

DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

RR LYRAE ÉS TÖRPECEPHEIDA CSILLAGOK TÖBBSZÖRÖS PERIODICITÁSA
ÉS PERIÓDUSVÁLTOZÁSAI

Írta:

SZEIDL BÉLA

a fizikai tudományok kandidátusa

BUDAPEST
1984MAGYAR
TUDOMÁNYOS AKADEMIA
KÖNYVTÁRA

Hozott anyagról sokszorosítva

8515804 MTA Sokszorosító, Budapest. F. v.: dr. Hécsey Lászlóné

I. A FELADAT

Az RR Lyrae és törpecepheida csillagok a Hertzsprung - Russell diagram instabilitási sávjának alsó tartományában helyezkednek el. Sokáig azonos típusu változócsillagoknak is vélték őket. Az RR Lyrae csillagok az óriáságból tömegvesztéssel jutnak a horizontális ágra, a mag-hélium égés állapotában vannak, és a centrális tartományukban lévő He elégetését követően az aszimptotikus ág irányába fejlődnek. A mező RR Lyrae csillagok számos megfigyelhető paraméterükben heterogén csoportot képeznek, ezért célszerűnek látszik, hogy a gömbhalmazok RR Lyrae csillagainak különös figyelmet szenteljünk. Egy gömbhalmazon belül a csillagok azonos eredetűek és ezért az effektusok tisztában vizsgálhatók.

A törpecepheida típusu változók (legalábbis közülük az I. populációs objektumok) a δ Scuti csillagok nagyamplitudójú csoportját képezik. A fősorozattól elfejlődő csillagok. Vagy még a mag-hidrogén égés, vagy a mag-kontrakció és "shell"-hidrogén égés állapotában vannak.

Az RR Lyrae és törpecepheida csillagok fényváltozásának mechanizmusa azonos, a radiális csillagpulzáció. Fényváltozásuk viselkedésének összehasonlítása éppen ezért érdekes megállapításokra ad alkalmat: a különbségek eltérő fejlődési állapotukra vezethetők vissza.

A változócsillagok általában fontos objektumok az asztrofizikában, hiszen a bekövetkező változásokat (fényváltozás lefutása, a légkör mozgásának radiális sebességváltozása, hőmérsékletváltozás, stb.) jellemző paraméterek az ilyen típusu csillagok belső szerkezetéről adnak fontos információkat. Az RR Lyrae és törpecepheida csillagok periodikus fényváltozásai igen jellegzetes változásokat mutatnak: egyrészt a pulzációs periódusok lassu monoton, ugrásszerű vagy szabálytalan változásokat szenvedhetnek néhány évtizedes időintervallum alatt, másrészt a csillag a periodikus változásokra rakódó, ugyancsak periodikus, másodlagos változásokkal is rendelkezhet, melynek periódusa nap vagy hónap nagyságrendű. Az értekezés e két kérdéskörrel foglalkozik.

A periódus, amely igen nagy pontossággal meghatározható, a

csillag tömegétől és luminozitásától (vagy tömegétől és fejlődési állapotától) függ. A csillag fejlődése során a periódus változik, és néhány évtizedes megfigyelésből ezek a változások már kimutathatók. A csillag szerkezetének változásában az evolúciós folyamatok mellett azonban más tényezők is közrejátszhatnak. A héliumot égető mag és környezete között fellépő keveredési folyamatok a periódus hirtelen vagy viszonylag gyors folytonos változásához vezethetnek. Ugyanakkor bizonyos légköri folyamatok is képesek erős periódusváltozásokat produkálni. Végső soron hosszú időskálán viszont a fejlődésből eredő változásoknak kell döntővé válnia. A többszáz RR Lyrae csillagot tartalmazó gömbhalmazok vizsgálata különösen jó lehetőséget ad a periódusváltozások tanulmányozására. A törpecepheida csillagok fejlődésüknek még korai szakaszában vannak, magjuk He-ot nem éget, így keveredési folyamatok sem mennek végbe. Ennek megfelelően egyszerű periódusváltozásokat várunk, melyek a csillag fejlődését tükrözik.

A többszörös periodicitás is szoros kapcsolatban van a csillagok felépítésével. Mind az RR Lyrae, mind pedig a törpecepheida csillagok rövidperiódusu modulációja ($P_m \approx 3P_0$) az alap és az első felharmonikus rezgések együttes jelenlétére vezethetők vissza (a VZ Cnc kivételével, amelyben az első és második felharmonikus rezgés van gerjesztve). Különösen fontos szerepet játszik az AC Andromedae, amelyben az alap, első és második felharmonikus rezgés jelenléte egyértelműen kimutatható. Ez az egyetlen ismert változócsillag, amelyben három radiális pulzációs rezgés együttesen gerjesztve van, és a többmódusu rezgések vizsgálatában a pulzációelmélet számára egyedülálló lehetőséget kínál.

A hosszuperiódusu moduláció ($P_m \approx 100P_0$), vagy más néven Blazhko-effektus az RR Lyrae csillagok mintegy 30%-ánál lép föl. (Ezt a jelenséget törpecepheida csillagoknál még nem figyelték meg.) A gyakoriságvizsgálatok fontosak, mert a periódus és egyéb paraméterek (pl. fémtartalom) szerinti eloszlás az effektus értelmezésénél lényeges lehet. Az effektus legfontosabb jellemzője a periódusa. Ezt mintegy 40 csillagra ismerjük. Részletesebb fotometriai vizsgálatok csak mintegy tíz csillagra állnak rendelkezésre. Közülük is csupán az RR Lyr volt több éven át folyamatosan megfigyelve, főleg a szabadsághegyi csillagvizsgálóban. Ez a megfigyelési anyag nyújtja a legbiztosabb alapot az effektus tanul-

mányozásához. Spektroszkópiai megfigyelések még kevesebb csillag-
ra, csupán négyre, vannak. A radiális sebességváltozások tanulmá-
nyozása is csak e négy csillagnál lehetséges.

Különösen jelentős eredménynek tekintem az RR Lyr 4 éves
ciklusának felfedezését és az új ciklus beindulása körülményeinek
(fázisugrás a másodlagos periódus fázisában) tisztázását. A fázis-
ugrás fellépése és az a tény, hogy az RR Lyr-n erős mágneses te-
reket (~ 1000 gauss) mértek, vezetett a folt-modell elképzeléshez,
és ahhoz, hogy az RR Lyrae csillagok esetében is bizonyos Nap-ana-
lógiákat lehet feltételezni.

II. A MÓDSZER

A vizsgálatok alapjául az elmúlt több mint 20 évben az MTA
Csillagászati Kutatóintézetében összegyűjtött nagyszámu (mintegy
30 000) fotoelektromos észlelés szolgált. A megfigyeléseket a bu-
dapesti 60 cm-es, és a piszkéstetői 50 és 100 cm-es távcsövekkel
végeztük az UBV nemzetközi rendszerhez közeli fotometriai rend-
szerben. E megfigyelések más észlelők adataival így összevethetők.

A gömbhalmazok RR Lyrae csillagainak tanulmányozása fotogra-
fikus felvételeken történt. Egyrészt műszereink teljesítőképessé-
ge nem teszi lehetővé, hogy ezeket a változócsillagokat fotoelek-
tromosan figyeljük meg, másrészt a fotografikus észlelések igen
hatékonyak és gazdaságosak. Egy-egy felvételen (pl. a Messier 3
esetében) száznál több változó fényessége határozható meg, így
viszonylag rövid megfigyelési időszak alatt is száznál több vál-
tozó tanulmányozható. A periódusváltozások vizsgálatához a har-
mincas évek végétől Budapesten gyűjtött megfigyelési anyagot hasz-
náltam, s főleg a korábbi időkre kiegészítve azt az irodalomban
közzölt adatokkal.

Változócsillagok fotometriai vizsgálata ideális program egy
kisebb obszervatórium számára. A viszonylag szerényebb műszerek-
kel is nemzetközileg számontartott eredmények érhetők el. Az
RR Lyrae és törpecepheida csillagok periódusváltozásainak és több-
szörös periodicitásának tanulmányozása megköveteli, hogy több
éven, sőt évtizeden keresztül folyamatos anyaggyűjtést végezzünk.
Az ilyen jellegű munkákban a legfontosabb a folyamatos megfigye-
lési idő biztosítása, ami rendszerint kisebb obszervatóriumokban
lehetséges.

A spektroszkópiai észlelések csak nagyobb műszerekkel végezhetők, éppen ezért a publikált adatok száma is alacsony. Néhány új megfigyelési adattal sikerült kiegészítenem a meglevőket a Dominion Astrophysical Observatory (Kanada) 1.8 m-es teleszkópjára szerelt Cassegrain-spektrográffal készült felvételek alapján.

A feldolgozási eljárások lényegében a budapesti csillagvizsgálóban az elmúlt évtizedekben kialakított módszerek voltak. E módszerek kialakításában magam is intenzíven részt vettem. Külön megemlítem az erős fénygörbeváltozással rendelkező csillagok O-C diagramjainak megszerkesztésére tett javaslatomat, mely lehetővé teszi a gömbhalmazokra jellemző átlagos periódusváltozás meghatározásakor a Blazhko-effektussal rendelkező csillagok figyelembevételét is. Ugyancsak új javaslat az egyes csillagokat jellemző $\Delta P/\Delta E$ átlagos periódusváltozásának meghatározása. E módszer a periódusváltozások vizsgálatakor előforduló kiválasztási effektusokat megszünteti. Nagyobb apparátust igénylő periódusanalízis csak néhány esetben volt szükséges, amikor a változások túl komplikáltak voltak (pl. AC And).

III. A. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. A Messier 3 gömbhalmaz RRab csillagai két csoportot képeznek. Ez mind a periódus-amplitudó, mind pedig a periódus-max. diagramokon látható. A mező RR Lyrae csillagokkal való összehasonlítás kémiai összetételbeli különbségekre utal a két csoport között. Hasonló eredményre jutottunk az ω Centauri esetében is a különböző paraméterek periódustól való függésének vizsgálata alapján. [4, 9]
2. Az ω Centauri gömbhalmaz Hertzsprung-Russell diagramján az RRab és RRc csillagok átfedik egymást. A c csillagok a módusváltás állapotában vannak. A periódus-szinindex reláció alapján becslést adtunk a P_c/P_{ab} hányadosra (amely nem más, mint az első felharmonikushoz és alaprezgéshez tartozó periódusok hányadosa). [5, 9] (E.H. Geyerrel, Universitätssternwarte Bonn, közös eredmény)
3. DY Herculis radiális sebességgörbéjének pontos meghatározása, $A_{R.V.} = 34$ km/sec, ahonnan $R = 3.1 R_\odot$ adódik. Ez alapján a DY Her nem különleges csillag, illeszkedik a többi I. populá-

ciós nagyamplitudóju δ Scuti csillag közé. [20]

4. A Messier 3 gömbhalmaz 118 RR Lyrae csillagának periódusváltozását tanulmányoztam. A 101 RRab csillagból 55 rendelkezik lineáris periódusváltozással (9 egyenes, 22 pozitív és 24 negatív parabola) és az átlagos periódusváltozás értéke $10^{10} \overline{\beta}_{ab} = -0.97 \pm 1.08$ nap/nap. A 17 RRc csillag közül csak négy rendelkezik lineáris periódusváltozással (1 egyenes, 2 pozitív, 1 negatív parabola), az átlagos periódusváltozás $10^{10} \overline{\beta}_c = +0.90 \pm 0.84$ nap/nap. Más halmazokkal való összehasonlítás egyértelműen mutatja, hogy a hosszuperiódusu RRab csillagok növekvő periódussal rendelkeznek. [4, 11]
5. A periódusváltozások tanulmányozására új módszert javasoltam. Minden RR Lyrae csillagra meghatározható a $\Delta P/\Delta E$ ill. a $\Delta P/P\Delta E$ átlagos periódusváltozás értéke. (Utóbbi értéke lineáris periódusváltozás esetén β -val egyenlő.) E paraméterek felhasználásával kimutattam (ez egyben a 4. pontbeli eredmény megerősítése is), hogy az M3-ban és az M15-ben a periódusváltozásnak nincs kitüntetett iránya. [15]
6. Az RR Lyrae csillagok periódusváltozásának mértéke nem függ a Hertzsprung-Russell diagramon való helyzetüktől. [15]
7. Az RR Lyrae csillagok periódusa mind ugrásszerűen, mind pedig folytonosan változhat. [15]
8. Az I. populációs törpecepheidák lassu, folytonos, fejlődéssel értelmezhető periódusváltozásokkal rendelkeznek. A II. populációs törpecepheidák periódusa ugrásszerűen változik, amely fejlődéssel nem értelmezhető. [22, 23, 25]
9. Az SZ Lyn törpecepheida kettős rendszer tagja. A rendszer pályaadatait a periódusváltozásokból megjavítottam ($P_k = 1170 \pm 3$ nap, $a \sin i = 0.93$ AU) az eredmények jó egyezésben vannak saját radiális sebességméréseimmel. Az $M_{SZ} = 1.7 M_\odot$ feltevés kielégítő eredményre vezetett, ami alátámasztja azt a feltevést, hogy az SZ Lyn I. populációs, a fősorozattól éppen elfejlődő csillag. Lassu, $10^{10} \beta^* = 0.010 \pm 0.007$ nap/ciklus periódusváltozása is ezt igazolja. [25]
10. Az AE UMa első felharmonikus periódusát ($P_1 = 0.06653$ nap) meghatároztam. Ugyancsak meghatároztam a max. - Ψ és $(O-C)_{\max} - \Psi$ görbékét és fázisviszonyukat. [14]
11. Az állandó fénygörbéjű törpecepheidák periódus-amplitudó diagramján a csillagok $A_v = 0.5$ magn. körüli sávban helyezkednek

- el. A II. populációs CY Aqr és XX Cyg kiugró nagy amplitudóval rendelkezik. A kétmódusu törpecepheidáknál $(\max + \min)/2 \approx 0.5$ magn. [21]
12. Az AC And-ban az alap, első és második felharmonikus rezgés egyidejűleg gerjesztve van: $f_0 = 1.4059904$, $f_1 = 1.9043021$, $f_3 = 2.37491$ ciklus/nap. Az egyes frekvenciákhoz tartozó amplitudók aránya $A_1/A_0 = 0.79 < 1$ és $A_2/A_0 = 0.32 < 1$ ellentétben a kétmódusu RR Lyrae csillagokkal. $M = 3 M_\odot$. A csillag a "shell"-H égés és mag-He kontrakció állapotában van. [16]
(W.S. Fitch-csel, University of Arizona, közös eredmény)
13. A Blazhko-effektussal rendelkező csillagok gyakorisága
halmazváltozókra 25 - 30 %
mező RR Lyrae csillagokra 30 %
A gyakoriság kapcsolatban van a fémtartalommal, Δs -sel.
[4, 11, 17]
14. Más szerzők állításával szemben az XX And és AN Ser nem rendelkezik Blazhko-effektussal. [8, 17]
15. Új 'szekundér' periódusokat határoztam meg:
TT Cnc $P_B = 89$ nap [7]
DL Her $P_B = 33.6$ nap [2]
AR Ser $P_B = 105$ nap [6]
16. Nincs összefüggés $\Delta\psi$ valamint az egyéb paraméterek: P_0 , P_B , $A_{\max}$, A_{O-C} , μ_m , μ_{O-C} között. Amennyiben a Blazhko-effektus a pulzációelmélet keretein belül magyarázható, ilyen összefüggések lennének várhatók. [17]
17. A Blazhko-effektussal rendelkező RRab mező és halmazcsillagok maximális amplitudója illeszkedik az effektust nem mutató csillagok periódus-amplitudó diagramjára. Ez azt mutatja, hogy az effektus olyan mechanizmussal kapcsolatos, amely elnyomni igyekszik a változó normális pulzációs állapotát. [4, 17]
18. A Blazhko-effektussal rendelkező csillagok főperiódusának O-C diagramja általában komplikált: Bonyolult O-C diagram egyértelműen az effektus jelenlétére utal. [4, 11, 17]
19. Felfedeztük az RR Lyr 4 éves ciklusát és a ciklusok végén a Blazhko-ciklusban fellépő fázisdiszkontinuitást. A komplex jelenség magyarázatára folt-modellt javasoltunk. [10, 12]
(Detre Lászlóval közös eredmény)
A ~ 10 nap $\approx 1/4 P_B$ fázisugrás a 4 éves ciklus végén, az új ciklus elején, mindkét irányba lehet. [17]

III. B. AZ EREDMÉNYEK HASZNOSÍTÁSA

Az értekezés alapkutatási eredményeket tárgyal, melyek a gyakorlatban nem kerülnek közvetlen felhasználásra, de amelyek hozzájárulnak az RR Lyrae és törpecepheida csillagokban lejátszódó fizikai folyamatok megértéséhez. Eredményeim más kutatók munkáiba épülnek be.

IV. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBŐL KÖZÖLT PUBLIKÁCIÓK JEGYZÉKE

1. K. Gefferth, B. Szeidl, 1962: SZ Lyncis, IAU Inf. Bull. Var. Stars No. 7.1
2. B. Szeidl, 1963: The Secondary Period of DL Herculis, IAU Inf. Bull. Var. Stars No. 36
3. K. Barlai, B. Szeidl, 1965: VZ Pegasi, Mitt. Sternw. Ung. Akad. Wiss. Nr. 56
4. B. Szeidl, 1965: The RR Lyrae Stars in Messier 3, Mitt. Sternw. Ung. Akad. Wiss. Nr. 58
5. E.H. Geyer, B. Szeidl, 1965: A Photometric Study of the Variable Gap in Omega Centauri, Proc. 3rd IAU Coll. on Variable Stars, Kleine Veröff. Sternw. Bamberg 4 (Nr. 40) 63
6. B. Szeidl, 1967: Secondary Period of the RRab Star AR Serpentis, IAU Inf. Bull. Var. Stars No. 220
7. B. Szeidl, 1968: The Secondary Period of the RRab Star TT Cancr, IAU Inf. Bull. Var. Stars No. 278
8. B. Szeidl, 1968: Note on the RRab Star AN Serpentis, IAU Inf. Bull. Var. Stars No. 291
9. E.H. Geyer, B. Szeidl, 1970: The RR Lyrae Gap in the Colour-Magnitude Diagram of Omega Centauri (NGC 5139), Astronomy and Astrophysics 4.40
10. L. Detre, B. Szeidl, 1973: Development of a New 4-Year Cycle in the 41-Day Period of RR Lyrae, IAU Inf. Bull. Var. Stars No. 764
11. B. Szeidl, 1973: A Study of Some Variable Stars in Messier 3, Mitt. Sternw. Ung. Akad. Wiss. Nr. 63
12. L. Detre, B. Szeidl, 1973: On the Nature of the 41-Day Cycle of RR Lyrae, Proc. IAU Coll. No. 21 (ed. J.D. Fernie), Astrophysics and Space Science Library, Reidel-Dordrecht Vol. 36. pp. 31-34
13. S. Kanyó, B. Szeidl, 1974: Photoelectric Observations of AN Serpentis, Mitt. Sternw. Ung. Akad. Wiss. Nr. 64
14. B. Szeidl, 1974: The Secondary Period of AE UMA, IAU Inf. Bull. Var. Stars No. 903
15. B. Szeidl, 1975: Period Changes of RR Lyrae Stars in Globular Clusters, Proc. IAU Symp. No. 67 (eds. W. Sherwood, L. Plaut), Reidel-Dordrecht p. 545
16. W.S. Fitch, B. Szeidl, 1976: The Three Radial Modes and Evolutionary State of AC Andromedae, Astrophysical Journal 203.616
17. B. Szeidl, 1976: Multiple Periodic RR Lyrae Stars (Observational Review), Proc. IAU Coll. No. 29, Astrophysics and Space Science Library, Reidel-Dordrecht vol. 60, p. 133

18. K. Oláh, B. Szeidl, 1978: Period Changes of RR Lyrae Stars, I. AT And, SU Dra, RR Leo, TT Lyn and AR Per, Mitt. Sternw. Ung. Akad. Wiss. Nr. 71
19. B. Szeidl, 1979: RR Lyrae Variables, Trans. of the International Astronomical Union (Reports on Astronomy) vol. 17A (Part 2) p. 124
20. B. Szeidl, 1979: Radial Velocity Variations of DY Herculis, IAU Inf. Bull. Var. Stars No. 1718
21. B. Szeidl, 1979: Bemerkungen über Zwergcepheiden, Mitteilungen d. Astronomischen Gesellschaft 45.47
22. H.A. Mahdy, B. Szeidl, 1980: Period Changes in Dwarf Cepheids, I. CY Aquarii, EH Librae, DY Pegasi, Mitt. Sternw. Ung. Akad. Wiss. Nr. 74
23. B. Szeidl, H.A. Mahdy, 1981: Period Changes in Dwarf Cepheids, II. YZ Bootis, XX Cygni and DY Herculis, Comm. Konkoly Obs. No. 75
24. B. Szeidl, 1982: RR Lyrae Variables, Trans. of the International Astronomical Union (Reports on Astronomy) vol. 18A p. 269
25. B. Szeidl, 1983: Period Changes in Dwarf Cepheids, III. SZ Lyncis, Comm. Konkoly Obs. No. 84