



CCD technika

Standard fotometria a Corona Borealis Csillagvizsgálóban II.

A standard mérés objektumainak kiválasztása

A Corona Borealis Csillagvizsgáló viszonylag zavartalan meridiánja közelében a ± 70 – 90 fok égi tartományban nyílik lehetőség fotometrialaig is elfogadható, nagyobb időszakot átölő mérésekre. Figyelembe véve az esti-éjféli, illetve a tavasztól ősziig terjedő időszakot, olyan szupernóvát célszerű választani a több hónapos megfigyelések céljára, amely lehetőleg nem kerül alacsonyabb égi helyzetbe 20 – 30 foknál a mérések alatt. Ekkor ui. a fotometriai paraméterek közel hasonló hatásúak a kitűzött mérési pontosságon belül. A Canes Venatici és az Ursa Maior csillagképek ezen feltételeknek éppen megfeleltek.

Az észlelések tervezésénél figyelembe kellett venni, hogy az éjszakai megfigyelések alatt a csillagvizsgáló hosszú távú észlelési programjait is ki kell elégíteni, mint például blazárok BVRI szűrős fotometriája, ezért úgy találtam, hogy két szupernóva az említett csillagképek környékén éppen belefér a időlimitbe.

Célszerűnek látszott mindezekon kívül fényes II-es típusú objektumot választani, mert ezek csak csekély mértékben halványulnak több hónap alatt, illetve a nagyobb kezdeti fényesség a mérési pontosság és a rendelkezésre álló műszeregyüttes lehetőségei miatt is szükséges.

Ilyen és hasonló megfontolások alapján esett a választásom az SN 2005au és SN 2005ay jelölésű szupernóvákra.

Az SN 2005au szupernóvát az NGC 5056 SC típusú galaxisban (CVn) fedezte fel Ron Arbour brit szupernóvavadász 2005. március 19-én, $15^m,8$ C fényességnél, és $21''$ -cel délre a magtól. A spektrális elemzés fényes, II. típusú szupernóvának klasszifikálta az objektumot (CBET 125, 131, IAUC 8503).

Az SN 2005ay szupernóvát 2005. március 25-én fedezte fel Doug Rich (USA) az NGC 3938 Sc típusú galaxisban (UMa) $15,6$ C fényességnél és $56''$ -cel délre a magtól. A nagytávcsöves spektrumfelvételek alapján a szupernóva korai II-es típusú, azaz a kék kontinuumra H és He vonalak szuperponálódtak, illetve a H α vonal is egyedi jellegűnek mutatkozott (IAUC 8502, ATEL 448).

Mi a mérések értelme és mik a várható eredmények?

A szupernóvák hosszú ideig tartó Johnson-rendszerbeli standard fotometriája, mint láttuk, időigényes feladat. A professzionális csillagászoknak nem mindig jut elegendő és folyamatos észlelési lehetősége ezen objektumok több hónapig is elhúzódó

megfigyelésére. A pontos, tehát század magnitúdó körüli mérések, párosulva a teljes fénygörbe végigkövetésével és megrajzolásával, igen gyakran hiányt pótlóak a szakcsillagászok számára, és gyakran találkozhatunk velük szakmai publikációk kiindulási adataiként, ahol egyenrangú szerzői partnerként tüntetik fel az amatőrcsillagász észlelőt.

A kiértékelt mérési adatok leglátványosabb megjelenítése a több sávú fénygörbe. Izgalmas végigkövetni, hogy a II-es típusú szupernóva fénygörbéje mutatja-e a típusra oly jellemző, „plató” jelleget, tehát sokáig kitarja maximum körüli fényességét, változik-e időben a színindex, milyen gyors az elhalványodás, milyen a fénycsökkenés mértéke stb.

Másként fogalmazva: távoli extragalaktikák viharos történéseit, első kézből és akár az asztalunkon, karnyújtásnyira tanulmányozhatjuk műszereink segítségével – úgy is mondhatnám, „asztrofizika a konyhaasztalon”.

A mérésekhez használt műszer- és szoftverpark

A mérésekhez a Corona Borealis Csillagvizsgáló alábbiakban felsorolt műszerparkját használtam:

Főműszer: MEADE 356/1067 Schmidt–Cassegrain LX200GPS-SMT távcső,

Redukció: MEADE Series 4000 F/3 reduktor,

CCD-kamera: SBIG ST-7E NABG CCD-kamera, az AAVSO jóvoltából,

Szűrőváltó: CFW-8, 1,25" Johnson-Cousins B, V, Rc, Is szűrőkkel,

Mechanika: PEC korrigált LX200 mechanika, fix felállítással,

Autoguide: SBIG ST-7E internal chip,

Fókuszálás: Hartmann-maszk,

Flat, Dark, Flat: Dome flat, Master Dark mediánnal, Master Bias.

A műszeregyüttest a MAXIM DL v4.21 szoftver távcső, CCD-kamera, autoguide és szűrőváltó plug-in-jével vezéreltem. A fotometriai mérésekhez az előbbi szoftver apertúra-fotometriai csomagját, illetve az AIP4WIN-t használtam.

A mérés adatainak feldolgozásához MS-EXCEL táblázatkezelőben írtam egy komplett csomagot, amely a továbbiakban is használható az ilyen jellegű mérésekhez. A számológépet a távcsőkonstansok és zérusponti állandók meghatározását az M67 standard csillagmezői alapján, ábrázolja a lineáris illesztést, számítja az összehasonlítók standard fényességét, és természetesen meghatározza a szupernóvák standard fényességeit, hibáit R és V sávokban a fénygörbe felrajzolásával. Az input adatokat pedig a MAXIM DL segítségével adtam meg a táblázatnak.

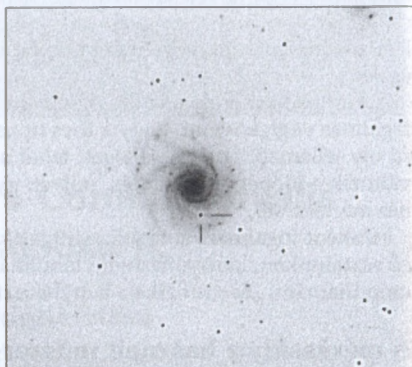
Különös gondot kellett fordítani a flatképek készítésére, amit egy saját gyártmányú, fehér színű és homogén fényeloszlású, megvilágítható plexilemezes céleszközzel oldottam meg. A korrekcióhoz több flatkép mediánját használtam fel. A CCD-kamerát $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra hűtve használtam minden felvételnél, így elegendő volt egyszer készíteni egy sötétkép- és bias-sorozatot. Ezek mediánjai szolgáltatták az átlagos sötétképet, illetve bias-képet, amelyekkel az alapkorrekciókat elvégeztem. Az R és V szűrős felvételekhez 180, illetve ahol az ég minősége lehetővé tette, 600 másodperces expozíciók összeadott sorozatait használtam.

Az SN 2005ay szupernóva standard R és V sávú fotometriája

A mellékelt képen a címben szereplő szupernóva látható 4x600 s-os összeadott képen, a biztosabb nyomdai megjelenítés miatt negatívban. Jól látható, hogy a szupernóva egy spirálkaron „ül”, tehát a méréseknél ezt a tartományt kell figyelembe venni mint alaphátteret. Az is megfigyelhető, hogy a szupernóva eléggé fényes és jól kiemelkedik a galaxis nyújtotta háterből, ami biztató a mérések minőségének szempontjából.

Első lépésként keresnem kellett legalább négy összehasonlító csillagot, melyek hosszú távon is biztosíthatták a stabil fotometriát. A kiválasztásnál ügyelni kellett

arra, hogy az összehasonlító fényesebb, jól mérhető csillagok legyenek. A négy csillag közül az egyiket a másik három fényességének meghatározására használtam. A GSC és az USNO A2.0 katalógusadatait alapján a táblázatban szereplő csillagokat választottam. Fontos megjegyezni, hogy a katalógusokban szerepeltek közelítőleg V és R fényességek, ezek azonban a katalógusok létrehozásához felhasznált fotólemezek tulajdonságai miatt nem Johnson-féle magnitúdók, így külön meg kellett határoznom az összehasonlító standard fényességét is.



No.	Azonosító kód	RA (J2000)	D (J2000)	v (instr. m)	r (instr. m)
1.	USNO 1275_07993819	11 52 56,7	44 10 50,5	14,95	14,9
2.	USNO 1275_07992910	11 52 40,5	44 05 49	14,76	15
3.	GSC 3016 49	11 53 07,1	44 04 30,3	13,63	13,7
4.	GSC 3016 38	11 52 12,9	44 03 11,9	13,2	13

Második lépésként meghatároztam a használt műszerek távcsőkonstansait és zérusponyi állandóit. Ehhez az M67 nyílthalmaz standard csillagait mértem ki az alábbi táblázat és a mellékelt kép szerint.

No	Star Id.	B	V	R	I
1	F111	13,294	12,73	12,402	12,076
2	F124	12,577	12,118	11,838	11,558
3	I198	13,726	13,152	12,819	12,524
4	I199	13,729	13,152	12,819	12,491
5	F130	13,323	12,869	12,58	12,289
6	F132	13,7	13,091	12,741	12,386
7	F134	12,84	12,256	11,919	11,587
8	F135	12,502	11,436	10,88	10,383
9	I9	13,778	13,194	12,868	12,542

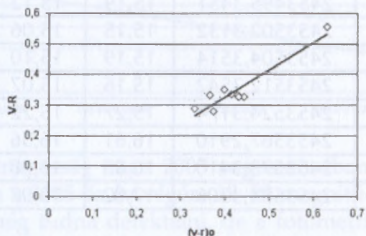
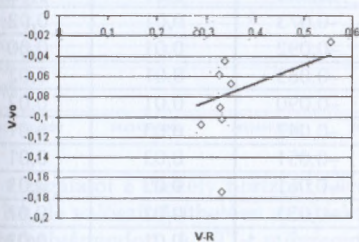


Az M67-ben az általam használt fókusz és CCD-chipméret mellett jól azonosítható és mérhető a csillagmező tagjainak a fényessége a következők szerint.

A cikk előző részében ismertetett definíciók alapján a CCD ADU értékeiből a következőképpen számíthatjuk ki két csillag fényességkülönbségét magnitúdóban:

$$\Delta V_{\text{differencia}} = -2,51g \left(\frac{(ADU_{1.\text{csillag_maximum}} - ADU_{1.\text{csillag_hátter}})}{(ADU_{2.\text{csillag_maximum}} - ADU_{2.\text{csillag_hátter}})} \right)$$

Tehát nincs más hátra, mint megmérni az egyes csillagok képeinek összesített ADU-értékeit, valamint a környezetük háttérét, szintén ADU-ban, behelyettesíteni a fenti összefüggésbe, hogy megkapjuk instrumentális fényességkülönbségüket. Ha az egyik csillag az összehasonlító, akkor annak magnitúdóját hozzáadva a fényességkülönbséghez megkaphatjuk a másik csillag instrumentális magnitúdóját. Standard mérések esetén a fenti képletben csak az egyedi csillagok adatai szerepelnek (különbségképzés nélkül), így kapjuk a műszerünkre jellemző instrumentális magnitúdóskálát. Minden csillagra és minden fotometriai sávra elvégezve a számításokat a kapott értékeket táblázatba foglaljuk, majd egyenként ábrázoljuk a (V-v, V-R), (V-R, v-r), (B-V, b-v) és (V-I, v-i) pontpárokat. A pontthalmazokra egyeneseket illesztve kapjuk meg a távcsőkonstansokat. Az alábbi ábrán ezt látjuk a (V-v, V-R) és a (V-R, v-r) diagramjain.



A teljes távcsőkonstans-meghatározáshoz szükség van az elsőrendű extinkciós együtthatókra is, amit szintén a standard csillagok méréseiből számíthatunk ki. A távcsőkonstansok és zérusponti állandók birtokában a számításokat kiterjeszthetjük a szupernóva összehasonlítóira is, amivel megkaphatjuk azok standard fotometriai magnitúdóit. Esetünkben három csillagra az alábbi értékeket kaptam:

No.	Azonosító kód	(V-R)	V	R
1	USNO 1275_07993819	0,476	14,889	14,414
2	USNO 1275_07992910	0,514	14,80	14,291
3	GSC 3016_49	0,399	13,54	13,139

Ha mindez megvan, következhetnek a tényleges szupernóva-mérések. 2005. március 19. és augusztus 1. között összesen 16 éjszákán mértem az SN 2005ay-t. Az egyes méréseket a fenti összehasonlítókhöz „kötöttem be”, azaz ezekhez viszonyítottam a

szupernóva fényességét. A számítás a már korábban is említett lépésekben zajlott a következők szerint:

- meghatározzuk r és v instrumentális magnitúdókat a szupernóvára és az összehasonlítóra,
- képezzük a különbségeket, Δv -t és Δr -t, ami megadja a $\Delta(v-r)$ -t is,
- kiszámoljuk a $\Delta(V-R)$ -t a $\Delta(V-R) = \mu\Delta(v-r)$ alapján,
- kiszámoljuk a ΔV -t a $\Delta V = \Delta v + \varepsilon\Delta(V-R)$ alapján,
- kiszámoljuk a SN standard fényességét a $V_{SN} = \Delta V + V_{\text{összehasonlító}}$, illetve a $(V-R)_{SN} = \Delta(V-R) + (V-R)_{\text{összehasonlító}}$ alapján.

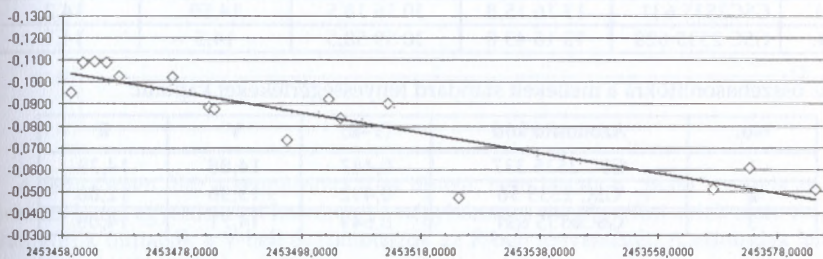
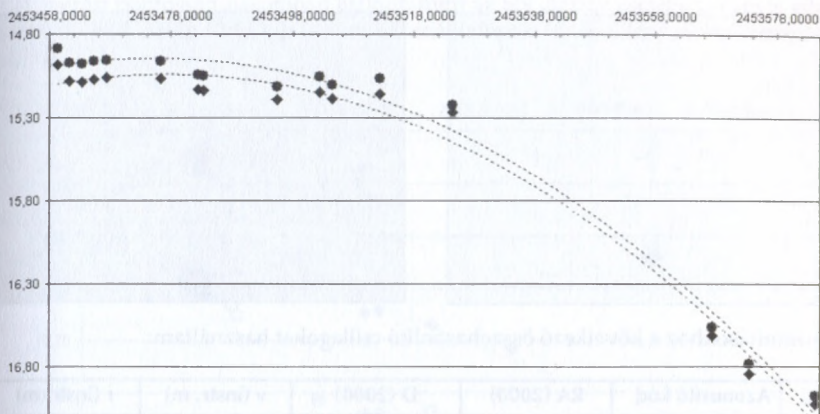
Mindezeket követve az alábbi táblázat tartalmazza az SN 2005ay standard magnitúdóit:

No.	JD	R	V	(V-R)	Szórás/2 R	Szórás/2 V
1.	2453459,3021	14,98	14,89	-0,095	0,02	0,13
2.	2453461,2771	15,08	14,97	-0,109	0,00	0,00
3.	2453463,3535	15,09	14,98	-0,109	0,00	0,01
4.	2453465,2417	15,07	14,97	-0,109	0,01	0,00
5.	2453467,3889	15,06	14,96	-0,103	0,01	0,00
6.	2453476,3118	15,07	14,96	-0,102	0,01	0,01
7.	2453482,3465	15,13	15,05	-0,088	0,00	0,03
8.	2453483,2965	15,14	15,05	-0,088	0,01	0,02
9.	2453495,3451	15,19	15,12	-0,073	0,01	0,02
10.	2453502,3132	15,15	15,06	-0,092	0,01	0,00
11.	2453504,3514	15,19	15,10	-0,083	0,01	0,02
12.	2453512,3542	15,16	15,07	-0,090	0,01	0,02
13.	2453524,3174	15,27	15,22	-0,047	0,03	0,01
14.	2453567,2910	16,61	16,56	-0,051	0,03	0,01
15.	2453573,3410	16,85	16,78	-0,061	0,02	0,03
16.	2453584,3306	17,02	16,97	-0,051	0,02	0,02
					0,01	0,02

Az első éjszakán a V szűrős képet felhők zavarták meg, amelyek kissé elvitték a méréseket. A fénygörbe második felében látható adathiány a nyári kései sötétedés és „szabadságolási” problémák miatt lépett fel.

A mérések becsült hibája 0,01–0,03 magnitúdó körüli. Az adatokat a Julián-dátum függvényében ábrázolva kapjuk a fénygörbét, melyen rögtön szembetűnik a görbe platós jellege (hosszasan elhúzódozó maximum képében). Az ábrán körök mutatják a V, rombuszok az R szűrős pontokat.

A maximum után kb. 1,5–2 hónappal kezdődik a fénygörbe markánsabb halványodása. Mindez egyértelműen II-es típusú szupernóvára utal. Érdekes megfigyelni, hogy a színindex egy ideig azonos értéket mutat, majd enyhe csökkenő tendenciába kezd, l. lentebb. Ennek fizikai összefüggéseinek magyarázata az asztrofizikusok feladata.

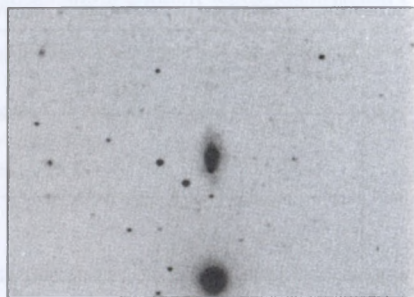
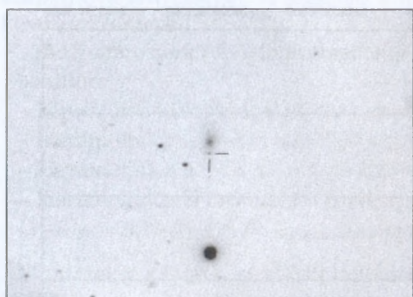


A vizsgálatot a csekély horizont feletti magasság miatt 2005 augusztusában fejeztem be, de valószínűsíthetően az objektum a 2005-ös év végére 18–20 magnitúdó körülire halványodott. A 20^m-t műszerem még tudná detektálni, de a fotometria és a horizont feletti csekély magasság kérdéssé tenné az adatok felhasználhatóságát.

Az SN 2005au szupernóva standard R és V sávú fotometriája

Az SN 2005au szupernóvánál ugyanúgy jártam el, mint az SN 2005ay esetében. A következő oldalon látható képpár jobb oldali felvétele 2x300 s integrációs idővel készült, megfigyelhető, hogy az objektum a szülőgalaxisától mindössze néhány ívmásodpercre található. Ha túlskálázzuk a kérdéses területet, láthatóvá válik, hogy a szupernóva az átlagháttérhez képest mintegy 80–100 ADU-val kiemelkedik abból, ami nyilván a galaxis külső tartományai miatt van.

A fotometria során minden egyes mérni kívánt képen ezt kell figyelembe venni. Az apertúrafotometria mérési köreinek beállításakor különös gonddal vizsgáltam meg, hogy van-e olyan beállítás, amikor a belső kör még tartalmazza a szupernóvát, de a külső gyűrűk már nem, és hogy a gyűrűk csak a szupernóvát tartalmazó háttérrel öszszegzik-e. Nos, ilyen beállítást nem találtam, ezért a szupernóvára jellemző maximális ADU és környezetének ADU-átlagkülönbségét értelmeztem.



A számításokhoz a következő összehasonlító csillagokat használtam:

No.	Azonosító kód	RA (2000)	D (2000)	v (instr. m)	r (instr. m)
1	GSC 2535 337	13 16 05	31 02 04,4	14,69	14,5
2	GSC 2535 56	13 15 37,5	30 53 07,8	13,43	12,9
3	GSC2535 631	13 16 15,8	30 56 18,5	14,59	14,2
4.	GSC 2535 629	13 16 43,8	30 59 58,5	14,5	14,1

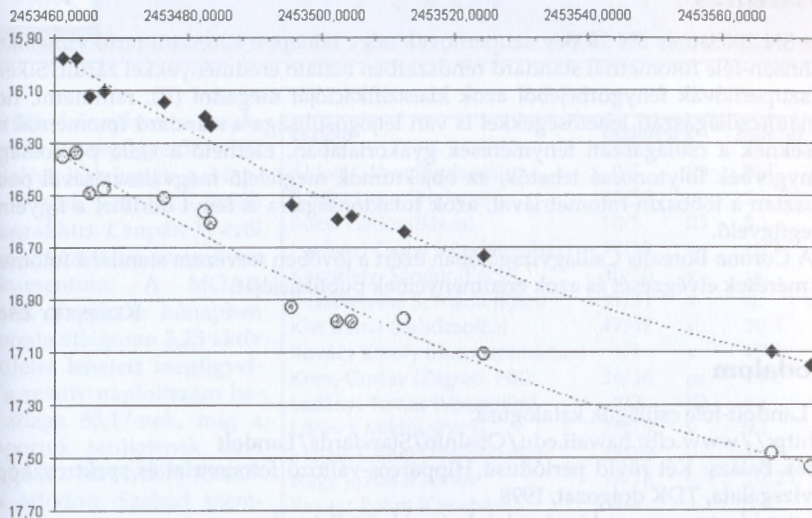
Az összehasonlítókra a mellékelt standard fényességértékeket kaptam:

No.	Azonosító kód	(V-R)	V	R
1	GSC 2535 337	0,487	14,88	14,39
2	GSC 2535 56	0,492	13,36	12,86
3	GSC2535 631	0,649	14,71	14,06

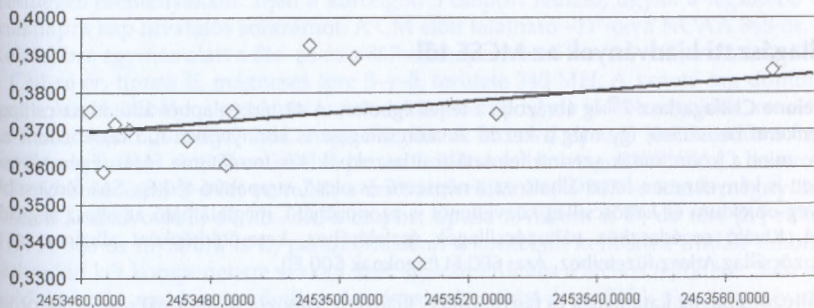
A szupernóvát végül is 2005. március 31. és július 21. között 14 éjszakán keresztül sikerült mérni. A standard fényességek az alábbiak szerint alakultak:

No.	JD	R	V	(V-R)	Szórás/2 R	Szórás/2 V
1.	2453461,3333	15,98	16,35	0,375	0,03	0,03
2.	2453463,3646	15,98	16,34	0,359	0,01	0,01
3.	2453465,2576	16,12	16,49	0,372	0,02	0,01
4.	2453467,4215	16,10	16,47	0,370	0,01	0,02
5.	2453476,3208	16,15	16,51	0,367	0,01	0,01
6.	2453482,3722	16,20	16,56	0,361	0,03	0,01
7.	2453483,3111	16,23	16,61	0,375	0,04	0,01
8.	2453495,3361	16,54	16,93	0,393	0,02	0,01
9.	2453502,3215	16,59	16,98	0,389	0,01	0,01
10.	2453504,3653	16,58	16,99	0,405	0,06	0,02
11.	2453512,3465	16,64	16,97	0,334	0,02	0,01
12.	2453524,3299	16,73	17,11	0,3744	0,03	0,04
13.	2453567,3389	17,10	17,49	0,3860	0,02	0,01
14.	2453573,3472	17,15	17,54	0,3838	0,04	0,01
					0,02	0,01

A mérési pontosság hasonlóan alakult, mint az SN 2005ay esetében, vagyis átlagosan 0,01–0,02 magnitúdó körül, ami használhatónak tűnik a fénygörbe szempontjából.



A fénygörbén, bár a szupernóva II-es típusú, nem látszik a „plató”, vagyis az objektum közel egyenletesen halványul a négyhónapos megfigyelési ablak alatt. Az ábrán körök mutatják a V-beli és rombuszok az R-beli fényességet. A színindex lényegesen nem változott.



A mérésekre általában jellemző volt, hogy a viszonylag rövid expozíció gyengébb mérési eredményhez vezetett, különösen a 16^m–18^m-s fényességtartományban. Ezért jó választásnak bizonyult a minimálisan 180 és gyakran 300 s-os integrálási idő, mely átlagosan hozta a 0^m,01–0^m,03 pontosságot. Kiemelném még, hogy a megfigyelési időablakban 10–15 további éjszaka adódott volna mérésekre, de azok fotometriailag

nem, vagy csak nagyon korlátozott mértékben lettek volna használhatók, így inkább nem mértem ezen alkalmakkor.

Összegzés

Az SN 2005au és SN 2005ay szupernóvák négy hónapon keresztül tartó vizsgálata a Johnson-féle fotometriai standard rendszerben biztató eredményekkel zárult. Sikerült a szupernóvák fénygörbéjéből azok klasszifikációját megadni (II), rámutatni, hogy amatőr csillagászati lehetőségekkel is van létjogosultsága a standard fotometriai méréseknek a csillagászati fénymérések gyakorlatában. Elérhető a kellő pontosság, a fénygörbék folytonossá tehetőek, az objektumok megfelelő megválasztásával pedig, pusztán a többszín-fotometriával, azok tulajdonságaira is fényt deríthet a figyelmes megfigyelő.

A Corona Borealis Csillagvizsgálóban ezért a jövőben tervezem standard fotometriai mérések elvégzését és azok eredményeinek publikációját.

KERESZTY ZSOLT

Irodalom

A Landolt-féle csillagok katalógusa:

<http://www.cfht.hawaii.edu/ObsInfo/Standards/Landolt>

Csák Balázs: Két rövid periódusú Hipparcos-változó fotometriai és spektroszkópiai vizsgálata, TDK dolgozat, 1998

<http://astro.u-szeged.hu/szakdolgo/csakb/htdk.html>

Gáspár András: Az NGC 2126 nyílthalmaz fotometriai vizsgálata, TDK dolgozat, 2003

<http://astro.u-szeged.hu/szakdolgo/gaspartdk.pdf>

A Corona Borealis Csillagvizsgáló honlapja: <http://kereszty.csillagaszat.hu/>

Csillagászati kiadványok az MCSE-től

A **Pleione Csillagatlasz** 7^m-ig ábrázolja a teljes égboltot. A 41 térképlapból álló atlasz csillagképenkénti beosztású, így még a kezdő amatőr csillagász is könnyebben tud tájékozódni az égen, mint a koordináták szerinti felosztású atlaszokból. Kis formátuma (A/4) révén távcső mellett is kényelmesen használható ez a népszerű és olcsó, strapabíró térkép. Sok fényesebb mélyég-objektum és kettőscsillag közvetlenül is azonosítható, megtalálható az atlasz segítségével. Kiváló segédeszköz változócsillagok észleléséhez, keresőtérképként alkalmazva a Változócsillag Atlasz füzeteihez. Ára: 600 Ft (tagoknak 500 Ft).

A **Változócsillagok katalógusa és fénygörbéi** c. kiadvány Változócsillag Szakcsoportunk programcsillagainak legfontosabb adatait sorolja fel: eruptív, kataklizmusos, mira, félszabályos, szabálytalan, RV Tauri és extragalaktikus változók. Az általunk észlelt csillagok típusairól közül hasznos háttérinformációkat, és rövid kedvcsináló cikk is olvasható az új katalógusban. A 87 oldalas kötet második felét teszik ki az 1998 és 2002 közötti időszak legjobbban észlelt változóiról készült fénygörbék. A 192 csillag görbéje 109 243 megfigyelés feldolgozásával készült, összesen 184 amatőr csillagásznak köszönhetően. Ára: 600 Ft (tagoknak 500 Ft).