

# A RÖVID PERIÓDUSÚ CEPHEIDÁK PERIÓDUSVÁLTOZÁSAIRÓL\*

DETRE LÁSZLÓ lev. tag

1. A változócsillagok periódusváltozásának kérdése kozmogónai szempontból nagy jelentőségű. A fényváltozás periódusát ugyanis, főleg a rövid periódusú változócsillagok esetében, összehasonlíthatatlanul nagyobb pontossággal lehet meghatározni, mint a csillagok bármely más állapotjelző adatát. Így tehát a csillag állapotában történő fejlődésszerű változásokat előbb, vagy utóbb — elsősorban a periódusában mutatkozó változásokon vehetjük észre.

A pontos fotometriai módszerek kidolgozása után remélhetjük, hogy még az egész csekély egy irányú periódusváltozásokat is belátható időn belül ki tudjuk mutatni. Fotoelektromosan a rövid periódusú Cepheidák fénygörbéjének felszálló ágán egy bizonyos fázis időpontját néhány másodperc pontossággal meg tudjuk határozni. Ilyen módon lehetségessé válhat, hogy még olyan lassú egy irányú periódusváltozásokat is néhány év alatt megállapíthatunk, amelyek csupán néhány percet tesznek ki egymillió év alatt.

Nagyon megnehezíti azonban a problémát a ciklikus periódusváltozások fellépése. Az  $O-C$  diagramban\*\* ezeknek a ciklikus periódusváltozásoknak az amplitúdója igen nagy és így egy esetleg létező csekély egy irányú periódusváltozás — még a legpontosabb észlelésekkel is — hosszú időn át rejtve maradhat. Az eddig észlelt ciklusok hosszai 1,4 és 46 év között vannak és valószínű, hogy léteznek még hosszabb ciklusok is. Némely csillagnál még hozzá több ciklus rakódik egymásra. Emiatt nem állíthatjuk azt, hogy csak egyetlen RR Lyrae-változó periódusváltozásáról is bebizonyíthatjuk volna annak fejlődésszerű mivoltát, még akkor sem, ha a periódus hosszú időn keresztül állandóan ugyanolyan irányú és egyenletes változást mutatott. Ugyanis mindig nyitva áll a lehetősége annak, hogy a látszólagosan szekuláris változás csak rövidebb fázisa egy hosszú periódusú periódusváltozásnak, vagy hogy az  $O-C$  diagram sztochasztikus periódusváltozások felhalmozódásából alakul ki. Ez a helyzet még hosszú ideig így fog tartani.

Amennyiben ilyen esetekben az  $O-C$  értékeket tisztán formálisan mégis egyenletes periódusváltozás ( $P = P_0 + \beta E$ )\*\*\* feltételezésével egy

$$(1) \quad O-C = \varepsilon + \Delta P_0 \cdot E + \frac{1}{2} \beta E^2$$

\* A moszkvai IV. Szovjet Kozmogóniai Konferencián 1954. október 28-án tartott előadás.

\*\* Az  $O-C$  diagramban általában a fényességmaximum megfigyelt időpontjának (O) eltérését ábrázoljuk egy állandó periódussal számított (C) értéktől.

\*\*\* Itt  $E$  a megfigyelések kezdete óta eltelt periódusok számát jelenti.

parabolával ábrázoljuk, akkor, ha a periódusokban csak periodikus, vagy sztochasztikus változások mutatkoznának, nagyobb számú csillagot véve tekintetbe kb. egyenlő számban kapnánk pozitív és negatív értékeket a  $\beta$ -ra. Érdekes megvizsgálni a jelenleg rendelkezésre álló megfigyelési anyag alapján, hogy a  $\beta$ -értékek megfelelnek-e ezeknek a követelményeknek. Annál is inkább, mert MARTIN az  $\omega$  Centauri gömbhalmazban levő RR Lyrae csillagokra lényegesen több pozitív értéket kapott, mint negatívot.\* A Tejútrendszer szabad RR Lyrae csillagaira a megfigyelési anyag lényegesen gazdagabb, mint az  $\omega$  Centauri változóira és így rajtuk pontosabban lehet ilyen vizsgálatot elvégezni, mint a csillaghalmazokban található RR Lyrae csillagokról. Emellett fontos a periodikus periódusváltozások kérdése is. Felhasználtam ezekhez a vizsgálatokhoz az RR Lyrae csillagokról az irodalomban található egész megfigyelési anyagot és ezen kívül kb. 40 ezer fotografikus és 10 ezer fotoelektromos, még eddig közzé nem tett budapesti megfigyelési adatot is.

2. Az irodalomban igen sok adatot találni az RR Lyrae-csillagok periódusváltozásáról. Az  $O-C$  diagramjaik interpretálására szekuláris és periodikus periódusváltozások mellett még ugrásszerű periódus- és fázisváltozásokat is feltételeztek. A szekuláris változások esetében már vizsgálták a  $\beta$  és a  $P_0$  közötti összefüggést is és azt találták, hogy a  $\beta P_0$  hányados a  $P_0$ -lal nő. De ez az összefüggés véleményem szerint csak onnét származik, hogy egy bizonyos megfigyelési idő alatt a hosszabb periódusú csillagokon csak az erősebb periódusváltozásokat lehet észrevenni. Az ultrarövid periódusú RRa-csillagok periódusai mindenesetre aránylag stacionáriusak. Így CY Aqr ( $P=0^d06$ ) periódusában csak legutóbb tudtunk kimutatni egy igen kis amplitudójú ciklikus változást, míg XX Cyg ( $P=0^d14$ ) csak 50 évi megfigyelés után mutatott egy  $0^s03$  nagyságú periódusnövekedést.

Némelyik RR Lyrae-csillag periódusa már néhány év után kifejezetten változást mutat. Ameddig a megfigyelési idő rövid, az ( $O-C$ )-diagram legtöbbször az (1) formulával állítható elő. Az így kapott  $\beta$ -értékek körülbelül egyenlően oszlanak el pozitív és negatív értékekre, legfeljebb igen kicsi többlet mutatkozik a negatív  $\beta$ -kban. De ha a csillagokat tovább figyeljük, akkor némelyikről, és pedig túlnyomórészt a negatív  $\beta$ -juakról csakhamar kiderül, hogy az ( $O-C$ ) diagram ciklikus.

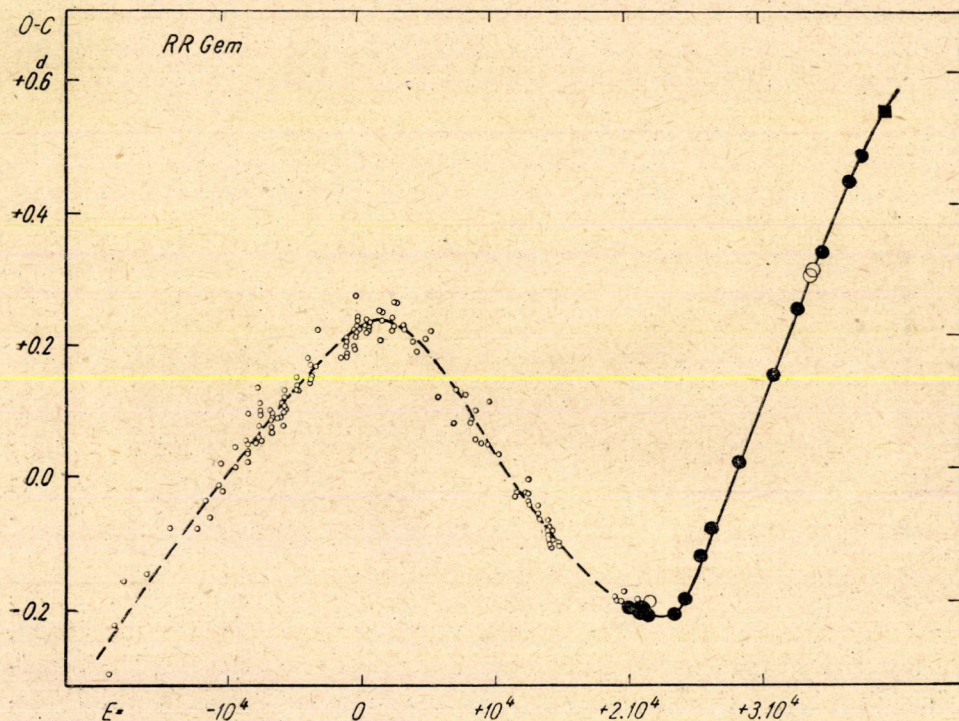
Jelenleg 69 olyan RR Lyrae-csillag van, amelyről már 25 évnél hosszabb időre kiterjedő olyan megfigyelési anyag áll rendelkezésünkre, hogy ( $O-C$ )-diagramjuk jól analizálható. Ezek közül 19-re nem mutatható ki periódusváltozás. A többi 50 csillag ( $O-C$ )-diagramja mind a következő formulával állítható elő:

$$(2) \quad O-C = \varepsilon + 1P_0 \cdot E + \frac{\beta}{2} E^2 + \text{periodikus tag.}$$

Ugrásszerű változást egynél sem találtunk.

\* Leiden Ann. XVII. 2.

11 csillagra  $\beta=0$ , azaz ezek periódusa ciklikusan változik. Ha valamelyik csillagra már több ciklust átészlelték, akkor a különböző ciklusok periódusa és amplitudója, néhány RRc-csillagtól eltekintve ugyanaz. Így valószínű, hogy az összes ciklikus változások szigorúan periodikusak. A periodikus változások, különösen ha amplitudójuk az  $(O-C)$ -diagramban nagy, nem ábrázolhatók egyszerű sinus-formulával, mert a periódus fogyása hosszabb ideig tart, mint a növekedése. Nyilván ettől van, hogy a rövid időn át megfigyelt csillagokra kapott  $\beta$  értékek között több a negatív, mint a pozitív előjelű. A periódus-



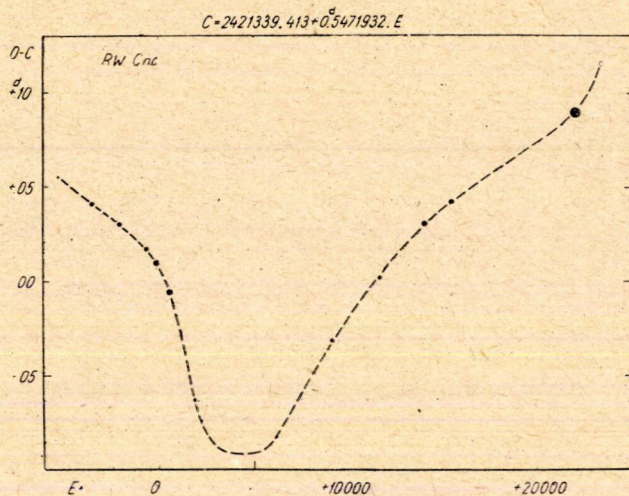
1. ábra. RR Gem  $(O-C)$ -diagramja. A budapesti megfigyeléseket fekete körrel (fotografikus megfigyelések) és négyzettel (fotoelektromos megfigyelések) ábrázoltuk.

csökkenésből a periódusnövekedésbe való néha igen gyors átmenet ugrásszerű változás látszatát kelti. De ha ez az átmenet jól át van észelve, akkor tisztán látható, hogy az átmenet nem ugrásszerű (lásd 1. ábrát).

24 csillag  $(O-C)$ -diagramja az (1) formulával állítható elő. Ezek közül 20-ra pozitív  $\beta$ -értéket kaptunk és csak 4-re negatívot.

Azon 15 csillag közül, melyek  $(O-C)$ -diagramja egy periodikus és egy szekuláris tag szuperpozíciójával állítható elő (pl. lásd a 2. ábrát) csak egyre, SW And-ra kaptunk negatív  $\beta$  értéket. Ez a csillag, mint tudjuk, az I populációhoz tartozik és valószínű, hogy emiatt viselkedik ilyen eltérően a többitől.

Tehát 39 szekuláris periódusváltozást mutató RR Lyrae-csillag közül, amelyekről hosszú és jó megfigyelési anyag áll rendelkezésre, csak 5-re kapunk negatív  $\beta$ -át és 34-re pozitívot. Tehát a szabad RR Lyrae-csillagoknál a pozitív  $\beta$ -értékek igen nagy túlsúlyban vannak.



2. ábra. RW Cnc (O—C)-diagramja. Tipikus példa egy hosszú periódusú és egy szekuláris periódusváltozás összetevődésére.

A pozitív  $\beta$ -értékeknek ez az erős túlsúlya igen valószínűvé teszi, hogy az RR Lyrae-csillagok periódusváltozásának egy része fejlődésszerű. Óvatosan így fejezhetjük ki eredményünket: az RR Lyrae-csillagok erős tendenciát mutatnak a periódusnövekedésre.

3. A periódusnövekedések értéke átlagban  $2^{\circ}$  évszázadonként. Persze anyagunkban erős kiválasztás érvényesül a nagy periódusváltozások javára. De mivel az állandó periódusú RR Lyrae-csillagok százaléka elég kicsi, eredményünk mégis azt jelenti, hogy egy csillagrendszerben, ahol új RR Lyrae-csillagok már nem keletkeznek, a periódusgyakoriság már néhány  $10^5$  év alatt lényegesen megváltozik.

Mármost kb. 20 évvel ezelőtt rámutattam arra,\* hogy az RR Lyrae-csillagok periódusgyakorisága a különböző gömbhalmazokban igen eltérő. A 3. ábrán legutóbbi megfigyelési adatok alapján bemutatom a szabad és 14 különböző gömbhalmazban lévő RR Lyrae-csillagok periódus--amplitúdó relációját. A halmazokat a bennük levő RRC-csillagok arányszáma szerint rendeztük.

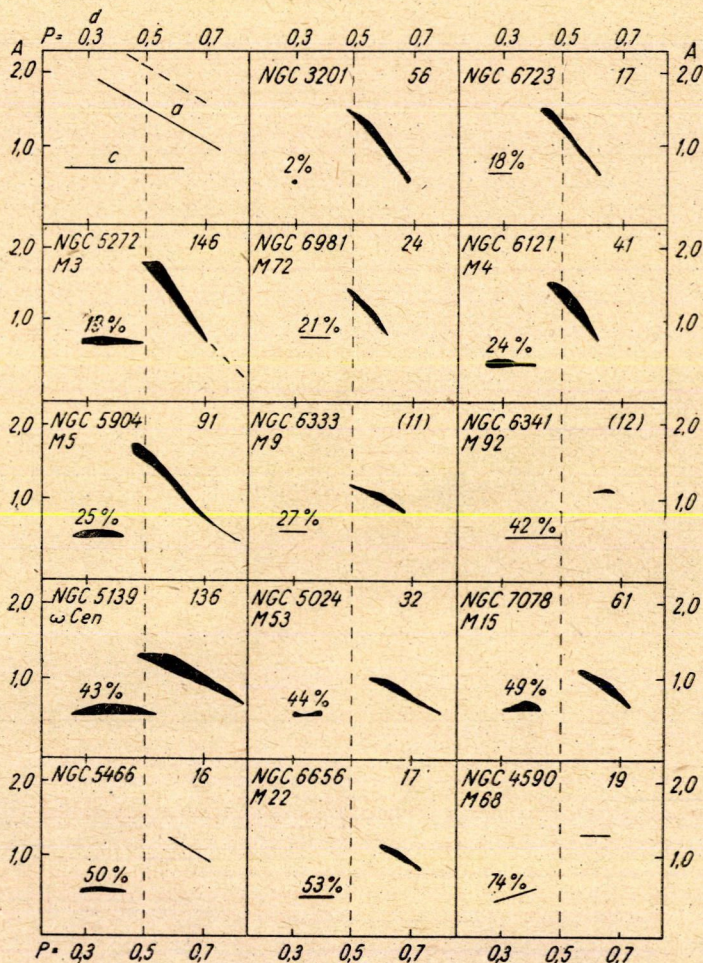
Ha kevés is némelyik halmazban a csillagok száma, a diagramokról a következő megállapításokat tehetjük:

a) A gömbhalmazokban hiányoznak az olyan RRA-csillagok, amelyek periódusa  $0^{\text{d}}31$  és  $0^{\text{d}}44$  közé esik.

\* Stella Almanach 1932-re.

b) A *c*-csillagok százalékának növekedésével nő az *a*-csillagok közepes periódusa.

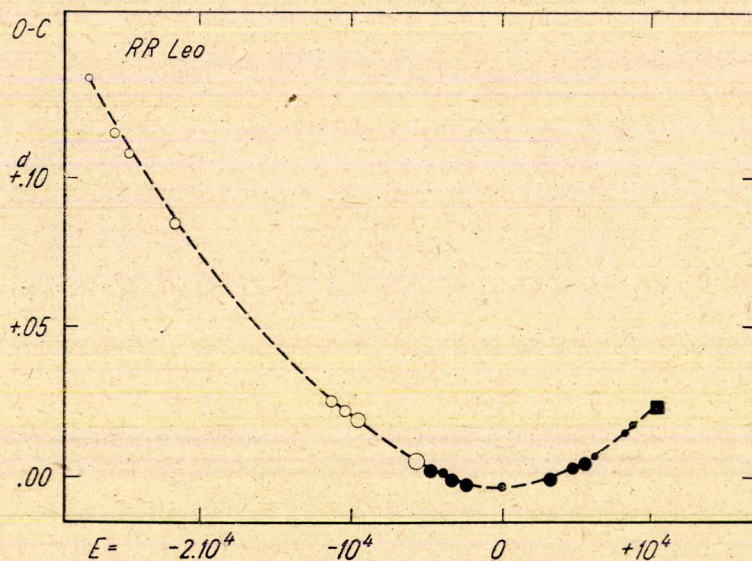
c) A *c*-csillagok százalékának növekedésével csökken az *a*-csillagok ágának meredeksége.



3. ábra. A szabad (fent baloldalt) és a gömbhalmazokban levő RR Lyrae-csillagok sematikus periódus-amplitudó relációja. Minden halmaznál feltüntettük az NGC-számot, a *c*-csillagok százalékszámát és a halmazban levő ismert periódusú változók számát. A vonalszélesség arányos a csillagok gyakoriságával. Az ultrarövid periódusú *a*-csillagok nincsenek feltüntetve.

Ha még hozzávesszük ezekhez a statisztikai sajátságokhoz a mi eredményeinket az RR Lyrae változók periódusnövekedésére vonatkozólag, akkor feltéve, hogy ezeknek a csillagoknak a fejlődése minden halmazban ugyanolyan módon megy végbe, a 3. ábrát, mint fejlődési sémát, a következőképpen interpretálhatjuk:

Valamely gömbhalmazban az RR Lyrae csillagok közül először az  $a$ -csillagok jelennek meg. A  $c$ -csillagok később jelennek meg, amikor az  $a$ -csillagok ága már teljesen kifejlődött. Ez megegyezik KUKARKIN eredményével,\* amely szerint valamely gömbhalmazban elsőnek a hosszú periódusú RR Lyrae változók lépnek fel. Az az állapot, amelynek folyamán az  $a$ -ág a  $P=0^d31$ -ig kiterjed, a gömbhalmazokban rövid ideig tart. Tehát a  $0^d31-0^d44$  periódus-intervallumban igen gyorsan, néhány  $10^6$  év alatt kell végbe mennie az újabb RR Lyrae csillagok kifejlődésének és ebből a periódusintervallumból a periódus növekedése miatti eltűnésüknek. Azok a változók, amelyeknek az amplitudója kisebb és periódusa hosszabb, lényegesen lassabban haladnak jobbra lefelé a diagramban. Az  $a$ -ág meredekségének változása annak következtében jöhet létre, hogy a  $\Delta A/\Delta P$  hányados a nagyobb amplitúdókra nagyobb, mint a kisebbekre.



4. ábra. RR Leonis ( $O-C$ )-diagramja a fénygörbe felszálló ágának közepére vonatkozólag. A pontok és a négyzetek a budapesti észleléseket, a körök JORDAN, KOOREMAN, LUIZET és OOSTERHOFF észleléseit ábrázolják.

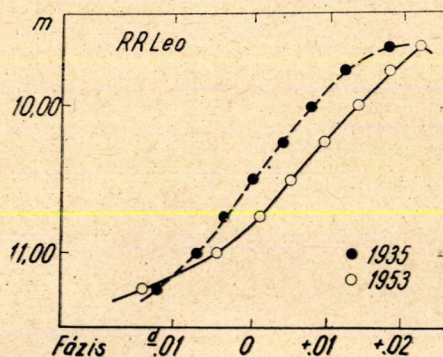
4. Ezen tisztára spekulatív megállapítások után térjünk vissza az észlelési tényekhez a hosszú periódusú periódusváltozásokra vonatkozólag. Némely hosszú periódusú változásokat mutató RR Lyrae változó esetében észleléseink kiterjednek egy egész periódusra, vagy annak egy igen nagy részére. Ezekből megállapítható, hogy a hosszú periódusú periódusváltozások a fénygörbének periódikus változásaival járnak együtt és így Blazsko-effektust mutatnak.

Ez elsősorban az RR Lyrae-n mutatkozott. Ennek  $O-C$ -diagramjában 10 éves periódikus változás lép fel, amely maga is egy hosszabbra szuper-

\* Előadás az 1954. májusi pulkovói változócsillag-konferencián.

ponálódik. A mi eredményeink szerint a közepes fénygörbe felszálló ágának meredeksége is ezzel a periódussal változik. Közepes fénygörbén értjük azt a fénygörbét, amelyből a rövidebb, 40 és 120 napos Blazsko-effektusokat kiküszöböltük. Így hát az RR Lyraenél legalább 3 Blazsko-effektus lép fel.

Az RR Leonis  $O-C$  diagramja (lásd 4. ábrát) egy parabola és egy igen kis amplitudójú ( $0,003$ ) sinusgörbe szuperpozíciójaként állítható elő. Az utóbbi periódusára 33,3 év adódott. Ezt az eredményt a felszálló ágak közepeinek időpontjaiból számítottuk. Ha a felszálló ág más pontjaira vonatkozólag is megszerkesztjük az  $O-C$  diagramokat, akkor tapasztalhatjuk, hogy az így nyert  $O-C$  görbék egymással nem párhuzamosak. Ez azt jelenti, hogy a felszálló ág meredeksége változik. Mint az 5. ábrán látható, 1935-ben, észleléseink kezdetekor RR Leonis fénygörbéjének rendkívül meredek felszálló ága volt, amely 1954-ig lényegesen ellaposodott.



5. ábra. RR Leonis fénygörbéjének felszálló ága 1936-ban és 1954-ben (BALÁZS JÚLIA eredményei után).

Ezen eredmények jelentősége abban áll, hogy egy látszólag egy irányú periódusváltozás periodikus mivoltát pontos és homogén észlelésekből jóval a periodikus eltérések inflexiós pontjának elérése előtt megállapíthatjuk. Emellett a fénygörbe hosszú periódusú változásai arra mutatnak, hogy az RR Lyrae csillagok hosszú periódusú periódusváltozásait nem lehet értelmezni úgy, mint ahogy értelmezhető a fődési változók esetében, vagyis láthatatlan társ körüli keringés következtében mutatkozó fényidő jelenségként.

A  $c$ -csillagok periódusváltozásai általában csak amiatt látszanak komplikáltak, mert a változások periódusai rövidek (3—6 év) és emellett az amplitudóik nagyok. Tehát emiatt folytonos észlelésekre van szükség, hogy a törvényszerűségeket megtalálhassuk és az alapfényváltozás csekély amplitudója miatt az észleléseknek igen pontosaknak kell lenniök.