



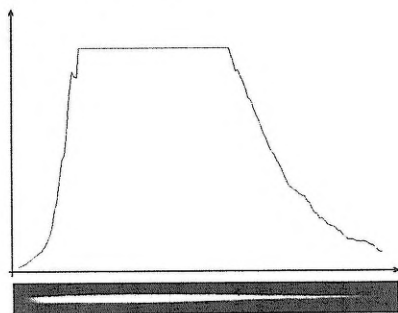
CCD technika

CCD-spektroszkópia amatőr csillagászoknak II.

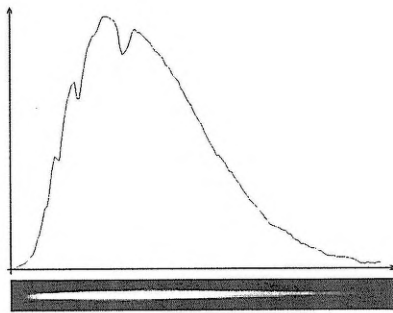
A CCD-spektrográf működés közben

Az expozíciós idő megválasztása és a felvétel készítése. „A spektroszkópiában általában, de különösen a nagy felbontású spektrumoknál hosszabb expozíciós időkre van szükségünk, mint a hagyományos csillagászati képek készítésekor, ami azért van így, mert a fényforrások képe elhúzott sávként jelenik meg. A kiterjedtebb spektrumban még jobban észrevehetőek az apróbb finomságok (vonalak), viszont a nagyobb felbontás együtt jár a fénysűrűség csökkenésével, ami értelemszerűen a hosszabb expozíciókhoz vezet. Ezek mellett több más tényező is befolyásolja a helyes expozíciós idő megválasztását, mint például a távcső átmérő, a spektrográf hatékonysági foka, a CCD spektrális érzékenysége, kvantumhatásfoka, az égbolt háttérfényessége, csak hogy a legfontosabbakat említsük.” [2].

Egy 25 cm átmérőjű távcsővel kb. $+3^m$ – 4^m -ig néhány s expozíció már elegendően fényes spektrumot ad. Az SN 2001V szupernóva esetében, mely a felvétel készítésekor $+14^m$ fényességű volt, a 10 perces expozíciós idő már mutatta a szilícium abszorpciós vonalát.



1. ábra. Az Altair spektruma
15 s expozíciós idővel



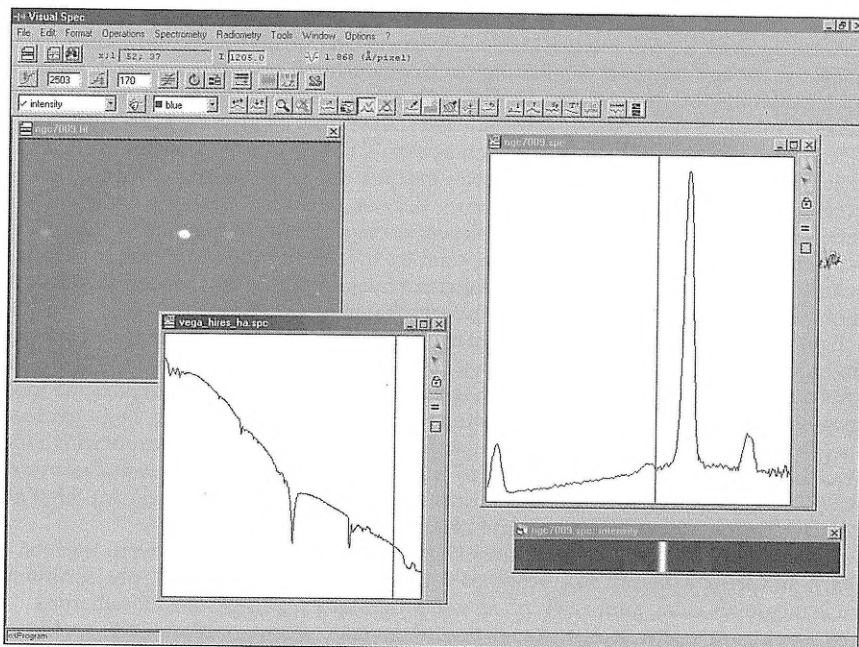
2. ábra. Az Altair spektruma
0,5 s expozíciós idővel

Szerencsére létezik egy ökölszabály-szerű módszer, mely szerint „...ha már egyszer készítettünk egy jó spektrumot, ismert expozíciós idővel, akkor csak ezt az időtartamot kell megszorozni az észlelt objektum fényességéhez tartozó magnitúdó ugrások 2,5-szeresével. A módszer elsősorban csillagokra működik helyesen, de rés-spektrográffal is, ha az objektum kiterjedtebb jellegű.”

A használatos amatőr spektrográfok karakterisztikáit a [2] számú hivatkozott cikkben használt műszerrel összehasonlítva, csak az alkalmazott távcső átmérőjét kell arányosítani (pontoszerű fényforrásokra!) és máris kaphatjuk a megfelelő expozíciós időt. Emellett ha csökkentjük a távcső fókusz-távolságát vagy növeljük a távcső-átmérőt (vagy más műszert alkalmazunk) a szükséges expozíciós idő is csökkenni fog. Ha hosszabb idejű leképezésre van szükségünk, akkor úgy járunk el, mint a többi általános célú csillagászati kép készítésekor, vagyis több kisebb expozíciós idejű részképet készítünk és ezeket adjuk össze, mely módszer előnye, hogy a kozmikus sugarak által okozott becsapódásokat ilyenkor könnyebben lehet eltávolítani.

A felvételek tájolásakor ügyeljünk a CCD pixelsorok és a rács eltérítés irányának párhuzamosságára, ha ugyanis az elhúzott spektrum pl. átlósan esik a CCD-chipre, akkor a spektrum egyes vonalai több pixelre is eshetnek, ami a felbontás csökkenését jelenti.

Hamis eredményt ad az is, ha a rács úgy húzza szét a spektrumot, hogy az éppen egy fényesebb csillagra esik, ami ilyenkor fényes emisszióként jelenik meg.



3. ábra. A VisualSpec szoftver egyik képernyő nézete

A vignettálást mindenképpen kerülni kell, mert a spektrum végeit természetellenesen „megemeli”, ami megnövekedett intenzitásértékeket eredményez. Ennek kiküszöbölése tervezéskor vagy utólag a képről vett mintasor felállításával lehetséges. Ilyenkor a spektrummal párhuzamos csillagmentes területről veszünk pixelcsoportokat, melyek intenzitásait sorfolytonosan ábrázoljuk, majd a kapott görbére pl. EXCEL

segítségével trend függvényt illesztünk, amit minden analizálandó spektrumunkból levonunk.

A CCD-s spektrumok képfeldolgozásának eszközei. Kiváló eredményeket érhetünk el Christian Buil VISUALSPEC v2.0.2 Windows9X-re írt spektrumanalizáló programcsomagjával (l. a 3. ábrát). A szoftvert amatőröknek írták, de profik is sikerrel alkalmazhatják. Néhány funkció a program képességeiből:

- FTS képekből spektrumgörbe előállítás,
- többféle hullámhossz-kalibráció,
- többféle fluxuskalibráció,
- spektrum manipulálási funkciók (pl. Spline, forgatás, lágyítás stb.)
- elhúzott spektrum készítés,
- spektrum, csillag, kémiai elem katalógusok,
- keresés spektrálosztályokra ismert csillag esetén,
- spektrumok összemácsolása, összehasonlítása,
- kémiai elem-azonosítás spektrumban,
- ingyenes WEB letöltés.

A csillagászok a profi méréseikhez a közismert UNIX/LINUX alapú IRAF-et használják, mely egy ingyenes képfeldolgozó és adatelemző programcsomag, a NOAO-tól lehet letölteni (<http://iraf.noao.edu/iraf/web>). Sajnos a szoftverrendszert nem könnyű kezelni, mindenképpen sok gyakorlásra van szükségünk a hatékony kezeléshez.

Szintén ütőképés szoftver a Research System's IDL-je (<http://www.rsinc.com>), mely számunkra kellemesen felhasználóbarát, számos operációs rendszeren fut, viszont költségesebb. Léteznek azonban ingyenes IDL csomagok is, melyek a következő címen érhetők el: <http://idlastro.gsfc.nasa.gov/homepage.html>. A Wawometrics cég IGOR fantázianevű szoftvere kevésbé drága, mint az IDL, és bár nem kifejezetten csillagászati célra tervezték, átfogó grafikai és elemző tulajdonságai miatt használata ajánlott, melyhez nagy segítség jó kézikönyve és technikai támogatottsága.

Egyéb szoftvereket is használhatunk, ilyen a MAXIM DL (<http://www.cyanogen.com>), az ingyenes PDL (Pearl Data Language, <http://www.aao.gov.au/local/www/kgb/pdl>), továbbá a DS9, mely egy gyors képnézegető program, amit a helyes expozíciós idő megállapításához használhatunk a „terepen”, itt ui. arra van szükség, hogy gyorsan meghatározhatassuk a legnagyobb adattartalomhoz tartozó optimális expozíciós időt. A szoftver ingyenes és a következő címről tölthető le: <http://hea-www.harvard.edu/RD/ds9/>. A program kiemelkedő funkciója, hogy az egérrel bármely sor felett elhaladva, egy sor-intenzitás függvényt kapunk. [2].

Ezekon kívül az SBIG spektrométerekhez árusított SW is hasznos lehet, továbbá a StarlightXpress kamerák PIX_M5-je és a magyar CCDMASTER is képes sor-intenzitás megrajzolására, amit aztán pl. rajzoló programok segítségével kalibrálhatunk.

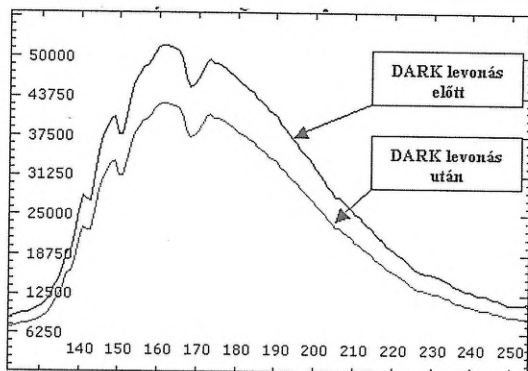
A spektrum kalibrációja. Az elkészült „nyers”, feldolgozatlan CCD-spektrum olyan hibákkal terhelt, melyeket ki kell tudni küszöbölni vagy legalábbis hatásukat csökkenteni szükséges, ezek a következők:

- sötétáram (dark), bias (előfeszültség) zaj,
- hullámhossz kalibrálatlanság,
- fluxus kalibrálatlanság,
- atmoszférikus abszorpció hatása.

Sötétáram (dark), bias (előfeszültség) kiküszöbölése. „Ezt praktikusán úgy célszerű elvégezni, hogy a spektrummal azonos idejű sötétképet készítünk pl. letakart ob-

jektívvel és a kapott képet levonjuk a spektrumfelvétel képéből. Meghatározunk egy átlag CCD-pixel értéket, melyet a rögzített spektrum szomszédos pixeleiből számítunk, majd ezt a kvázi bias és sötétáramot is tartalmazó zajt egy egyszeri levonással eltávolítjuk a képről, tilos azonban az ún. „forró” és „halott” pixeleket az átlagolásba belevenni. Mivel ez a módszer csak közelítő jellegű, ezért ez elsősorban a fényes csillagok spektrumjaihoz megfelelő, mert itt a bias+sötétáram jele túl kicsi a spektrum kontinuum jelszintjéhez képest.

A rést is alkalmazó spektrográfokban a rést teljes hosszában jelen van az égbolt, amely intenzitását megkaphatjuk a célobjektum spektruma melletti pixelekből. Az égi háttér levonása után elkészíthetjük annak hullámhossz kalibrált változatát, amit a célobjektum spektrumából levonva megszüntethetjük a légkör torzító hatását. Nagyon hosszú expozíciós idők alkalmazásakor a kozmikus sugárzás és egyéb nem természetes hatások jelenthetnek problémát. Ebben az esetben célszerű inkább több rövidebb expozíciós idejű felvételt készíteni és azokat összeadni.” [2].

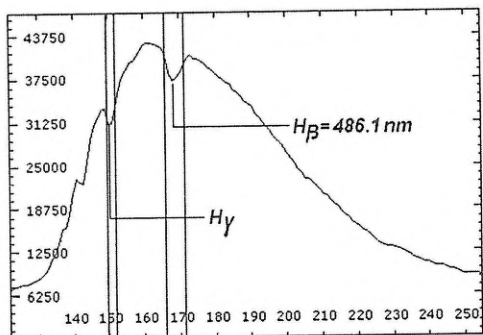
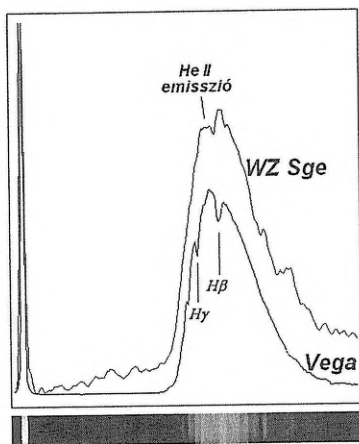


4. ábra. A Vega spektruma dark levonás előtt és után

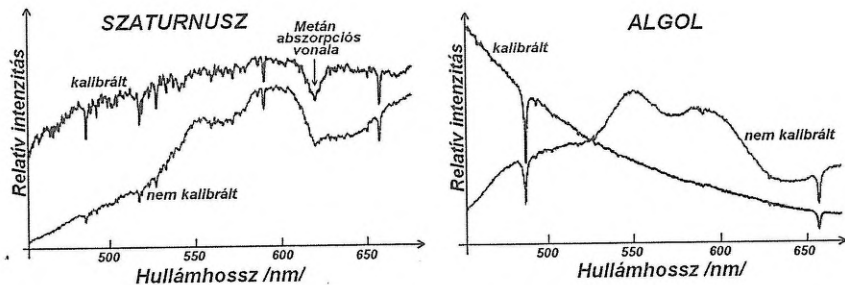
A hullámhossz kalibráció. „A hullámhossz kalibráció célja, hogy meghatározzuk a rögzített spektrumunk pixeljeihez tartozó hullámhossz-értékeket.

Szerencsére az optikai rácsot alkalmazó spektrográfokban a pixelek és a hozzájuk tartozó hullámhosszak között lineáris összefüggés található, ezért a kalibrációhoz elegendő néhány emissziós vagy abszorpciós vonal a teljes spektrum skálázásához. Legegyszerűbb talán egy olyan forrás észlelése mely erős és könnyen azonosítható vonalakkal rendelkezik, mint pl. az Orion-köd. Ha azonban még pontosabb kalibrációra van szükség, ahhoz spektrállampát kell használnunk.” [2]. Egy másik módszer szerint, ha képpünkön látszik a 0-ad rendűen eltérített kép, akkor annak maximumához tartozó pixel a 0 nm hullámhosszú pixel. Ehhez már csak a spektrum hullámhossz/pixel skála léptékét kell ismerni, és kész is a kalibráció. Maurice Gavin angol amatőr a hullámhossz kalibrációjához, ismert csillagok hidrogén abszorpciós vonalaihoz hasonlítja a célobjektum vonalait (0-ad rendű kép szükséges). Ez a módszer látható az 5. és a 6. számú ábrán.

A fluxus kalibráció. Mivel CCD kameránk spektrális érzékenysége más és más, továbbá az égitestek sem egyformán sugároznak a különböző hullámhosszakon, ezért ezen hatást a fluxus kalibrációval meg kell szüntetni, mert csak így kaphatunk a szakmai szempontok szerint is elfogadható kalibrált spektrumot.



5. ábra. Hullámhossz kalibráció spektrumok grafikus egymásra másolásával (balra)
 6. ábra. Hullámhossz kalibráció ismert hullámhosszúságú abszorpciós vagy emissziós vonalak segítségével (jobbra)



7. ábra. A Szaturnusz és az Algol fluxus és hullámhossz kalibrált „hivatalos” spektruma

„A fluxus kalibráció során egy előre már ismert színképosztályú standard csillag rögzített spektrumát osztjuk le egy ugyanolyan színképosztályú csillag spektrumával, melyet valamilyen spektrumadatbázisból veszünk és a továbbiakban ezt a korrekciós görbét alkalmazzuk a fluxus kalibrációkhoz, az eredményt l. a 7. ábrán. Van azonban egy egyszerűbb módszer is, ha ugyanis nincs szükségünk nagyon pontos fluxus korrekcióra, hanem csak a műszer okozta legdurvább torzulásokat kívánjuk korrigálni, akkor rögzítsük egy olyan fényesebb csillag spektrumát, mint amilyen luminositású és színképosztályú a standard csillagunk, majd hasonlítsuk össze spektrumukat, a már ismertetett módon. A stratégia előnye, hogy számos kalibrációs csillagot tudunk kiválasztani, miközben csak csekély mértékű hibával terheljük a spektrális görbe alakját illetve a radiális sebesség mérésünket. Bővebb információ: (<http://simbad.harvard.edu>).” [2].

További gondot okoz azonban az atmoszférikus abszorpció, ami a színek „kék végét” terheli. Ennek kiküszöböléséhez a sötétkép levonásoknál írtak szerint járunk el.

KERESZTY ZSOLT

Felhasznált irodalom

- [1] Dr. Bernalák Kálmán: A fény, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1981
[2] Hogyan tudjuk a legtöbbet kihozni egy CCD-s spektrográfból? Sky & Telescope 2000 július, fordította Kereszty Zsolt, szakmailag ellenőrizte: dr. Kiss László, a fordítás elérhető a következő címen: <http://kereszty.csillagaszat.hu/spectr/cikk/cikk01/cikk01.htm>
[3] Marik Miklós: Csillagászat, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1989
[4] Barabás-Kohler: Optikai műszerek, Műszaki Könyvkiadó, 1963

Spektroszkópiával foglalkozó internetes lelőhelyek

Amatőr spektroszkópiával foglalkozók fóruma: <http://users.erols.com/njastro/faas/>
Spektroszkópok, egyéb eszközök (linkgyűjtemény):
http://www.rheacorp.com/sp_sites.html

Maurice Gavin amatőr spektroszkópiai honlapja:
<http://www.astroman.fsnet.co.uk/index.htm>

C. Buil spektroszkópiai honlapja: <http://www.astrosurf.com/buil/>

Rainbow Optics optikai rács honlap: <http://www.astroman.fsnet.co.uk/rainbow2.htm>

Az IRAF programcsomag: <http://iraf.noao.edu/iraf/web/>

A SIMBAD asztrofizikai adatbázis: <http://simbad.harvard.edu>

Referenciaspektrumok a NASA adatbázisából:
<http://adc.gsfc.nasa.gov/adc-cgi/cat.pl?catalogs/2/2179/>

Az Edmund Scientific cég honlapja (optikai rácsok):
<http://www.edmundscientific.com>

Az SBIG cég honlapja: <http://www.sbig.com>

A szerző spektroszkópiával foglalkozó honlapja:
<http://kereszty.csillagaszat.hu/spectr/spectr.htm>



Megjelent az *AmatőrCsillagászok kézikönyve* új kiadása! Az új Kézikönyvet számos ponton átdolgoztuk, új ábrákkal egészítettük ki, az első kiadás hibáit kijavítottuk. Jelentősen átdolgoztuk a kettőscsillagokról és a fogyatkozásokról, csillagfedésekről szóló fejezetet, továbbá teljesen új fejezet készült a csillagászati képkalkotásról. Az 536 oldalas kötet megrendelhető az MCSE-től (1461 Budapest, Pf. 219.), rózsaszín postautalványon, illetve megvásárolható a Polaris Csillagvizsgálóban, a Planetáriumban és a Műszaki Könyvtárházban. Az AmatőrCsillagászok kézikönyve ára 2300 Ft (tagok számára 2000 Ft)

Kettőscsillagok CCD-s észlelése

Negyedik éve foglalkozom komolyabban a kettőscsillagok észlelésével, az utóbbi két évben CCD-kamera használatával. Ez irányú ténykedésem ismertetése igen bő teret kapott és kap a kettősrovatban. Most kissé más megközelítésből, főleg a mérések háttéréről kívánok némi ismertetést, tájékoztatást adni.

A kettőscsillagok fő paramétereinek (pozíciószög és távolság, vagy szeparáció) mérésére az elmúlt időben több módszer alakult ki. A legelterjedtebb a mikrométeres mérés, amikor a távcsőre szerelt okulármikrométer alapszálának és a rá merőleges rögzített szálának metszéspontját az egyik komponensre, míg az alapszálának és egy harmadik, csavarorsóval mozgatható szálának metszéspontját a másik komponensre állítva, a csavarorsó skáláján leolvasható a komponensek távolsága. A skála kalibrálásával könnyen kiszámítható a távolság ívmásodpercben kifejezett értéke. A pozíciószög méréséhez a mikrométer szálakat tartó része elforgatható valamilyen finommozgatást biztosító áttétellel, az elfordítás mértéke pedig skálán leolvasható. Ezek a műszerek a finommechanika remekművei. Használatukhoz igen stabil felépítésű távcső, pontosan járó óragép, és persze rezzenéstelen nyugodtságu légkör szükséges. Amatőr célú alkalmazásukat mindezek a feltételek korlátozzák.

Amatőr körökben elterjedtebb a mérőokulár használata, ahol egy szállemezbe mart skála segítségével állapítható meg a szükséges két érték. Ezek használata, beszerzése könnyebb, de kevésbé pontos mérést tesznek lehetővé. Természetesen ezekkel a műszerekkel esetenként több mérést végezve, az eredmények feldolgozásával a pontosság javítható, illetve a mérési eredmény szórása számítható.

Ezeknek a módszereknek további hátránya, hogy a mérés teljes egészében az ég alatt történik, a precíz beállítgatások erősen igénybe veszik a szemet, a türelmet.

A CCD-technika terjedése új távlatokat nyitott ezen a területen. Elég egy sorozatfelvétel elkészítése az adott kettősről, az időigényes „mérési-számolási” tennivalók már kényelmesen, szobában végezhetőek el. Ez azért sem elhanyagolható szempont, mert hazai viszonyaink között igen kevés a derült esték száma, amit érdemes minél hatékonyabban kihasználni.

E módszer klasszikusnak nevezhető módja az asztrometriai mérés. Ilyen esetben a képen a kettősön kívül kell lennie a látómezőben olyan csillagoknak (minimum 3-nak), melyek koordinátái nagy pontossággal ismertek. Egyes csillagászati képfeldolgozó programok (pl. CCDMaster) alkalmasak arra, hogy ismert koordinátájú csillagok segítségével a kettős komponenseinek koordinátáit kiszámolják. Persze előbb csillagkeresést kell a képen végezni, ennek során a program a beállított paramétereknek megfelelő „csillagok” centroidjait ezredpixel pontossággal meghatározza. Már csak egy egyszerű transzformáció van hátra, hogy a kettős igényelt adatait (PA és S) megkapjuk.

Korábbi vizuális kettőscsillag-észleléseim összegzéseként be kellett látnom, hogy a módszer mind pontosság, mind objektivitás terén hagy kívánnivalókat maga után. Mindkét téren előre kell lépni. Eszköz terén könnyű volt „választani”, mivel csak CCD-kamera állt rendelkezésemre, amit a 355 mm-es Newton-távcsővel tudok használni. A módszerrel is voltak gondok: az asztrometriai mérést el kellett vetnem, mert az Amakam kamera képmérete igen kicsi. A pontos méréshez hosszú eredő fókuszs kell. Fókusznújtáshoz fotós konvertereket használok, 3200 mm (2002-ben pedig 3400 mm) eredő fókussszal. Ez elegendő felbontást ($0,647/\text{pixel}$ illetve $0,602/\text{pixel}$) ad, vi-

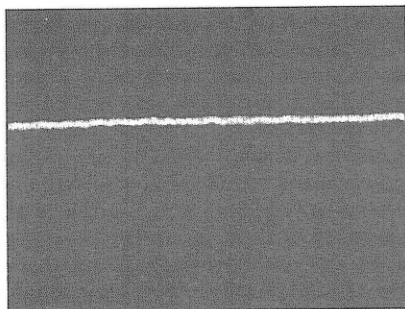
szont a kis chipméret miatt csekély a képméret (4/3 illetve 4' képátló). Ekkora képmezőben csak néha van a mérendő kettősön kívül csillag. Sajátos módszert kellett kitárolnom, felvállalva annak nehézségeit is, bár maga a módszer egyszerű. A képen a komponensek x és y koordinátáit kimérve (CCDMaster csillagkeresés), abból kell transzformációval a kívánt PA és S értékeket meghatározni.

A méréshez kiindulási értéként szükség van a képskála ("/pixel) érték nagyon pontos ismeretére. Ez az eredő fókuszról és a pixelek méretéből számolható lenne, de biztosabb, ha ismert távolságú kettősök méréséből számítjuk vissza. Ennek az értéknek a pontossága a mért kettős szeparációját befolyásolja. A másik érték a kamera (illetve a chip) tájolása, az x és y irányok eltérése az égi főirányoktól. A tájolási érték pontossága a mért kettős PA-értékénél jelentkezik. Esetemben ennek a két értéknek a meghatározása nem volt könnyű. Az általam (illetve a szakma által) elvárt mérési pontosság (0,1 PA-ban, illetve 0,1 S-ban) miatt nagyon körültekintően kell eljárni.

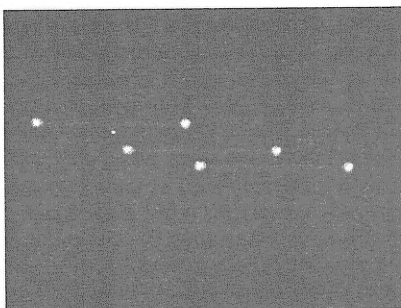
A képskála megállapításához „fix” párokat kellett keresni, ahol a paraméterek változása évszázados skálán nézve jelentéktelen. Elsősorban a Tycho-programban (1991-ben) is szereplő kettősök közül válogattam, ráadásul az igen laza kategóriából, hogy az egyébként „jelentéktelenek” számító eltérések hatása minél kisebb legyen. Több kettősről, sok mérési sorozat kiértékelése adott elfogadható pontosságú végeredményt, tehát a képskála értéke megvan.

A kamera tájolása egészen más megközelítést igényel. Egyszerű esetben a kamera elforgatásával beállítható a megfelelő pozíció. Azonban a deformációra hajlamos szerelés, a kissé rugalmas tükröbefogás miatt a távcső különféle égi helyzetekre állítása miatt a deformációk kis mértékű (de ez a kis mérték már mérésnél nem elhanyagolható) képmegfordítást eredményeznek. Nem is szólva arról, hogy a kamera leszerelése, visszاسzerelése után az előző kamerapozíciót csak elméletileg lehet újra biztosítani. Kevésbé lényeges, hogy a kamera főirányai egybeessenek az égi főirányokkal (ideális eset), fontosabb az eltérés mértékének ismerete, ami ugye az észlelés folyamán is kismértékben változhat. Az irányeltérés megállapítására kezdetben igen egyszerű módszert alkalmaztam. Egy megfelelő fényességű csillagot álló óragéppel „keresztülstétáltattam” a képen. Példaként bemutatok egy viszonylag jónak számító felvételt. A képen jól látszik, hogy a szcintilláció miatt apró hullámok rakódnak a vonalra, valamint a csík diffúzsága jelzi, hogy a közepes seeing miatt a csillag képe nem pontszerű, hanem elmosódott.

A keletkező „csík” két végpontja „kimérhető” volt, igaz, csak kb. félpixeles pontossággal. Egymás után több „csík” felvételével, majd kiértékelésével az eltérést ki tudtam számolni. Egy éjszaka során többször kellett „csíkokat” felvenni, részben azért, mert az idő múlásával a távcső helyzete jelentősen megváltozott, részben azért, mert más égterületre való áttérés újabb kalibrálást igényelt. Ennek megfelelően egy-egy éjszaka során, gyakran kellett az eltérési korrekció értékét módosítani a kettősök kimérésekor. A „csíkok” végpontjainak középvonalát csak kisebb pontossággal lehetett meghatározni, mint a csillagok koordinátáit, ezért hasznosnak bizonyult egy baráti beszélgetés (Ladányi Tamással és Lázár Józseffel) a módszer módosítására. Az újítás lényege, hogy egy (vagy több) csillagról olyan felvételt kell készíteni, hogy a képmező egyik részén megfelelő idejű integrációt követően az óragépes követés néhány másodperces (deklinációtól függően 5–15 s) megszakítása után (mialatt a csillag a képmező másik részére kerül) újabb néhány másodperces integráció következik. Így kettőzött képet rögzíték, ezért a csillagok pozíciójának meghatározása pontosabb.



Hagyományos csík



Kettős csík

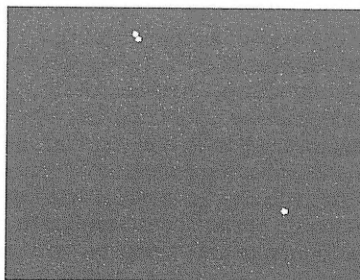
A végső verzió annyit változott, hogy ezek a módosított felvételek egyébként is célpontul kiszemelt kettősökről készülnek, így a képek kettősmérésre is és pozícióeltérés mérésére is alkalmasak. Sajnos a (valamennyire mindig lengedező-fújó) szél időnként megnehezíti egy-egy jó minőségű csík sorozat felvételét, de a kettősképek készítésekor is fennáll ez a zavaró hatás. Egy ilyen képet is bemutatok, ez egy laza hármass rendszerrel készült. Mivel az óragép kikapcsolt állapotában „elmozdult” csillago(ka)t mindig vissza kell hozni, én ezt a vissza irányt (dupla óragép sebesség, de ellenkező irányban) is kihasználom „csíkhúzásra”. Eleinte fenntartásaim voltak a módszerrel kapcsolatban, mivel kikapcsolt óragépnél valójában a kamerának az égi RA iránytól való eltérése mérhető, amíg ellenkező irányból a távcső RA tengelyétől való eltérés mérhető. De megfelelő pólusra állás esetén (sok-sok méréssel kontrollálva) ez egy és ugyanaz. Időnként azért ellenőrzésként külön mérem ki a két irányban felvett csíkokat, de az eltérés néhány századfok szokott lenni, jóval alatta a mérési pontosságra jellemző szórás értékének.

Ezzel a kalibrálási lehetőségek megvoltak, jöhetett az érdemi munka. Azonban segítségére volt szükség a kiértékeléshez. A képekről a komponensek koordinátáit ki tudtam nyerni, de a transzformáció (a korrekciós értékek figyelembevételével), valamint az átlagolás, szórás számítás még hátra volt. Ebben Vaskúti György segített. Menet közben valós mérésekkel tesztelve, finomítgatva elkészített egy könnyen kezelhető programcsomagot, így teljes energiával a képek gyűjtésére, kimérésére koncentrárlhattam.

Milyen kettősök mérésére alkalmas egy ilyen rendszer? Alapvetően a felbontás az egyik korlát. Ekkora pixelméretekkel nem lehet érdemi mérést végezni a szoros, igen szoros kategóriába tartozó kettősök terén. Egyrészt a kiértékeléskor nem különülnek el kellő mértékben a komponensek, másrészt a mérések pontossága, illetve szórása túl nagy lesz. Végül a légkör nyugodtsága is korlátoz, hiszen az integráció során összerosódott komponenseket szintén nem lehet elkülönülten mérni. A 355 mm-es átmérő a nyújtott fókusszal még érzékenyebb a nyugodtságra. CCD-vel a legfényesebb kettősöknél néhány ms integráció szükséges, míg a halványabbakra (12^m - 14^m) 20-30 s is szükséges lehet. Egészen más a seeing fogalma a kamerával, mint vizuális észleléskor. Szemmel az 50 ms-nál gyorsabb légköri eredetű torzulások összerosódnak, elkenődnek, ilyenkor esetleg csak a felfújtt csillagképeken látni a nyugodtság gyenge voltát. Ami szemmel nézve „kiátlagolódnak”, a gyors felvételeken össze-vissza

torzuló-deformálódó csillagképet eredményez (1. Meteor a Meteor 2001/7–8. számában megjelent írásomat és a képsort). Ezek kimérésre alkalmatlanok. A másik végzet a lassan hullámzó seeing. Ezt szemmel úgy látjuk, hogy a kép, vagy egyes részletei ki-kiélesednek, finom részleteket felfedve. Ilyen esetben viszont a hosszabb integrációs CCD-felvétel össze fogja mosni a képet. Ez sem szerencsés helyzet, de a kiátlagoló hatása miatt mérhetőek a képek. Igaz, az integrációs időt növelni kell, hogy a szét-kent csillagok képe kiemelkedjen a háttérből, továbbá számítani lehet kiértékeléskor a gyengébb eredményre, a paraméterek magasabb szórására. Saját észlelőhelyem tapasztalata alapján CCD-s szemmel csak átlagosnak nevezhető a seeingem. Gyakran még gyengébb, igen ritkán pedig kissé jobb. Egy kiemelkedően jó nyugodtságú időszak (kb. fél óra) eredménye a mellékelt TDT 598 jelű kettős „begyűjtése”. A tagok halványak ($11^m,65$ és $11^m,84$), a mért adatok $PA=212^\circ,1$, $S=2',1$.

Jellemzőbb az az állapot, amikor a csillagok $5''$ – $6''$ -es diffúz foltok, de előfordul, hogy elérik a $15''$ – $20''$ -et is. Persze ilyenkor mérésről szó sem lehet. Mivel az észlelőhelyem adott, ezt kell használni és *kihasználni*. Maradnak az $5''$ -nél, de még inkább a $10''$ -nél lazább párok, többes rendszerek. Szerencsére van belőlük bőven, ráadásul a szakma szempontjából nem tartoznak a legfontosabbak közé, így legtöbb esetben csak néhány mérés (gyakran csak a katalogizálttal) van róluk. Amatőrök számára ez olyan terület, ahol hiánypótló munka végzésére van lehetőség.



A TDT 598

Milyen pontosságot lehet ilyen körülmények között elérni? Nagyon foglalkoztatott ez a kérdés, amire persze csak sok kép kiértékelése után lehetett választ adni. 2001-ben összesen mintegy 3500 felvételt értékeltem ki, ami 479 mérési sornak felelt meg. A pontosságnál a továbbiakban csak a szeparációt veszem figyelembe, mert ezzel könnyebb viszonyítani. Ugyanis PA esetében a pontosság (fokban kifejezett értéke) szeparációfüggő. A szeparáció szórás átlaga, valamennyi mérés figyelembevételével, $0,14$, vagyis negyed pixelnyi. Sok esetben végeztem ismételt méréseket egy-egy párról, ezek összehasonlítása legtöbbször igen jól egyezett ($0,02$ – $0,04$), csak nagy ritkán haladta meg az eltérés a $0,1$ -et. Ilyen esetben a szórásmezők fedték egymást, a mérési módszer nem szenvedett csorbát, de az eredmények jelezték, hogy nagyon gyenge felvételeket használtam fel. Gondot okoz viszont, hogy alig tudom az eredményeimet ellenőrizni. A legfőbb felhasználható adatbázis a WDS, de ebben csak egészen megfelelő pontossággal szerepelnek a kettősök, ami már nem egészen megfelelő pontosság az összehasonlításhoz. A Tycho katalógus sok kettősről tartalmaz pontosabb mérést az 1991-es évre. Viszont ezek zöme a számomra elérhetetlenül szoros kategóriába esik. Szerencsére azért van néhány $5''$ -nél lazább párról is Tycho-mérés. Így ezek közül az éppen célpontul kijelölt égterületen néhányat mindig „levadászok”. Fix pároknál a WDS-beli, esetleg évszázados, vagy még régebbi mérés egyezik a Tycho-mérésével (elteltekintve a WDS közlési pontosságától). Ilyenkor ha az én mérésem is egyezik a Tycho-éval, akkor nyugodt vagyok, nem rontottam el semmit. Vannak párok, melyek egyik, vagy mindkét komponense figyelemreméltó sajátmozgású. Ilyenkor a Tycho eredménye és a WDS legrégebbi mérése jelentősen el-

tér. Számomra ezek izgalmasak, mert van esély, hogy a Tycho-mérés óta eltelt időben történt sajátmozgás detektálható. Valóban detektálható, néhány esettől eltekintve igen jól illeszkednek a mérések. A néhány eset oka kérdéses, de mivel a mérési módszeremnek van egy gyenge pontja (vagy még több is?), megpróbálom azzal magyarázni. A gyenge pont pedig az, hogy nem veszem figyelembe, hogy az eltérő színtípusú komponensekre a légköri refrakció eltérő mértékű. Ez főleg alacsony égi helyzetben okoz szisztematikus mérési hibát. Ez a hiba extrém esetben ívmásodperc nagyságrendű is lehet, vagyis nem elhanyagolható. Sajnos a fő célként kiválasztott kettőskomponensek zöméről nincs színképi adat, így nincs is mit figyelembe venni. A probléma áthidalása miatt igyekszem nagyobb horizont feletti magasságban levő kettősöket kiválasztani, így a hiba mértéke csökkenthető.

Kezetben vaktában dolgoztam. Egy-egy szimpatikus égterület összes elérhető kettősét feltérképezve sorra jártam őket, kettősönként 6–8–10 képet készítve. Kell persze szelekció is. Egyrészt az ég alatt, lehetőség szerint csak a legjobb képeket elmentve, másrészt kiértékelés közben, ha az átlagtól nagyon eltérő értékek jöttek ki, úgy a kérdéses képe(ke)t nem használtam fel. Utólag visszanevezem a jegyzeteimet, arra a megállapításra jutottam, hogy ha összehasonlítom az összes kép felhasználásával nyert végeredményt egy erősen szelektált sorozatból nyert eredménnyel, úgy a PA és S értékekben csak kismértékű változás történik, viszont az értékek szórása (néha csak kissé, néha pedig látványosan) javul. Így végül egy középút mellett döntöttem. Növeltem a felvett képek számát (10–15, néha 20 képre), a válogatásnál pedig mérték-tartó módon csak a nagyon szélsőséges értékeket eredményező képeket hagytam ki. Így szintén javul a végeredmény szórása (ha nem túl rossz a seeing), de kevésbé tűnik mesterkéltnek a végeredmény.

Az utóbbi időben, miután rendelkezésemre áll az USNO „kívánságlistája” (azon kettősöket tartalmazza, amelyeket a felfedezésük óta, vagy a legutóbbi húsz évben nem mértek), fő célként ezek gyűjtögetését tűztem ki, persze szintén útba ejtve a környék Tycho-kettősait, a folyamatos kontroll biztosítása miatt. Természetesen vannak kedvenceim is, melyeket az adott égterületen szintén távcsővégre kapok. Az arra alkalmas párokat pedig kettőscsikként is meglátogatom, éjszakánként, illetve égterületenként minimum egy sorozat erejéig. Ez a szám növekszik, ha a távcső-kamera együttes helyzete megváltozhatott. Pl. kamera le-felszerelés, vagy hosszabb kényszerzünet után mindig komolyabban pontosítom a pozíció eltérést.

Egy dolog maradt még: a fényességkülönbség. Amennyiben a komponensek fényessége jelentősen eltér ($>3^m$), nehéz jól kiértékelhető képeket készíteni. Egyrészt vigyázni kell, hogy a fényesebb komponens ne vigye telítésbe az érintett pixeleket, másrészt a halványabb komponens is elég intenzitással képeződjön le. Szoros kettősöknél ez még nagyobb korlát, mert bár szemmel esetleg lehet látni a halvány komponens-t a főcsillag „fénykörében”, azonban a kimérő program nem képes különválasztani őket.

BERKÓ ERNŐ

Csillagvizsgálók, kisplanetáriumok építészeti tervezése
Szász-Ház Bt., tel.: (20) 984-4929