

Változócsillagok

Az M37 változócsillagai

Bevezetés

A Halmazváltozók I. (Meteor 2000/10, 38. o.) című cikkben részletesen foglalkoztunk a nyílthalmazok fotometriai szempontból érdekes tulajdonságaival. Áttekintettük az ezen halmazokban található pulzáló változócsillagok jelentőségét, illetve érintettük a Szegedi Tudományegyetemen folyó programot, amelynek keretében az M37 nyílthalmazban változócsillagokat kerestünk. Az ott említett vizsgálatok mellett tanulmányoztuk még a halmaz fotometriai és statisztikai jellemzőit. A résztvevők a szegedi negyedéves és külsős hallgatók (Sziládi Katalin, Szabó Gyula, Sárneckzy Krisztián, Fűrész Gábor, Csák Balázs) közül kerültek ki, a témavezető Kiss László volt. Jelen írás célja az M37 tulajdonságainak összefoglalása és saját eredményeink ismertetése.

Előzmények és megfigyeléseink

Az M37 gazdag halmaz az Auriga csillagképben. Galaktikus koordinátái $l = 177^{\circ}7$ $b = +3^{\circ}1$; azaz a fősíkhoz igen közel, sűrű csillagmezőben látható. Az M37 összfényessége 6,2 magnitúdó. Az asztrometriai tanulmányok közül megemlíthető Nordlund (1909), Giebeler (1914), Lindblad (1954), Meurers & Schwartz (1960), Jefferys (1962) és Upgren (1966) munkája. Fotometriai méréseket Zeipel (1921), Becker (1948), Hoag et al. (1961), spektroszkópiát Zug (1933) és Lindblad (1954) közöl.

West (1964, 1967) alapos vizsgálatai alapján a halmaz $10'$ sugarú központi tartományában $930 V = 17,7$ magnitúdónál fényesebb csillag található. A szín-fényesség diagram szerint a halmaz tagjai egy jól definiálható fősorozat csillagai, valamint 27 tagja az óriáságon helyezkedik el. A fősorozat a B8 színképosztálynál kezdődik. A csillagközi por fényelnyelését jellemző színexcesszusok: $E(B-V) = 0,27$, $E(U-B) = 0,19$, azaz az egyedi csillagok B-V és U-B színindexei ezekkel az értékekkel nagyobbak a tiszta, „pormentes” esethez viszonyítva. A halmaz a legerősebben koncentrálódnak közé tartozik, ezért a CCD technika megjelenése előtt nehéz volt pontos fotometriai vizsgálatokat végezni egyedi csillagokra. A méréssel kapcsolatos további nehézség, hogy a Tejút fősíkjához közel sok mezőcsillag került a látómezőbe, így a talált változócsillagok korántsem bizonyosan tagjai a halmaznak. Ezt a kérdést csak a hosszú távú asztrometriai programokkal lehet eldönteni. Ilyen okok miatt korábban még senki nem vállalkozott a halmaz változócsillagainak felkutatására.

Az alább bemutatott méréseket az MTA Csillagászati Kutatóintézetének Piskés-tetői Observatóriumában végeztük, 1999 decembere és 2000 februárja között. A használt műszer a 60/90/180 cm-es Schmidt-teleszkóp volt, amelyet Photometrics AT200 (1536x1024 KAF 1600 chip, MCII bevonattal) kamerával szereltek fel. A leké-

pezett égtérület 29x18 ívperc, amit ha összevetünk a chip sorbontásával, a szögfelbontásra 1,1 ívmásodperc/pixel adódik.

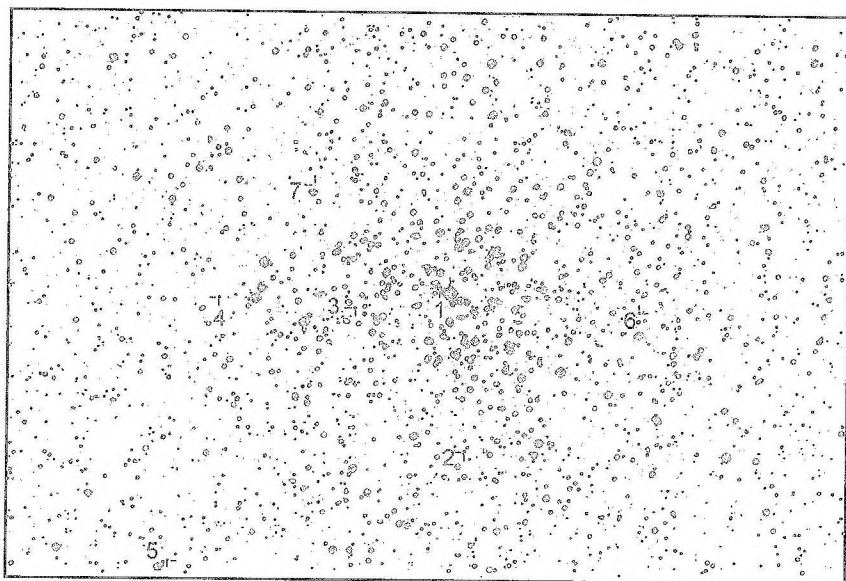
Az 1999. december 29/30. éjszakán készült rövid és hosszú expozíciók B, V és R szűrős képek alapján elkészítettük az M37 szín-fényesség diagramját (ami analóg a Hertzsprung–Russell-diagrammal – HRD, l. pl. Halmazváltozók I.). Az egyedi képek PSF-fotometriája után a csillagokat kölcsönösen azonosítani kellett a képpárokon, hogy a színindexeket megállapítva, abszolút fotometriára is lehetőség nyíljon. A kimenő adatokat az apple (Balogh Zoltán, Kaszás Gábor, Fűrész Gábor fejlesztése) csomaggal rendeztük össze, amely program szigorú azonosítási kritériumok mellett félautomatikus módon azonosítja a képenként kissé elcsúszó csillagmezőket, megállapítva azt az eltolást (és esetleges elfordulást), amely a két mezőt fedésbe hozza. A csillagok detektálásának alsó küszöbértékére a háttér szórásának kétszeresét adtuk meg. A legtöbb (3024) csillagot a hosszú expozíciók R képen találtuk, ezért ehhez viszonyítva rendeztük a koordinátafájlokat.

E tömörségében kissé száraznak ható bevezetőben még meg kell emlékeznünk az asztrometriai mérésekről is. A kiméréskor a CCD-képeken detektált csillagok koordinátáit ezredpixelre megkapjuk ugyan, de természetesen semmi közvetlen információnk nincs a pontos égi koordinátákról. Egy egyszerű módszer a kielégítően pontos asztrometriára, hogy megfelelő koordináta-standardokat azonosítunk a képmezőben, és ezek alapján valamilyen (ezt elsősorban a feladat szabja meg; lokálisan elég forgatási mátrixot, globálisan legalább kvadrátikus transzformációt keresni) módon meghatározzuk a CCD-kép koordináta-hálóját. A standard pontokat a HRD alapján választottuk ki, mégpedig olyan csillagok képében, amelyek a fősorozat kék ága alatt, illetve a vörös óriások alatt, de a fősorozat fölött helyezkednek el. Ezek között számos olyan csillag lehet, amelyek jóval messzebb vannak, mint a halmaz tagjai, így kisebb sajátmozgásuk miatt biztosabb alappontoknak tekinthetők. A kiválasztott 18 standard koordináta-reziduáljai 0,3–0,4 ívmásodperces nagyságrendűek, így a két dimenziós égi koordinátarendszerben fél ívmásodperces pontosságot sikerült elérnünk. Ez kb. fele akkora, mint a kamera egyes pixeljei által leképezett égtérület.

Hogy szín és fényesség adataink összevethetőek legyenek az archív mérésekkel, csillagainkat egyesével azonosítottuk West katalógusával. Ez utóbbi koordinátákat nem tartalmaz, így manuálisan kellett a több ezer csillag általunk bevezetett sorszámmát West fotografikus térképeivel és körülményes, három dimenziós nomenklatúrájával egyeztetni. Az azonosítás végül azzal az eredménnyel járt, hogy a két fotometriai program az egyes csillagokra hibahatáron belül egyező színindexeket és V fényességeket határozott meg. Ez a fölötté örvendetes tény megerősíti, hogy akkor is bízhatunk saját adatainkban, amikor nincs hozzá kontroll-megfigyelés, illetve hogy a talált változócsillagok fényváltozásait is megbízható módon tudtuk megmérni.

Fedési változók

A fentebb leírt kiértékeléssel 2546 csillagra kaptunk idősorokat, amelyek fényessége 10–17 magnitúdó között oszlott meg. A csillagok fénygörbéit egyesével néztük át, így 7 változót és további 2 „gyanús” csillagot találtunk. A változócsillagok keresőtérképét mellékelt ábránkon mutatjuk be, ami lényegében azonos a Halmazváltozók I. cikkben megjelenttel, egyedüli különbség az, hogy itt helyesen szerepelnek a bejelölt változócsillagok (bő kétezer csillag nyilvántartása nem tartozik a legegyszerűbb feladatok közé)...

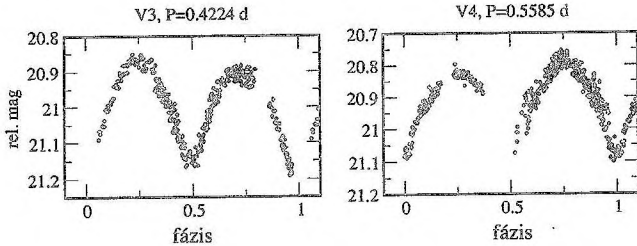


Az M37 nyílthalmaz és a felfedezett hét új változócsillag

A fénygörbék alakja az esetek többségében nagy biztonsággal lehetővé teszi a változók klasszifikálását. A halmazban két Algol és három W UMA típusú fedési változócsillagot találtunk, melyek HRD-n elfoglalt pozíciója nem teszi egyértelművé, hogy tagjai-e a halmaznak. A rendelkezésre álló adatok nem zárják ki sem a halmaztagságot, sem a galaktikus mezőben való elhelyezkedést. Az Algol típusú változók a fényesebb csillagok közül kerülnek ki, ami jó egyezésben van a nyílthalmazoknál általában tapasztalttal. Ezen változócsillagok periódusanálízise nehézkes a hosszú konstans szakaszok miatt: a jelenlegi adatsorokban a két csillagnak mindössze egy-egy minimumát ismerjük, ami alapján szinte még nagyságrendi becslést sem tudunk adni periódusukra.

A V1 a halmaz legfényesebb változója, megfigyelt egyetlen fedése $0^m,24$ mély. Az első éjszakán tapasztaltunk némi fölfényesedést, ami talán egy minimum utáni felszálló ág és az azt követő fényességstabilizálódás lehet. A csillag érdekessége, hogy nagyon közel van a halmaz centrumához. A V2 az első éjszakán mutatott, $0^m,23$ mély minimumát majdnem teljesen sikerült végigmérnünk. A további éjszakákon nem mutatott látványos fényváltozásokat, így a periódus nem állapítható meg.

A halmaz W UMA változói a halványabb, vörösebb főági csillagok közül kerülnek ki. Ezekben a fedési változóknak a komponensek nagyon közel vannak egymáshoz, gyakran érintkeznek, ezért hőmérsékletük jó közelítéssel kiegyenlítődik. A HRD-n a fősorozat fölött helyezkednek el, hiszen egy adott színhez két csillag fényessége tartozik, azaz a rendszer fényesebbnek látjuk, mint egy magányos és ugyanolyan hőmérsékletű fősorozati csillagot. Mellékelt ábránkon a V3 és V4 W UMA csillagok fázisdiagramjait mutatjuk be.



A V3 és V4 W UMA típusú fedési változócsillagok fázisdiagramjai

A V3 0,4224(1) napos keringési idejű kettős, 0,32 magnitúdós amplitúdóval. A fázisdiagramon kívül a JD 2 451 572-kor felvett fénygörbe önmagában is egyértelműen kirajzolja a W UMA típusú csillagokra jellemző fénygörbét, így a tipizálás mindenképpen jól meg van alapozva. A második maximum az elsőnél láthatóan halványabb, ez jól ismert jelenség a W UMA típusú csillagoknál és gyakran magyarázzák az egyik komponensen megjelenő csillagfoltok hatásával. A kérdés biztos eldöntéséhez nagyfelbontású spektroszkópia szükséges, ami azonban ezekre a halvány csillagokra ma még reménytelen vállalkozás.

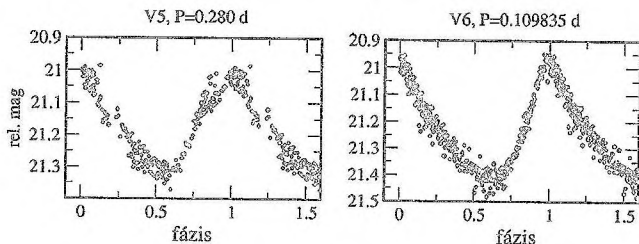
A V4 kicsit hosszabb periódusú változó, $0^m,33$ -s amplitúdójához 0,5585(1) napos periódus társul. Fénygörbéjén olyan szabálytalanságok, a lassú fényesedést/halványodást „színesítő” kisebb hullámok láthatók, melyeket szintén csillagfoltokkal szokás magyarázni. Ez a jelenség három egyedi fénygörbén is egyértelműen megfigyelhető, ami mindenképpen alátámasztja, hogy nem pusztán a mérések hibájáról van szó.

A V7 a leghalványabb változó a halmazban az általunk találtak között. Volt olyan éjszaka, amikor csak egyetlen fénygörbe-pontot tudtunk fölvenni, mert az algoritmus csak egyetlen képen azonosította teljes bizonyossággal. 0,55 magnitúdó amplitúdójú változása miatt a legnagyobb fényváltozást mutatja az M37-ben talált változók közül. Periódusa 0,3579(1) nap. Az adatok szerencsétlen eloszlása miatt azonban csak az egyik maximum környékét sikerült lefedni; a másik ágban csak néhány magányos pont árválkodik szomorúan. B–V színindexe alapján háttércsillag is lehet.

Pulzáló változók

A halmazban két, egymáshoz nagyon hasonló változócsillagot találtunk. Fénygörbéjük alapján (lapos minimum, csúcsos maximum, meredek felszálló ág) mindkettő rövidperiódusú pulzáló változócsillag (fénygörbéiket l. a mellékelt ábrán). Színindexük, átlagos fényességük, fénygörbéjük, fázisdiagramjuk jellege egymáshoz nagyon hasonló, egyedül pulzációs periódusuk tér el jelentősen. A V5 periódusa 0,2800(5) nap, amplitúdója 0,32 magnitúdó, ugyanakkor a V6 periódusa 0,109835(5) nap, amplitúdója 0,45 magnitúdó. A két csillag tipizálása, halmaztagságának eldöntése nagyon fontos, mert a halmaz távolságának, illetve a színexcesszusainak birtokában a benne lévő pulzáló csillagok luminozitása, hőmérséklete, sugara (maximális és minimális) meghatározható, tömege elméleti modellek alapján szintén megadható. Végeredményben a pulzáció közel teljes leírása válna lehetővé. Sajnos a szép elképzeléseket

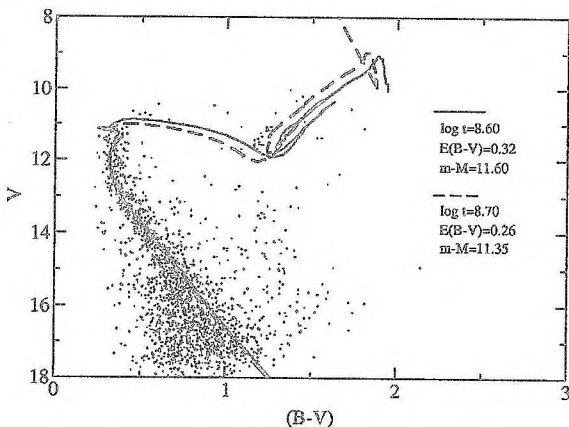
nem sikerült valóra váltani, mivel mind a V5, mind a V6 HRD-n elfoglalt helye nem egyeztethető össze a halmaztagsággal. Fénygörbéjük alakja a klasszikus instabilitási sáv tagjaira utal (V5 – nagyamplitúdójú δ Scuti, esetleg RR Lyrae, V6 – nagyamplitúdójú δ Scuti), ami jól behatárolható régiót jelent a szín-fényesség diagramon (l. Halmazváltozók I. cikkünket). Ezzel szemben e két új változó jóval vörösebb, ill. halványabb (több magnitúdóval!), mint az M37 esetében várható instabilitási sáv, ezért adódik a következtetés, hogy mindkét csillag nagy valószínűséggel pusztán háttérobjektum, jóval messzebb az M37 mögött. Nagyságrendi becslés alapján legalább kétszer messzebb vannak a halmaznál, ám ez igen bizonytalan, mivel nem ismert a távolsággal növekvő intersztelláris fényelnyelés pontos mértéke.



A V5 és V6 pulzáló változócsillagok fénygörbéi

Az M37 kora, távolsága és mérete

Az M37 csillagainak általános jellemzőin alapuló statisztikai vizsgálatokat a fotometriai kiértékeléssel párhuzamosan végeztük. A több ezer csillagra vonatkozó szín-, fényesség és pozíció adatokból igyekeztünk minél több információt kinyerni magáról a halmazról, mint önálló objektumról.



Az M37 szín-fényesség diagramja illesztett elméleti modellgörbékkel

Elsőként elkészítettük az M37 szín-fényesség diagramját. Ez 2546 egyedi csillagot tartalmaz és mellékelt ábránkon mutatjuk be. Szépen kirajzolódik a diagram bal felső sarkából a jobb alsó sarok felé tartó fősorozat, valamint az ettől jobbra és felfelé található óriáság, a halmaz elfejlődött vörös óriás csillagaival. Sajnos az alacsony galaktikus szélesség miatt igen nagy a mezőcsillagok megjelenése a diagramon, amit első sorban a fősorozat kiszélesedése mutat a halvány csillagok felé, valamint a fősorozat és a vörös óriások közötti tartomány népes csillagserege. A nyílthalmazoknál szokásos feltevéssel élve a Naphoz közelinek tekintettük a halmaz csillagainak fényességét (ezt a legfényesebb tagok irodalmi spektroszkópiája is alátámasztja), majd a Bertelli és munkatársai által kiszámított elméleti szín-fényesség diagramok közül kiválasztottuk azt, amely a legjobban illeszkedik az M37 megfigyelt adataira. Az illesztés során megkaptuk a halmaz vörösödését (E(B-V)), korát (t) és távolságmodulusát (m-M). Két paraméteregyüttes is hasonló illeszkedést tett lehetővé, így az általuk behatárolt tartomány a legvalószínűbb. Ennek megfelelően a halmaz vörösödése 0,30 magnitúdó körüli, kora 400–500 millió év közé esik, távolsága pedig durván 1300 parszek.

A felvételek alapján becslést adtunk a halmaz méretére is, habár irodalmi vizsgálatok alapján az M37 halója messze kiterjed az általunk rögzített égtérületen. Ehhez megvizsgáltuk a csillagok látszólagos sűrűségét (pl. darab/négyzetívperc egységben), megkerestük az eloszlás maximumát, majd megvizsgáltuk az ezen maximumtól (= halmaz közepe) mért távolság függvényében a csillagok sűrűségének csökkenését. Ahol ez beállt egy viszonylag állandó értékre, ott meghúztuk a halmaz határát. Ez természetesen csak egy alsó becslés. Azt találtuk, hogy az eloszlásban 12 ívperces sugárnál bekövetkezik egy ugrás, ami a halmaz csillagainak erős gyűrűlését jelzi. A 24 ívperces átmérő a halmaz távolságában mintegy 40 fényév valódi átmérőt jelent, ami nyílthalmazok esetében tekintélyes méretnek számít.

Az alábbi táblázatban a változócsillagok adatait foglaljuk össze. Az első két oszlopban a csillagok pontos koordinátái tízed ívmásodpercre megadva, fél ívmásodpercnél jobb pontossággal. A következő két oszlop standard fényességeket és színindexeket tartalmaz.

RA	D	V	B-V	megjegyzés
05 ^h 52 ^m 20 ^s ,42	+32°33'19",5	13,78	0,60	V1, EA:
05 52 16,60	+32 28 14,9	14,98	0,69	V2, EA:
05 52 33,03	+32 32 41,7	16,07	0,89	V3, EW
05 52 53,26	+32 33 01,2	16,17	0,86	V4, EW
05 53 00,62	+32 24 50,8	16,11	0,96	V5, DSCT, RRc?
05 51 50,55	+32 32 34,4	16,05	1,01	V6, DSCT
05 52 39,32	+32 36 30,9	17,87	-	V7, EW

A fenti eredmények alapján Sziládi Katalin és Szabó Gyula közös tudományos diákköri dolgozatot írt, amely II. helyezést ért el a XXV. Országos Tudományos Diákköri Konferencián (Pécs, 2001. április). Emellett pedig várhatóan 2001 őszén, az Astronomy and Astrophysics c. folyóiratban fog megjelenni a munkát bemutató szakmai publikáció.

Záró gondolatok

A Halmazváltozók című sorozat indításakor fölmerült a kérdés: „hogyan lehetne összekötni a mély-ég észlelés nemess tevékenységét a változás hasznos jellegével?”. Az M37-ben talált változók amatőr CCD-kamerás megfigyelése olyan terület, amely erre alkalmas. A halmaz eddig megtalált Algol-változói elegendően fényesek az amatőr műszerek számára, a periódus megállapításához „mindössze” elegendő számú minimumot kellene végigmérni. Ehhez még a költséges szűrősorozatokra sincs szükség, hiszen nem standard fényváltozást, csak minimumidőpontot szeretnénk meghatározni.

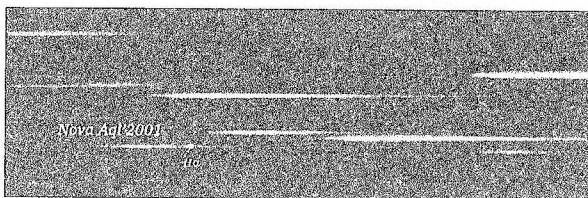
A hazai amatőr CCD-park számos műszere alkalmas lenne erre a munkára. A fedési kettősök folyamatos megfigyelése szintén fontos lenne, mind az esetleges periódusváltozások, mind a föltételezett csillagfoltok miatt. Sajnos ezek a csillagok olyan fényességtartományban vannak, ahol sok perces expozíciókkal is csak a nagy teljesítményű amatőr műszerekkel detektálható fényváltozás. Bár kiválóan értékelhető eredményt ad az instrumentális megfigyelés is, az igazán értékes munka itt a standard fotometria lenne, amihez viszont legalább két színű szűrő, a csökkenő fényesség miatt pedig még nagyobb távcső szükséges. Talán egy évtized múlva ez sem jelent majd akkora nehézséget, mint manapság.

SZABÓ GYULA–SZILÁDI KATALIN–KISS LÁSZLÓ

Változós hírek

Nova Aquilae 2001 = V1548 Aql

Az Aquila idei első nőváját Mike Collins fedezte fel május 11,99 UT-kor, 10^m,9-s fényességénél. A The Astronomer elektronikus körlevélben TAV J1907+117 jelölést kapott objektumot



mot Kesao Takamizawa azonosította korábbi fényképein, amelyeken már február végén 13^m,0 körüli fényességénél látszott. Chriss Benn a 4,2 m-es William Herschel teleszkóppal vette fel az első színeképet, ami a hidrogén emissziós vonalai alapján az új csillag nóva jellegét igazolta. 2000-es koordinátái: RA= 19^h07^m27^s, D= +11°44'09". Június elejéig lassú halványodással érte el a 13^m,0-s fényességet, így nagytávcsöves észlelők megkísérelhetik a csillag észlelését (az AAVSO keresőtérképét a <http://www.aavso.org/alerts/alert282/alert282.stm> címről lehet letölteni). Mellékelt képünkön a nóva objektívprizmás színeképét mutatjuk be, melyen a legerősebb emissziós vonal a hidrogén Balmer-sorozatának α vonala. A felvételt Derekas Alíz, Szabó Gyula és Kiss László készítette az MTA Csillagászati Kutatóintézet Piskés-tetői Observatóriumában, a 60 cm-es Schmidt-távcsővel és az ötfokos törőszögű objektívprizmával, 2001. május 25-én, 0:50 UT-kor (5 perc expozíciós idő). A csillag ekkor 13^m,2 körül tartózkodott. (VSNET-et anyagok alapján – Ksl)