedek pixeleire is. Ezek felhasználásával az ideális apertúrát már nem kell manuálisan meghatározni, hanem az azonos TPF-en található, ugyanazon periódust mutató pixeleket veszem összetartozónak. Elkezdtem előállítani a teljes Kepler fénygörbéket ilyen módon is. Elegendő általában az első négy negyedben meghatározni a jelöltek pozícióját, a későbbiekben ugyanígy fognak ismétlődni a pozíciók (pl. a Q4-Q8-Q12-Q16). Ettől akkor lehet eltérés, amikor 1-1 negyedben hiányzik a mérés, vagy ha idővel kisebb háttérrel töltöttek le, így változik a TPF mérete. Amely jelöltek esetében nem történt változás a képméretben, ott automatikusan elkészítettem a teljes Q1-Q17 fénygörbét, ahol történt változás, ott manuálisan kell megnézni, hogy a jelölt rajta maradt-e még a TPF-en. Jelenleg az összes fedési kettős jelölt kb. harmadára készítettem el eddig ezeket.

Az eredményeket egy cikksorozat formájában tervezzük publikálni. Az első cikk a módszert, valamint az RR Lyrae jelölteket fogja bemutatni, a második pedig a fedési kettősöket. Ezek írása folyamatban van.

Részt veszek az intézetben a Machine Learning Team munkájában. Célunk olyan változócsillag klasszifikáció megalkotása volt gépi tanulás módszerek segítségével, melyhez csak a (fázisban feltekert) fénygörbét, mint képet használjuk fel bemenő adatként. Mintának az OGLE adatait használtuk fel, mivel pontos és nagyszámú tanító mintára volt szükségünk, az OGLE által mért változócsillagok fénygörbéit pedig manuálisan átnézték. Az eredményeket bemutató cikket beküldtük "Image-based classification of variable stars - First results on OGLE data" címmel a The Astrophysical Journal Letters folyóiratba, a referee válaszára reagálva visszaküldtük a cikk javított változatát.

A Pan-STARRS PS1 alapján készült RR Lyrae katalógus kb. 239000 csillagot tartalmaz, azonban ezek fénygörbéi nagyon kevés, jellemzően kb. 50-70 adatpontot tartalmaznak a g,r,i,z, y szűrőkben mérve összesen. A K2-ben azonban kampánytól függően min. 2-3 ezer mérési pont van, így pontosabb a fénygörbe is. Első lépésként megvizsgáltam, hogy a PS1 RR Lyrae katalógus csillagai közül melyeket mérhette a K2, ehhez a K2fov nevű Python csomagot használtam. Ezzel 28768 olyan csillagot találtam, amely a CCD-re esik, közülük 3310 esik aktív pixelekre, vagyis ezeket mérhette a K2. Összesen 1439 csillagra találtam K2 EAP (Extended Aperture Photometry) fotometriát. Ezek esetében összehasonlítottam a K2 fénygörbéből számított periódust a PS1 katalógusban szereplővel. Mivel a Pan-STARRS csak éjszaka tudott mérni, míg a K2 adatsora viszonylag folytonos, így ± 1 ciklus/napnyi eltérést várhatunk. Sok csillag esetén a PS1 periódus és a K2-ből számolt egyezik, azonban jelentős eltéréseket mutatókat is találtam, például az alábbi összehasonlító ábrán (2.ábra) a $\sim +4$ ciklus/napnál elhelyezkedő kb. 50 csillagokat. Ezek átnézését megkezdtem, melyhez a PS1 és a K2 fénygörbéket is felhasználom. Találtam olyan eseteket, ahol rossz a klasszifikáció és valójában fedési kettőscsillagról van szó, de olyan esetek is vannak, ahol egy közeli csillag kontaminál.



2. ábra: A PS1 és K2 EAP frekvenciák összehasonlítása

4. Tanulmányi tevékenység az aktuális félévben:

A félév során a Csillagrendszerek dinamikája I. EA című kurzust végeztem el (FIZ/2/027E).

5. Konferenciák a képzés alatt:

2019.08.19-23., Bécs, Ausztria: Stars and their variability observed from space - poszter
(A. Forró, R. Szabó, T. Hajdu: Eclipsing binaries hiding in the background: The Kepler Pixel Project)

2019.09.07-11., Telc, Csehország: Universe of binaries, binaries of the universe - előadás
(A. Forró, R. Szabó, T. Hajdu: Eclipsing binaries hiding in the background: The Kepler Pixel Project)

2019.10.13-18., Cloudcroft, New Mexico, USA: RRL/CEP 2019 - előadás
(R. Szabó, A. Forró, J. Bienias: Status report on the Kepler Pixel Project)

A konferencia proceedings-ek megjelenése folyamatban.

6. Egyéb szakmai tevékenység a képzés során:

Társ-témavezető vagyok Sódor Ádámmal közösen Császár Kornél Bsc-s hallgató demonstrátori programjában, a Kepler Pixel Project-ben azonosított változócsillag jelöltek fénygörbéin dolgozunk.

Az ESO (European South Observatory, Európai Déli Obszervatórium) magyar weboldala számára (<https://www.eso.org/public/hungary/>) lefordítottam 15 ismeretterjesztő cikket / szervezeti közleményt.