

Szegedi Tudományegyetem
Természettudományi és Informatikai Kar
Fizika Doktori Iskola

A fémtartalom szerepe a csillagpulzációban

Doktori (PhD) értekezés tézisei

Sziládi Katalin

Témavezető: *Dr. Vinkó József* tudományos főmunkatárs
MTA CSFK Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet
SZTE Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék

Konzulens: *Dr. Szabados László* kutató professor emeritus
MTA CSFK Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet

Szeged, 2018

1. Bevezetés

A klasszikus cefeidáknak nevezett változócsillagok asztrofizikai és kozmológiai szempontból is kiemelkedően fontos objektumoknak számítanak. Ezek a csillagok olyan nagy tömegű óriás-, vagy szuperóriás csillagok, amelyek a Hertzsprung–Russell Diagram (HRD) instabilitási sávjában helyezkednek el, és nagy amplitúdójú, stabil, periodikus fényváltozást mutatnak. A fényváltozást ezen csillagok radiális rezgése, pulzációja okozza, melyet a kappa-mechanizmusnak nevezett asztrofizikai folyamat gerjeszt és tart fenn.

A pulzáló csillagok, így a cefeidák asztrofizikai jelentőségét az adja, hogy ezen csillagok rezgéseinek tanulmányozása révén a radiálisan pulzáló csillagok belső szerkezetét és evolúcióját ismerhetjük meg. A kozmológiában elsősorban távolságmérő objektumoknak használják a cefeidákat, mivel a 100 éve felfedezett periódus-fényesség reláció miatt akár extragalaktikus (több megaparszekre kiterjedő) távolságok közvetlen mérésére is alkalmasak.

A klasszikus cefeidák egy szűkebb csoportját alkotják az egyszerre két rezgési módusban pulzáló kétmódusú vagy beat cefeidák. Ezen csillagok pulzációjának modellezése már az 1990-es években elkezdődött, amelynek során fény derült arra, hogy a pulzációs periódusok aránya (P_1/P_0) szorosan összefügg a csillag egyéb fizikai paramétereivel, például az effektív hőmérséklettel, tömeggel, luminozitással és a fémtartalommal. Mindazonáltal az elméleti modellek helyességének ellenőrzésére sokáig csak korlátozottan volt lehetőség, hiszen például a fémtartalomtól való függés vizsgálatára modern megfigyelő műszerekkel végzett precíz, nagyfelbontású spektroszkópiai mérésekre van szükség.

A 2000-es évek elejére még mindig csak kb. kéttucatnyi kétmódusú cefeidát ismertek a Tejútrendszerben. Ezzel szemben a Nagy- és Kis-Magellán-felhőben a MACHO és OGLE égboltfelmérő programok eredményeként több száz ilyen cefeidát azonosítottak. Sajnos műszertechnikai korlátok miatt mindmáig csak a tejútrendszerbeli (galaktikus) beat cefeidák fémtartalmát lehet nagyfelbontású spektroszkópiával közvetlenül megmérni. Éppen ezért napjainkra ismét előtérbe kerültek olyan empirikus, vagy félempirikus módszerek, amelyek pusztán fotometriából, a fénygörbék alakjából próbálnak következtetni a pulzáló csillagok fizikai paramétereire, többek között a fémtartalmára. Ezen kérdések tanulmányozásával foglalkoztam a doktori disszertációban bemutatott munkámban.

2. Célkitűzések, vizsgálati módszerek

Doktori munkám során célul tűztem ki az egyszerre két módusban pulzáló beat cefeidák fémtartalma és pulzációs tulajdonságai közti összefüggések tanulmányozását.

A galaktikus beat cefeidák még elegendően fényesek ahhoz, hogy kellően nagy távcsővel nagyfelbontású spektroszkópiai mérésekből közvetlen fémtartalmakat határozzunk meg. Ennek érdekében 2004-ben külföldi együttműködő partnerünk közreműködésével méréseket végeztünk az Európai Déli Obszervatórium (ESO) chilei La Silla Obszervatóriumának 2,2 méteres távcsövére szerelt

FEROS nevű nagyfelbontású echelle-spektrógráffal. A mérés eredményeként az akkor ismert 23 beat cefeidából 17 olyan csillagról készítettünk spektrumokat, amelyekből 4-et korábban csak fotometriai módszerekkel vizsgáltak. Ezen mérések kiértékeléséből a beat cefeidák fémtartalmának és periódusarányának (korábban elméleti úton felismert) összefüggését igyekeztem pontosítani.

A nagyfelbontású optikai spektroszkópia a jelenleg ismert legpontosabb módszer a csillagászati objektumok kémiai összetételének meghatározására. A módszer hatékony gyakorlati alkalmazásához olyan színeképekre van szükség, amelyek minél nagyobb spektráltartományt fednek le minél nagyobb felbontással. Erre leginkább a keresztezett diszperziós elrendezést használó echelle spektrógráfok alkalmasak, ezért esett a választás a chilei FEROS spektrógráfra. A digitális echelle spektrumok kiredukálása és kalibrálása egy soklépéses, komplex folyamat, amely nemcsak a használt műszer specialitásaitól, hanem a vizsgált objektumok jellemzőitől is erősen függ. Munkám egy jelentős részében ezért a FEROS spektrógráffal készült echelle spektrumok optimális redukálására és kalibrációjára fejlesztettem ki egy lehetséges eljárást.

Az Tejútrendszer beat cefeidáira kapott eredményeim felhasználásával részletesebben megvizsgáltam a Nagy- és Kis Magellán Felhők kétmódusú cefeidáit, különös tekintettel a fénygörbék Fourier-paraméterei és a fémtartalom közti összefüggésekre. Ennek érdekében összegyűjtöttem az irodalomból ismert fotometriai és spektroszkópiai adatokat. A fénygörbék alakjának jellemzésére a csillagászatban is régóta, kiterjedten használt módszer a Fourier-analízis, ezért én is ezt alkalmaztam. Fourier-analízissel meghatároztam a fénygörbék alakját jellemző amplitúdó- és fázisarányokat, majd korrelációkat kerestem ezen Fourier-paraméterek és a korábbi eredményeimből származó fémtartalmak között.

3. Új tudományos eredmények

1. Új fizikai paraméterek és fémtartalmak meghatározása kétmódusú cefeidákra

- Nagyfelbontású spektroszkópiai mérésekből meghatároztam 17 két módusban pulzáló galaktikus cefeida csillag fizikai paramétereit: effektív hőmérsékletüket (T_{eff}), felszíni gravitációs gyorsulásukat ($\log g$), valamint a fémtartalmukat jellemző paramétert, a vas hidrogénhez képesti relatív gyakoriságát a Naphoz viszonyítva ($[\text{Fe}/\text{H}] = \log(N_{\text{Fe}}/N_{\text{H}}) - \log(N_{\text{Fe}}/N_{\text{H}})_{\odot}$). A mintából 5 csillagot korábban csak fotometriai úton vizsgáltak, így ezekre a csillagokra elsőként határoztam meg közvetlenül spektroszkópiai fémtartalmat. Évekkel később az irodalomban újonnan megjelent fémességmérésekkel összevetve konzisztens skálán alapuló fémtartalmakat határoztam meg a vizsgált objektumokra, csökkentve ezzel az évtizedekkel korábbi méréseket erősen befolyásoló szisztematikus eltéréseket.

A tézisponthoz tartozó publikációk: [1], [2], [3]

2. Periódus - periódusarány - fémtartalom reláció pontosítása

- Saját méréseim felhasználásával empirikus úton meghatároztam és pontosítottam a kétmódusú cefeidákra vonatkozó periódus - periódusarány - fémtartalom ($\log P - P_1/P_0 - [\text{Fe}/\text{H}]$) összefüggést. A reláció alacsonyabb fémességek felé történő extrapolálásával becslést tettem a Kis- és Nagy-Magellán-felhőkben található kétmódusú cefeidák fémtartalmára.

A tézisponthoz tartozó publikációk: [2], [3]

3. A fémtartalom becslése fotometriából

- Irodalmi forrásokból összegyűjtöttem az OGLE-III és OGLE-IV égboltfelmérő programok fotometriai adatait a Nagy- és Kis Magellán Felhőkben található kétmódusú cefeidákról. Ezekből kiválogattam azokat, amelyekben egyszerre az alpmódus és az első felharmonikus van gerjesztve. Az így kapott, összesen 98 csillagot tartalmazó mintában Fourier-analízis segítségével meghatároztam a fénygörbék alakját leíró amplitúdó- és fázisarányokat, valamint ugyanezen csillagok $[\text{Fe}/\text{H}]$ fémtartalmát az előző tézisponthoz említett periódus-periódusarány-fém-tartalom reláció segítségével.
- Megállapítottam, hogy a kétmódusú cefeidák fémtartalmára leginkább érzékeny fotometriai paraméterek az adott módus amplitúdója, valamint az R_{21} jelű amplitúdóarány (az első felhang és alaphang amplitúdóinak aránya). A fundamentális módus esetén kimutatható volt még a az első felhang és az alaphang fáziskülönbségei ($\varphi_{21} = \varphi_2 - 2\varphi_1$) közötti korreláció is, ez azonban az első felharmonikus esetén (feltehetően a kisebb jel/zaj viszony miatt) már nem volt szignifikáns.

-
- Kimutattam, hogy az irodalomban korábban közölt relációk, amelyek a kizárólag fundamentális módusban pulzáló klasszikus cefeidák fémtartalma és Fourier-paraméterei közötti kapcsolatot írják le, nem használhatóak a Magellán Felhők rövid periódusú, kisebb amplitúdójú, alacsonyabb fémtartalmú kétmódusú cefeidáira. Helyettük alternatív formulák használatát javasoltam, amelyek a vizsgált periódus-, amplitúdó- és fémességtartományon megbízhatóbb becsléseket tesznek lehetővé.

A tézispontokhoz tartozó publikációk: [4]

4. A tézispontokhoz kapcsolódó tudományos közlemények

[1] **Sziládi, K.**, Vinkó, J., Poretti, E., Szabados, L., and Kun, M., "Echelle Spectroscopy of Double-Mode Cepheids", in: *Astrophysics of Variable Stars*, Edited by Sterken, C. and Aerts, C., ASP Conference Series, Vol. 349, p. 347 San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, (2006)

[2] **Sziládi, K.**, Vinkó, J., Poretti, E., Szabados, L., and Kun, M., "New homogeneous iron abundances of double-mode Cepheids from high-resolution echelle spectroscopy", *Astronomy and Astrophysics*, 473, pp. 579-587, (2007)

[3] **Sziládi, K.**, Vinkó, J., Szabados, L., Kun, M., and Poretti, E., "Iron Abundances of Southern Double-mode Cepheids from High-resolution Echelle Spectroscopy", in: *Precision Spectroscopy in Astrophysics*, Proceedings of the ESO/Lisbon/Aveiro Conference held in Aveiro, Portugal, 11-15 September 2006. Edited by N.C. Santos, L. Pasquini, A.C.M. Correia, and M. Romaniello; Garching, Germany, pp. 169-172 (2008)

[4] **Sziládi, K.**, Vinkó, J. Szabados, L., "Metallicity Estimates for Double-Mode Cepheids from Photometry" *Acta Astronomica*, közlésre elfogadva (2018)

5. Egyéb, a tézisekhez nem kötődő tudományos közlemények

Csak, B., Kiss, L. L., Szabo, Gy., Sarneczky, K., and **Sziladi, K.**, "New Field Variable Stars I", *Information Bulletin on Variable Stars*, 4875 (2000)

Csak, B., Kiss, L. L., **Sziladi, K.**, Sarneczky, K., and Szabo, Gy., "New Field Variable Stars II", *Information Bulletin on Variable Stars*, 4881 (2000)

Csak, B., Kiss, L. L., Szabo, Gy., **Sziladi, K.**, and Sarneczky, K., "New Field Variable Stars III", *Information Bulletin on Variable Stars*, 4989 (2000)

Kiss, L. L., Csák, B., Szatmáry, K., Furész, G., and **Sziládi, K.**, "Spectrophotometry and period analysis of the sdB eclipsing binary HW Virginis", *Astronomy and Astrophysics*, 364, pp. 199-204 (2000)

Kiss, L. L., Thomson, J. R., Ogloza, W., Furész, G., and **Sziládi, K.**, "The 2000 outburst of the recurrent nova CI Aquilae: Optical spectroscopy", *Astronomy and Astrophysics*, 366, pp. 858-864 (2001)

Vinkó, J., Csák, B., Csizmadia, Sz., Furész, G., Kiss, L. L., Sárneczky, K., Szabó, Gy., **Sziládi, K.**, and Bíró, I. B., "Distance to the Active Galaxy NGC 6951 via the type Ia Supernova 2000E", *Astronomy and Astrophysics*, 372, pp. 824-832 (2001)

Kiss, L. L., Szabó, Gy. M., **Sziládi, K.**, Furész, G., Sárneczky, K., and Csák, B., "A variable star survey of the open cluster M 37", *Astronomy and Astrophysics*, 376, pp. 561-567 (2001)

Szabó, Gy. M., Kiss, L. L., Sárneczky, K., and **Sziládi, K.**, "Spectrophotometry and structural analysis of 5 comets", *Astronomy and Astrophysics*, 384, pp. 702-710 (2002)

Vinkó, J., Bíró, I. B., Csák, B., Csizmadia, Sz., Derekas, A., Furész, G., Heiner, Z., Sárneczky, K., Sipocz, B., Szabó, Gy., Szabó, R., **Sziládi, K.**, and Szatmáry, K., "The Type Ia Supernova 2001V in NGC 3987", *Astronomy and Astrophysics*, 397, pp. 115-120 (2003)

Veréb, G., Zakar, M., Kovács, I., **Pappné Sziládi, K.**, Kertész, Sz., Hodúr, C., László, Zs., "Effects of pre-ozonation in case of microfiltration of oil contaminated waters using polyethersulfone membrane at various filtration conditions", in *Desalination for the Environment Clean Water and Energy*. 318 p., Róma, Olaszország, 2016.05.22-2016.05.26. Róma: p. 181. 1 p. (2016)

Horváth, Zs. H., Szeg, I., Szabó P., B., **Papp-Sziládi, K.**, Véha, A., "Change of the colour agent content of paprika powders with added oleoresin in course of storage" In: *Szent István Egyetem Élelmiszertudományi Kar; Proceedings of 1st International Conference on Biosystems and Food Engineering.*; Budapest, Magyarország, 2016.12.08 Budapest: Szent István Egyetem, Élelmiszertudományi Kar, 2016. Paper E-120. 8 p. (2016)

Beszédes, S., **Papp-Sziládi, K.**, Keszthelyi-Szabó, G., Hodúr, C., "Detection of Biodegradation Degree of Sludge Using Dielectric Measurement" In: *Monostori Tamás (szerk.) 15th Wellmann International Scientific Conference: book of abstracts: Towards sustainable agriculture: an interdisciplinary approach.* 79 p.; Hódmezővásárhely, Magyarország, 2017.05.03; Szegedi Tudomány-

egyetem Mezőgazdasági Kar, 2017. p. 26. (2017)

Veréb, G., Zakar, M., Kovács, I., **Pappné Sziládi, K.**, Kertész, Sz., Hodúr, C., László, Zs., "Effects of pre-ozonation in case of microfiltration of oil contaminated waters using polyethersulfone membrane at various filtration conditions", DESALINATION AND WATER TREATMENT, 73, pp. 409-414. (2017)

Kovács, R., **Sziládi, K.**, Keszthelyi-Szabó, G., Beszédes, S., "Mérési körülmények hatásának vizsgálata folyadékok dielektromos jellemzőinek meghatározásánál" JELENKORI TÁRSADALMI ÉS GAZDASÁGI FOLYAMATOK, 12:(4) pp. 49-59. (2017)