

# SZAKMAI ZÁRÓJELENTÉS

## a „Nemradiális pulzációk tanulmányozása fedési kettős csillagrendszerekben” c., F-69039 sz. OTKA pályázathoz

Dr. Bíró Imre Barna, BKMÖ Csillagvizsgáló Intézete, Baja

### 1. Célkitűzések

A projekt fő célkitűzése olyan eljárások kidolgozása és alkalmazása, amelyek a fedési kettőscsillagokban a fedéseknek a pulzációkra gyakorolt modulációs hatásából beazonosíthatják a nemradiális pulzációk módusszámait, utat nyitva ezáltal a csillagok belső szerkezetének asztroszeizmológiai inverzióval történő feltérképezésére.

A kutatás tervezett menetrendje az alábbi részekből tevődött össze.

1. A Dynamic Eclipse Mapping (DEM) módszer teljes kifejlesztése, kódjának alkalmazható formába öntése.
2. Kezdeti alkalmazás egyszerű esetekre.
3. A vizsgálat kiterjesztése tágabb rendszercsoportra.
4. Pulzáló kettősök szisztematikus keresése.

### 2. Eredmények

A tervezett módszer kidolgozását, továbbfejlesztését, kiterjesztését elvégeztem. Gyakorlati alkalmazását sokáig nagymértékben hátráltatta a megfelelő adatsorok hiánya, de a Kepler űrtávcső által nemrég vizsgált egyik rendszernél sikeres módusz-azonosítást tudtam elérni vele.

#### 2.1. Elméleti munka

##### 2.1.1. A Dinamikai Eclipse Mapping módszer kifejlesztése

A projekt elkezdésekor a Dinamikus Eclipse Mapping (DEM) egy „fapados” változata állt rendelkezésre, amelyről konferencia-kiadványban született közlemény ([4]). Valódi rendszerekre még nem volt maradéktalanul alkalmazható, mivel több szimultán oszcilláció rekonstrukciójára csak korlátozottan volt képes. A korlát feloldásához egy új algoritmus, az ún. *multiobjektíves optimalizáció* került beépítésre, amely az egyes pulzációs mintázatokat egymástól annyira függetlenül igyekszik optimalizálni, amennyire csak az adatokhoz való illeszkedés feltétele (mint közös kényszer) engedi. Ezen felül az algoritmus számos ponton javításra került. A kiforrott módszer leírását a Monthly Notices folyóiratban közöltem ([3]), a részletes tesztek eredményeivel együtt. A módszer három információt igényel a bemeneten:

- 1) a kettőscsillag-rendszer egy geometriai modelljét (hogy a mintavételezés ismert legyen), ideértve a pulzáló csillag forgástengelyének irányát,
- 2) a pulzációs móduszok frekvenciáit, valamint
- 3) egy időben jól mintavételezett, nagy pontosságú fotometriai mérésorozatot, mely minél több fedési ciklust tartalmazzon;

és eredményként minden megadott frekvenciához egy-egy térképpárral szolgál, melyek a pulzációs felszíni mintázatokat becslései, és amelyek révén a felszíni kvantumszámok – az  $\ell$  fok és az  $m$  horizontális hullámszám megállapíthatók, ezáltal pedig a módusz beazonosítható.

A tesztek tanúsága szerint a pulzációs mintázatok rekonstrukciója

- nem függ drámaian a fedési mintavételezés mértékétől (azaz hogy mekkora felületet takar el a főcsillagból a kísérőcsillag), feltéve, hogy az kellően aszimmetrikus – értsd: a kísérő árnyékának belépő és kilépő élei a mintavételezett felszínen legfeljebb egy pontban metszik egymást; ellenkező esetben lesznek olyan pontok, amelyek egyszerre fedődnek el és ugyancsak egyszerre válnak újra láthatóvá, eltorzítva a rekonstrukciót;
- az összes fotometriailag megfigyelhető móduszra lehetséges – ez általában  $\ell \leq 4$ -et jelent –, bár az  $\ell - |m|$  „bonyolultsági fok” növekedésével a rekonstrukció minősége is romlik;
- több szimultán módusz együttes elemzésére is alkalmazható, amennyiben azok frekvenciái nem állnak rezonanciában sem egymással, sem a csillagok egymás körüli keringésével;
- a rekonstrukció annál jobb minőségű, minél több, egymástól független fedési ciklust ölelnek fel a mérések;
- viszonylag jól tolerálja a geometriai paraméterekben levő kisebb pontatlanságokat (a „pontos”, de alapvetően hamis értékeket viszont nem);
- továbbá az ún. *rejtett móduszok*, melyeknek szimmetria-okokból nincs mérhető hatása, csak a rövid fedési szakaszokban erősödnek fel (a felszíni szimmetria megtörése következtében), és amelyek emiatt egy frekvencia-analízis során általában észrevétlen maradnak, *nem akadályozzák meg* a többi módusz rekonstrukcióját; mi több, a rekonstruált móduszok járulékat levonva, a rejtett móduszok *elkülöníthetők*.

### 2.1.2. A pulzációs tengely problémája

A DEM vonzó tulajdonsága, hogy minimális mértékben függ a csillagmodellektől, a rekonstruálandó térképekre általános szimmetria-követelményeken kívül semmi mást nem feltételez. Ellenben csak akkor használható sikerrel, ha a pulzációk szimmetriatengelye ismert. Ez az a tengely, amelyhez kötött koordináta-rendszerben a nemradiális pulzációk a legegyszerűbb módon írhatók le, és amelyben egy sajátos szimmetriát mutatnak: az amplitúdó csak a csillagrajzi szélesség, míg a kezdőfázis csak a csillagrajzi hosszúság függvénye. Ezt a szimmetriát a DEM alapvetően kihasználja, nélküle a módusz-azonosítás bizonytalanná válik.

A pulzációs tengely általában a csillag forgástengelye, és kettőscsillagokban többnyire a keringés pályájára merőleges állásúnak szokták tekinteni. Szoros kettőscsillagokban az árapály-hatások következtében ez várható is. Tágabb rendszereknél a tengely iránya tetszőleges lehet, mint például a DI Her [5], vagy újabban az AS Cam [6] – bár egyikük sem tartalmaz pulzációt. (A nagyon szoros rendszereknél, a pályamozgás gerjesztette pulzációknál a szimmetriatengely iránya a kísérőcsillag keringésének ütemében körbeforoghat; de az ilyen rendszerekre a frekvenciák rezonanciája miatt a DEM nem alkalmazható.) A forgástengely iránya fedési kettősöknél elvileg mérhető a Rossiter-McLaughlin effektus révén (a DI Her-nél ez történt), de nagyfelbontású spektroszkópia szükséges hozzá, ami nem mindig áll rendelkezésre, nem lehet rá alapozni. Ezért olyan lehetőségek után kellett nézni, amelyek a rekonstrukció során vagy egyéb módon, maguknak a pulzációknak az elemzéséből tudnak következtetni a forgástengely állására.

Az egyik kézenfekvő lehetőség, a rekonstrukcióval együtt történő forgástengely-illesztés, nem vált be – a DEM által használt általános modellje nem alkalmas arra, hogy a fedések általi konvolúció nyomán maradt kevéske információból a forgástengelyre irányát detektálja [3]. Azonban egy specifikusabb modell használatával e hátrány kiküszöbölhető. Ez vezetett a Direct Fitting, közvetlen (modell)illesztés módszeréhez.

### 2.1.3. A Direct Fitting módszer kifejlesztése

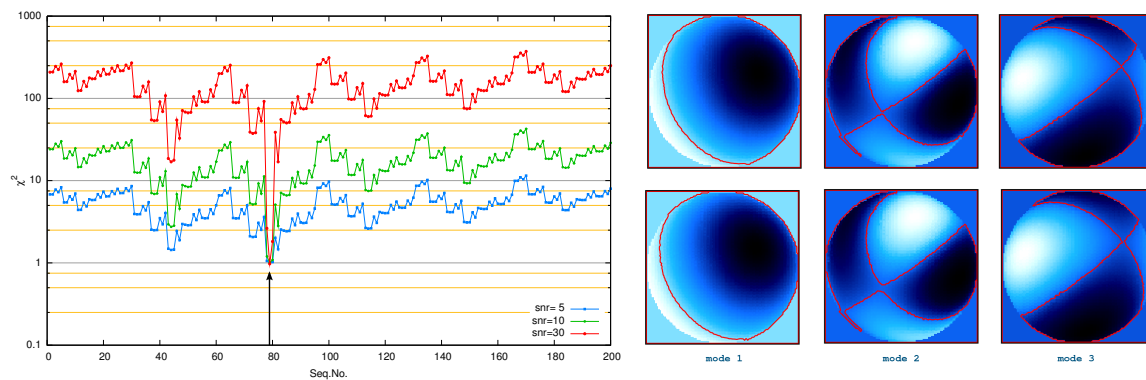
A nemradiális pulzációk elmélete szerint a lassan forgó, gömb alakú csillagok pulzációinak mintázatát egy-egy gömbfüggvény írja le, melynek  $\ell$  foka és  $m$  rendje alkotják a pulzációs móduszt jellemző *felületi kvantumszámokat*. A DEM formalizmusában gömbfüggvényeket feltételezve, a probléma egyszerű lineáris legkisebb négyzetes modellillesztésre redukálódik, melyben – ismert  $(\ell, m)$  esetén – móduszonként két-két amplitúdó jelenti az illesztendő paramétereket.

Habár pont a gömbfüggvény felírásához szükséges  $(\ell, m)$  számpárok ismeretlenek, a lehetséges számpárok halmaza véges ( $\ell \leq 4 \dots 6$ ), ezáltal a pulzációkhoz való módusszám-hozzárendelések lehetséges kombinációja is véges. Az összes lehetséges számpárkiosztás közül kiválasztható az, amelyik a legjobban illeszkedik a mért adatokhoz. Ez a Direct Fitting-nek (DF), azaz közvetlen (modell)illesztésnek nevezett módszer jóval egyszerűbb, mint az EM-beli rekonstrukció, azon az áron, hogy specifikus modellt használ.

Ugyan az egyedi gömbfüggvények is forgástengelyhez kötöttek, de van egy igen vonzó tulajdonságuk: egy adott koordináta-rendszerben értelmezett gömbfüggvény egy elforgatott koordináta-rendszerben az összes, ugyanazon  $\ell$ -fokú ( $2\ell + 1$  db.) gömbfüggvény lineáris kombinációjaként írható fel, ahol a *multipllett* kombinációs együtthatói a két koordináta-rendszer közötti transzformáció Euler-szögeitől függenek (a kvantummechanikában ezek a Wigner-együtthatók). Ez lehetővé teszi a forgástengely egyidejű illesztését:

- tetszőleges szimmetriatengelyt feltételezünk;
- a móduszokra egyedi gömbfüggvények helyett egy-egy  $\ell$ -hez tartozó multiplettet illesztünk (a feltételezett szimmetriatengely rendszerében);
- ezzel összhangban a móduszoknak az  $(\ell, m)$  számpárok helyett csak  $\ell$ -eket osztunk ki;
- kiválasztjuk a legjobb illeszkedést adó kombinációt;
- a legjobb megoldás multipllett-együtthatóiból meghatározható a forgástengely valódi iránya.

Numerikus tesztek szerint az eljárás módszer megfelelő szelekciós képességgel rendelkezik a sikeres módusz-azonosításhoz ([1], ill. 1. ábra).

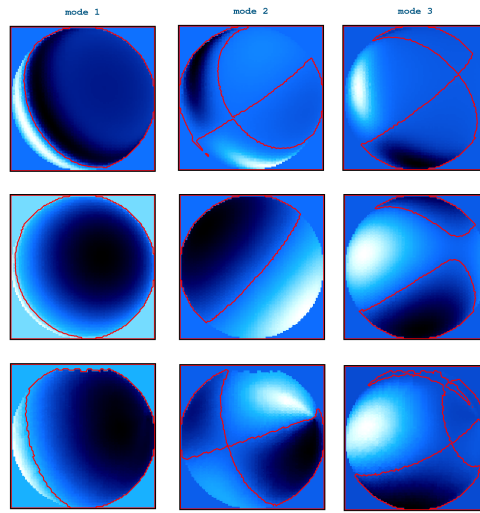


1. ábra. Példa egy ferde rotátorban levő, három szimultán pulzáció DF-analízisére. A *bal oldali ábrán* az illeszkedés minőségét mérő  $\chi^2$  menete a mintegy 200 lehetséges kombináció függvényében, három különböző mértékű zajjal terhelt adatsor esetén (snr=jel/zaj arány, ahol a jel a legerősebb pulzáció amplitúdója). A függőleges nyíl a legjobb megoldást jelöli. A *jobb oldal felső sorában* a tesztmodell, az alsóban pedig az illesztett modell mintázatai láthatók a három móduszra (rendre  $(1, 0)$ ,  $(3, 1)$ ,  $(2, 2)$ , a forgástengely Euler-szögei  $(41^\circ, 63^\circ, 0^\circ)$ ).

A DF kiváló szelekciós képessége elvileg feleslegessé teszi a DEM módszert azokra az esetekre, amelyekben a pulzációk jól leírhatók gömbfüggvényekkel. A valóság ennél árnyaltabb: elméleti vizsgálatok szerint a sajátfüggvények már mérsékelt forgás esetén is különféle torzulásokat szenvednek (mint pl. az amplitúdónak és energiának az egyenlítő felé való koncentrálódása), miközben a DEM által is kihasznált forgásszimmetria megmarad. Ha a forgástengely ismert, akkor az ilyen esetekben a DEM van előnyben, míg ismeretlen forgástengelynél szigorú értelemben egyik módszer sem használható. Azonban a kettőjük kombinációja eredményre vezethet: tesztek szerint, míg a DF torzult móduszokra sok téves azonosítást eredményez, a forgásszimmetria tengelyét kielégítő pontossággal adja vissza ahhoz, hogy azt az EM-nek átadva, a torzult móduszokat sikeresen lehessen rekonstruálni ([2], ill. 2. ábra).

## 2.2. Gyakorlati alkalmazás

A gyakorlati alkalmazásokat nagymértékben hátráltatta a megfelelő adatsorok hiánya. A jelenleg ismert, földi felfedezésű mintegy 100 pulzáló fedési kettős egyikéről sem áll rendelkezésre alkalmas mérés. Az ezek elvégzéséhez használni kívánt földi műszerekről (a Bajai Csillagvizsgáló, valamint a Piszkestetői Observatórium távcsövei) bebizonyosodott, hogy a felfedező jellegű méréseken kívül nem alkalmasak pontosabb, hosszabb adatsorral szolgálni.



2. ábra. A DEM és DF együttes alkalmazása gyors forgás által torzult pulzációk móduszazonosítására. *Felső sor:* a bemeneti modell, 3 szimultán pulzációval; *középső sor:* a DF által illesztett legjobb modell, a középső módusz félreazonosítása világosan látszik; *alsó sor:* a DEM-rekonstrukció a DF-ből átvett forgástengellyel, melyen mindhárom módusz felismerhető.

Más szerzők által, nagyobb műszerekkel készült mérésekből kevés akadt, amely pontosságban és terjedelemben megfelelő volt. Egyik próbálkozás a PG 1136-018 (NY Vir) pulzáló szubtörpével történt, amely fénygörbéje alapján kitűnő jelöltnek tűnt, és egy 2 fedési ciklust felölelő, kitűnő mérés áll róla rendelkezésre. Geometriai modell is készült róla [7]. A szerzők voltak szívesek rendelkezésünkre bocsátani az adatsort. Már a frekvencia-analízisnél akadályok merültek fel: noha a pulzációk tisztán kivethetőek, a frekvenciaspektrum meglepően bonyolult, és a valódi pulzációk frekvenciáit illetően nem sikerült konszenzusra jutni (tucatnyi frekvencia levonása után is jelentős volt a maradvány). Az objektumot a Whole Earth Telescope (WET) kampány keretében is mérték, de azok igen kevés fedést foglalnak magukba, ezért nem használhatók.

Közben azonban 2009-ben újtárra indult a Kepler űrtávcső, amelynek fő profilja exobolygók vizsgálata tranzit módszerrel, de asztroszeizmológiai célpontokra is garantált programja van. Általa elsőként várható elérhetővé megfelelő minőségű és hosszúságú mérések. A távcső egyetlen 10x10 fokos területet mér éveken át, gyakorlatilag folyamatosan, 1/100% pontossággal. Ez földi műszerekkel nem szárnyalható felül. A KASC (Kepler Astroseismic Science Consortium) tagság révén pedig a Kepler adatai elsőkézből elérhetők.

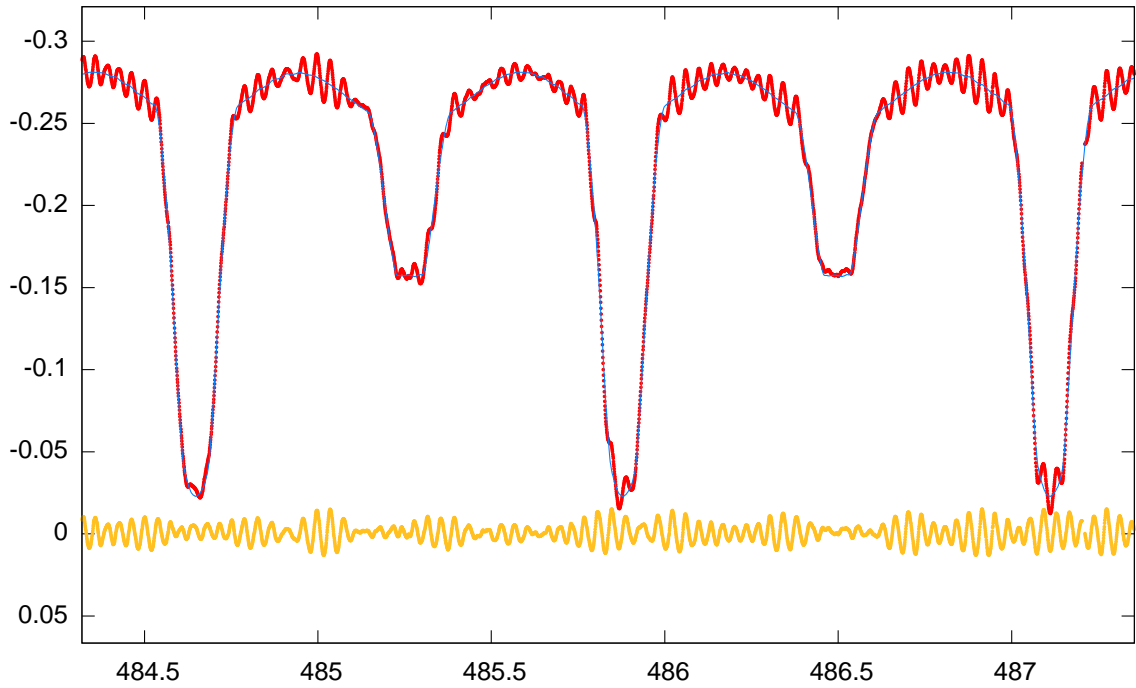
### 2.2.1. Első sikeres alkalmazás: KIC 1066-1783

A Kepler által felfedezett pulzáló fedési kettősök között akadt egy, amelyről nemrég előzetes modell is készült. A KIC 1066-1783 jelű, pulzáló fedési kettősre közel 80 móduszából a 7 legdominánsabbat kiválasztva, és azokat a DF módszerrel elemezve, közülük 4 biztos és 2 kevésbé biztos módusz-azonosítást sikerült elérni. Ez az első és ezidáig egyedülálló sikeres alkalmazás.

Az objektum egy szoros fedési kettős, melyben legalább az egyik komponens többimódusú pulzációkat mutat. A fedések alatt látható modulációk valószínűsítik azok nemradiális jellegét. A főkomponens elfedődése részleges, a másodkomponensé viszont teljes, és mivel utóbbi esemény alatt is láthatók a pulzációk, valószínű, hogy a főkomponens a pulzáló (3. ábra).

A rendszert a Kepler 15 hónapig mérte, 1 perces felbontással; ez alatt közel 360 fedési esemény történt. Kiegészítő spektroszkópiai mérés még nincs, de az első 30 nap adatai alapján egy előzetes geometriai modellt már elkészítettek [8]. E modell előzetes voltát az is mutatja, hogy két lehetséges geometriai konfigurációt is találtak: egy féligérintkezőt és egy különállót. Közülük az első a valószínűbb, és bár a végső csak spektroszkópiai mérések birtokában mondható ki, a fedések mintavételezése szempontjából majdnem megegyeznek.

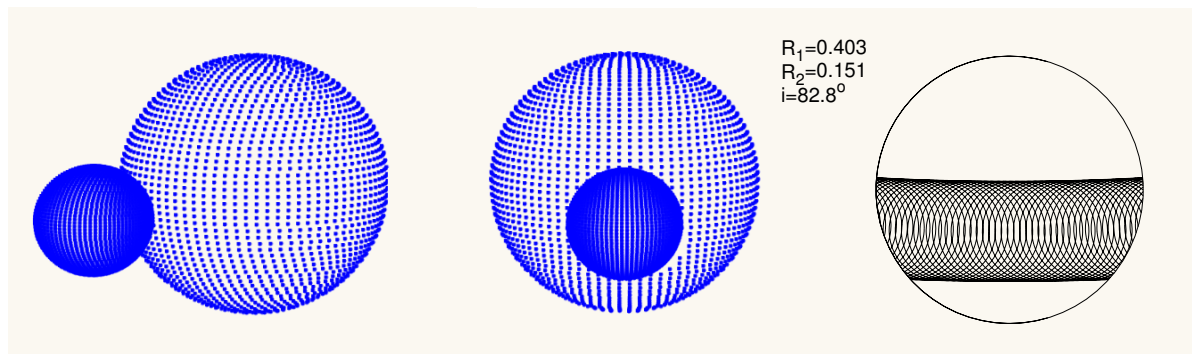
A fedési geometria az általánosabb DEM-rekonstrukciót sajnos nem teszi lehetővé, mert a kísérő csak



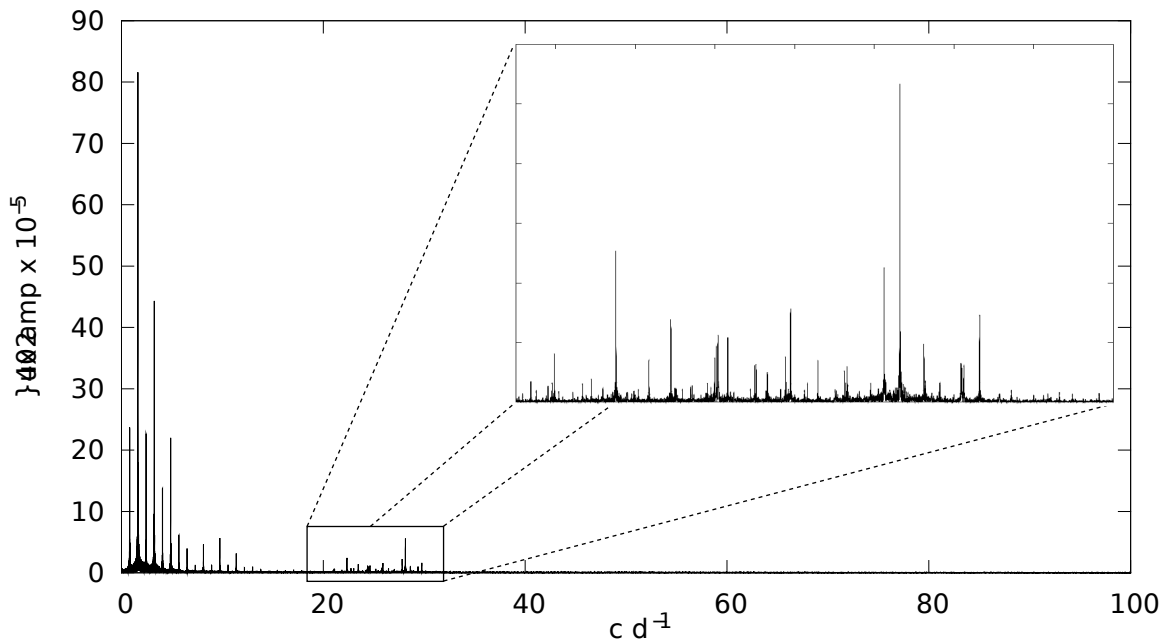
3. ábra. A KIC 1066-1783 fénygörbéjének részlete. A felső görbe (vastag, piros) a mért fluxus, a rárajzolt folytonos vékony (kék) vonal a pulzáció nélküli fedések modellezése, míg az alsó, vízszintesen húzódo görbe (sárga) az előző kettő levonásának eredménye – a pulzációk járuléka.

feleakkora, mint a pulzáló főkomponens, így utóbbinak csak egy kis sávja kerül elfedésre az egyenlítő mentén (a hajlásszög kb.  $83^\circ$ ), ennek következtében a mintavételezés a teljes sávban szimmetrikus a kísérő középpontjának vetületére nézve. A DF esetében nincs ilyen hátrány, bár az elfedődő zóna kis mérete miatt a konfiguráció szelekciós képessége várhatóan nem nagy.

A Kepler méréseinek értelmezésében általánosan véve két nehézség is adódik. Egyrészt a mérések pontossága meghaladja a jelenlegi fizikai kettősmodellek pontosságát (!), amely a geometriai modellezést bonyolítja. Másrészt, míg a földi észlelésű adatokban a nappali kényszerű megszakítások űrjei miatt rengeteg hamis frekvencia jelentkezett, és azokból kellett kiszűrni a néhány valódit, addig a Kepler folyamatos, kvázi-egyenletes mintavételezésű adatsorában minden frekvencia valódi (azaz az észlelt csillagokról származik), de olyan sok van belőlük, hogy az értelmezésük komoly fejtörést okoz. Ismeretesek pl. olyan Kepler-objektumok, amelyekben mintegy 80 frekvencia van, de az mindössze két alaphérvencia nemlineáris csatolódása és a forgási moduláció együttes következménye. A KIC 1066-1783 frekvenciaspektruma



4. ábra. A KIC 1066-1783 fedési geometriája. A nagyobbik csillag a pulzáló komponens. A jobb szélső ábra a fedések mintavételezési hálózatát mutatja; szimmetrikus jellege világosan látszik.



5. ábra. A KIC 1066-1783 pulzációs frekvenciaspektruma. Az alacsonyfrekvenciás csúcsok a fedés okozta felharmonikusok, a pulzációk a kinagyított részben találhatóak.

szintén bonyolult, legalább 200 csúcsot sikerült azonosítani benne. Ezek többé-kevésbé szabályos mintázatokba szerveződnek, a magyarázatukra tett erőfeszítések jelenleg is folynak. Azonban, a kimeneteltől függetlenül, egyszerre ennyi móduszt technikailag amúgyis lehetetlen akár DEM, akár DF alá vetni (óriási memória- illetve processzor-igény, a kis numerikus hibák nemkívánatos felerősödése garantált, továbbá a DF esetében a lehetséges kiosztások száma mérhetetlenül nagy). Ehelyett egyfajta rekurzív procedúrát végezhetünk. Az első néhány legnagyobb amplitúdójú frekvenciát kiválasztva, és a többi jelét első körben zajnak tekintve, elvégezzük azok illesztését. Majd a legjobb illesztéssel fehérítve, kiválasztható ismét néhány frekvencia, és a folyamat ismétlődhet. Tekintettel arra, hogy

- az EM képes rejtett móduszok mellett is rekonstruálni, illetve
- a DF módszere hasonló az adatsor harmonikus analízise során elvégzett sorozatos fehérítésekre, csak a fedések modulációs hatását is modellezi – tehát hatékonyabb,

e részekre bontásos elemzés nem légből kapott próbálkozás.

- A KIC 1066-1783 esetében az első 7 domináns módusz amplitúdó tekintetében jól elkülönül a többitől, így ezek illesztésével foglalkoztam.
- Mivel a hanyagolt pulzációk korrelált zajként jelennek meg, a *multiplertes illesztés* nem bizonyult eléggé szelektívnek;  $\ell = 4$ -ig elmenve, az  $5^7 = 78125$  lehetséges kombinációból az adódott a legjobbnak, amelyben mind a 7 móduszra  $\ell = 5$  multiplertet oszt ki – vagyis a legtöbb paraméterű modell. Ez azt is jelenti, hogy jelenleg a forgástengely nem volt illeszthető.
- Maradt az egyedi móduszok feltételezése, amihez a keringési síkra merőleges, „igazodott” forgástengelyt feltételeztem (szoros kettős révén, ez valószínű).
- A 7 módusz szinglettekkel való illesztésekor (ugyancsak  $\ell = 4$ -ig elmenve)  $25^7 \simeq 6 \cdot 10^9$  eset lenne lehetséges, ami technikailag megintcsak sok.
- Ezért az egyes móduszok illesztése egyenként történt.

Az ily módon leegyszerűsített módszer eredményeinek helytállóságát azzal ellenőriztem, hogy az elemzéskor rendelkezésre álló mintegy fél évnyi adatsort 6 db. 1 hónapos részre bontva és teljes egészében egyaránt DF alá vetettem, és az eredményeket egymással összehasonlítottam. Az eredmények esetleges különbözősége jelzi a módusz illesztésének sikertelenségét (ti. hogy annál a frekvenciánál inkább a korrelált zajt illesztettük), míg ha több szakaszra ugyanazt a módusz-számot kapjuk, az szignifikáns eredményt jelent.

Az analízis eredményét a 6. ábra összegzi. Az egyes móduszok szelektivitása a jobb oldali táblázatban

	Q6.1	Q6.2	Q6.3	Q7.1	Q7.2	Q7.3	Q6+Q7	Adopted (l,m)
f1	(2, 0)	(2, 0)	(1,-1)	(2, 0)	(2, 0)	(2, 0)	(2, 0)	(2, 0)
f2	(0, 0)	(0, 0)	(1,-1)	(1, 0)	(0, 0)	(0, 0)	(0, 0)	(0, 0)
f3	(1, 0)	(1, 0)	(0, 0)	(1,-1)	(1, 0)	(1, 0)	(1, 0)	(1, 0)
f4	(2, 1)	(2, 1)	(2, 1)	(2, 2)	(2, 2)	(2, 2)	(1,-1)	(2, X)
f5	(2,-1)	(2,-1)	(1,0)	(2,-2)	(3,-1)	(2,-2)	(1,-1)	(X, X)
f6	(3, 1)	(3, 1)	(3, 1)	(3, 1)	(3, 1)	(3, 1)	(3, 1)	(3, 1)
f7	(2, 0)	(2, 2)	(2,-1)	(2, 2)	(2, 2)	(2,-1)	(2, 2)	(2, X)

	Q6.1	Q6.2	Q6.3	Q7.1	Q7.2	Q7.3	Q6+Q7	Adopted (l,m)
f1	4	3	4	3	3	1	3	(2, 0)
f2	8	8	8	8	8	8	8	(0, 0)
f3	8	8	8	8	8	9	8	(1, 0)
f4	12	10	8	9	11	13	9	(2, X)
f5	13	11	14	13	10	11	11	(X, X)
f6	0	0	0	0	0	0	0	(3, 1)
f7	35	13	11	23	34	14	19	(2, X)

6. ábra. A KIC 1066-1783 hét legerősebb móduszának azonosítása. A baloldali táblázatban az oszlopok az egyes szakaszokra, illetve a teljes adatsorra kapott, valamint az elfogadott módusszámokat tartalmazzák. A jobboldali táblázatban ugyanilyen elrendezésben azon közeli esetek számát tüntettük fel, amelyek a legjobban illeszkedő eset  $\chi^2$ -éhez 1%-on belül vannak. Minél kisebb ez a szám, annál biztosabb a móduszazonosítás.

szereplő, a legjobb megoldáshoz 1%-nál közelebb eső konfigurációk számával mérhető. Minél kisebb ez a szám, annál biztosabb a megoldás. A 7-ből 4 frekvencia módusszámát sikerült viszonylag egységesen azonosítani, közülük az egyik ( $f_6$ ) igen stabilan (3, 1) (az alternatív jelöltek száma minden szakaszra 0). További két frekvencia  $\ell$ -módusszámát lehet biztonsággal megmondani. A fennmaradó  $f_5$  frekvencia paraméter ezzel szemben teljesen bizonytalan, és arra utal, hogy nem valódi gerjesztett módusz, hanem más frekvenciák csatolásának eredménye.

Az analízis még nem ért véget, és bár így előzetes részeredménynek tekinthető, melyet a csoport többi tagja által elvégzendő spektroszkópiai elemzések után lehet véglegesíteni, mégis a kidolgozott módszerek első sikeres alkalmazását jelenti.

### 2.2.2. További rendszerek

A projekt tervezetének 4. pontját okafogyottá nyilvánítottam: a Kepler folyamatosan gyűlő adatai hosszú ideig kiaknázzható forrást jelentenek. Földi műszerekkel végzett észlelések sem pontosságban, sem mintavételezésben nem vehetik fel vele a versenyt. Habár jelenleg csak a megvizsgált KIC 1066-1783 rendszerről született geometriai modell, a KASC 9-es munkacsoportjában több hasonló csillagról folyik hasonló kutatás, melyeknek szintén tagja vagyok, így a közeljövőben számos újabb rendszer válik feltérképezhetővé a DEM/DF együttes révén.

## 3. A projekt során született közlemények

- [1 ] Latković, O.; Bíró, I.B.: *Photometric mode identification methods in eclipsing binaries* 2008, CoAst, 157, 330
- [2 ] Bíró, I.B.; Latković, O.: *Mapping pulsations on rapid rotators in eclipsing binaries* 2009, CoAst, 159, 127
- [3 ] Bíró, I.B.; Nuspl J.: *Photometric mode identification methods in eclipsing binaries I. - Dynamic Eclipse Mapping* 2011, MNRAS, 416, 1601

Az összes közlemény tartalmaz hivatkozást a projekt azonosítószámára.

A KIC 1066-1783 eredményeiről még nem született közlemény, bár egy belső KASC-workshop keretében beszámoltam róluk. A Kepler adataihoz elsőkézből kizárólag KASC-tagság révén lehet hozzáférni. Ez bizonyos megkötöttségekkel jár, úm: bizonyos mértékű titoktartási kötelezettség a közlemény elfogadásáig; az egyes csillagokon kutatócsoportok dolgoznak, amelyekhez csatlakozva lehet bekapcsolódni azok vizsgálatába; a csoportok a publikációkat közösen készítik, s azok a beküldés előtt a KASC egy előzetes belső bírálati procedúráján esnek át. Eme hátrányokat (többszerzős cikk, melyben az elsőszerzőség nem garantált) ellensúlyozza, hogy a móduszazonosításhoz szükséges két munkafázis eredményei, úm. a pulzációs frekvenciák meghatározásához és a kettős geometriai modelljéhez – is elérhetőek, a csoport többi tagja révén. (A Kepler-adatok

ugyan egy idő után publikussá válnak, a szükséges információkat előbb-utóbb leközzlik, de annak kivárása csak tovább halasztotta volna az első alkalmazást.)

Fentiek alapján az elkövetkező két éven belül olyan további közlemények fognak megjelenni, melyek befolyással lesznek a projekt sikerességének megítélésére. Ezért kérem a bizottságot, hogy a jelentésben foglaltak alapján született minősítést a később megjelent közlemények figyelembe vételével kiegészítő eljárásban később módosítsa.

#### 4. Irodalomjegyzék

- [4 ] Bíró I. B., Nuspl J.: *Mode Identification of Nonradial Pulsations by Image Reconstruction in Eclipsing Binary Systems*  
2005, ASPC, 333, 221
- [5 ] Albrecht S., Reffert S., Snellen I. A. G., Winn J. N.: *Misaligned spin and orbital axes cause the anomalous precession of DI Herculis*  
2009, Nature, 461, 373
- [6 ] Pavlovski, K.; Southworth, J.; Kolbas, V.: *Apsidal Motion of the Eclipsing Binary AS Camelopardalis: Discrepancy Resolved*  
2011, ApJ Letters, 734, 29
- [7 ] M. Vučković, C. Aerts, R. Østensen, G. Nelemans, H. Hu, C.S. Jeffery, V.S. Dhillon, and T.R. Marsh: *The binary properties of the pulsating subdwarf B eclipsing binary PG 1336-018 (NY Vir)*  
2007, A&A, 471, 605
- [8 ] Southworth, John; Zima, W.; Aerts, C.; Bruntt, H.; Lehmann, H.; Kim, S.-L.; Kurtz, D. W.; Pavlovski, K.; Prša, A.; Smalley, B.; and 7 coauthors: *Kepler photometry of KIC 10661783: a binary star with total eclipses and  $\delta$  Scuti pulsations*  
2011, MNRAS, 414, 2413