



Változócsillagok

Változócsillag-észlelés: mit, hogyan, miért? III.

Cikksorozatunk első két részében a *mit* és a *hogyan* kérdését jártuk körbe. A változócsillagok típusainak ismertetése után a Magyarországon meghonosodott észlelési technikák kerültek sorra. A legelső cikkben említett célkitűzést, mégpedig a kezdő észlelők számára adott útmutatást, tanácsadást ezzel akár megvalósítottnak is tekinthetnénk. Azonban joggal merülhet fel bárkiben, hogy tulajdonképpen miért is jó a változócsillagok észlelése, mire lehet esetleg fölhasználni az amatőrök vizuális fényességbecsléseit, mi az, ami havonta több tucat magyar amatort arra készítet, hogy vállalva a szúnyogokkal való viaskodást vagy a sűvítő jeges szélben történő fagyoskodást, rendszeresen kivonuljon távcsövével az ég alá, és változócsillagokat keressen fel!? Ezekre a kérdésekre próbálunk meg választ adni ezzel a cikkel.

A legelső és talán amatőrcsillagász szemmel a legtermészetesebb válasz a következő: azért jó a változózás, mert érdekes, mert izgalmas, mert ez a mi hobbink. Ez azonban a felületes érdeklődőt biztosan nem fogja meg. Így félretéve a szubjektív megközelítést, néhány példával általában és egy esettanulmánnyal konkrétan szeretnénk illusztrálni az amatőr változózás helyét a századvég csillagászatában.

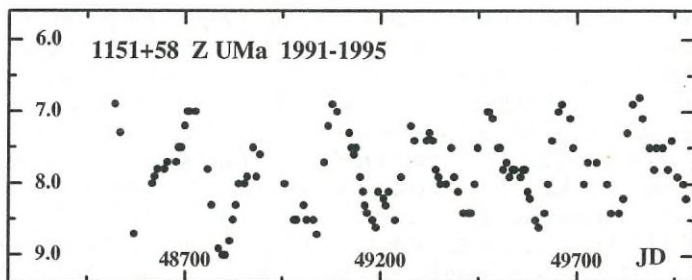
Az amatőrcsillagászok két nagyon fontos előnnyel rendelkeznek: mindenhol előfordulnak, rengeteg idővel rendelkeznek. Emiatt a váratlan események idején szinte biztos, hogy valahol a világon rendelkezésre áll egy amatőrcsillagász, aki ellenőrizni tud valamilyen speciális objektumot. Az *R Coronae Borealis* típusú változók hirtelen elhalványodásait szinte kizárólag amatőrök fedezik fel, amint a *törpe nóvák* kitöréseit is rendre vizuális észlelők veszik észre. Mindkét említett objektum-típus pontos megértéséhez olyan profi mérésekre van szükség, amelyek nagyon speciális fázisban készülnek. Hiszen pl. mindaddig, amíg Brian Warner (Cape Town) 1974-ben észlelésekkel nem mutatta ki, hogy a törpe nóvák kitörései során az ultraibolya tartományban kb. egy nappal később kezd a rendszer fényesedni a vizuálishoz képest, addig a kataklizmikus változók akkréciós korongon alapuló modellje csak egy volt a sok elméleti feltevés közül.

Ebben a képben a kataklizmikus változó egy szoros kettőscsillag, ahol a főkomponens egy fehér törpe, amely körül a másodkomponensről származó anyag vékony korongban spirálozik a főkomponens felé, ez az akkréciós korong (igen széles hullámhossz-tartományban az akkréciós korong a rendszer legfényesebb összetevője). Kitörés akkor következik be, amikor a másodkomponensről nagyobb mennyiségű anyag jut az akkréciós korongba. A felfényesedést a fölös anyag felszabaduló gravitációs helyzeti energiája adja, amely felfűti az akkréciós korongot. Mivel az akkréciós korong külső (hidegebb) régiói a látható tartományban sugároznak erősebben, ezért az akkréciós korongon kívülről befelé haladó változás először vizuálisan jelentkezik. Az ultraibolya tartomány megfigyeléséhez azonban űrbéli távcsövekre van szükség, amelyek nagyon kötött észlelési programmal bírnak. Tehát

szükség van egy riasztócsengőre, amely idejében értesíti a kitörésre váró szakcsillagászokat, akik így rögtön tudnak reagálni.

A *nóvákat* még jelenleg is főleg amatőrök fedezik fel, igaz, általában fotografikus úton. A *szupernóvák* felfedezése sokkal nehezebb ügy, különösen a jelenleg működő nagy szupernóva-kereső hálózatok mellett.

A fentiek sok szempontból természetes fontossággal ruházzák fel az amatőr észleléseket. A szakcsillagászatot kiegészítő vizuális fényességbecslésekre az előre-lejehetetlenség miatt mindig is szükség lesz (legalább is addig, amíg nem lesznek az egész eget lefedő automatikus és folyamatosan működő égfelügyelő robotátvcsövek — erre azonban még várni kell). A következőkben egy sokkal kevésbé nyilvánvaló alkalmazást mutatunk be egy részletes példán keresztül.

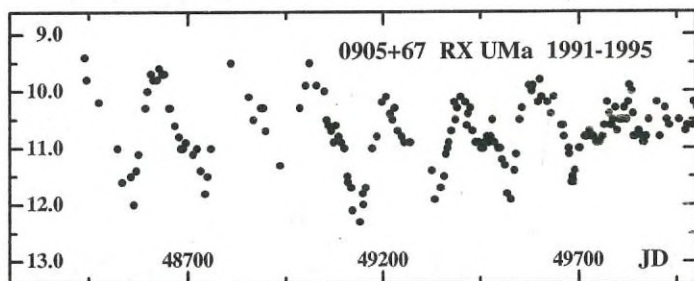


Mind az MCSE Változócsillag Szakcsoportjának számítógépes adatbankja, mind az ehhez hasonló nemzetközi adatbázisok (legjelentősebb közülük az Amerikai Változócsillag-észlelők Társasága — AAVSO — adatbankja közel 9 millió egyedi észleléssel) azért létesültek, hogy könnyen kezelhető formában elérhetőek legyenek az adott esetben több évtizedre visszanyúló fénygörbék. Ezek a hosszú adatsorok rengeteg információt tartalmaznak az egyedi csillagokról, csillagtípusokról. Az észlelési programok igen nagy hányada *hosszú periódusú pulzáló változó* (mírák, fél-szabályos változók), amelyek egy-egy pulzációs ciklusa több száz napot is kitehet. Ezek részletes analizisével becslést adhatunk a csillagok tömegére, sugarára, abszolút fényességére, hőmérsékletére, azaz a legfontosabb fizikai paraméterekre. Egy ilyen analízis modelljét szeretnénk részletezni a következőkben. Ha a Tisztelt Olvasó eddig már eljutott, most se lapozzon tovább, mert nem lesz semmilyen bonyolult matematikát, vagy fizikát igénylő gondolatmenet!

Közismert tapasztalat a mindennapi életből, hogy a különböző anyagi minőségű tárgyakat megütve könnyen meg tudjuk őket különböztetni a hallott hang alapján. Tiszta csengés, magas, vagy mély, gyorsan elhaló, vagy kitartóan szóló hang — mind-mind a megütött tárgy belső tulajdonságaira utal. Igen jó közelítéssel az ütéssel megrezgetett tárgy rezgéseinek frekvenciája (azaz a hangmagassága) a sűrűséggel lesz arányos. Emellett azt is tudjuk, hogy ezek a rezgések nem tiszták, különböző frekvenciájú összetevők alakítják ki (azaz a hangszín is különbözik).

Az is közvetlen tapasztalat, hogy pl. a megütött harang, csengő is más hangon fog megszólalni, attól függően, hogy pl. a megütött harang, csengő is más hangon fog megszólalni, attól függően, hogy mekkora, vagy hogy hogyan ütjük meg. Adott esetben ugyanazt a harangot is meg tudjuk szólaltatni eltérő hangon, ha kicsit másképp ütjük meg, vagy pl. valahol megfogjuk és úgy ütünk rá. A különböző hangokat megvalósító állapotokat nevezzük rezgési módusoknak, amelyek frekvenciái szorosan összefüggnek.

Ezen egyszerű hangtani analógiák átvihetők a pulzáló változókra is, amelyek fényességüket azért változtatják, mert periodikusan összehúzódnak és kitágulnak, tehát sugárirányú rezgéseket végeznek (nem csak ilyenek léphetnek fel, de ezzel most nem foglalkozunk). A pulzáló változóknál a rezgés eredményeképpen egy periodikus fénygörbét kapunk, amely a hanghoz hasonló módon információkat hordoz a csillagok sűrűségéről, méretéről. Ezeknél a csillagoknál sajnos nincs közvetlen tapasztalatunk az összefüggésekről, így az elméleti számításokra vagyunk utalva.

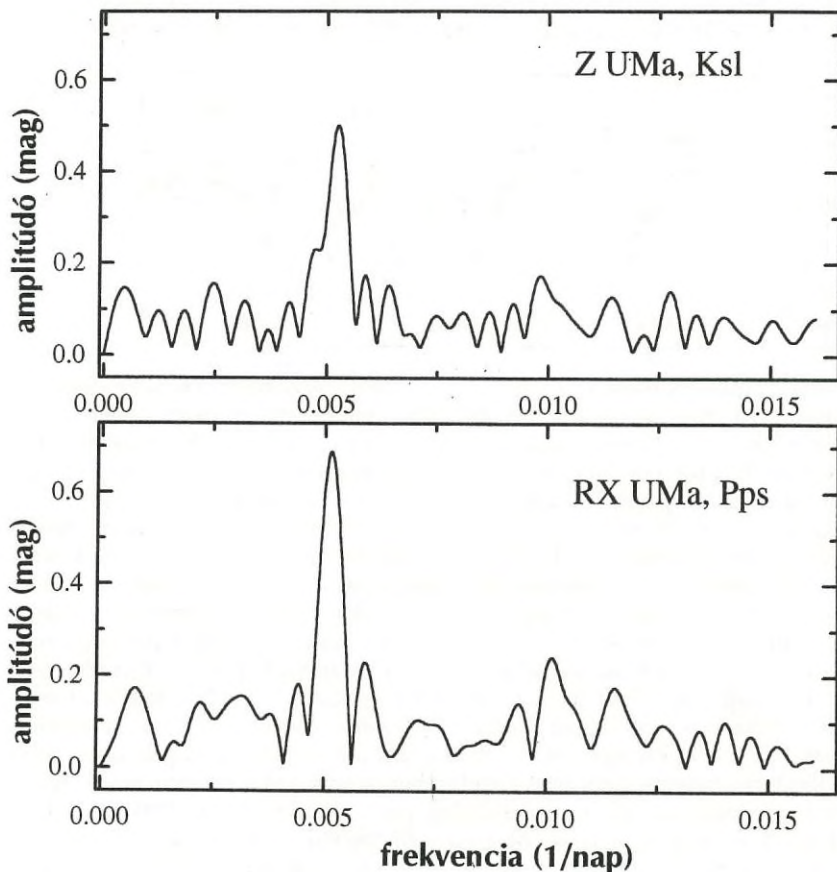


Az elméleti számításokat nem lenne túl szerencsés itt részletezni. Lényegét tekintve a csillagokat, mint gázgömböket több száz, vagy ezer koncentrikus gömbhéjra osztják, amelyek között néhány fizikai alapegyenlet írja le a kölcsönhatásokat (kulcsszavak: hidrodinamika, termodinamika, sugárzásterjedés). Ezeket az egyenleteket numerikusan, szuperszámítógépekkel meg lehet oldani modelles csillagokra. A modelles csillag egy a tömegtől, összetételtől, hőmérséklettől és abszolút fényességtől (pontosabban a fényteljesítménytől, azaz a luminozitástól) függő belső szerkezetű gázgömb. A számítások eredményeképpen megkapjuk a csillagok sugarát, esetleg az említett paraméterek változását. Bizonyos hőmérséklet, tömeg, stb. tartományokban a számítások időben változó sugarat eredményeznek, azaz a modellek pulzációt mutatnak. Ami a fénygörbék értelmezéséhez kulcsot ad: a modelles számítások eredménye a különböző tömegű, hőmérsékletű és abszolút fényességű modelles csillagok lehetséges rezgési módusainak periódusa (hosszú táblázatokat kell elképzelni, amelyek a bizonyos értékek között kis lépéssel változtatott paraméterek függvényében a rezgési periódusokat tartalmazzák)! Így első közelítésben a fénygörbe periodicitását összehasonlítva a modellekkel, ill. a modelles csillag paramétereit megfigyelttel a valódi csillag jellemzőinek, egyszerűen adódik a vizsgált objektum természete.

A helyzet természetesen nem ilyen egyszerű. Viszonylag sok, különböző paraméterű modell mutathat ugyanakkora periódusú rezgést. Egész más azonban a helyzet, ha nem tiszta rezgésről van szó, hanem több komponens is megfigyelhető, tehát több rezgési módus is működik (ez annak felel meg, hogy a megszólaltatott harang többféle rezgésből állítja össze a hangot). Az elméleti számítások a leghosszabb periódusú, ún. alaplómódus mellett eredményként szolgáltatják a rövidebb periódusú ún. felharmonikusokat is. A különböző rezgési állapotok periódusai viszont már nem függetlenek, tehát jól behatárolható paraméterű modellek „tudják” csak a megfigyelt periódusokat visszaadni.

Ezek után egyszerűbb már a helyzet: a fénygörbe matematikai analízisével meg tudjuk határozni a periodikus összetevőket, és összehasonlítás útján kikereshető a megfigyelt összetevőket legjobban visszaadó modell. A matematikai analízisnél elsősorban a hagyományos *Fourier-analízisre* kell gondolni, amely egy matematikai

transzformáció révén a fénygöréből előállít egy ún. frekvenciaspektrumot, amely azt mutatja, hogy a különböző frekvenciájú összetevők mekkora súllyal (amplitúdóval) vesznek részt a fénygörbe kialakításában. Amelyik frekvencia (a periódus reciproka) dominál, ott a spektrumban egy csúcs lesz.



A két bemutatott csillag adatsorának frekvenciaspektrumai

Két félszabályos változócsillagra mutatjuk be az eredményeket. Mivel a cikk célja új változóészlelők toborzása, ezért kiragadtunk két csillagot és két észlelőt. A Z Ursae Maioris fénygörbéjén a szerző észlelései szerepelnek, míg az RX Ursae Maioris esetében igen aktív észlelőnk, Papp Sándor megfigyeléseit választottuk az analízis alapjául (a bemutatott görbék 1991–1995 közöttiek, míg az adatsorok némileg hosszabbak: Z UMa 177 pont, 1991–1997; RX UMa 207 pont, 1990–1996). A két fénygörbe nagyon hasonló, többé-kevésbé szabályosan (l. félszabályos változók!) változnak, durván 2 magnitúdós amplitúdóval. A két csillag kiszámított frekvenciaspektruma látható a következő ábrán — a hasonlóság igen erős. Szinte csak a 190

napos (Z UMa) és a 194 napos (RX UMa) periódusnak megfelelő helyen van egy nagy csúcs, ami nagyfokú szabályosságra utal. Statisztikailag a zajból kiemelkedő csúcs még a 102 napos (Z UMa) és 99 napos (RX UMa) periódusnak megfelelő frekvenciánál látszik, a nagy csúcsoktól jobbra.

Pulzáló vörös óriáscsillagokra Ostlie és Cox publikált modellszámításokat 1986-ban. Az eredeti cikkben másfél oldalon sorakozó számoszlopok közül csak néhány írja le jól az ilyen periódusviszonyokat:

P_0	P_1	M/M_{\odot}	L/L_{\odot}	T_{eff}
197,0	93,1	0,8	1500	2800
196,5	94,1	0,8	2000	3000
185,3	93,6	1,0	1500	2700
185,1	102,0	2,0	3000	2800

Az oszlopok jelentése: alpmódus periódusa napban, első felharmonikus periódusa napban, tömeg naptömegben, luminozitás a Napra vonatkoztatva, felszíni hőmérséklet kelvinben.

Jól láthatóan a modelleknek való megfeleltetés kb. 1 naptömeget, 1500–2000 nap-luminozitást és 2800–3000 K-es hőmérsékletet rendel a csillaghoz. A hőmérsékletből és luminozitásból a sugarakat is kiszámíthatjuk (a részletek az ajánlott irodalomban megtalálhatók), ami mindkét csillagra 200–250 napsugár (azaz a Nap helyén a két csillag a Földet is elnyelné). Természetesen a megfelelő bizonytalanság terheli az értékeket, ugyanakkor jelenleg gyakorlatilag nem létezik pontosabb paraméter-meghatározó módszer. Persze nem szabad azt sem elhallgatni, hogy senki nem garantálja, hogy a modellek abszolút pontosan leírják a valóságot, sőt, ez biztosan nem is igaz. Ugyanakkor a nagyságrendi becslésnél nagy valószínűséggel pontosabban megkaptuk a fizikai jellemzőket.

Röviden összefoglalva a konkrét példa eredményét: két amatőrcsillagász 6 év hosszú megfigyelés-sorozatából és az 1980-as évek közepén publikált elméleti számításokból megbecsültük a vizsgált két csillag legfontosabb paramétereit. Így talán azok számára is értelmet adhatunk a változás nemes tevékenységének, akik az amatőrcsillagászatot is a tudományosság szempontjából közelítik meg. A fentihez hasonló alkalmazást tucatszám lehetne még sorolni és részletezni, de remélhetőleg ennyi is világossá tette a *miért* kérdésre adható válasz(ok) lényegét.

KISS LÁSZLÓ

Vonatkozó irodalom:

- A sorozat előző két része: Meteor 1997/6. 46. o., 1997/7–8. 56. o.
- Az amatőrcsillagászok és a kataklizmikus változók, Meteor 1996/10. 40. o.
- Amatőrcsillagászok a Hipparcos-érában, Meteor 1997/9. 7. o.
- Új távlatok a változócsillagászatban..., Meteor 1997/9. 39. o.
- A példa-analízis bővített alkalmazásai (Szatmáry Károly és munkatársai, csak az 1993-nál későbbiek): V Boo, Meteor 1995/10. 32. o., TX Dra, Meteor 1995/1. 34. o., T UMi, Meteor 1994/9. 42. o., AF Cyg, Meteor 1993/9. 46. o., R Dra, T UMa, S UMa, Meteor 1993/7–8. 46. o., W Cyg, Meteor 1993/4. 26. o.