

Válasz Dr. Jurcsik Johanna opponens kérdéseire

Köszönöm Dr. Jurcsik Johannának az értekezésem gondos átolvasását, a véleményét, valamint a megjegyzéseket és kérdéseket, melyeket az alábbiakban válaszolok meg.

„A kettősök periódusváltozásait ismertetve, Applegate nevét mindenképpen szükségesnek tartottam volna megemlíteni.”

Igen, idéznem kellett volna J. H. Applegate cikkeit a szoros kettőscsillagok periódusváltozásáról, amely a komponensek aktivitása miatt és annak évtizedes ciklusossága szerint jöhet létre:

Applegate J.H., Patterson J.: 1987, Magnetic activity, tides, and orbital period changes in close binaries, *ApJ*, 322, L99-L102.

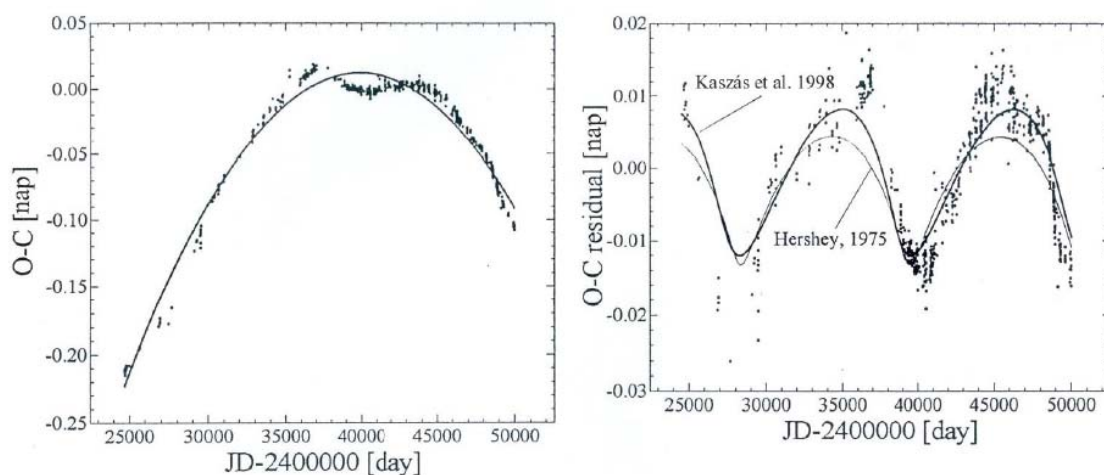
Applegate J.H.: 1989, Magnetic activity and the determination of the tidal synchronization time in close binaries, *ApJ*, 337, 865-871.

Applegate J.H.: 1992, A mechanism for orbital period modulation in close binaries, *ApJ*, 395, 621-629.

„Az RZ Cas esetében nem igazolódott be az O-C analízis alapján prediktált további komponensek jelenléte.”

Valóban nem. A kettősnél a 3 további komponens feltételezése különben is kissé erőltetett volt részünkről (bár hasonló ötös rendszereket mások is feltételeztek az O-C görbe hullámai alapján).

„A VW Cep periódusváltozását különböző szerzők máshogy interpretálják (pl. Rensbergen, 2013, a tömegcsere irányának megfordulásával).”

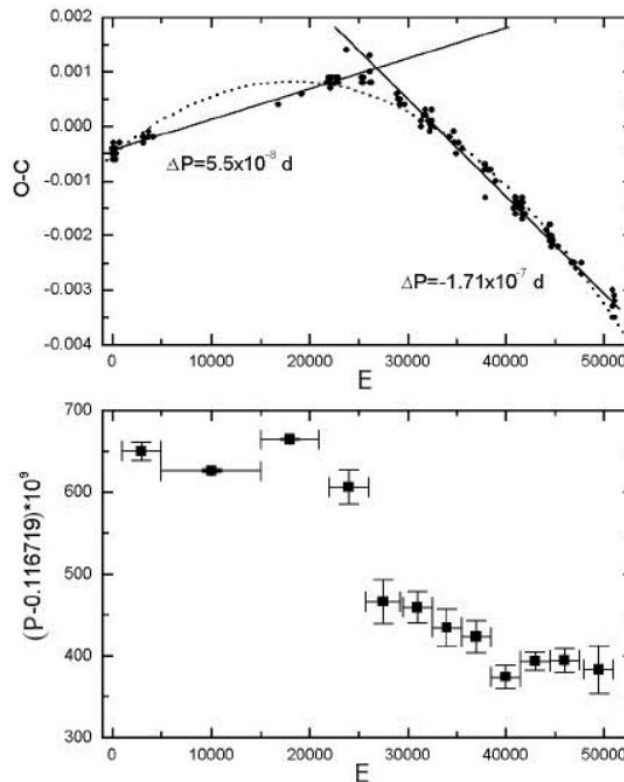


1.7. ábra: A VW Cep kontakt fedési kettős O-C diagramja és a rá illesztett parabola (balra). A parabola levonása után a reziduál (jobbra), harmadik test által okozott LITE görbékkel illesztve (Kaszás, Vinkó, Szatmáry, Hegedűs, Gál, Kiss, Borkovits 1998).

A VW Cep ciklikus periódusváltozásának harmadik testtel való magyarázatát erősítik az erre utaló asztrometriai mérések (Hershey, 1975). A tömegcsere irányának megfordulásával

történő magyarázatot kevésbé tartom reálisnak. Az említett cikk tudtommal nem is jelent még meg, csodálkoznék, ha elfogadnák közlésre e rangos folyóiratban (W. van Rensbergen, J.P. de Greve, N. Mennekens: No unique quadratic ephemeris for VW Cep, A&A submitted [arXiv:1306.2180]).

„A HW Vir periódusváltozása, melyet két egyenessel illesztettek és hirtelen periódusváltozásként interpretáltak (Kiss et al 2000), a későbbi vizsgálatok alapján ciklusos periódusváltozást mutat, melyet egy vagy két kísérő jelenlétével, mágneses aktivitással stb. magyaráznak.”



1.3. ábra: A HW Vir fedési kettőscsillag O-C diagramja. Feltül: illesztés két egyenessel, illetve parabolával. Alul: a pillanatnyi periódus változása (Kiss, Csák, Szatmáry, Fűrész, Sziládi 2000).

A rendelkezésünkre álló adatok alapján még nem volt kimutatható a ciklikus változás. A csillagról szóló egyik legújabb cikk (Beuermann K., Dreizler S., Hessman F.V., Deller J.: 2012, The quest for companions to post-common envelope binaries III. A reexamination of HW Virginis, A&A 543, A138) az O-C alakját fényidő effektussal magyarázza, pontosabban két kis tömegű kísérő jelenlétével. E cikkből két ábrát és egy táblázatot idézek az alábbiakban.

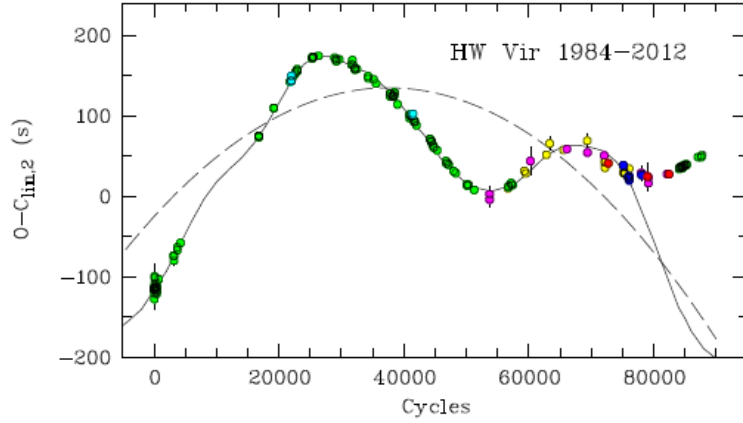


Fig. 1. $O - C_{\text{lin},2}$ residuals of the mid-eclipse times from the linear ephemeris used by Lee et al. (2009) along with their model curves for the two-companion model (solid) and the underlying quadratic ephemeris (dashed). The data are from SAAO (green), Wood et al (cyan blue), Lee et al. (yellow), BAV and VSNET (magenta), AAVSO (blue), BRNO (red), and MONET/North (green).

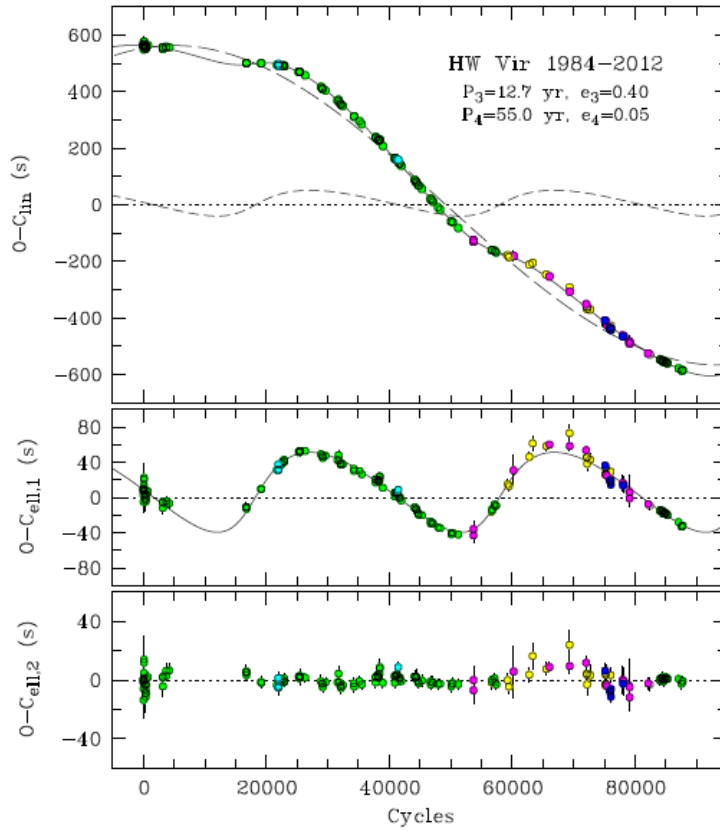


Fig. 3. Fit of two Keplerian orbits to the eclipse-time variations of HW Vir. *Top:* Data of Fig. 1 relative to the linear ephemeris of Eq. 4. The curves denote the model LTT effect (solid) and the contributions by the outer companion (long dashes) and the inner planet (short dashes). *Center:* Data with the contribution by the outer companion subtracted and model for the inner planet (solid curve). *Bottom:* Residuals after the subtraction of the contributions by both companions.

Table 3. Parameters of the two-companion model of Fig. 3 for HW Vir. A colon indicates uncertain values.

| Parameter | Inner companion #3 | Outer companion #4 |
|--|-----------------------|-----------------------|
| Orbital period P (yr) | 12.7 ± 0.2 | 55 (fixed) |
| Eccentricity e | 0.40 ± 0.10 | 0.05 : |
| Semi-major axis a (AU) | 4.69 ± 0.06 | 12.8 ± 0.2 |
| Amplitude K (s) | 49 ± 3 | 563 ± 200 |
| Mass $M \sin i$ (M_{Jup}) | 14.3 ± 1.0 | 65 ± 15 |
| Argument of periastron ω ($^\circ$) | -18 ± 10 | 0 : |
| Periastron passage (JD) | 2 452 401 | 2 461 677 : |
| Periastron passage (Cycle) | 57 150 | 136 619 : |

A belső, rövidebb keringési periódusú kísérő léte elég biztosnak tűnik, de a külső kísérő megerősítéséhez még kell pár évtizednyi megfigyelés. Az ilyen vizsgálatoknál minél hosszabb az adatsor, annál megbízhatóbbak az eredmények.

„Mi igazolja, hogy az AU Peg megfigyelt periódusváltozására az árapályerőknek valóban hatása lenne, mennyiben különbözik az AU Peg periódusváltozása más II. populációs cefeidákétól?”

Az AU Peg olyan kettős cefeida, amely esetében a legrövidebb az orbitális periódus (53,3 nap), és ez stabil. A II. populációs cefeida komponens erős és gyors periódus növekedést mutat, a II. populációs cefeidák között a legnagyobb mértékűt. Az árapály hatását ebben a pulzációs periódusváltozásban eddig semmi nem igazolja. A rövid keringési periódus azonban aránylag közeli kísérőt jelent, így az árapály hatása a pulzációra, annak periódusváltozására nem zárható ki. A csillag periódusának változása a korábbi cikkünk (Vinkó, Szabados, Szatmáry, 1993, Study of population II Cepheid AU Pegasi, A&A, 279, 410) óta jelentősen lelassult, gyakorlatilag leállt (Jurkovic, Szabados, Vinkó, Csák, 2007, Pulsation and orbit of AU Pegasi, AN, 328, 837).

„Mennyire mondhatók sikeresnek a szoros kettősök periódusváltozásaiból levonható következtetések?”

A már fentebb említett - Applegate nevéhez fűződő – mágneses aktivitása a komponenseknek ahhoz vezethet, hogy a mágneses ciklus periódusával kissé változik a csillagok alakja, gravitációs kvadrupólmomentuma, és ez az impulzusmomentum változását okozza. Ennek következtében megváltozik a keringési periódus.

A szoros kettősök keringési periódusának változását főleg a komponensek közötti anyagátáramlás vagy tömegvesztés határozza meg. A megfigyelt periódusváltozás értékek nagy része így értelmezhető, de számos esetben ez a magyarázat nem kielégítő. Tehát ezek a következtetések csak részben sikeresek.

A kettősben lévő pulzáló csillag esetében a kettősség hatása (a másik komponens gravitációja) a pulzációra, illetve a pulzációs periódus változására még nem jól ismert. A pulzáció (különösen a radiális) következtében történő sugárváltozás a csillag kvadrupólmomentumát megváltoztatja, ami ugyancsak a keringési periódus ingadozásához vezet.

Szoros, kompakt kettősök esetében jelentős lehet a gravitációs hullámok formájában történő energia és perdület veszteség, melynek következtében a két komponens közeledik egymáshoz, a pálya periódusa és az excentricitás csökken (ld. pl. Taylor & Hulse kettős pulzár, Nobel-díj 1993).

Az apszismozgás vagy egy harmadik test miatti fényidő-effektus látszólagos ciklikus periódusváltozást okoz.

„A bemutatott mira és SR csillagok 1.9 körüli vagy 2.0 frekvencia-arányú másodkomponenst mutat (a V Boo esetében mind a tézisekben, mind a dolgozatban tévesen szerepel, hogy a kétszeres frekvenciánál mutat jelet, valójában a frekvencia-arány 1.88). Ostlie és Cox modellje alapján nagy luminozitású, kis tömegű csillag esetében a 2.0 frekvencia-arány az f_0/f_1 módusoknak megfelelő. Van-e bármi lehetőség annak eldöntésére, vajon ezeknél a csillagoknál double mode viselkedést látunk, vagy erős nemlinearitás miatt a harmonikus komponensek megjelenését?”

Igen, van. De nem a Fourier frekvenciaspektrum alapján. Az idő-frekvencia térképek (pl. wavelet) ad lehetőséget a döntésre. A nemlinearitással, illetve a fénygörbe aszimmetriájával kapcsolatosan megjelenő felharmónikusok az alaprezgéssel, annak frekvencia gerincével egyformán fognak változni. Ha valódi kétmódusú a pulzáció, akkor a két periódus nem mindig együtt és nem pont egyformán változik. A periódusok aránya ilyenkor nem marad állandó.

„A dolgozat második része a Kepler űrtáveső adatainak elemzésével foglalkozik, melyből azonban eddig csupán 3 konferencia-megjelenés született a szerző közreműködésével. Ez a doktori fokozat szempontjából nem komolyan értékelhető, azonban rámutat az alkalmazott technikák és vizsgálati objektumok fontosságára a jövő kutatási lehetőségeiben is. Érdemes azonban megjegyezni Kinemuchi et al (2012, Demystifying Kepler Data) következtetését, miszerint azoknak a forrásoknak, melyek hasonló időskálán változnak, mint a Kepler quarter-ek (pl. nagy amplitúdójú szemiregulárisok) különösen problémás a Kepler-adatok korrekt transzformációja.”

Az értekezés beadásakor valóban még csak 3 konferenciaanyag jelent meg a Kepler LPV csillagairól, de hamarosan megjelenik az első nagyobb cikkünk a témakörben:

Variability of M giant stars based on Kepler photometry: general characteristics, E. Bányai, L. L. Kiss, T. R. Bedding, B. Bellamy, J. M. Benkő, A. Bódi, J. R. Callingham, D. Compton, I. Csányi, A. Derekas, J. Dorval, D. Huber, O. Shrier, A. E. Simon, D. Stello, Gy. M. Szabó, R. Szabó, K. Szatmáry, MNRAS, 2013, in press [arXiv:1309.1012]

A szemireguláris csillagok esetében a *Kepler*-adatok transzformációja akkor problémás, ha a nagy fényességük miatt szaturálódnak a CCD érzékelőn. Ekkor a szokásos fotometria nem a valós fényességet szolgáltatja. *Kepler*-negyed hosszú szisztematikákkal alig találkoztam.

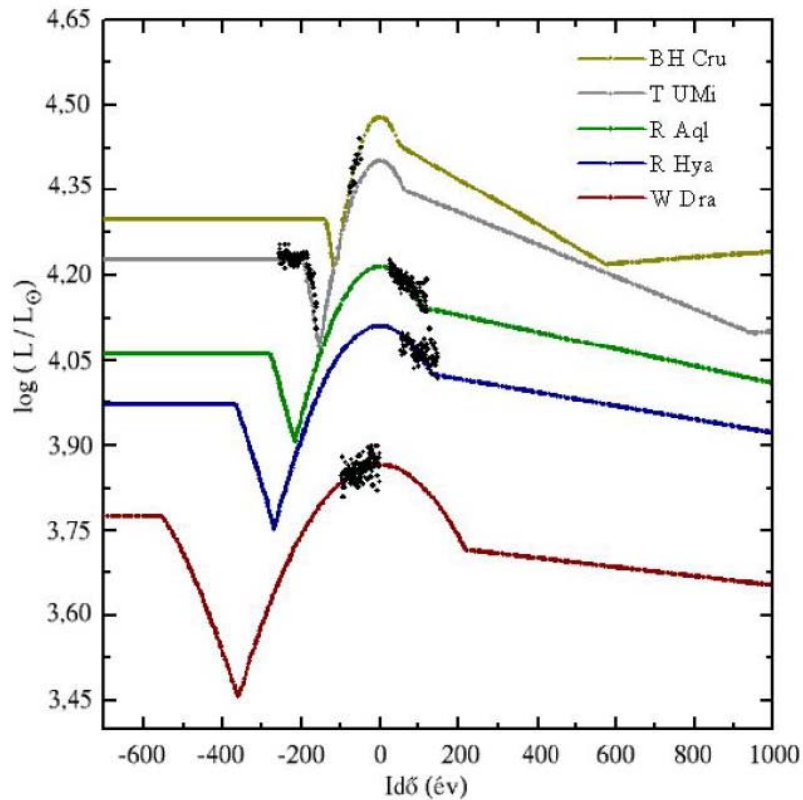
Apróbb megjegyzések:

„A dolgozat címe nem precíz, hogyan lehet a fényességnek (időegység alatt kibocsátott energia) periódusváltozása?”

Valóban nem precíz a cím. Sokat gondolkodtam a címen, hogy olyan legyen, ami az eddigi, több szálon futó munkásságom nagy részét lefedi. Mivel a szóismétlést szerettem volna elkerülni (pl. Csillagok fényváltozása periódusának változása), ezért lett ez, a valóban nem túl szerencsés cím.

„Az 5.16 ábrán az R Aql és R Hya luminozitása is csökken (a szöveg szerint egyedül a T UMi-é).”

Valóban, mindhárom csillag luminozitása csökken. Azonban a T UMi csökkenése sokkal meredekebb, és világosabban látható. Az a szakasz a He-shell flasht követően hirtelen leálló H-égető héj által okozott rövid felszíni fényességsökkenési fázis. Az R Aql és R Hya fényesség- és perióduscsökkenése már egy egészen más fejlődési állapotot tükröz, amikor a He-égés energiája felér a csillag felszínére (Wood & Zarro, 1981, Helium-shell flashing in low-mass stars and period changes in Mira variables, ApJ, 247, 247).



5.16. ábra: Néhány mira csillag luminozitás változása Wood & Zarro (1981) modellje alapján. Egyedül a T UMi fényessége és vele a periódusa csökkenő.

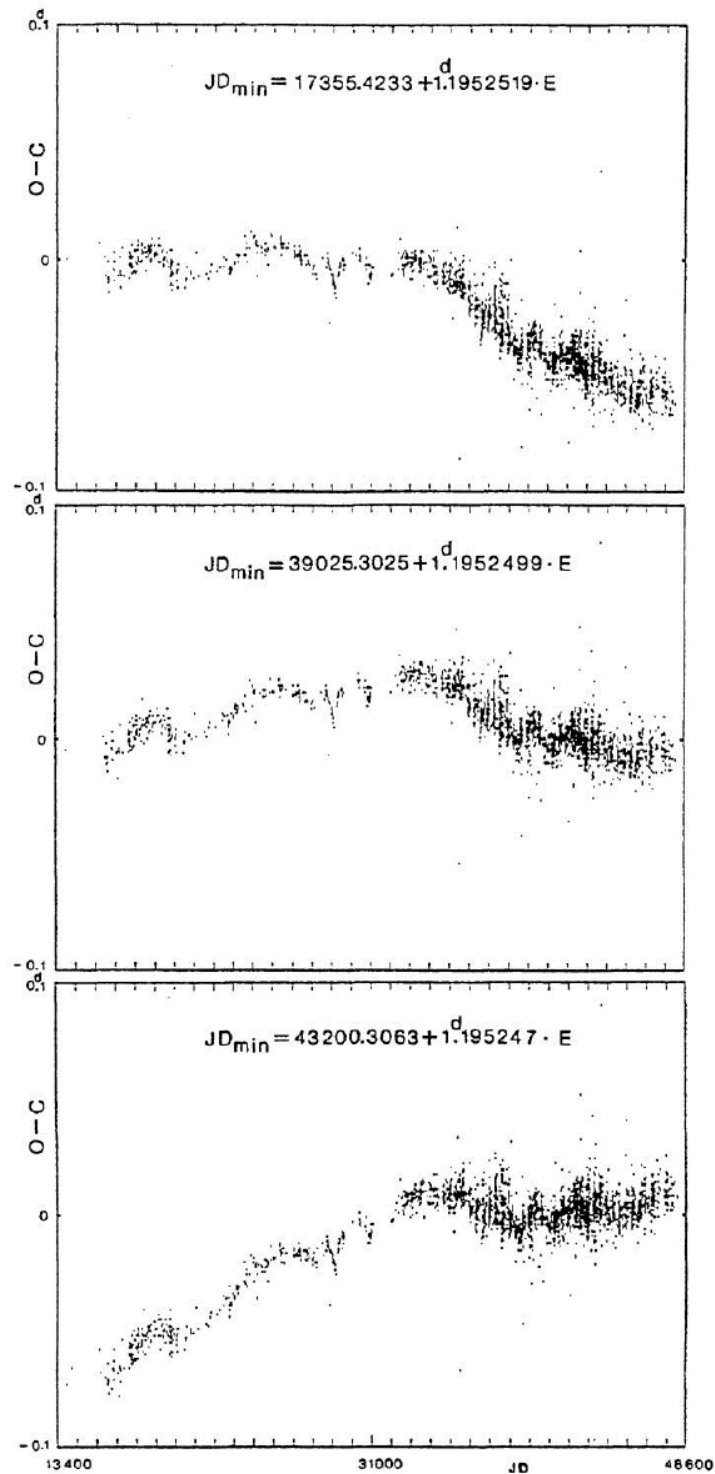
„Az O-C módszer lényegében csak monoperiodikus jelek vizsgálatára alkalmas” p.5. Ennek ellentmond például a Paporó et al 1998 (Period changes in both modes ...) eredmény.”

A fenti cikkben a szerzők nem a „klasszikus” O-C diagramot használták RRd csillagok két módusának vizsgálatához, hanem egy ún. Fourier-fázis diagram módszert. Lerögzítették az alaprezgés és az első felhang periódusát és amplitúdóját, és csak a fázist hagyták meg változónak. A fázist számolták ki a PERIOD90 programmal a fénygörbe egyes szakaszaira. A fázis időbeli változásából határozták meg a módusok frekvencia-korrekcióit. Elismerem, hogy így valóban használható több módus vizsgálatára is az O-C módszer.

„Mit jelent az, hogy eltérő periódussal számolva más alakú, más illesztésű O-C görbét kapunk (1.a tézis)? Egy parabola bármely szakaszon illeszthető két egyenessel, miközben analitikusan minden szakaszán parabola.”

Csupán arra szerettem volna felhívni a figyelmet, hogy más periódussal számolva az O-C diagramot, ránézésre más és más lehet a görbe alakja, másféle polinom illesztését sugallva. Erre mutattam példát az RZ Cas esetében. A periódusváltozás fizikai magyarázata egészen

más a parabola esetében (folytonos, időben lineáris periódus csökkenés vagy növekedés), mint az egyenesekkel való illesztés esetén (hirtelen periódusérték változások).



1.1. ábra: Az RZ Cas Algol típusú fedési kettős O-C diagramjai három módon számolva (Hegedűs, Szatmáry, Vinkó 1992).

Szeged, 2013. október 3.

Szatmáry Károly