

## Miért részesítjük előnyben a fotoelektromos fotometriát ?

Számos amatőr csillagász kedvenc időtöltése a változócsillagok megfigyelése. A változócsillag-észlelés nem mindig jelent felemelő és lenyűgöző élményt. Ami az alkalmi megfigyelőt illeti, számára az égbolt csillagai változatlanul ragyognak. Valaha, hosszú ideig ez volt az általános hit. A türelmes és kitartó csillagászok azonban a modern időkben kimutatták, hogy néhány csillag fényessége szabad szemmel nézve is változik. Nem fér hozzá kétség, hogy a vizuális megfigyelések nagy szolgálatot tettek ismereteink előrehaladásában és még manapság is gyakran felütjük a régi publikációkat egy-egy csillag viselkedésének vizsgálatára során. Bármilyen régiek is ezek az adatok, mégis nagyon fontosak a csillag rejtélyes történetének leírásakor.

A megfigyelési technika egyre tökéletesedő szintje utat nyitott nagy számú és különböző típusú változócsillag felfedezéséhez. A klasszikus változócsillagok /pl. mirák, nóvák/ mellett néhány nagyon különleges fajtájú változó is ismeretes, melyek átformálták a változócsillagok hagyományos fogalmát. Például egy röntgen-változó akár állandó fényességű is lehet az optikai hullámhosszakon vagy, hogy egy másik esetet említsünk, a vonalprofil-változókat nem is lehet felfedezni széles sávú fotometriai megfigyelésekkel.

A múltbeli vizuális észlelések nagy haszna ellenére az effajta megfigyelések nem felelnek meg a mai kor követelményeinek. Sokan foglalnak úgy állást, hogy a kis amplitúdójú változócsillagok /mint pl. a Béta Cephei és a Delta Scuti típusúak/ fotoelektromos vizsgálatokra kiszemelt objektumok és a vizuális megfigyelések csak a nagy amplitúdójú változókról szolgáltatnak értékes adatokat. Anélkül, hogy tagadnánk a vizuális észlelések hasznát bizonyos esetekben /pl. a miráknál/, meg kell jegyezni, hogy a nagy amplitúdójú változóknál számos olyan jelenség lép fel, melyek csak fotoelektromos fotometria révén tanulmányozhatók. Éppen ezek a jelenségek azok, melyek többnyire nagy asztrofizikai jelentőségűek

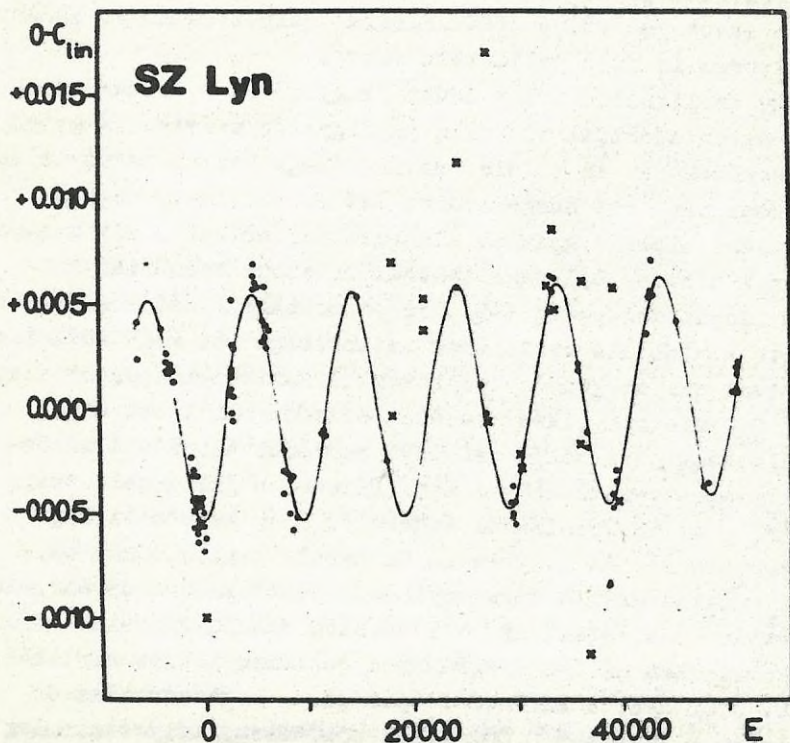
a csillagok szerkezete és fejlődése szempontjából. Annak ellenére, hogy ezek az effektusok gyakran egészen parányiak, egyáltalán nem hanyagolhatók el és néha nagyon fontos következtetések vonhatók le belőlük.

A következő példákkal azt szeretnénk illusztrálni, hogy az egyszerű eszközökkel végzett fotoelektromos megfigyelések is jelentősen hozzájárulhatnak ismereteinkhez. Főleg az instabilitási sávba eső változócsillagokra összpontosítunk, néhány egyéb típusra is futó pillantást vetve.

A nagy amplitúdójú Delta Scuti /vagy törpe cefeida/ csillagokat gyakran ajánlják vizuális megfigyelők számára. A gyors fényességnövekedés és az éles maximum megkönnyíti az észlelést. Itt azonban nem árt hangsúlyozni azt az intelmet, hogy a megfigyelési hibákat gyakran alábecsülik, amikor a maximum magasságának hibáját 0,1 magnitúdónál kisebbre becsülik, a maximum időpontját pedig 3-4 perc pontossággal határozzák meg. Valójában a vizuális észlelések hasznossága itt megkérdőjelezhető, mivel nem elegendően pontosak. A maximum-időpontok alapján, az O-C diagram elkészítésével ellenőrizni lehet a periódus változásait. A törpe cefeidák periódusváltozásai különböző hatásokra vezethetők vissza. Például a jól ismert törpe cefeidáról, az SZ Lyncis-ről kiderült, hogy kettőscsillag egyik komponense. Az 1. ábra az SZ Lyncis periódusának változását mutatja az idő függvényében. A fotoelektromos észlelések tisztán kirajzolják a kettősség miatti fény-idő effektust. Mivel ezen az O-C diagramon a hullámok teljes amplitúdója kb. 0,01 nap, a maximum időpontjának meghatározásakor követelmény a legalább 0,002 napos pontosság, mely kizárólag fotoelektromos technikával érhető el. Az irodalomban közölt vizuális észlelések szintén szerepelnek az 1. ábrán. Látható, hogy az O-C diagram ezen pontjai nem utalnak arra, hogy a hullámok egy parabolára rakódnak rá, ami azt jelenti, hogy a pulzációs periódus enyhén, de állandóan nő. Még az olyan alapvető paramétereket is meg lehet határozni ebből a diagramból, mint a keringési periódus és a  $v \cdot \sin i$  értéke.

Más nagy amplitúdójú Delta Scuti csillagok, mint pl. az YZ Bootis vagy a DY Herculis, szintén kis mértékben, lineárisan változtatják periódusukat.

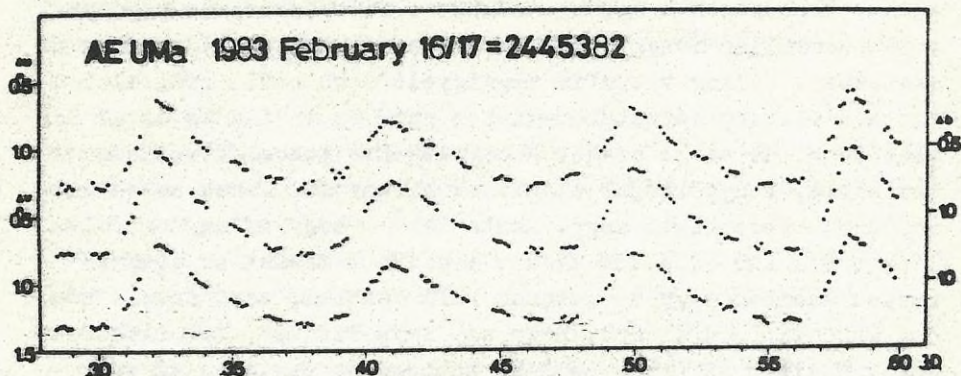
Ezek a változások fejlődési eredetűek lehetnek és/vagy a csillag szerkezetét megváltoztató folyamatokkal lehetnek kapcsolatban. Ezeknek a piciny periódusváltozásoknak a megfigyelése nagyon fontos, de a vizuális észlelők számára reménytelen feladat lenne.



1. ábra. Az SZ Lyncis O-C diagramja. A pontok a fotoelektromos észleléseket, a keresztek a gyakorlott vizuális észlelők által kapott adatokat jelölik. /A vizuális O-C értékek az ismert csillagászati folyóiratokból vett adatok középértékei/.

Sok törpe cefeida egyszerre két módusban pulzál. Ugyanannál a csillagnál két periódus egyidejű jelenléte erősen modulált fénygörbét eredményez. A periódusok pontos értékét és bármilyen lehetséges változását csak akkor lehet meghatározni, ha nagy mennyiségű fotoelektromos adat áll rendelkezésre. Csak kevés kétmódusú törpe cefeida elég fényes ahhoz,

közepes méretű távcsővel is lehessen észlelni. A 2. ábra az AE UMa fénygörbéjének egy darabját mutatja, az MTA Csillagászati Kutató Intézete hagyományos UBV fotométerrel felszerelt 50 cm-es távcsövével nyert megfigyelések alapján. Néhány törpe cefeida /pl. VZ Cancri az északi égen, a V703 Scorpii és az SX Phoenicis a délin/ még kis távcsővel is jól megfigyelhető.



2. ábra. Az AE UMa UBV fénygörbéi.

Az RR Lyrae típusú csillagok a vizuális megfigyelők régi kedvencei. Ezen csillagok kapcsán számos érdekes kérdés vetődik fel, ezek egyike a periódusváltozás problémája. A vizuális észlelések csak a változás durva nyomonkövetését teszik lehetővé. A legutóbbi években azonban az O-C diagram finomszerkezete nagyon fontos témává vált és az apró részleteket csak fotoelektromos megfigyelések alapján lehet tanulmányozni. Még ma is nyitott kérdés, hogy a periódus változásai folyamatosan vagy hirtelen történnek-e. A Blazskó-effektust mutató RR Lyrae csillagok O-C diagramja különösen bonyolult. Az RR Lyrae csillagok mintegy 30%-ának nem állandó a fénygörbéje, vagyis maga a fényváltozás nem ismétlődő jellegű. Az egy periódussal leírható RR Lyrae csillag jellemzői: a periódus, a fénygörbe alakja /aszimmetriája/, az amplitúdó és a színindexek bizonyos fázisoknál. Néhány RR Lyrae csillag jelentősen változtatja egyes paramétereit egy hosszabb /40-80 napos/ másodlagos periódussal. A maximum magasságának változása  $0^m,1-0^m,2$

lehet és a maximum fázisa ugyanazzal a hosszabb periódussal oszcillál. Az oszcilláció amplitúdója néha az egy órát is elérheti. Ezt a jelenséget először Blazskó észlelte vizuális módszerrel, az RW Draconis és az XZ Cygni esetében. Nemsokára más csillagoknál is gyanították ennek az effektusnak a jelenlétét. Érdekes módon Sperra azt állította, hogy az SU Draconis és az SW Draconis egyaránt Blazskó-effektust mutat a vizuális észlelések alapján, azonban a fotoelektromos megfigyelések semmilyen fénygörbeváltozást sem mutattak ki ezekben az esetekben. Néhány vizuális megfigyelő több csillagról állította a Blazskó-effektus meglétét /pl. az AT And és az AN Ser esetében/, de amint ezeket a csillagokat fotoelektromosan észlelték, fénygörbéjük stabilnak bizonyult. Ennek az ellentmondásnak kézenfekvő magyarázata lehet, hogy az egykor fellépett Blazskó-effektus később megszűnt. Ezeket az eredményeket azonban nagyon óvatosan kell kezelni, mert furcsa módon sohasem fordult elő, hogy egy egyperiódusú, fotoelektromosan észlelt RR Lyrae csillag többszörös periódusúvá vált és fordítva.

A másodlagos periódusok vizuális megfigyelésekből történt meghatározása gyakran vezetett ellentmondásos eredményekhez: a periódus biztos értékét csakis fotoelektromos mérésekből lehet megkapni.

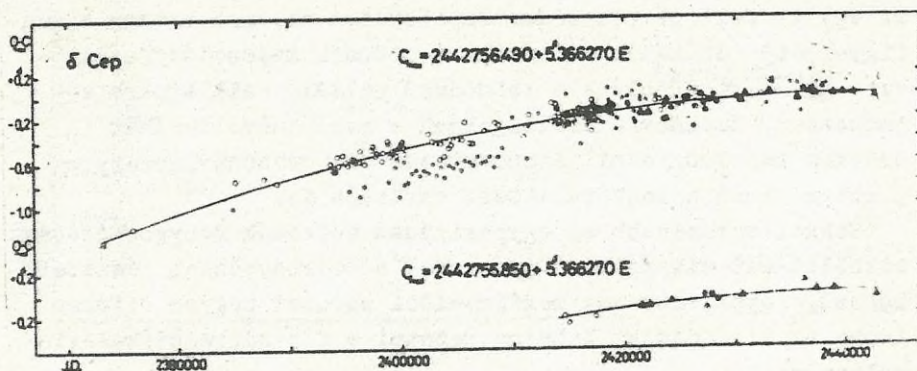
A Blazskó-effektust mutató RR Lyrae csillagok rendszeres fotoelektromos észlelése azért rendkívül fontos, mert a jelenség fizikája még nincs tisztázva.

Nemrégiben az RR Lyrae csillagok között is felfedezték a kétmódusú pulzációt. Ezek a csillagok alaprezgésen kívül az első felharmonikusban pulzálnak. Gömbhalmazokban több kétmódusú RR Lyrae csillag ismert, de a galaktikus mezőben csak egyről tudunk /AQ Leo/. Nagyon érdekes csillag a BV Aquarii, melynek fő periódusa 0,364 nap. Ceszevics ezt a csillagot a Blazskó-effektusos RR Lyrae csillagok közé helyezte, 11,6 napos másodperiódussal. Ez a hosszabb periódus lehet, hogy nem helyes; ha így van, akkor a BV Aqr a kétmódusú RR Lyrae-k közé tartozhat. Ezt a csillagot különösen ajánljuk a fotoelektromos észlelők figyelmébe.

A cefeida változók szintén a változóészlelők kedvező célpontjai. Nagy luminozitásuk és alacsony galaktikai szélességük miatt számos közeli galaktikus cefeida szabad szemmel is jól látható. A régi vizuális megfigyelők hatalmas mennyiségű adatot gyűjtöttek: ezen csillagok periódusváltozásaira vonatkozó ismereteink jó része az ő feljegyzéseiken alapul. Ma azonban a cefeidákra vonatkozó fotometriai adatok többsége fotoelektromos és be kell ismerni, hogy a most végzett vizuális fényességbecslések sokkal kevésbé értékesek, mint hajdanában.

A hivatásos csillagászokat a nagyon részletekbe menő kutatások érdeklik, mint pl. a cefeidák kémiai összetétele, vagy az ezekre a csillagokra érvényes, jól ismert összefüggésekkel kapcsolatos kutatások. Emiatt csak kiválasztott csillagokat /pl. kalibráló cefeidákat/ észlelnek és a fényes cefeidák többségét egyre inkább elhanyagolják. Ahhoz, hogy nyomon kövessük a periódusváltozásokat, tehát, hogy megalkossuk az O-C diagramot, a cefeidák rendszeres fotoelektromos észlelése szükséges. Ez a feladat még a legegyszerűbb fotoelektromos fotométerekkel is elvégezhető.

A 3. ábra a cefeidák prototípusául szolgáló Delta Cephei O-C diagramját mutatja be, ahol a háromszögek, a pontok és az üres körök rendre a fotoelektromos, a fotografikus és a vizuális megfigyeléseken alapuló O-C értékeket jelölik.



3. ábra. A Delta Cephei O-C diagramja.

A 3. ábrán az egyes jelek mérete a hozzájuk tartozó megfigyelési sorozat súlyára utal. Bár a vizuális észlelésekből is nyomon lehet követni a görbe parabolikus jellegét, vagyis a folytonos perióduscsökkenést, a fotoelektromos pontok szórása sokkal kisebb az illesztett görbe körül. Az O-C diagramból bármilyen finom effektus, mint pl. a kettősség /ami nem ritka a cefeidák között/ csak fotoelektromos észlelések használatakor mutatható ki.

A Delta Cephei esetében a periódus csökkenése csupán tíz másodperc évszázadonként, de még így is kimutatható. Mivel a változócsillagokat jellemző paraméterek közül a periódust lehet a legpontosabban meghatározni, a periódusváltozások jól felhasználhatók a csillagban bekövetkező szekuláris változások, azaz a csillagfejlődés nyomon követésére. Így tehát a fotoelektromos megfigyelő tanúja lehet, hogyan keresztezi a cefeida az instabilitási sávot anélkül, hogy a csillag luminozitása vagy hőmérséklete /szinindexe/ észrevehetően megváltozna. Hasonlóképpen, a kétmódusú cefeidák megfigyelése nagyon értékes lenne. Ezeknek az ún. beat cefeidáknak egy tucatnyi ismert képviselője van; az egynél több periódussal pulzáló, ismert fényesebb cefeidák a TU Cas és az U Tra. A rájuk vonatkozó fotometriai adatok olyan hiányosak, hogy nem lehet csodálni, ha néha egymásnak ellentmondó állítások találhatók viselkedésükről a szakirodalomban. Nem tudjuk pontosan, hogy az együtt fellépő két módus amplitúdója állandó-e vagy a megfigyelhető időskálán változik. A módusok kapcsolódása alapvető elméleti probléma a kétmódusú pulzáló csillagokra vonatkozóan. Ezeknek a csillagoknak a periódusváltozását is érdemes tanulmányozni. Azonban ezen vizsgálatok bármelyike próbára tenné a legtürelemesebb észlelőt is.

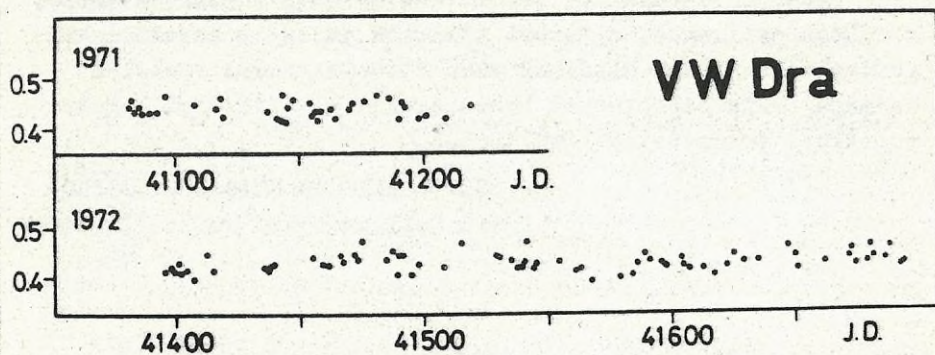
Sokkal egyszerűbb az egyperiódusú cefeidák fénygörbéjének stabilitását vizsgálni. Ugyanazzal a berendezéssel készített hosszú, fotoelektromos megfigyelési sorozat nagyon értékes lenne és biztosan ki lehetne mutatni a fénygörbe szekuláris változásait.

A fenti javaslat még inkább érvényes a II. populációs cefeidákra. Bár ezen utóbbi változócsillagok rövid periódusú csoportját /BL Her típusú változók/ elég gyakran észlelik

ugyanaz nem mondható el a hosszú periódusú csoportról /W Vir típusú csillagok/. A W Virginis típusú csillagok periódusa nagyon instabil és a fénygörbe változása is gyanítható. Ebben a vonatkozásban ezek a csillagok az RV Tauri változókhöz hasonlítanak, melyek páros és páratlan sorszámú epochához tartozó fénygörbéje egymástól különbözik.

Amint az instabilitási sávtól egyre jobbra haladunk, alacsonyabb hőmérsékletű és kevésbé szabályos változócsillagokat találunk. Ezek közül a félig szabályos változócsillagok közül néhány elég fényes ahhoz, hogy kis távcsővel is észlelhető legyen. A fényváltozásaikra vonatkozó összes információnk vizuális megfigyelésekből származik. Mivel ezen csillagok fényváltozási amplitúdója rendszerint egy magnitúdónál kisebb, az adatok bizonytalansága viszonylag nagy. Ezt a tényt saját fotoelektromos észleléseink is alátámasztják.

A hetvenes évek elején kezdtük el néhány SRd változócsillag észlelését intézetünkben. A programcsillagok egyike a VW Draconis volt. A vizuális észlelők közleményeikben gyakran állították, hogy a csillag néhány tized magnitúdós amplitúdójú fényváltozást mutat néhány hónapos periódussal. Az MTA Csillagászati Kutató Intézetében végzett nagy számú fotoelektromos megfigyelés alapján a VW Draconisnál nem látszik határozott fényességváltozás /ld. a 4. ábrát/. Ugyanerre az eredményre jutott Murnikova és Vasilyeva 1979-ben.



4. ábra. A VW Dra  $\Delta V$  észlelései. Egy megfigyelés hibája kb.  $0^m,02$ . Ha valamilyen változás létezik, amplitúdója kisebb kell, hogy legyen  $0^m,05$ -nél.

Csak azt mondhatjuk, hogy igen különös lenne, hogy a csillag állandó fényességű a fotoelektromos megfigyelések idején, míg a vizuális észlelések alkalmával változó. Ez a példa szintén jól mutatja a fotoelektromos fotometria fontosságát.

Az R CrB típusú változók megfigyelése a vizuális észlelők vadászterülete maradt. A hirtelen, mély minimumba való belépés idejét nem lehet előre megadni, ezért a vizuális megfigyelők által szolgáltatott riadó nagyon hasznos. Ugyanakkor az e típusba tartozó csillagok közül néhány rászolgál a fotoelektromos észlelők figyelmére is. Azok az R CrB csillagok, melyek az instabilitási sávban találhatóak /vagyis az F és G szinképtípusúak, bármilyen gyakori is bennük a szén és a hélium/, instabilak a pulzációval szemben és néhány tized magnitúdós amplitúdóval pulzációt végeznek. Ezt a jelenséget az RY Sgr és maga az R CrB mutatja a legjobban. Mindkét csillag pulzációs ciklusának hossza kb. negyven nap.

A törpe nóvák még mindig a vizuális észlelők kedvelt objektumai. Ebben az esetben a feladatuk az, hogy megfigyeljék az összes kitörést. Ezen változók egyik altípusához tartoznak az SU UMa típusú csillagok. Szupermaximumaik idején kis amplitúdójú oszcillációt /szuperpúp/ végeznek. A szuperpúpokat feltétlenül fotoelektromosan kell észlelni. Jellemző amplitúdójuk néhány tized magnitúdó, míg periódusuk igen rövid: alig néhány óra.

A fenti objektumok és jelenségek mellett a mikrováltozók, a foltos csillagok, a fedési változók és egyéb objektumok is gazdag választékot kínálnak azon fotoelektromos észlelők számára, akik szeretnének hozzájárulni a változócsillagokra vonatkozó ismereteink bővüléséhez.

SZEIDL BÉLA és SZABADOS LÁSZLÓ  
/MFA Csillagászati Kutató Intézete/

