

Derekas Alíz

Különleges pulzáló és kettősök: új kutatási eredmények úrcsillagászati, több-szín fotometriai és spektroszkópiai módszerekkel

Akadémiai doktori értekezés opponensi bírálata

Paparó Margit

Már a dolgozat címe is rendkívül kompakt módon összegzi az értekezés mondanivalóját, a kutatási területeket, ahol a tudományos eredmények születtek. A jelölt kutatása két, korábban is meglévő hazai kutató területet ötvöz, a pulzációt és a kettőséget, de olyan szinten, amit a korábbi adatok nem tettek lehetővé. Az értekezés bevezető része bemutatja, hogy a jelölt mindkét területen kiválóan felkészült.

Az úrcsillagászat utóbbi évtizedben végbement fejlődése elérhetővé tette mindenki számára a folyamatos, nagy pontosságú adatokat nagyszámú csillagra, köztük pulzáló és/vagy kettős csillagokra. Ezek alkalmazása, az adott kutatási célnak megfelelően tovább alakítva, biztosítja az eredményekhez felhasznált adatok hitelességét és újdonságát. A saját, földi bázisú több-szín fotometriai és spektroszkópiai észlelések célirányosan egészítik ki az úrcsillagászati adatokat. Imponáló, hogy olyan sok távcső mérési lehetőségihez jutott hozzá. Ezek eredetisége nem vonható kétségbe. Főleg a nagy távcsövekkel készült spektrumok adnak meggyőző igazolásokat egyes eredményeknél. A tézisek említik, hogy ezek saját pályázatok, illetve együttműködések keretében készültek. Hiányoltam, hogy nincs pontosítva az értekezésben, hogy mikor milyen módon készültek a spektrumok. Az azonban egyértelmű, hogy minden esetben a jelölt szervezése áll az adatok létrehozása mögött.

A kutatás fő célja a pulzáció és a kettőség kétirányú kapcsolata: a pulzáló komponens tartalmzó fedési kettősök kimutatása és vizsgálata, valamint a pulzáló változókhöz tartozó kísérők keresése, illetve a kísérő csillag pulzációra gyakorolt hatása (árapály erők, perturbált oszcillációk). A kettőség ismerete fontos mind a távolságmeghatározás, mind a pulzációs modellek tesztelése szempontjából. Az értekezés minden jelzett kétirányú kapcsolatra példát mutat.

Mindkét terület jól kiforrott feldolgozási módszerekkel rendelkezik, amit a jelölt nagy biztonsággal használ, legyen az frekvencia analízis (Period04, O-C, PM, FM, wavelet módszer) a pulzációnál, vagy a pályaparaméterek meghatározása a kettősökre, a tranzitgörbék modellezése (FM, PM, TLCM módszer), illetve az elméleti spektrumok illesztése (specifikus programok vagy az IRAF FXCOR használata). Érdemes megemlíteni az értekezés kiterjedt (12 oldalas) irodalmi hivatkozásait. Ezekben, dícséretesen, régebbi cikkek is szerepelnek, annak ellenére, hogy manapság, a publikációs özönvíz eredményeként, csak az utolsó öt év eredményeire hivatkoznak a folyóiratokban. A kettőscsillagok pályaparamétereinek meghatározása időtálló feladat, így ott különösen jogos a régebbi cikkekre történő hivatkozás.

Ezek vezettek el az új, eredeti tudományos eredményekhez, amelyeket a legrangosabb nemzetközi csillagászati folyóiratokban publikált (Science, A&A, MNRAS, ApJ). A tézisekben felsorolt eredményekhez 11 cikkre hivatkozott, ahol 6 cikknél első szerző, míg a többinél második illetve harmadik szerzőként szerepel. A jelenkor divatjának megfelelő, időnként több tucat társszerzős cikkek fényében fontos látni, hogy a jelölt meghatározó volt ezen eredmények elérésében.

1.) Az eredmények közül a legimponálóbb az első tézispontban szerepeltetett hármass fedési rendszer, a HD 181068, felfedezése és interpretálása, ami különösen rangos folyóiratban, a Science-ben jelent meg. Már a Kepler úrtávcsővel kapott fénygörbe azt sugallta, hogy három csillag kölcsönös fedései láthatók a pulzáció mellett. Nagypontosságú, dedikált spektrumokkal igazolta, hogy a csillagok fizikailag összetartoznak, meghatározta a fényviszonyokat, becslést adott a komponensek tömegére, leszámaztatta a főcsillag fizikai paramétereit (T_{eff} , $\log g$, M/H , vsini, L ,

M_v). Az újjonon felfedezett rendszerben a vörös óriás körül egy vörös törpéket tartalmazó kettős kering 45.5 napos periódussal, miközben a vörös törpék is fedik egymást 0.9 napos periódussal. A fénygörbe 6-8 óráig tartó felfényesedéseit flareként interpretálta, ami a vörös törpe párhoz köthető. A vizsgálat kiterjedt a főcsillag frekvenciaspektrumának kisfrekvenciás tartományára, ahol csak a kettősség árapály hatására gerjesztett oszcillációk vannak jelen, a vörös óriásokra jellemző Nap-típusú oszcillációt nem lehet kimutatni. Meglepő módon az árapály oszcillációk szintén a vörös törpe kettős keringési periódusához köthetők. A rendszer vizsgálata egyéretlműen új eredmény. Az értekezés tárgyalja, hogy mennyire ritkák az ilyen kompakt hierarchikus hármas rendszerek. Hiányoltam, hogy néhány szóban nem tér ki arra, hogy hogyan alakulhat ki ilyen speciális kompakt rendszer. Ez a hiány, persze nem csökkenti az eredmények értékét.

2.) A WASP-33 csillagot, ami körül egy jupitertömegű bolygó kering, meglehetősen szoros pályán, a TESS űrtávcső adatain vizsgálta. A hibrid Delta Scuti – Gamma Doradus csillagok egyértelműen pulzálnak két tartományban, p-módusú és g-módusú frekvenciákkal. A vizsgálatoknál figyelembe kellett venni a csillag gravitációs szélsötétedését, mivel ez aszimmetrikussá teszi a fedést. A WASP-33 csillag+bolygó rendszer esetében az az újdonság, hogy a meghatározott frekvenciáknál egyértelműen bizonyítani lehetett, hogy a frekvenciák a keringési periódus harmonikusaihoz esnek közel. Az árapály kölcsönhatás a pulzációs frekvenciákat elhangolja, mind a p-módusú, mind a g-módusú tartományban, vagyis árapályperturbált oszcillációt sikerült kimutatni, első ízben. Ez a vizsgálat egy társobjektum hatását mutatja a pulzációra.

3.) A KIC 5709664 szintén hibrid Delta Scuti – Gamma Doradus csillag, amelynél 38 pulzációs frekvenciát sikerült meghatározni a szignifikancia szint felett a nagy pontosságú Kepler űradatok alapján. A frekvenciamodulációs vizsgálat a rendszer kettősségét sugallta, amit nagy távcsöveken kapott spektrumokkal igazolt. A kettősség igazolása azért jelentős, mert az átfogó vizsgálatok alapján a hibrideknél az átlagnál lényegesen kevesebb kettős rendszert ismerünk. Ennél a kettősnél meghatározta mindkét komponens radiális sebességét és a pályaparamétereket, mind fotometriai, mind spektroszkópiai módszerrel. Sőt, a kombinált megközelítés a pályaparaméterek finomítását is lehetővé tette. A pulzációs frekvenciákat második és harmadik felhangú radiális módusként azonosította, míg a kisfrekvenciás részen egy r-módust, illetve a forgáshoz kapcsolódó 2.5 napos periodicitást talált.

4.) Ebben a tézisponban cefeida csillagok kettősségét bizonyítja, illetve gyanítja fotometriai és spektroszkópiai mérések alapján. Az irodalmi adatok összegyűjtése mellett, a korai méréseket még Ausztráliában készítette, amelyeket később a FEROS, illetve CORALIE spektrográfok spektumaival egészített ki. A cefeida csillagok távolságindikátorok, ezért fontos tudni, ha kettős rendszerhez tartoznak. Ugyanakkor nagy erőfeszítés árán is csak kevésre lehet egyértelmű kijelentést tenni. A periódusok hosszúak, az időalapok többnyire rövidek. Az űradatok hosszabb időalapja előrelépést jelent, de még van bizonytalanság. A 11 vizsgált cefeidából a V419 Cen, V898 Cen és az ST Vel csillagok eredményeit emelném ki. A V419 Cen csillagnál a keringési periódust több évtizedről néhány évre sikerült pontosítani. A V898 esetében 2000-3000 napos periódust határozott meg, kizárólag a saját spektroszkópiai mérései alapján. A csillag fizikai paramétereit is meghatározta. Az ST Vel csillagra több száz napos periódust határozott meg, ami meglehetősen rövid a spektroszkópiai kettős cefeidáknál. Felmerült a kérdés bennem, hogy vajon kiválasztási effektus-e, hogy a vizsgált csillagok többségénél a periódusok növekednek, noha cefeidáknál a pulzációs periódus csökkenhet is?

5.) Az űrkorszak előtt rendelkezésre álló OGLE, MACHO adatok többnyire csak a cefeidák általános jellemzésére voltak elegendőek. A hosszú időalapú, folyamatos adatok tették lehetővé a pulzációs periódusok rövidtávú, részletes vizsgálatát. A Kepler űradatok egyetlen cefeidájánál, a V1154 Cygni cefeida csillagnál meglepő jelenséget sikerült kimutatni. A fő frekvencia és a második, harmadik felharmonikus 159 napos modulációja mellett (ami nem kettősségből ered) a pulzációs periódus/fénygörbe alakja rövid távon (közel 15 cikluskülönbségig) véletlenszerűen változik (az O-C és Fourier paraméterek alapján), míg hosszabb időalapon számítva a periódus konstans. Messzemutató lenne, ha ez a pulzációs modellek finomítását inspirálná. Jelzést talált a granulációs zajra, ugyanakkor nem talált Nap-típusú oszcillációt.

6.) A kisbolygó keresés közben talált „eltűnő” objektum a fotometria és a nagyfelbontású spektrumok alapján sdO+dM fedési kettős rendszernek bizonyult. A több-szín fotometriai mérések (WHT, La Palma) alapján a fedés mélysége 6 magnitúdó r színben és 5 magnitúdó i színben. A teljes fedés csak kb 5.7 perc, míg a főminimum teljes időtartama kb 24 perc. A 10.4 m GTC (La Palma) távcsővel készült spektrumok kétvonalas kompozit spektrumok, ami megerősíti a kicsi forróbb és a nagyobb hideg komponens jelenlétét, erős reflexiós besugárzással. Kísérlet történt a radiális sebesség és a tömegarány meghatározására is. A gyorsfotometria nem mutatott oszcillációt az sdO csillagban.

A téziseket elfogadom új, saját eredményekként.

Az értekezés nagy gonddal készült. Néhány betűhiba (értekezés 9. oldal, tézisek 3. oldal 1.sor) található csak. Azonosítási probléma van a 41-42. oldalon. Szerepel az abszolút magnitúdó (M) és a tömeg (M) jelölés. Az utóbbira a gót M betűt szoktuk használni. Gondolom nem könnyű számítógépesen megoldani, de valahogy mégis meg kellett volna különböztetni. A WASP-33 csillag esetében az 53., 59., és 61. oldalon a „gazdacsillag” szófordulattal találkoztam. Számomra ez azt sugallja, mintha a bolygó élősködő lenne a csillagon.

Az értekezés megfelelő színvonalú, önálló új tudományos eredményeket tartalmaz. Minden tézispontot elfogadok. Nyilvános vitára alkalmasnak tartom.

Budapest, 2023. 11. 20.

Paparó Margit
MTA doktora