

# Az Y Persei és RY Ursae Maioris fényváltozása

A Meteor hasábjain a korábbi években rendszeresen jelentkeztünk egyedi változócsillagok fényváltozásának részletes feldolgozásával, amiket több szempontból is keretbe foglalt az 1998/12-es számban megjelent Vörös változócsillagok — feketénfehéren c. cikkünk (l. Meteor 1998/12, 27. o.). Már akkor beharangoztunk néhány érdekes és speciális változásokat mutató csillagot, amelyek közül jelen cikkben a két legérdekesebb esetet vesszük górcső alá. Habár az itt részletezett megfontolások önmagukban is megállják helyüket, mindenképpen javasoljuk az idézett cikk felelevenítését, hogy adott esetben lássuk az asztrofizikai hátteret is. Szintén hasznos lehet még a Változócsillag-észlelés: mit, hogyan, miért? cikksorozatunk harmadik része is (Meteor, 1998/1, 39. o.), amit a korábbi Meteor-évfolyamokkal nem rendelkezők a szakcsoport honlapján (<http://www.mcse.hu/vcssz>) bármikor elolvashatnak.

A szükséges elméleti minimumot a következőképpen vázolhatjuk fel. Az amatőr-csillagászok vizuális változóészleléseinek egyik legfontosabb alkalmazási területét jelentik a hosszúperiódusú pulzáló változócsillagok, jelesül a mirák (M) és félszabályos változók (SRa, SRb, SRc, SRd). Ezek közül a M, SRa és SRb típusú csillagok a Hertzsprung–Russell-diagram aszimptotikus óriáságán található vörös óriáscsillagok (l. még Csillaghalál: a planetáris ködök c. írásunkat). Fényváltozásukért légkörük pulzációja felelős — elsősorban. Emellett más fizikai folyamatok is befolyásolják a megfigyelt változásokat, ám ezek még korántsem ismertek kellő részletességgel. Mivel változásaik jellemzően a 100–1000 nap közé eső karakterisztikus időekkel jellemezhetők, így gyakorlatilag egyetlen fotometriai információt az amatőrök fénybecslései jelentik. Az utóbbi években egyre több fél-, vagy teljesen automata fotometriai távcső követ félszabályos csillagokat, de a fénygörbék megbízható elemzéséhez minimum 15–20 periódusnyi, azaz 15–20 évnyi adatsorokra van szükség. A vizsgálat elsősorban a bonyolult fénygörbét jellemző periódus(ok)ra irányul, amely(ek) értéke (és hányadosai) a pulzációs állapotról árulkodhat(nak). Az elméleti számítások által jóslott periódusokkal összevetve pedig a csillagok olyan jellemzőire következtethetünk, mint pl. azok tömege, abszolút fényessége, sugara.

Az igazán izgalmas kihívás azon csillagok viselkedésének értelmezése, amelyek időben változtatják a rezgést jellemző paramétereket (pl. periódus, amplitúdó, többszörös periodicitás esetén a periódusok száma). Ezek a másodlagos változások még a pulzációs időskálánál is sokkal lassabbak, így kimutatásuk végképp csak az évtizedes amatőr adatsorok segítségével lehetséges. Miráknál a periódus egyenletes növekedése vagy csökkenése a csillag magját övező héliumhéjak instabil energiatermelését jelezheti. Az amplitúdót változtató csillagok közül legismertebb a V Bootis, amelynek az 1910-es években mutatott miraszerű változását (közel 4 magnitúdós amplitúdóval) az 1980-as évek második felére, 1990-es évek elejére szép lassan felváltotta egy alig 1-1,5 magnitúdónyi félszabályos változás. A jelenség oka mind a mai napig ismeretlen, de a nagy nemzetközi amatőr adatbázisokban (AAVSO, AFOEV, VSOLJ) elmerülve egyéb példányokat is felfedezhetünk, majd az egyes eseteket összehasonlítva közelebb juthatunk a magyarázathoz.

Mind az Y Per, mind az RY Uma olyan összetett fényváltozással rendelkezik, amelynek legjellemzőbb másodlagos változása (modulációja) az amplitúdóval kapcsolatos.

## A vizsgált csillagok és észleléseik

A két csillagot a különböző katalógusokban szereplő adatok tükrében a következőképpen jellemezhetjük:

### Y Per =

AN 68.1901	BD+43 726	CGCS 500	DO 27122
GCRV 1895	GEN# +1.00021280	HD 21280	HIC 16126
HIP 16126	IRAS 03242+4400	LEE 260	UBV 21473

színképtípus: R4, C4 (széngazdag mira)

fényváltozás: mira, viz. =  $8^m,1-10^m,9$ , periódus 252 nap

B-V =  $+2^m,93$

### RY UMa =

AG+61 767	AN 1.1909	BD+62 1224	DO 34014
GCRV 7401	GEN# +1.00107397	HD 107397	HIC 60180
HIP 60180	IRAS 12180+6135	IRC +60215	PPM 18202
SAO 15775	SKY# 23124		

színképtípus: MIIIe

fényváltozás: SRb, viz. =  $7^m,0-8^m,0$ , periódus 306 nap

B-V =  $+1^m,80$

Mivel mindkét csillagot a 20. század elején fedezték fel, közel 100 évre visszanyúló megfigyelések léteznek róluk. Az itt bemutatott analízishez négy amatőr szervezet adatait használtuk fel. Ezek: Amerikai Változócsillag-észlelők Társasága (AAVSO), Francia Változócsillag-észlelők Társasága (AFOEV), Japán Változócsillag-észlelők Ligája (VSOLJ), MCSE Változócsillag Szakcsoport. Az utóbbi három interneten is elérhető adatbázissal rendelkezik (a miénk éppen átépítés alatt áll), míg az AAVSO-tól a korábbi gyakorlattól eltérő módon személyes kérés nyomán kaptunk 1960-nal kezdődő adatsorokat (a Janet A. Mattheivel közös együttműködés keretein belül). Az összegyűjtött adatok időbeli eloszlása a következő:

### Y Per

JD 2423057–2451547 (AFOEV, VSOLJ, MCSE VCSSZ): 1922–1999

JD 2437602–2451210 (AAVSO): 1960–1999

### RY UMa

JD 2437600–2451208 (AAVSO): 1960–1999

JD 2440000–2451000 (MCSE VCSSZ): 1968–1999

A fénygörbékhez a különböző adatsorokat összefűztük, majd 10 napos átlagokat számítottunk. Így kaptuk meg a vizsgálatok alapjául szolgáló átlag fénygörbét. Figyelemre méltó, hogy még az igen örös Y Per esetében is milyen jó egyezést mutatnak az eltérő szervezetek által összegyűjtött adatok. Ezzel szemben meglepve tapasztaltuk, hogy az RY UMa sem az AFOEV, sem a VSOLJ észlelőprogramjában nem szerepel (de legalább is abszolút elhanyagolt a francia és japán észlelők által), így csak a hazai és az AAVSO adatokra támaszkodhattunk. Érdemes megjegyezni, hogy hasonló „elhanyagolást” egyéb igen érdekes és látványos változású SR csillagoknál is találtunk, pl. a nálunk népszerű AH Dra-t és UW Her-t az igen nagy hagyományokkal rendelkező AFOEV-nél és VSOLJ-nél alig észlelik.

## Mirából SR: Y Per

Az Y Per jól ismert széngazdag miraként van az irodalomban számon tartva, egyetlen érdekességnek a szénmirák között legrövidebb periódusát szokták megjegyezni (250 nap körül). A tejútrendszerbeli szénmirák periódus-fényesség relációját is jól követi, így osztályának tipikus tagjaként tartották nyilván. 1987-ig semmilyen rendelkezést nem tapasztaltak vele kapcsolatban, amikor hirtelen lecsökkent fényváltozási amplitúdója.

JD 2447000 tájékán történt valami, ami után a korábbi miraszerű nagy amplitúdójú ( $3^m$ ) és többé-kevésbé szabályos változását felváltotta egy kis amplitúdójú ( $1^m$ ), jóval „zavarosabb” változás. Mivel a teljes átlagolt adatsor kb. 28500 nap hosszú (több mint 110 ciklus), az időbeli viselkedés nyomon követéséhez 9 szegmensre osztottuk a fénygörbét (8 db 3000 naposra és 1 db 4500 naposra). Ezáltal az átlagosan 12 ciklust lefedő részadatokban pontos periódus- és amplitúdó-meghatározás vált lehetővé, kikerülve a hosszú távú csúszások elkenő hatását. A Fourier-analízis mellett nemlineáris regressziós analízissel is kiszámítottuk az egyes szakaszokat leíró szinuszos függvények paramétereit.

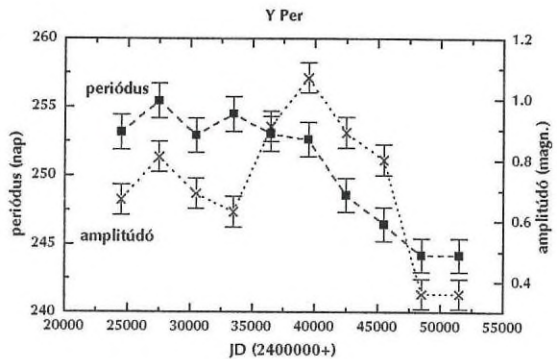
Az átlagolt adatok az illesztett görbékkel a mellékelt fénygörbén láthatók. Az Y Per fényváltozása az első nyolc szegmensben a megfigyelési hiba mértékét nem meghaladó módon leírható egyetlen harmonikussal, aminek azonban jelentősen változik a periódusa és amplitúdója. Az utolsó szegmensben pedig hasonlóan jó illeszkedést érhetünk el két harmonikus függvény összegével. Ezek adatait tartalmazza a mellékelt táblázat (zárójelben a hibák).

Szegmens No.	frekvencia $f$ ( $10^{-3}$ c/d)	periódus (nap)	amplitúdó A (magn.)
1	3,950 (0,080)	253,2	0,67 (0,09)
2	3,915 (0,009)	255,4	0,81 (0,03)
3	3,954 (0,007)	252,9	0,69 (0,03)
4	3,930 (0,012)	254,5	0,63 (0,04)
5	3,953 (0,006)	253,0	0,91 (0,03)
6	3,959 (0,004)	252,6	1,07 (0,03)
7	4,023 (0,005)	248,6	0,89 (0,02)
8	4,058 (0,005)	246,4	0,80 (0,02)
9	4,095 (0,005)	244,2	0,36 (0,02)
	7,864 (0,012)	127,2	0,16 (0,02)

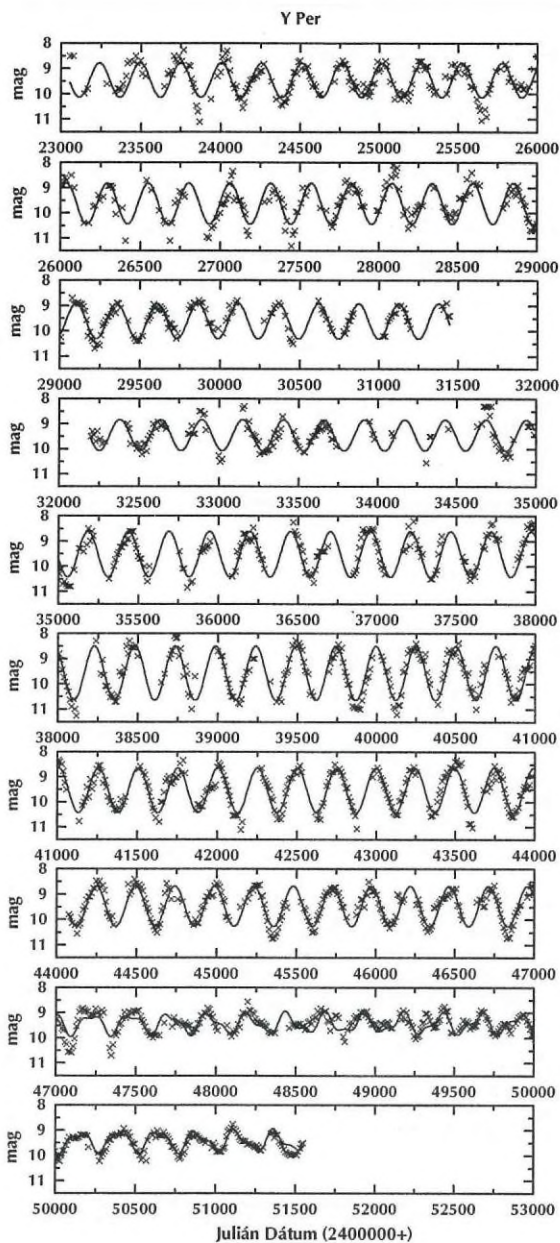
Habár a számított formális hibák kisebbek, a periódus-meghatározás bizonytalansága kb.  $\pm 1$  nap, az amplitúdónál pedig  $\pm 0,05$  hibával kell számolni.

A periódus és az amplitúdó változásai jól korrelálnak, mint azt a következő ábrán láthatjuk.

A bemutatott korreláció a nemlineáris oszcillátorok jól ismert tulajdonsága, tehát az Y Per rezgése semmiképpen nem tekinthető a fizikában kis rezgésnek nevezett folyamatnak. Ez természetesen nem meglepő állítás, azonban ismereteink szerint megfigyelésekből vörös változókra ez az elsőként kimutatott példa. További érdekesség,



Párhuzamos periódus- és amplitúdóváltozás az Y Per adatsorában



Az Y Per 10 napos átlaggörbéi, ill. az illesztett függvények (folytonos vonal)

habár az egyszerű „számmisztika” esete sem zárható ki, hogy az 1987 után megjelent másodperiódus (127 nap) pontosan fele a korábbi időszak (első 18 000 nap) átlagosan 254 napos domináns periódusának. Ez lehet pl. a káosz jele is, de mindenképpen valamilyen rezonanciát sugall.

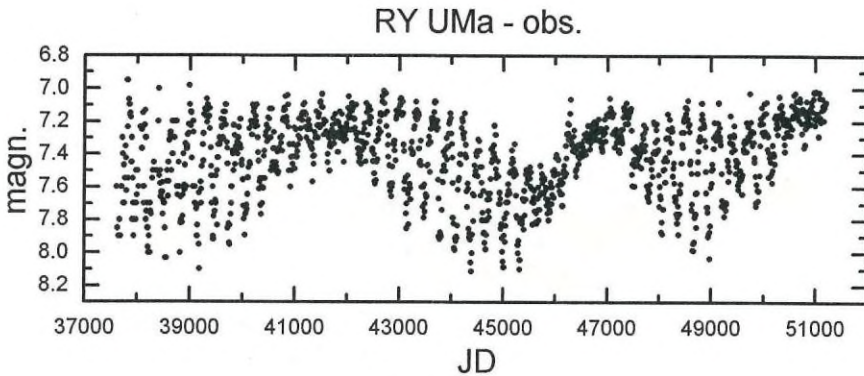
Az új periodikus összetevő megjelenésének gyorsasága igen meglepő. Más, szintén amplitúdó-csökkenést mutató változóknál (V Boo, RU Cyg, R Dor) jellemzően néhány száz 10 ciklus a karakterisztikus időskála. Az Y Per esetében minden megtörtént 400 nap alatt, ami két ciklusnál is kevesebb. Pulzáló szempontból a jelenséget egy enyhén megváltozó domináns rezgési állapot (módus) mellett hirtelen gerjedő másik módus megjelenéseként értelmezhetjük. Újabb elméleti számítások ilyen periódusok mellett az első és harmadik radiális felhang létét sugallják. Ez azt jelentené, hogy az Y Per sugárirányú rezgéseket végez („lélegzik” a csillag), miközben belsejében több csomófelület is létezik, amelyek mentén nem történik gázmozgás. Az Y Perben és a hozzá hasonló vörös óriásokban igen kiterjedt és erős konvekció van, azaz a csillagot felépítő gáz nagyléptékű véletlenszerű mozgást is végez, ami csatoltan befolyásolja a pulzációt. A 400 napos átmenet durván a konvektív időskála nagyságrendjébe esik, így esetleg a konvekció és pulzáció erős kapcsolata állhat a hirtelen változás mögött. Ha korábban az első felhang volt az egyetlen gerjesztett rezgési állapot, akkor

annak egyetlen csomófelülete volt a csillagon belül. Ha a konvekció a pulzáció által a csomófelület mentén nem mozgatott gázt megzavarja, erősen perturbálja, elképzelhető, hogy hirtelen átrendeződnek a belső tartományok, egy kedvezőbb csomófelület-együttest kialakítva. Természetesen ez az elképzelés nem több pusztá spekulációnál, a részletes elméleti megalapozás és igazolás egy még elvégzendő (igen nehéz) feladat.

Végezetül meg kell még jegyezni, hogy az Y Per esete jól mutatja a klasszikus változócsillag-osztályozás korlátait. A hosszúperiódusú változóknál a vizuális amplitúdó mértéke a legfontosabb kritérium (2,5 magnitúdónál nagyobb: mira, ennél kisebb: SR), ami semmit nem árul el adott esetben a tényleges fizikai jellemzőkről. Sajnos az, hogy az Y Per nem illik bele a rendszerbe, semmit nem árul el a kilógás okairól, így mindezt csak érdekességképpen jegyezzük meg.

## **RY UMA: pulzáció és rotáció?**

Az RY UMa fénygörbéjére pillantva egyből feltűnik a hosszútávú amplitúdómoduláció: bizonyos szakaszokban szinte teljesen elhal a változás, hogy aztán újra megnőtt amplitúdóval ismét izgalmas megfigyelési célpont legyen. Az egész az elmúlt 40 évben háromszor ismétlődött, jelenleg éppen egy lecsökkent változás korszakában tartózkodunk.



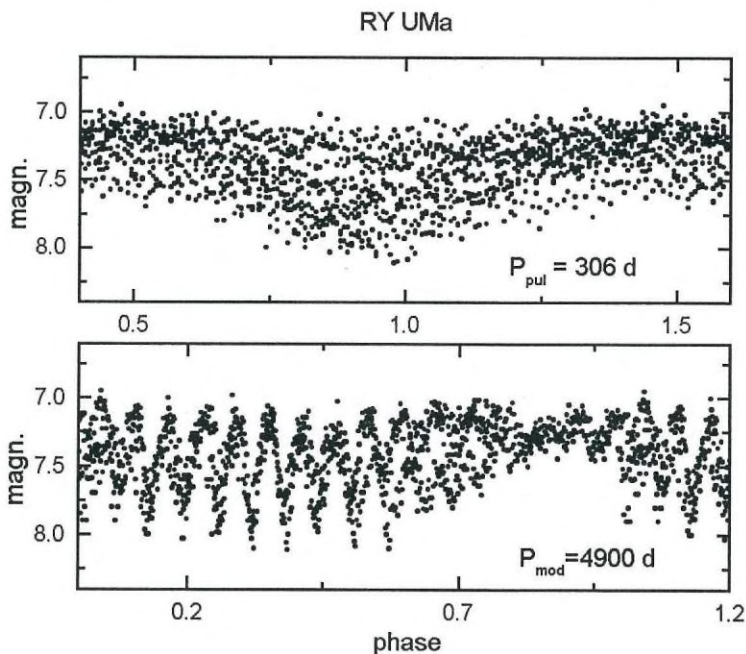
Az RY UMa átlagolt fénygörbéje 1960 és 1999 között

Amplitúdó-modulációt általában könnyű előállítani. Két, egymáshoz közeli frekvenciájú rezgés összeadásánál lép fel az ún. lebegés jelensége, amikor a két frekvencia különbségének frekvenciájával nő és csökken az összegjel amplitúdója. Ilyenkor azonban az átlagszint változatlan, míg az RY UMa esetében jól látható az átlagfényesség amplitúdóval párhuzamos változása (a maximumfényesség közel állandó, míg a minimum változik). Hasonló amplitúdó-modulációt jól ismernek az RR Lyrae-csillagokkal foglalkozók: az RRab-típusú változóknak durván fele ún. Blazsko-effektust mutat, ami az átlagosan fél nap periódusú pulzátorok 30–50 napos ciklikus-ságot mutató amplitúdóváltozásából áll. A Blazsko-effektus egyik elméleti magyarázata szerint a Blazsko-periódus éppen az RR Lyrae csillag tengelykörüli forgásának

periódusa, míg az amplitúdó változását az okozza, hogy a forgó csillag nemradiális pulzációt végez, azaz alakja eltér a gömbtől, ami a forgás miatt változó rálátás következtében járulékos fényváltozást okoz. (Az elméletnek magyar vonatkozása, hogy elsőként Detre László vetette fel, még az 1960-as években, lényegében „ráérezve” az akkor még nem megfelelő megfigyelési anyag hiányában.)

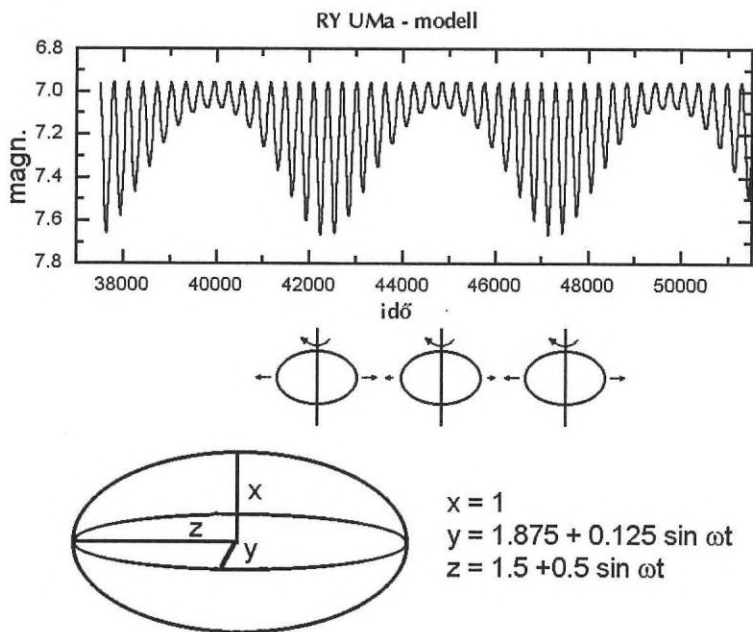
Pusztán abból kiindulva, hogy hasonló fényváltozást esetleg hasonló fizikai mechanizmus okoz, mi is rotációs effektusként próbáltuk meg értelmezni az RY UMa sajátosságait. Ez természetesen nem jelenti azt, hogy más megközelítés nem képzelhető el. Mindaddig azonban, míg egyedül a vizuális fénygörbe áll rendelkezésre, túlságosan nem érdemes elbonyolítani az esetleges modelleket, hiszen tetszőleges adatsor tetszőleges modellel leírható, csak elegendően nagy számú szabad paramétert kell feltételezni...

A korábbi elméleti vizsgálatok általában elhanyagolták a vörös óriások forgásból származó hatásait. Ez érthető is, ha arra gondolunk, hogy az aszimptotikus óriáság csillagai akár 400–500 napsugár méretűre felfúvódnak, aminek következtében forgásuk nagyon lelassul (l. kinyújtott karú piruettozó korcsolyás). Rotációs periódusuk nem mérhető, csak számítások léteznek, amelyek 4000–10 000 napos értékeket szolgáltatnak (11–27 év!). Az RY UMa esetében a 306 napos domináns periódus mellett az amplitúdó 4900 napos ciklikusságot mutat, ami szintén számmisztikára emlékeztetően pontosan 16-szorosa a 306 napnak. Azonban meglepően ismétlődő az amplitúdómoduláció, amit a 306 napos és 4900 napos periódussal elkészített fázisdiagramokkal illusztrálunk.



Az RY UMa fázisdiagramjai

Egy egyszerű és lényegében csak kvalitatív egyezést biztosító modellt dolgoztunk ki, amiben egy erőteljesen nem gömbszimmetrikus csillagalakot tételeztünk fel, ami 9800 napos periódussal forog a tengelye körül. Emellett a pulzáció csak az egyik irányban módosítja a modell alakját. A részletek mellőzésével csak a modellt és a számított fénygörbét mutatjuk be az alábbi ábrán.

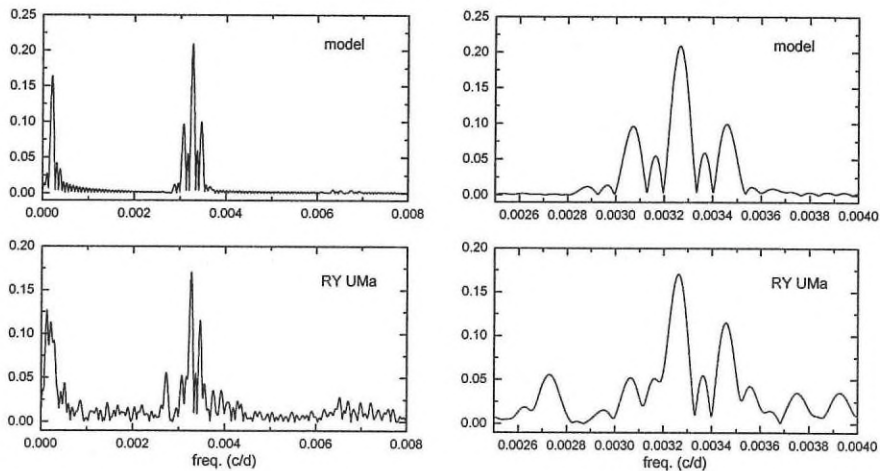


**Az RY UMa egy lehetséges modellje és a számított fénygörbe**

Természetesen minden pont erősen megkérdőjelezhető a felvázolt modellben. Néhány a kérdések közül: miért lenne egy csillag ennyire tojásdad?; mennyire forog egy vörös óriás?; mi a helyzet a pulzáció során fellépő hőmérsékletváltozással és a peremsötéttedéssel?

Az eltorzult csillagalakot az utóbbi években egyre több nagyfelbontású leképezés sugallja. Több miránál is 25–30%-os eltéréseket találtak a gömbszimmetriától, ami persze lehet pusztán optikai effektus is (pl. nem egyenletes eloszlású csillagközi anyag miatt), ám modellünkhöz ez utóbbi is megfelel. A legújabb, háromdimenziós hidrodinamikai modellek is mutatják az erősen bipoláris szimmetriát, ami magyarázhatja a gömbtől való eltérést. A feltételezett 9800 napos rotációs periódusban semmi szokatlan nincs, ez éppen az elméletileg jóslott nagyságrendbe esik. A legyöngébb pont a hőmérsékletváltozás elhanyagolása a pulzáció során. Erről egyrészt semmilyen megfigyelési információk nincs, másrészt nemradiális pulzáció esetén a hőmérséklet-eloszlás sem gömbszimmetrikus, változásai pedig az egész látott csillagfelületre kiátlagolva viszonylag kisebb hatásúak. Sokkal nagyobb probléma, hogy a vörös óriások színe a látható tartományban bonyolult molekulásávokat tartalmaz,

amelyek hőmérséklet-függése még elméletileg is csak nagy vonalakban ismert, pontos fényváltozás modellezéséhez jelenleg lehetetlen figyelembe venni őket.



**A számított (felül) a megfigyelt (alul) fénygörbe frekvenciaspektruma. A jobb oldali grafikonok a domináns frekvencia környezetét mutatják kinagyítva**

A számított fénygörbét Fourier-spektrumán keresztül hasonlítottuk össze a megfigyelt görbével. Ezt láthatjuk az ábrán, ahol felül a számított, alul a megfigyelt fénygörbe frekvencia-spektrumát mutatjuk be (jobb oldalon domináns frekvencia bonyolult szerkezetű környezete van kinagyítva, az angol nyelvű feliratokért elnézést kérünk). A nagymértékű hasonlóság alapján azt állíthatjuk, hogy talán nem teljesen irreális a felvázolt modell és hogy legközelebb, amikor felkeressük az RY UMa-t, esetleg egy lassan pörgő vörös „dinnye” kerül távcsövünk látómezéjébe... Igazán perdöntők olyan nagyfelbontású direkt képek, vagy színeképek lennének, amelyek a nem gömbszimmetrikus alakot egyértelműen igazolnák.

\*\*\*\*\*

A fentiekben bemutatott vizsgálatok remélhetően ismét igazolták a vizuális amatőr észlelések jelentőségét és fontosságát. Részben a fenti eredmények alapján megjelenés alatt áll egy cikk az Astronomy and Astrophysics Supplement Series folyóiratnál (Kiss, Szatmáry, Szabó, Mattei: Multiperiodicity in semiregular variables II. Systematic amplitude variations). Mindkét csillag további folyamatos észlelése igen kívánatos, hiszen az Y Per-nél érdekes kérdés az új módus stabilitása, míg az RY UMa-nál az amplitúdómoduláció ismétlődésének szabályossága. Ehhez kívánnak a szerzők mindenkinek tiszta, derült eget.

KISS LÁSZLÓ-SZATMÁRY KÁROLY-SZABÓ GYULA