

Csillagászati képrögzítés

I. Bevezetés

Aki távcsőbe néz, abban szinte kivétel nélkül felébred a vágy, hogy másnak is átadja az élményt, amit a Hold krátereinek pazar látványa, vagy a Szaturnuszt körbeölelő gyűrű megpillantása jelent. A Galilei-élmény csak az okuláron át szemlélve élhető át, mégsem tudjuk mindenkinek közvetlenül a távcsövön át megmutatni az általunk látottakat. Elmesélhetjük élményeinket szóban, esetleg le is rajzolhatjuk a látottakat, azonban ezek sokszor együttesen sem érnek fel egy színes fénykép adta élménnyel. Egy jó rajz elkészítése nagyon aprólékos, sok türelmet és nem kevés kezűgyességet igénylő feladat. Természetesen egy jó asztrofotó vagy egy szép CCD-felvétel elkészítése is sok munkát igényel, de az ezek adta élethű látvánnyal csak kevesek rajzتهtsége versenyezhet. Az alábbiakban azon elméleti és gyakorlati tudnivalókat kívánjuk megosztani az Olvasóval, amelyek segítségével megörökíthetők az égi objektumok, események.

Az asztrofotó eszköze a távcsőre szerelt, a hétköznapi élet más területén is használatos (többnyire cserélhető objektíves) fényképezőgép. Az egyszerű, olcsó vázak csillagászati célra szinte ugyanolyan jól megfelelnek, mint bármelyik profi fényképezőgép, hiszen szerepük a film fókuszsíkjában tartására korlátozódik. A 20. század végén azonban megjelentek az amatőrök számára is elérhető, nagy érzékenységű csillagászati CCD-kamerák, s megkezdődött a „pixelek forradalma”. A kis látómező és a CCD-k magas ára, valamint vezetékes áramhoz, számítógéphez kötöttsége okán mégis nagy tér maradt a filmes asztrofotózásnak. Míg azonban néhány évvel ezelőtt minden tíz eladott fényképezőgépből csak kettő volt digitális, mára megfordult az arány: a filmes gépek piaci részesedése 20% alatti, s folyamatosan csökken. Ennek megfelelően egyre gyakoribb, hogy valaki digitális fotózást ért fényképezésen, s digitális gépet szeretne a távcső végére illeszteni. Az analóg/digitális éra határát talán a 2005. évben lehet meghúzni, amikor is a Kodak bejelentette minden idők legnépszerűbb csillagászati emulziójának, a TP 2415 jelzésű fekete-fehér film gyártásának beszüntetését. Ugyanebben az évben jelent meg a csillagászati célokra igen jól használható Canon EOS D sorozat legújabb tagja, amely elérhető áron kínál 24x36 mm-es képrögzítő felületet.

Ennek megfelelően került hát átdolgozásra a Kézikönyv jelen fejezete is, nagyobb súlyt fektetve a digitális képrögzítésre. A csillagászati CCD-kamerák mellett ugyanis ma már elterjedtek a webkamerák, valamint nem ritkák a cserélhető objektíves digitális fényképezőgépek sem. Az analóg és digitális képrögzítés csillagászati alkalmazásában azonban nagyon sok a közös, speciális megoldás (a képfeltevő eszköz távcsőhöz illesztése, fókuszálás, az egyes objektumtípusok rögzítésének trükkjei, igényei), így a leírtak nagy része filmes gépekre is érvényes. Elsőként külön-külön megismerkedünk az analóg és digitális képrögzítés elméleti alapjaival (II.1–2), azonban mellőzzük a filmek hívásának és papírképek készítésének leírását. Ezt házi körülmények között szinte kizárólag fekete-fehérben lehetett kivitelezni, s a filmes

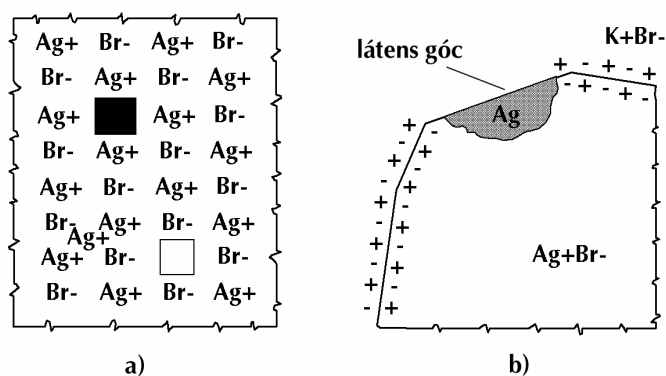
asztrofotózás ma már – nyugodtan állíthatjuk – színes emulziókra korlátozódik, melyeket laborokban dolgoztunk ki. Így inkább a digitális képek feldolgozására, a webkamerák használatára térünk ki részletesen. Ezután az általános (III.), majd az egyes objektumokhoz kapcsolódó gyakorlati ismeretek (IV.) ismertetése következik.

Mivel a gyakorlati oldal igen szerteágazó, s igazán csak az adhat egy-egy objektum megörökítésével kapcsolatban hasznos tanácsot, aki maga is próbálta azt, így a III. és IV. fejezetek anyagához több amatőr csillagász munkája szolgált alapul. Az utolsó két fejezethez a következők nyújtottak segítséget: Áldott Gábor, Berkó Ernő, Dán András, Fejes Imre, Iskum József, Kaszás Gábor, Kiss László, Ladányi Tamás, Rózsa Ferenc és Sárneckzy Krisztián.

II. A képrögzítés és a képfeldolgozás elmélete

II.1 A fotográfia alapelvei

Az első csillagászati fényképet *John W. Draper* készítette 1840-ben a Holdról, majd öt évvel később *Foucault* és *Fizeau* a Nap korongját örökítette meg. Egy 1878-as napfogyatkozás alkalmával összegyűjtöttek és publikáltak több vizuális és fotografikus megfigyelést, s ez jól demonstrálta az utóbbi sokkal nagyobb valóságtartalmát. Vizuálisan azonban még mindig többet mutatott egy távcső. 1883-ban viszont elkészült az ezt megdöntő első felvétel egy 90 cm-es távcsővel az Orion-ködről, 37 perces expozícióval. Két évvel később az addig soha nem észlelt Merope-köd megörökítésével kezdetét vette a fotografikus felfedezések korszaka. Ezen igen fontos asztrofizikai jelentőségű események közül akad magyar vonatkozású is: a Lyra-gyűrűsköd központi csillagát *Gothard Jenő* fotózta le először. Rengeteget fejlődött időközben a fotografikus technika, de az alapelv nem változott: a képrögzítő folyamat legyen érzékeny, másrészt lineáris (vagyis ha valami kétszer olyan fényes a valóságban, vagy kétszer több megvilágítást kap a negatív, akkor a rögzített kép is pontosan ezt tükrözze).



5.1. ábra. Az AgBr kristály szerkezete (a) és a hívás folyamata (b)

Az ezüsthalegenidek (ezüst-jodid, ezüst-bromid, ezüst-klorid) fényérzékenységét régóta ismerik. A képek rögzítésére az idők során az AgBr bizonyult a legalkalmasabbnak. Ezen ionos kristályban felváltva ülnek a rácspontokban az Ag^+ és a Br^- ionok. A szabályos elrendeződésbe azonban hibák ékelődnek, melyek lehetnek idegen ionok okozta szennyeződések, kimaradt rácspontok, törések a rácsszerkezetben vagy rácsközi, szabad mozgásra is képes ezüst-ionok. Ezek szerepe igen fontos,

ugyanis a tökéletes kristályt nem is lehetne fotózás céljára felhasználni. Az ún. elektronfolyamat során ugyanis a kristályt megvilágító fény fotonjainak energiája a brómionról leszakítja az elektront. A Br atom a rácspan rögzített helyén marad, azonban az elektron szabadon elvándorol, megkeresve a számára legkedvezőbb, legkisebb potenciálú helyet (energiaminimum elve). Ez pedig az előbb említett hibahelyek közül a legközelebbi. Egy-egy ilyen pontban a megvilágítás, vagyis expozíció

alatt több elektron is összegyűlik, s egy negatív töltésű góc alakul ki. Ennek elektromos tere kényszeríti a rácsközi szabad Ag^+ ionokat és részben a legközelebbi, rácsba épült ezüstionokat is, hogy e pont felé mozduljanak el, s elérve azt, rekombinálódnak. Az ionfolyamat során tehát néhány atomnyi méretű ezüstgócok alakulnak ki, s ahol erősebb fény érte a kristályt, ott nagyobbak e göcök. Ezek azonban szabad szemmel még nem láthatóak. Egyrészt túlságosan kevés atomból állnak, másrészt a vizuális vizsgálat során ismét fény érne a még aktív kristályokat, s teljesen megváltozna az expozíció során kialakult ún. látens kép szerkezete. Meg kell tehát sokszoroznunk az egyes pontokban összegyűlt ezüstatomok számát, mégpedig azzal arányosan, hogy egy-egy pontban mennyi ezüst vált ki az expozíció alatt (hívás), másrészt meg kell szüntetnünk a kristály további fényérzékenységét (fixálás).

A hívás során a néhány tucat ezüstatomból álló göcök katalizátorként működnek. Az előhívóban lévő erős redukálószer e foltoknál hozzáfér az amúgy iongáttal védett kristályhoz, s ott további ezüstionokat alakít fémézüstté. A látens kép pár ezüstatomból álló göcai tehát növekedni kezdenek, s a növekedés sebessége a góc eredeti méretétől, vagyis az adott pont megvilágítottságától függ. A hívás során 10–100 milliószorosára növekedik az egy-egy pontban lévő ezüstatomok száma, s hosszabb hívási idő esetén a megvilágítatlan kristályok sötétedése is megkezdődik. Ezt azonban nem várjuk meg, vízzel eltávolítjuk az előhívót, s következik a fixálás. Ennek hatására a filmben maradt még érzékeny AgBr kristályokat valamilyen vegyszerrel (ált. nátrium-tioszulfát) többlépcsős folyamatban vízben oldható ezüst-sókká alakítjuk és kimossuk a hordozóanyagból.

Az előhívott negatívon megfigyelhető feketedés a megvilágítástól függ, azonban nem lineárisan. Vagyis a kétszer akkora fényintenzitással, vagy ugyanazon intenzitással, de kétszer akkora ideig vagy kétszer erősebb fényel megvilágított területek nem kétszer olyan sötétnek mutatkoznak. Ezt a sötétedést denzitásnak nevezzük, definíciója:

$$D = \log (1/T),$$

ahol a T transzmisszió az előhívott filmet egy pontjában átvilágítva a megvilágító, és a filmben áthaladó fény intenzitásának hányadosa. A megvilágítást (E) a beeső fény intenzitásának (I) és a megvilágítás idejének (t) szorzataként definiálva ($E = I \cdot t$) elkészíthetjük a megvilágítás–denzitás grafikont, az ún. jelleggörbét. (Mivel D logaritmikus, a jelleggörbén nem E , hanem $\log E$ szerepel.) Ez láthatóan nem lineáris, s négy alapvető szakaszra bontható:

- **0–1:** a film megvilágítás nélkül vagy igen kis megvilágítások mellett is egy, az egész felületen egyenletes, kis mértékű feketedést mutat, ez az alapfátyol. Oka, hogy nem csak fény, hanem hő hatására is lejátszódik az elektronfolyamat. Ez a hatás csökkenthető a film hűtve tárolásával, gyors felhasználásával.
- **1–2:** gyenge megvilágításokra a film nem reagál, majd egyre nagyobb feketedéseket kapunk, ha növeljük a megvilágítást.
- **2–3:** ez az a tartomány, ahol többé-kevésbé lineáris a karakterisztika, itt használható a film. Az ehhez tartozó megvilágítási szakaszt nevezzük dinamikai tartománynak.
- **3–4:** egy bizonyos mértékű megvilágításon túl már nem kapunk további feketedést. Ennek oka, hogy az AgBr szemcsék teljes felületén kivált fémézüst nem enged be a fényt a kristály belsejébe, ott további ezüstionok nem rekombinálódnak.

- 4-: nagyon erős megvilágításra a már fémezüstté vált ionok visszaalakulnak, ez a szolarizáció jelensége.

A film érzékenységét és keménységét is a jelleggörbéről lehet leolvasni. Minél meredekebb a lineáris szakasz, annál keményebb, azaz kontrasztosabb a film. Ez azt jelenti, hogy kis intenzitáskülönbségekre viszonylag nagy denzitáskülönbséggel válaszol. Emiatt viszont csak szűkebb megvilágítás-tartományban használható, egyszerre nem rögzíthetünk nagyon fényes és nagyon sötét területeket. Fontos megjegyezni, hogy a keménység ($g = \tan \alpha$) a hívás során is befolyásolható kis mértékben. A film annál érzékenyebb, minél inkább balra tolódik a lineáris szakasz. A jelleggörbe egy fontos pontja az, ahol 0,1 denzitásértékkel a fátyol szintje fölé emelkedik. Az ehhez tartozó megvilágítás és egy konstans értéknek (1 lux·másodperc) a hányadosa adja az érzékenységet DIN-ben:

$$\acute{E} = 10 \cdot \log(H/H_0).$$

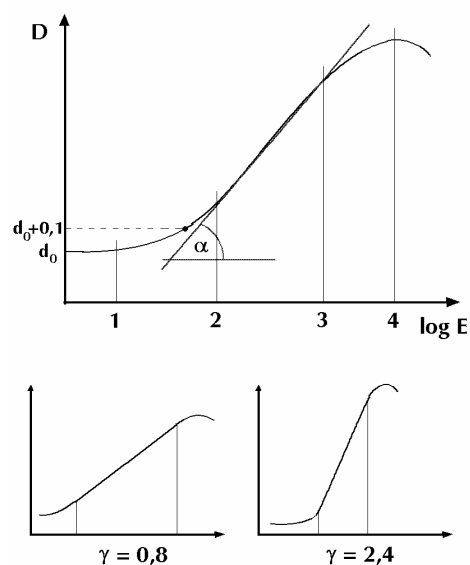
A DIN és az ASA közti átszámítás a következő:

$$\acute{E}_{\text{din}} = 1 + 10 \cdot \log \acute{E}_{\text{ASA}}.$$

Egy 21 DIN-es film érzékenysége 100 ASA-nak felel meg. Kétszer érzékenyebb egy film, vagyis adott intenzitás mellett fele akkora megvilágítást igényel ugyanakkora mértékű feketedés eléréséhez, ha a DIN száma 3-mal nagyobb, vagy az ASA száma megduplázódik.

Egy optikai detektor kvantumhatásfoka azt mutatja meg, hogy a beérkező fotonok közül mennyit képes hasznosítani. A fotoemulziók e tekintetben az emberi szemnél érzékenyebbek, minden 100 fényrészecskéből 3–4-et detektálnak, míg az emberi szem átlagos körülmények között egyet. A különböző hullámhosszokon azonban eltérő a detektálás hatékonysága, ezt mutatja a spektrális érzékenységi görbe. Általában elmondható, hogy a fotografikus filmek kékérzékenyek, s vörös tartományban egyáltalán nem, vagy csak kevésbé érzékenyek. Az ún. pankromatikus emulziók a látható tartományban többé-kevésbé egyenletesen, egészen 700 nm-ig érzékenyek, az ortokromatikus filmek azonban érzéketlenek a 600 nm feletti, vörös tartományban.

A fotografikus filmek valamilyen hordozóra (üveg, műanyag) egyenletesen felvitt, általában zselatinban elkevert és rögzített apró AgBr szemcsékből állnak. Ezen szemcsék mérete és átlagos távolsága határozza meg a feloldóképességet és az érzékenységet is. Minél nagyobbak ezek a kristályok, annál jobb az érzékenység. A felbontás viszont, amit a negatív egy milliméterén belül megkülönböztethető részletek számával szokás jellemezni (vonat/mm), érthető módon csökken az érzékenyebb filmeknél. A feloldás átlagos értéke 100 vonat/mm egy kommersz 21 DIN-es filmnél, 40–50 vonat/mm érzékeny negatívokra (27–30 DIN). Egyes speciális, reprodukció céljára készített emulzióknál 400–500 vonat/mm-t is elérheti (mintegy 12–15 DIN érzékeny-



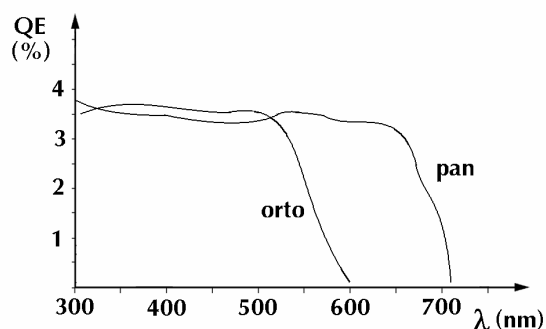
5.2. ábra. A fotografikus jelleggörbe

ség mellett). Ezen értékek azonban nagy kontrasztú, párhuzamos vonalak képére vonatkoznak, amennyiben pl. kör alakú vagy kevésbé kontrasztos részleteket szeretnénk megörökíteni, akkor kisebb a valós feloldóképesség!

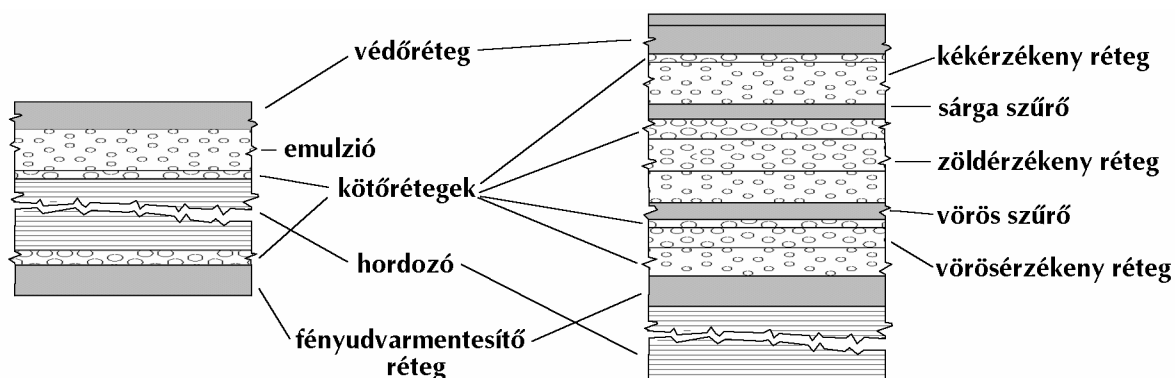
Gyakori asztrofotós kérdés, hogy milyen filmet érdemes használni: kisebb érzékenységet hosszabb expozíciókkal, ekkor jó felbontás érhető el, avagy szemcsésebb, de érzékeny filmet – ez esetben nem szükséges a több órás expozíció. A kérdés megválaszolásához nem szabad figyelmen kívül hagynunk, amit az előbb megállapítottunk a feloldóképességről: hiába jó feloldású és – ami általában ezzel jár – nagy kontrasztú a film: egy halvány galaxis kis fényességkülönbségű részleteit akarjuk megörökíteni, nem fog sikerülni, homogén szürke lesz az objektum felülete. Egy érzékenyebb, s általában sokkal kevésbé kontrasztos film azonban megmutatja a rögzíteni kívánt, enyhén fényesebb régiókat, igaz, a kép szemcsésebb. Ugyanakkor pl. a Hold fotózásakor, ahol igen erősek a kontrasztviszonyok, sokkal többet nyerünk a jó felbontású filmmel.

A halvány objektumok fotózásánál mindenképpen meg kell említeni a fotografikus emulziók nagy hátrányát. Ez a reciprocitási törvény, illetve annak sérülése a filmek esetében. Nagyon kis intenzitások esetén a fotoemulziók csak az akár több órás megvilágítás első néhány percében működnek effektíven. Míg egységnyi határfényesség növeléshez az expozíció elején pl. egy perc elegendő, a későbbiekben egyre hosszabb idő szükséges ugyanakkora mértékű határmagnitúdó-növekedéshez. (Egy 27 DIN-es film az expozíció hatvanadik percében már csak kb. egy 15–18 DIN-es filmmel egyenértékű.) Ezt érdemes egyszer saját magunknak is kipróbálni: készítsünk akár állókamerával (l. később), alapobjektívvel 5, 10, 15, 20 másodperces felvételeket, és ezeket hasonlítsuk össze. Bizonyos technikákkal (hiperszenzibilizálás, l. IV.5.) lehet ezen javítani, illetve a Kodak cég készített, speciálisan erre a hibára korrigált csillagászati negatívokat („a” jelöléssel, pl. Kodak 103a, IIIaJ), de sajnos ma már nem csak ezek, de sok, asztrofotózásban kedvelt film se szerezhető be.

A halvány objektumok fotózásánál mindenképpen meg kell említeni a fotografikus emulziók nagy hátrányát. Ez a reciprocitási törvény, illetve annak sérülése a filmek esetében. Nagyon kis intenzitások esetén a fotoemulziók csak az akár több órás megvilágítás első néhány percében működnek effektíven. Míg egységnyi határfényesség növeléshez az expozíció elején pl. egy perc elegendő, a későbbiekben egyre hosszabb idő szükséges ugyanakkora mértékű határmagnitúdó-növekedéshez. (Egy 27 DIN-es film az expozíció hatvanadik percében már csak kb. egy 15–18 DIN-es filmmel egyenértékű.) Ezt érdemes egyszer saját magunknak is kipróbálni: készítsünk akár állókamerával (l. később), alapobjektívvel 5, 10, 15, 20 másodperces felvételeket, és ezeket hasonlítsuk össze. Bizonyos technikákkal (hiperszenzibilizálás, l. IV.5.) lehet ezen javítani, illetve a Kodak cég készített, speciálisan erre a hibára korrigált csillagászati negatívokat („a” jelöléssel, pl. Kodak 103a, IIIaJ), de sajnos ma már nem csak ezek, de sok, asztrofotózásban kedvelt film se szerezhető be.



5.3. ábra. Filmek spektrális érzékenysége



5.4. ábra. A filmek felépítése

A filmek fizikai felépítésére már utaltunk, megemlítendő azonban a fekete-fehér negatívok mellett a színes filmek szerkezete is. Ezen emulziók tulajdonképpen há-

rom fekete-fehér negatívból állnak, amelyek a három alapszín (vörös, zöld és kék) egyikét rögzítik a rétegek között elhelyezett színszűrőknek, illetve maguknak az egyes rétegeknek színszűrő hatása miatt. A papírkép készítésekor egy filmkockát a három rétegnek megfelelő szűrőn át világítanak le egyetlen papírra, így keletkezik a színes kép. Professzionális színes csillagászati képeket három különálló fekete-fehér negatívra készítenek vörös (Red), zöld (Green) és kék (Blue) szűrőkön át (RGB technika), majd egy papírképre vetítik az ezek által rögzített képeket a megfelelő szűrőket használva. A három negatívot igen nehéz úgy a nagyítógépbe helyezni, hogy pontosan egymást fedjék a papírképre világított alakzatok. Másfelől majd' háromszor olyan hosszú időt vesz igénybe az expozíció. Előnye viszont e technikának, hogy nagymértékű színhűség, jobb feloldás érhető el. A régebbi színes diafilmek kis intenzitású csillagászati objektumok hosszú expozíciós idejű fényképezésére kevésbé voltak alkalmasak. Az újabb diák (I. III. alfejezet) ezen témákra is használhatók a Nap, Hold, valamint fényesebb objektumok állókamerás megörökítése mellett. A diák színvisszaadása, kontrasztja felülmúlja a negatívokról kidolgozott papírképeket, s a kivetített látvány is megkapóbb, egyszerre több személyvel osztható meg. Színes emulzióknál nem szabad elfeledkeznünk arról, hogy kétféle megvilágítási körülményre készülnek e negatívok és diák. Az egyes tárgyak színei ugyanis nemcsak azok fizikai sajátosságaitól függenek (hogy milyen hullámhosszú fényt nyelnek el), hanem a megvilágító forrás ún. színhőmérsékletétől is. A Nap fénye a zöld tartományban a legerősebb, egy 6000 °C hőmérsékletű ideális forrás (ún. feketetest) maximális intenzitása ugyanis 550 nm környékén van. Egy izzólámpa fénye viszont egy 2–3000 °C hőmérsékletű feketetest sugárzásához hasonlítható, ahol is a maximális intenzitás a vörös tartomány felé tolódik a Napéhoz képest. Ilyen körülmények között az ún. műfényfilmek adják vissza helyesen a színeket, míg szabadban, természetes fényforrások mellett – így a csillagászatban is – az ún. napfényfilmek használatosak.

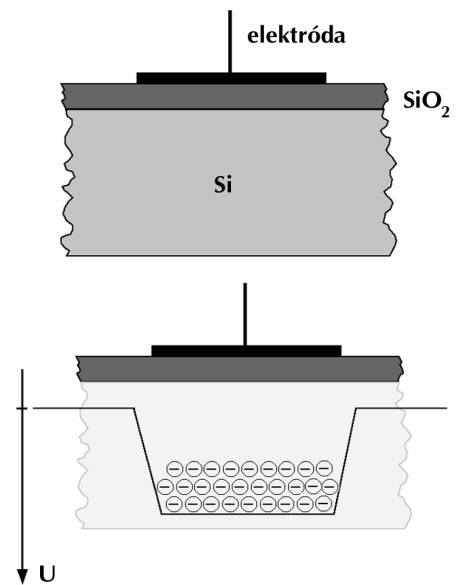
II.2. A CCD-technika alapjai

A CCD mozaikszó az angol Charge Coupled Device, azaz töltéscsatolt eszköz szavakból származik. A Bell Laboratóriumok két munkatársa, *W. S. Boyle* és *G. E. Smith* találták ki e technológiát 1969 októberében. Tették mindezt azzal a céllal, hogy a mágneses elven működő memóriákkal szemben az információt analóg módon, töltéscsomagok formájában tároló memóriacsipet készítsenek. Hamar kiderült azonban, hogy a MOS (Metal Oxide Semiconductor – fénoxid félvezető) technológiával gyártott eszköz igen fényérzékeny, s kiváló optikai detektor készíthető e technológiával.

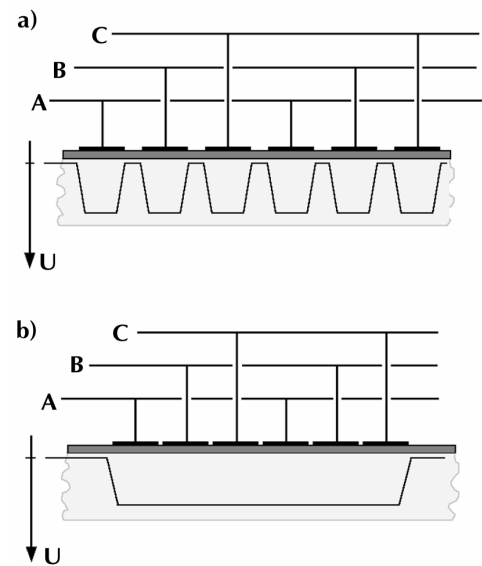
Vegyünk egy szilícium hordozóréteget (alapréteg), amire egy vékony szilícium-dioxid szigetelőréteget helyezünk; erre egy elektródát, az 5.5. ábrán látható módon. A beérkező fény hatására az alaprétegben elektronok keletkeznek, mégpedig a megvilágító fény intenzitásával arányos mennyiségben. Ha az elektródára pozitív feszültséget kapcsolunk, akkor a szigetelőréteg elektródával átellenes oldalán felgyülemlelenek a töltések s ott is maradnak. Úgy is elképzelhetjük mindezt, hogy a pozitív feszültségű elektróda alatt egy potenciálgödör alakul ki, s ebbe „beleesnek” az elektronok (I. 5.5. ábra). Helyezzünk most több elektródát egymás mellé, s kapcsoljunk mindegyikre azonos pozitív feszültséget. Amennyiben távol vannak az elektródák egymástól, sok kis potenciálgödör lesz (5.6a. ábra). Kis távolságokra helyezve az elektródákat egyetlen potenciálgödör alakul ki, ez az ún. töltéscsatolás jelensége (5.6b. ábra), s ezt használhatjuk a töltések mozgatására.

Képzeljünk el sok, egymáshoz közel elhelyezett elektródát, amelyek közül minden harmadikat közös kivezetéshez csatlakoztatunk. Kapcsoljunk kezdetben az A jelű kivezetésre nagy pozitív feszültséget (pl. +10 voltot), a B és C jelűekre pedig kisebbet (pl. +2 V). Ennek hatására minden harmadik elektróda alatt (amik az A jelű vezetékhez kapcsolódnak) potenciálgödör alakul ki (5.7. ábra, felső sor). Világítsuk most meg a hordozót! Ott, ahol erősebb fény érte az alapréteget, több elektron keletkezik, s ezek a legközelebbi elektróda alatt gyűlnek össze. A megvilágítás befejeztével a B jelű vezetékre is kapcsoljunk nagy feszültséget, ezáltal a potenciálgödörök kiszélesednek, és a töltéscsomagok immár két elektróda alatt terülnek szét. Egymással nem keveredhet az egyes elektronkupacok tartalma, hiszen a C jelű vezetékhez tartozó elektródák alatt egy potenciálgát van, ami megakadályozza ezt (5.7. ábra, középső sor). Most az A jelű elektródákat is vigyük vissza az alacsony feszültségszintre. Ezáltal a kiindulási helyzettel teljesen hasonló konfigurációt kapunk, csak hogy a töltéscsomagok egy elektródánál jobbra helyezkednek el (5.7. ábra, alsó sor). Ezt az eljárást ismételve az elektronkupacok eljuttathatók az elektródasor végére, ahol egy speciális egység segítségével (kiolvasó áramkör) megmérhető azok nagysága.

Képzeljünk most el ilyen elektródasorból többet egymás mellett, az 5.8. ábrán látható módon. A mátrix-szerkezet függőleges oszlopainak keresztmetszetét ismertük meg az előbbieken, vagyis egy-egy oszlopon belül függőleges irányban mozgathatók a töltések. Az egyes oszlopokon belül a töltéscsomagok szeparációjáról – mint láttuk – mindig gondoskodik egy vagy két elektróda potenciálgátja. Az egyes oszlopok között azonban fizikai szigetelést, egy vékony szilícium-dioxid réteget kell alkalmaznunk. E mátrix-struktúrának egy elemi egysége tehát egy oszlop azon kis szakasza, amelyhez három elektróda tartozik. Egy ilyen kis részletet az ábra is jelöl, illetve megmutatja annak felnagyított képét. Ezt az egységet nevezünk pixelnek, az angol *picture element* szavak alapján. Valamilyen optikai rendszerrel egy képet vetítve egy ilyen mátrix-elrendezésű detektorra minden egyes pixelben a ráeső megvilágítással arányos töltés halmozódik fel. Amennyiben meg tudjuk mondani, hogy melyik képpontban mennyi elektron gyűlt össze, akkor rekonstruálni tudjuk a képet. Ha 100x100 pixelből állt a detektor, akkor egy számítógép monitorán is kijelölünk egy 100x100 képpontos területet, és minden egyes monitor-képpontra az annak meg-



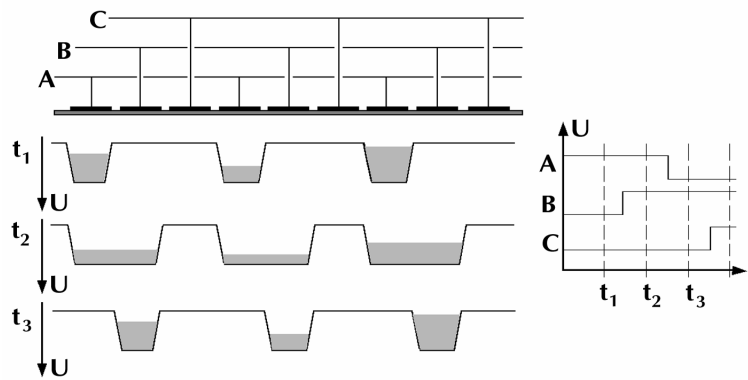
5.5. ábra. Egy MOS cella szerkezete és a töltések tárolása



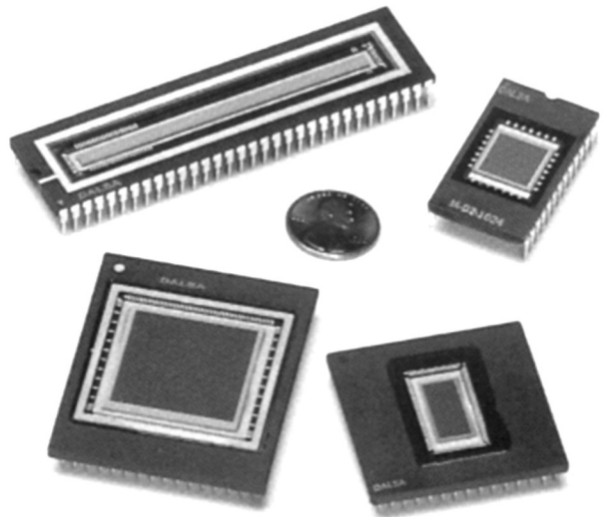
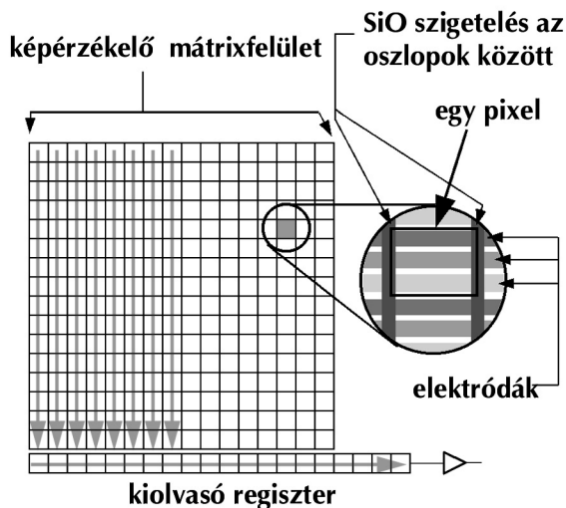
5.6. ábra. A töltéscsatolás jelensége

felelő detektor-képpontban össze-gyűlt töltés mennyiségével arányos fényességű jelet adunk. Mint láttuk, az egyes oszlopokban lefelé léptethetjük a töltéseket, s ha minden oszlop alján megmérjük ezek nagyságát, máris készen vagyunk. Jobb megoldás azonban, ha az ábrán látható módon a mátrix-struktúra alá elhelyezünk egy sort, mely az oszlopok szerkezetével azonos felépítésű, és amely a vízszintes töltésléptetést teszi lehetővé (kiolvasó regiszter), s ennek végére teszünk egyetlen kiolvasó áramkört.

A kép kiolvasása a következőképpen történik: a detektorfelület megvilágítása után – az összes oszlopban egyszerre mozgatva – egy pixelnyivel lejjebb léptetjük a töltéseket. Ezáltal a legalsó detektorsorban elhelyezkedett töltéscsomagok a kiolvasó regiszterbe kerülnek, az utolsó előtti detektorsor tartalma az utolsó detektorsorba stb. Ezután egy darabig nem mozgatjuk a detektorfelületben tárolt töltéseket, hanem a kiolvasó regiszterben kezdjük el léptetni az elektroncsomagokat, balról jobbra haladva. Így sorban minden, a kiolvasó regiszterben lévő csomag nagyságát megmérhetjük. Ennek során pedig kiürül a kiolvasó regiszter, amely így újabb detektorsor tartalmának fogadására képes. Ezt a ciklust ismételve tehát minden egyes pixel tartalma megmérhető, legelsőként az ábra jobb alsó, legutolsóként a bal felső képpontjéé.



5.7. ábra. Háromfázisú töltésléptetés



5.8. ábra. Kétdimenziós CCD-chip szerkezeti vázlatja és fényképek betokozott CCD-chipekről

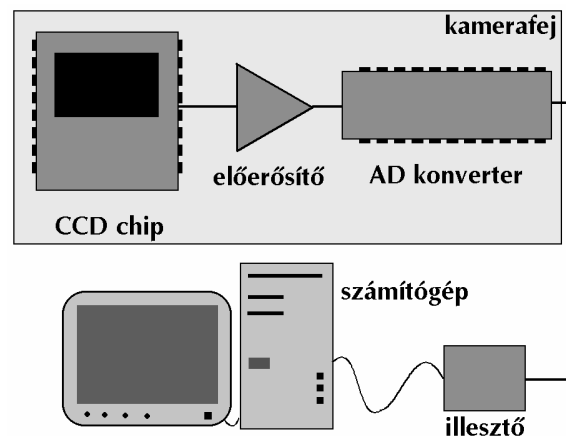
Az egyes pixelekből kiolvasott elektromos jel igen gyenge, mindössze néhány tucat elektron is lehet. Ezért egy előerősítőbe kell vezetni a jelet, ami a környezetből érkező zavaró hatások, zajok csökkentése végett igen közel kell hogy legyen a kiolvasó áramkörhöz. Ezután már csak egy digitalizáló egységre (Analogue Digital

Converter, ADC) és egy csatolóra (interface) van szükségünk, melyek a számítógép által is „érthető” formába, azaz bináris digitális jellé alakítják, és a számítógép adatbemeneti csatornához illesztik a pixelekből származó információt.

Az elsősorban digitális fényképezőgépekben és webkamerákban, mintsem csillagászati CCD-kamerákban elterjedt CMOS-érzékelők szintén az imént megismert elven detektálják a fényt, a kiolvasás menete azonban más. A CMOS-technológia (Complementer-MOS) ugyanis lehetőséget ad arra, hogy egy szilícium-lapkára integrálják nemcsak a fényérzékelő, de az erősítő és AD konverter egységeket is. Kompaktabb felépítés és a CCD-nél sokkal kisebb áramfogyasztás jellemzi a CMOS-optikai szenzorokat, ezért oly elterjedtek az elektronikai iparban. A pixelek egyenként címezhetők, és minden egyes képpont magában tartalmazza az előerősítőt is. Vagyis tetszőleges pixel felerősített jele bármikor kiolvasható a többi képpont tartalmának léptetése nélkül. Általában a CMOS-detektorok kiolvasott jele zajosabb (pl. minden egyes kis erősítő karakterisztikája eltér), bár magas hőmérsékleten viszonylag sokkal kisebb sötétáramot, és ezzel együtt kevesebb sötétzajt produkálnak (l. alább). Egyszerűbb eszközökben (webkamera) a CCD-k nagyobb érzékenysége előnyt jelent csillagászati alkalmazásoknál; komolyabb digitális fényképezőgépekbe épített zajcsökkentő elektronikák azonban CCD-vel összemérhető képminőséget és érzékenységet adnak CMOS szenzorok esetében is.

A kép rekonstruálása, megjelenítése és tárolása a számítógép feladata. Maga a CCD-chip, az előerősítő és gyakran az ADC is egy külön egységben, a kamerafejben kap helyet. Szintén ez ad otthont a hűtésnek is. A CCD-chipben ugyanis nem csak a beérkező fotonok hatására keletkezik jel, pusztán a hordozóréteg atomjainak hőmérsékleti rezgése is képes elektronokat kelteni. Ezek az ún. sötétáramból érkező elektronok száma olyan nagy lehet, hogy szobahőmérsékleten néhány másodperc alatt telítésbe vihetik a pixeleket (egy pixel ugyanis nem képes akármennyi elektront tárolni). E zavaró hatás nagymértékben csökkenthető, ha a CCD-chipet lehűtjük.

Az ideális a $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ környéke, ez azonban csak speciális, folyékony nitrogént igénylő kriosztátok segítségével érhető el. Az amatőr csillagászok számára készült kamerák általában termoelektromos hűtést, ún. Peltier-elemeket alkalmaznak. Ezekkel $25\text{--}45\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal a környezeti hőmérséklet alá képesek lehűteni a chipet, ami már jelentősen csökkenti a sötétáram nagyságát. Másik zavaró tényező, hogy amíg a CCD-chipből a számítógépbe jut a jel, több forrásból is zajok adódhatnak hozzá, rontva ezzel a kép minőségét. Az egész elektronikára együttesen jellemző érték a kiolvasási zaj (Read Out Noise, RON), ami jellemző paramétere egy kamerának. Minél kisebb az elektron/pixel mértékben megadott érték, annál jobb a kamera (amateur eszközök esetében ez $10\text{--}50\text{ e}^-/\text{pixel}$ közötti). Fontos jellemzője az elektronikának az analóg–digitális konverzió mélysége, vagyis az, hogy legkisebb és legnagyobb jel közt hány szintet képes megkülönböztetni. Ez végső soron a képen megjelenő szürkeárnyalatok száma. Ma általános a $12\text{--}16$ bites

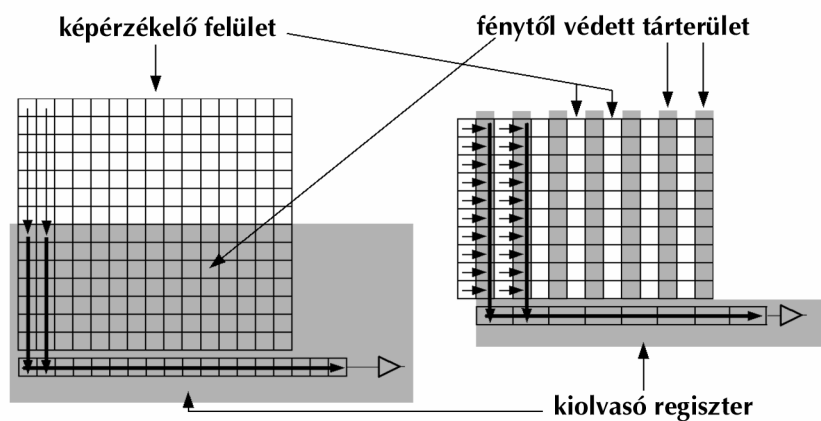


5.9. ábra. A CCD-kamera szerkezeti egységei

ADC-k használata, 16 bites konverzió esetén $2^{16} = 65\,536$ árnyalat rögzíthető egy képen. (Technikai jellegű információkról I. bővebben a 2002-es Csillagászati évkönyv cikkét.)

Ne távolodjunk azonban el a CCD/CMOS-chipektől, hiszen ezzel kapcsolatban is sok jellemző, értékmérő említhető. Először is tekintsük a chip fizikai felépítését! Jellemző a pixelszám és a pixelméret. Előbbi a néhány ezer – néhány millió nagyságrendbe esik. A pixelek mérete a 6–24 mikrométeres tartományban mozog, s általában négyzetes kialakításúak. Természetesen minél nagyobb egy chip felülete (vagyis minél nagyobb a pixelszám és a pixelek mérete), annál jobb a detektor, hiszen egy képen annál nagyobb égterület rögzíthető. A felbontás viszont csökken a pixelméret növekedésével, tehát azt nem érdemes adott határon túl növelni (I. III. fejezet: Egyszerűbb számítások, táblázatok). A nagyobb pixelszám/pixelméret nagyobb érzékelő felületet eredményez, de ez magasabb árat is jelent. Csillagászati CCD-k esetében az ún. APS mérethez (23,7x15,6 mm) közeli detektorokat tartalmazó kamerák néhány millió forintba kerülnek. Digitális fényképezőgépek CMOS/CCD szenzorai azonban az APS (3072x2048 = 6MP) illetve kisfilmmel egyező (4368x2912 = 12,8MP) méretben is majd' egy nagyságrenddel olcsóbbak, bár csillagászati képek minősége elmarad a speciálisan halvány fényviszonyokra kifejlesztett CCD-ktől. Ugyanakkor a hétköznapi életben is használható fényképezőgép jobban megtérülő befektetés lehet.

Tartsuk szem előtt, hogy minél nagyobb a pixelszám, annál nagyobb lesz egy digitális kép mérete. Fekete-fehér érzékelő és 16 bites ADC esetén egy képpont információtartalmát 2 byte-on (1 byte = 8 bit) tárolhatjuk, s 2048x2048 képpont esetén egy kép mérete $2048 \cdot 2048 \cdot 2 = 8$ MByte. Ugyanezen képméret színes kép és 8 bit/színcsatorna esetén 12 MByte, 16 bites színrögzítés esetén 24 Mbyte, tömörítetlen formátumban. A képfeldolgozás során (I. II.4.) legalább háromszor ekkora számítógép-memória szükséges, manapság, az 1 GB-ot elérő vagy meghaladó RAM azonban már nem szab korlátot a feldolgozandó képek méretét tekintve.

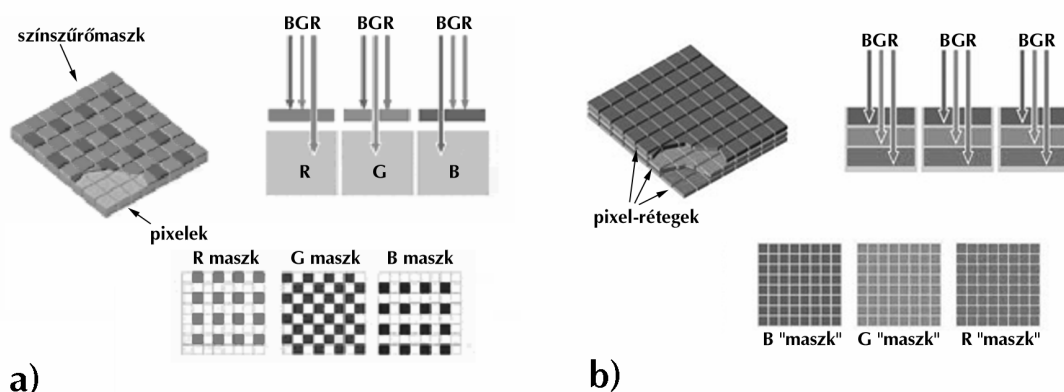


5.10. ábra. A teljes kép, ill. sorközi továbbítású CCD-k felépítése

A CCD-chip pixeleinek száma nem mindig egyezik meg a képérzékelő felületet alkotó pixelek számával. A teljes detektorfelület kiolvasása ugyanis viszonylag hosszú időt vehet igénybe, s ez idő alatt mechanikus zárszerkezet hiányában továbbra is fény éri a chipet. Néhány kisebb méretű CCD-érzékelő esetében (1024x1024 alatt) ezért a képérzékelő felülettel azonos méretű, de a fénytől egy alumíniumréteggel

védett tárterületet helyeznek el (5.10. ábra) a CCD-chipen. Erre a részre ugyanis viszonylag gyorsan „átrántható” a kép, pl. egy 1024x1024-es érzékelő esetében csupán 1024 léptetés alatt, míg a teljes kiolvasáshoz 1024·1024, vagyis egymillió léptetés szükséges. Ez a teljes terület továbbítású (full frame transfer) chip, mely nagyon rövid és pontosan meghatározott expozíciókat tesz lehetővé. Bizonyos alkalmazások – pl. mozgókép rögzítése – azonban még gyorsabb kiolvasást igényel. A sorközi továbbítású (interline transfer) érzékelőkben minden második oszlop egy fénytől védett tárterület, s az expozíció végeztével egyetlen jobbra léptetéssel (5.10. ábra) a teljes kép a tárterületre léptethető, s innen folyhat a kiolvasás. Hátránya e megoldásnak, hogy a chip feloldóképességét rontja, így csillagászati alkalmazásokban ritkán használják. (Biztonsági kamerák, panelkamerák, webkamerák esetében viszont gyakran ezt a típust alkalmazzák. A 10–30 kép/másodperc kiolvasási sebesség miatt itt nagyobb a RON, másrészt hűtés sincs, ez is növeli a zajt. Videó üzemmódra tervezett kameráktól tehát csak fényes objektumoknál várhatunk értékelhető eredményt.)

Gyorsítható a képletöltés, ha nem külön olvassuk ki minden pixel tartalmát, hanem a szomszédosakat összevonjuk (binning) a töltésléptetés során, s így pl. egy 2x2 pixelből álló „virtuális” képelemet alkotunk. Ezáltal csökken a felbontás és a dinamika, nő viszont az érzékenység. A RON ugyanis csak egyszer adódik hozzá az összevont pixel tartalmához, míg ha külön olvastuk volna ki azokat, négyszeres lenne a zaj. Ez azonban csak az „on chip binning”, vagyis magában a detektorban történő összevonásra igaz, a II.4-ben is megemlített utólagos átskálázás (kép méretének összenyomása) esetén nem javul a zaj, csak felbontásbeli információt veszünk. Igaz viszont, hogy a kis felületi fényességű objektumok jobban kiemelkednek a háttérből. Az összevonás mértéke gyakran 2x2, 3x3, 4x4 értéket ad a kamerát vezérlő szoftver (egyes esetekben tetszőleges, NxN binning is lehetséges). Mindenképpen figyeljünk azonban arra, hogy az összevonást a szoftver végzi-e el, vagy még a szilícium lapkán történik.



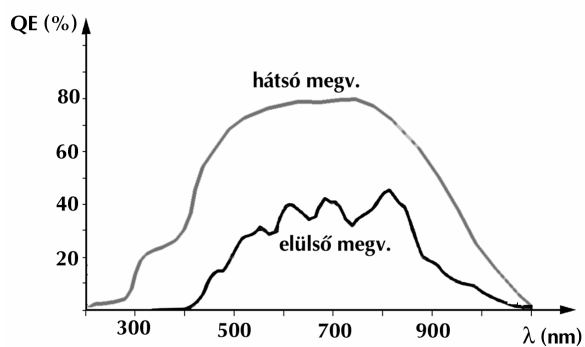
5.11. ábra. Hagyományos RGB színmaszk (a), illetve teljes felbontást adó réteges színérzékelés

Szintén a pixelek struktúrájának tárgyalásánál említendőek a színes CCD-chipek. Ahogy a film ezüst-halogenid szemcséi, úgy a digitális detektorok szilíciumpixelei sem képesek a beérkező foton hullámhosszát megállapítani. Színes képek így színszűrők segítségével készíthetők, RGB képeket készítve egymás után, vagy pedig egy felvételt rögzítve olyan detektorral, mely magában foglalja a színszűrőket. A

hagyományos detektoroknál általában négy, egymás melletti pixelt látnak el különböző szűrőkkel, az 5.11. ábra bal oldalán látható elrendezésben. A végleges kép felbontása így csökken, hiszen egy adott képpont színi információja a szomszédos pixelek jeleinek interpolálásával állítható elő. Ezért egyes videokamerákban – melyekben kis felbontású, olcsó szenzorokat alkalmaznak – három érzékelőt is elhelyeznek, amelyekre speciális fényosztóval a spektrum vörös, zöld ill. kék tartományát vetítik a képminőség javítása érdekében.

A színes filmek réteges felépítésének mintájára is gyártanak ma már színes detektorokat, kihasználva azt a tényt, hogy a hosszabb hullámhosszú fotonok mélyebbre hatolnak a szilíciumlapkában. Egy pixelt nem csak szomszédaitól szeparálva, hanem mélységében is részlegesen felosztva szilícium-dioxid rétegekkel, illetve minden egyes részpixelt külön kiléptetőrendszerhez csatlakoztatva egyetlen integrált áramkörben is elérhető a színérzékelés a felbontás csökkenése nélkül (15.11.b ábra). (Színes képek készítéséről, I. II.4.)

A CCD/CMOS-szenzorok sokkal szélesebb spektrális tartományban érzékenyek, mint a hagyományos fotoemulziók. Egészen a közeli ultraibolyától (200 nm) a közeli infravörösig (1000 nm) látnak e detektorok, bár a chip fizikai felépítése is hatással van e tulajdonságukra. Az előlről megvilágított (frontside, front illuminated, thick) érzékelők esetében a hordozóréteg több száz mikrométer vastagságú, s az átlátszó poliszilikát elektródákon keresztül világíthatóak meg. Nyilvánvaló hátránya e megoldásnak, hogy maguk az elektródák elnyelik a fény egy részét, s így minden 100 beérkező fotonból csak legfeljebb 40–50-et képes érzékelni a detektor. Másik probléma, hogy bizonyos okok miatt így a kék tartományban sokkal érzéketlenebb egy ilyen chip (5.12. ábra). Nagy előny viszont – ami miatt igen elterjedtek és amatőr kamerákban szinte kizárólagosan ezek fordulnak elő –, hogy a vastag hordozóréteg miatt mechanikailag stabilak, széles hőmérséklet-ingadozást képesek sérülés nélkül elviselni, és gyártásuk egyszerűbb, olcsóbb. A hátsó megvilágítású (backside, back illuminated, thinned) chippek esetében speciális és nem egyszerű eljárásokkal elvékonyítják a hordozóréteget, amit aztán az elektródákkal átellenes oldalról lehet megvilágítani. Ennek köszönhetően a detektálási hatásfok (kvantumhatásfok) nő, 100 beérkező fotonból 80–90-et is képes hasznosítani a detektor, hiszen nem állnak a fény útjában az elektródák. Másik nagy előny, hogy a vékony alapréteg miatt (itt most nem részletezett okok folytán) kék tartományban is érzékeny lesz a CCD chip.



5.12. ábra. Különböző CCD-k spektrális érzékenysége

A CCD-k nagy előnye a szélesebb spektrális érzékenység mellett a linearitás és a nagy dinamikai tartomány. Az előbbi a fotoemulzióknál – mint láttuk – csak egy szűk megvilágítási tartományon teljesül, a CCD-kre viszont a teljes működési tartományban igaz. Ennek pedig az szab felső határt, hogy egy pixel nem képes korlátlan számú elektront magában tartani, egy határérték felett az elektronok a szomszédos pixelekbe „folynak át”. (Innen ered az angol blooming elnevezés is.) Ezt az igen zavaró jelenséget (egy CCD-képen a fényes csillagokból a kiolvasás irányában hosszú egyenes, fehér vonalak indulnak ki) úgy lehet megakadályozni, hogy a CCD-chip

felületére egy dróthálót helyeznek, mely elvezeti ezeket az elektronokat. Ezt nevezik a túlcsoordulás-gátló (antiblooming gate) technikáknak, amely azonban kis mértékben csökkenti a kamera érzékenységét. Egy pixel azonban így is – méretétől függően – 50–200 ezer elektront képes magában tartani, ami csillagászati nyelven annyit jelent, hogy egy képen az intenzitáshelyesen megjeleníthető csillagok intenzitáskülönbsége több mint 10 000-szeres, vagyis 10–12 magnitúdó is lehet.

Az akár 5 mikrométert is megközelítő pixelméret a filmeknél átlagos 100 vonalpár/mm felbontást ad, azonban az ilyen detektorok dinamikai tartománya – az egyidejűleg rögzíthető legfényesebb és leghalványabb részlet – kicsi. A pixel mérete ugyanis a tárolható elektronok számával arányos. Amennyiben a kiolvasás bizonytalansága (zaja) 5 elektron, úgy 16 bites AD konverziót $5 \cdot 65535 = 327\,675$ elektron tárolására alkalmas pixel esetén érdemes alkalmazni. A mai legkisebb pixelek azonban 30–40 ezer elektron esetén telítődnek, vagyis – főként nagy felületi fényesség esetén – kisebb ADC mellett optimálisak. Nagy pixelek kisebb megvilágítás mellett is több elektront gyűjtenek (felületükből adódóan), s viszonylag kisebb zaj mellett olvashatók ki ezen töltések. Bizonyos, elsősorban digitális fényképezőgépekben alkalmazott detektorok emiatt egy „képpontja” két pixelt is tartalmaz, egy kis és egy nagyobb méretűt. Ezeket külön kiolvasva és jeleiket külön feldolgozva állítanak elő egy világosabb, ill. egy sötétebb részleteket jól mutató képet, majd ezek egybefésült változata a végleges kép. Ezáltal az emberi szem logaritmikus érzékelésének köszönhetően átfogott nagy dinamikai tartományt élethűen képesek rögzíteni és visszaadni.

II.3. Film- és képkidolgozás

A fekete-fehér negatívak és papírképek kidolgozása viszonylag egyszerű eszközökkel megoldható, akár saját magunk is elvégezhetjük. Mint azonban az előszóban említettük, nagy valószínűséggel egy leendő, kezdő asztrofotós digitális technikával teszi meg az első lépéseket, vagy ha filmre is dolgozik, az színes emulzió lesz, melynek kidolgozása nem házi körülmények között, hanem profi laborban történik. Így most mellőzzük a fekete-fehér negatívak előhívásának, nagyításának asztrofotós trükkjeit. Inkább néhány jó tanácsra szorítkozunk asztrofotók laborbeli kidolgoztatásának esetére, illetve az analóg fotók szkennelésére, s ezáltal a digitális képfeldolgozás lehetőségére hívjuk fel a figyelmet.

Nem saját kidolgozás esetén...

A csillagászati felvételek sokszor megismételhetetlenek, egyediek, és nagyon sok munka van bennük (l. vezetett asztrofotók). Amennyiben valamilyen hivatásos fotóssal, laborban hívatjuk elő, könnyen előfordulhat, hogy a negatív sérül (karcolódik), és esetleg nem is nagyítanak róla papírképet, mondván hogy alulexponált. Esetleg a negatív darabolásánál nem veszik észre az egyes képkockák határait, és kettévágnak egy képet. Tény és való, az asztrofotós negatívak többségén alig látszik valami első ránézésre. Értékes csillagászati képeinket tehát csak olyan helyen dolgoztassuk ki, ahol megfelelően bánnak velük. Ez lehet ismerős fotós, barát, aki kérésünkre ügyel negatívjainkra, de céges keretek között működő laborból csak néhány van, ahol ezt megteszik. Ezek közül néhány címe az irodalomjegyzékben található. Ha nem tudunk ilyen laborban dolgoztatni, akkor az automata előhívógéppel dolgozó laboránst próbáljuk személyesen megkérni, hogy a negatívot ne vágja föl

(inkább magunk tegyük utólag), de ne is tekerje össze kis műanyag dobozba téve (ez rengeteg karcot okoz), és a papírkép levilágításánál +3...+6 denzitású szűrőt helyezzen be a fényútba, felülbírálván a gép döntését, ha erre lehetőség van. Enélkül ugyanis nagyon világos, szürke lesz a háttér, ami sokat elvesz a dinamikából, s emiatt eltűnnek részletek. A színek hű visszaadását ne is várjuk ilyen helyen, ezt még a profi laborokban is nehéz elérni. Színes képek esetén adott gyártótól származó negatív csak adott gyártótól származó papírral és az ezekhez tartozó szűrőkészlettel ad színhelyes képet, s még ekkor is bizonyos korrekciók szükségesek. Profi laborban kéreésre állíthatóak a színek, s kérhetjük, hogy a jónak bizonyult szűrőbeállításokat tüntessék fel a kép hátoldalán (bár ez többnyire automatikusan történik). Ezek után hasonló filmre hasonló témát fotózva már a jól bevált beállítást kérhetjük.

Akárhol is dolgoztatjuk ki képeinket, s azok akármilyen emulzióra is készültek, a film megvásárlásától az előhívásig, amikor csak lehet, tartsuk hűtőben a filmet a már említett alapfátyol jelensége miatt. A fekete-fehér negatívak még évek múltán is felhasználhatóak, színes emulziók esetében (különösen diáknál) azonban minél hamarabb (fél–egy éven belül) használjuk fel és hívassuk elő a filmet. A már előhívott emulziót hűvös, de elsősorban száraz helyen tartsuk, a filmeknél (és papírképeknél is) ugyanis öregedés lép fel a hőmérséklet és a páratartalom függvényében. Ez fekete-fehér anyagoknál nem kimutatható, illetve nagyon hosszú idő alatt játszódik le, de a színesek érzékenyek. 24 °C és 40% páratartalomhoz viszonyítva (amit vegyünk egyszeres élettartamnak) 19 °C-on kétszer, 12 °C-on ötször, 7 °C-on tízszer, –10 °C-on százszor lassabb az öregedés üteme. Ha a páratartalom 60%-os, a film kétszer gyorsabban öregszik, ha 15%, akkor feleakkora ütemben. Ha a film piszkos lesz, metilkloroformos, 100%-os pamutvattával, óvatos egyirányú mozdulatokkal, enyhe nyomást alkalmazva tisztíthatjuk.

Filmszkennerek

Ezen eszközök segítségével egyesíthetjük a filmek jó feloldóképességét, nagy méretét, egyszerű színrögzítését és a digitális képfeldolgozás nyújtotta fantasztikus lehetőségeket (l. következő alfejezet). Ma már szinte minden nagyobb, fényképezéssel foglalkozó cég (Nikon, Canon, Kodak, Polaroid) forgalmaz negatívak szkennelésére alkalmas digitalizálókat. Ezek közül talán a Nikon szkennerei a legkiforrottabbak, s bár áruk igen borsos (200–500 ezer Ft a paraméterektől függően), a több milliós értékű professzionális dobszkennereket megközelítő minőségben dolgoznak. Az általában RGB színekben működő, csatornánként akár 14 bit színmélységet elérő egyes típusokat (Nikon, Canon) kiegészítik egy negyedik csatornával, ami a ferde megvilágításnak köszönhetően a film felületi hibáit, sérüléseit (karcok, vegyszernyomok, hajsálak) azonosítja, s automatikusan levonja ezeket a digitalizált képből. A fizikai felbontás elérheti a 4000 dpi (dots per inch, vagyis az egy hüvelykre, 2,54 cm-re eső képpontok száma), ami azt jelenti, hogy egy 160 vonal/mm-es feloldású filmet – ami már igen jónak számít, s csak kevés emulzió tudja – információvesztés nélkül szkennelhetünk be. Nem szükséges mindenképpen saját szkennert vásárolni, egyes cégek vállalnak néhány ezer forintért ilyen munkát (elsősorban lapkiadással foglalkozó, vagy reklámszakmabeli cégek, profi sajtólaborok). Esetleg a már nagyított papírképet is szkennelhetjük, ekkor azonban már csak kis mértékű javulást érhetünk el. A színes emulziók esetében mindenképpen meg kell adnunk a szkennelő programnak a film típusát, ugyanis a szükséges színkorrekciókat ez alapján, előre rögzített, a filmtípustól függő sablonok szerint végzi el a szkennert szoftvere.

A digitalizált képeken a következő fejezetben ismertető módszerekkel emelhetjük ki a kívánt részletet, s vihetjük az eredményt filmre, papírra, vagy éppen vetítövásznonra.

II.4. Digitális képfeldolgozás

A képfeldolgozás bizonyos lépései függenek a képet készítő eszköztől, így a csillagászati CCD-kamerák felvételeinek, szkennelt fotóknak, digitális fényképezőgépeknek vagy webkamerák képeinek feldolgozása kissé eltérő technikát igényel. Sokkal több azonban a hasonlóság, így a fontosabb fogásokat a CCD-kamerák kapcsán mutatjuk be, majd kisebb alfejezetekben ismertetjük az egyéb eszközökhöz köthető trükköket.

Igyekszünk a lehetőségekhez mérten minél több képet is bemutatni példaként, melyek szemléltetik a képfeldolgozási eljárások hatását, azonban nagyon szűkösek a kereteink. A legjobb módszer a bemutatottak teljes megértésére, ha saját magunk próbáljuk ki az eljárásokat. A gyakorlatban megszerzett ismeretekkel, tapasztalatokkal nem érhet fel egyetlen részletes leírás sem. Javasoljuk tehát, hogy aki digitális képfeldolgozással kíván foglalkozni, töltsse le az Internetről egy képfeldolgozó szoftver demo vagy ingyenes verzióját, és próbálja ki az itt leírtakat. A Christian Buil által írt **IRIS** (<http://www.astrosurf.org/buil/us/iris/iris.htm>) ingyenesen letölthető, évek óta folyamatos fejlesztés alatt álló szoftver, mely az alkotója elkötelezettsége okán várhatóan évek múltán is naprakész és elérhető lesz. Melegen ajánljuk ezt a programot mindenkinek, hiszen az eredeti CCD-képfeldolgozás mellett a webkamerák képletöltési, a digitális kamerák képfeldolgozási rutinjai is folyamatosan épülnek be a programba. A sokak által ismert Photoshop (PS) és más hasonló képmanipuláló szoftverek (pl. GIMP) is alkalmasak bizonyos műveletek elvégzésére. A csillagászati CCD-felvételek képfeldolgozása azonban sok olyan speciális területet is magában foglal, amelyet kizárólag csillagászati célú programok ismernek (Astroart, MaxIm DL, CCDsoft, AIP stb.), bár ezekért általában fizetnünk kell. A beszkennt asztrofotók „tuningolására” viszont kiválóan megfelelnek a PS régebbi verziói is, melyek alacsony áron érhetőek el, vagy az ingyenes GIMP.

Képfarmátumok

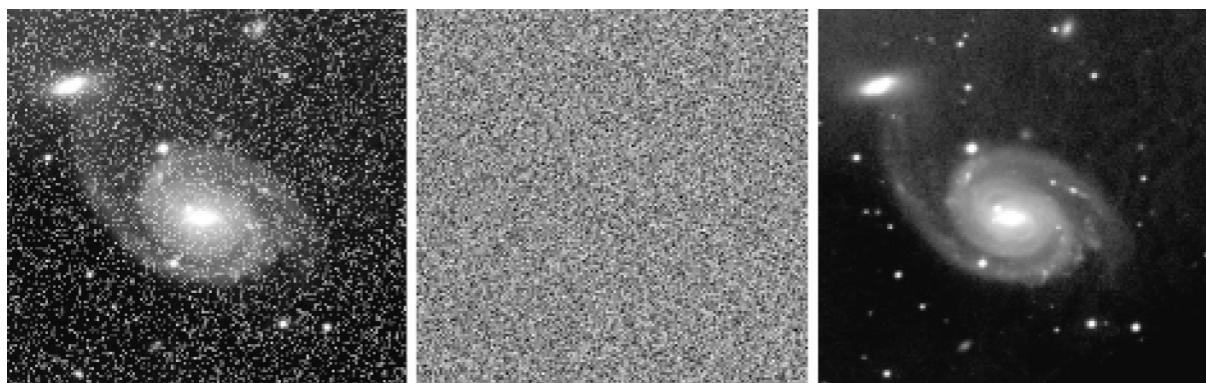
Mindenekelőtt a képfarmátumokról ejtsünk pár szót. A csillagászatban a FITS formátum (Flexible Image Transport System) az elterjedt szabvány, ezt szinte minden csillagászati képfeldolgozó program ismeri. A képfájl nevében a kiterjesztés .fts, .fits, .fit lehet. A FITS formátum egyik legfontosabb tulajdonsága, hogy az adatokat tömörítés nélkül tartalmazza, vagyis semmi információ nem veszik el, nem sérül. A FITS formátum egy 2880 byte hosszúságú fejléccel kezdődik, amely 80 byte hosszúságú egységekből, sorokból áll. Egy-egy sor egy paraméter elnevezését és értékét, valamint esetleges megjegyzéseket tartalmaz. Ezek közül néhány elengedhetetlen, mint pl. az, hogy egy pixel tartalma hány biten tárolható, és a kép hány sorból, ill. oszlopból áll. A karakteres fejléc után következő bináris adathalmazból ugyanis csak ezen alapvető információk alapján lehet rekonstruálni a képet. Lehetőség van szabványos kulcsszavak és azok értékének megadására (pl. a távcső adatai, a kamera adatai, a megfigyelés dátuma és ideje, expozíció, szűrő, észlelés helye, észlelő stb.), de tetszőleges megjegyzés is fűzhető a „comment” kulcsszó után. A bináris adatállomány tömörítés nélküli, egy 100x100 pixeles, 16 bites kép esetén tehát a FITS fájl mérete $(100 \cdot 100 \cdot 2) + 2880 = 22\ 880$ byte.

Bizonyos digitális kamerák esetében lehetőség van úgynevezett RAW (nyers) formátum tárolására, ami a FITS képekhez hasonlóan mindenféle bűvészkedés nélkül, egy az egyben tárolja az érzékelőből kiolvasott adatokat. Nagy pixelszám mellett ez gyorsan fogyasztja a memóriakártyát, azonban asztrofotózáshoz lehetőleg ezt a módot használjuk. A már említett IRIS több gyártó különféle kameráinak RAW formátumát képes beolvasni, s a FITS képekkel egyenértékűen kezelni azokat.

Rengeteg képformátum létezik emellett (TIFF, GIF, JPEG, PCX stb.), melyek hasonló elvet követnek, vagyis tartalmazznak egy fejléct, amelynek alapján a bináris adatállományból felépíthető a kép. Több formátum azonban tömörítési eljárásokat alkalmaz (pl. JPEG), ami viszont információvesztéssel jár. Annál több információ veszik el, minél jobban akarjuk egy fájl méretét összenyomni, s ez gyakran a képeken is egyértelműen megjelenik a természetestől egyértelműen elütő alakzatok, szabályos, egyszínű foltok alakjában. TIFF formátum esetén nincs „térbeli” tömörítés, viszont többnyire 8 bit/színcsatorna mellett történik az adatok tárolása, ami gyakran alatta marad a detektorok belső 12, esetleg 14 bit/csatorna érzékenységének (amit viszont a RAW fájlok megtartanak). Ez pedig az utólagos feldolgozás esetében nagy hátrányt jelent. Így kizárólag a képfeldolgozás végén mentjük el a CCD-felvételeket TIFF, JPEG, stb. formátumban, amikor már nem akarunk további műveleteket végezni azokon.

CCD-s képfeldolgozás

A CCD-felvételek két alapvető hibával terheltek, az egyik a sötétáram miatt a képhez hozzáadódott jelszint, a másik az optika leképezéséből, illetve a kamera nem tökéletes voltából adódó, nem természetes intenzitásváltozások (vignettálás, porszemek a szűrőkön, pixelek egyenetlen érzékenysége stb.). Ezek eredményesen javíthatóak a sötét- (dark frame) és világoskép (flat field) korrekcióval.



5.13. ábra. Egy korrigálatlan kép, a sötétkép, és annak levonása után az eredmény

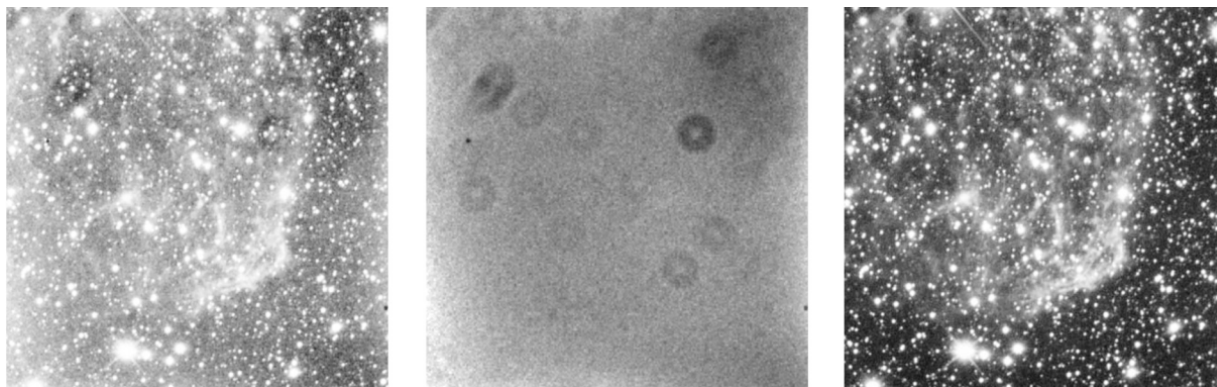
A *sötétkép* a korrigálandó képpel teljesen azonos körülmények (azonos hőmérséklet és expozíciós idő) között, de megvilágítás-mentesen készült felvétel. Ezen csak a sötétáramból származó jel szerepel, ami azonban időben nem állandó, kisebb fluktuációkat mutat. Ezért célszerű nem egyetlen, hanem több (3–15) sötétképet készíteni, s ezeket átlagolni. Az így kapott kép egyes pontjainak intenzitásai ezáltal elég nagy valószínűséggel megegyeznek a korrigálandó kép egyes képpontjaiban a kép készítése során felgyülemlett sötétárammal. E nem kívánatos jel egyszerűen eltüntethető, ha a sötétképek átlagát levonjuk az objektumról készített képből. Az átlagolás során

ún. *medián átlagolást* használjunk, ugyanis egy véletlenszerű zavar (pl. egy világútból érkező nagy energiájú részecske, ún. kozmikus sugár) teljesen hamis intenzitásértékeket is okozhat egy-egy képen. Pl. egy kiszemelt képpont intenzitása legyen öt egymást követő sötétképen rendre 102, 125, 117, 4526, 130. Ezen értékek matematikai átlaga 1000, ami jól láthatóan eléggé eltér a 100–130 között szóródó értékektől a negyedik, anomálishan magas intenzitásnak köszönhetően. Ha azonban növekvő sorrendbe állítjuk az értékeket (102, 117, 125, 130, 4526) és ebből kiválasztjuk a középső elemet (medián átlag), akkor 125-öt kapunk eredményül, ami érezhetően közelebb áll a valósághoz.

A sötétáram mértéke a hőmérséklettel exponenciálisan csökken, így nagyon fontos a CCD-chip hűtése, lehetőleg $-10\dots-30$ °C-ra. A sötétkép korrekció azonban csak akkor lesz eredményes, ha pontosan azon a hőmérsékleten készülnek az átlagoláshoz felhasznált sötétképek, mint az objektumról készített felvétel, és ugyanazzal az expozíciós idővel. Nem kell feltétlenül a derült éjszaka idejét pazarolni sötétképek készítésére. Előre elkészíthetünk egyfajta sötétkép sablonokat, pl. -5 , -10 , -15 , -20 °C-on és minden hőmérsékleten 10, 30, 60 másodperces expozíciós idővel. Egy adott hőmérséklet-integrációs idő beállításnál nappal készítsünk felvételeket, majd ezeket átlagoljuk, s mentjük el egy fájlban, aminek neve utal a körülményekre (pl. d10C60s.fts). Az éjszaka készült felvételeket az előre elkészített képekkel korrigálhatjuk. A kamera paraméterei sajnos időben nem teljesen állandóak, így a sablonokat kb. havonta újítsuk meg.

Találkozhatunk az alapkép (bias) korrekcióval is, ezt azonban csak akkor kell elvégezni, ha kameránk sötétárama olyan alacsony, hogy nem kell sötétkép-korrekciót alkalmazni. A bias nem más, mint egy alap jelszint (a filmeknél az alapfátyollal lehetne azonosítani), ami azt jelenti, hogy ha egy kép kiolvasása után azonnal, nulla integrációs idő mellett fénymentes környezetben kiolvassuk a chipet, akkor is lesz valamilyen jel az egyes pixelekből. Ennek értéke általában igen alacsony, de mivel a sötétképben is jelen van, így a sötétkép-korrekció egyben ezt is levonja.

A *világosképek* egyenletesen megvilágított felületről készített felvételek, így azokon kizárólag az említett hibák okozta intenzitás-változások jelennek meg. Ilyen felületet nagyon nehéz mesterségesen előállítani, a derült, szürkületi égbolt azonban tökéletesen megfelel. Naplemente után vagy napkelte előtt, a zenit környékre állított távcsővel készítsünk felvételeket, melyekből az említett medián átlagolással készítsünk világosképsablonokat. Várjuk meg, amíg olyan sötét lesz az ég, hogy kb. 5–10 másodpercet exponálva a maximális intenzitás 30–80%-a lesz a képek átlagos jelszintje (16 bites kamera esetén 20–52 ezer között). (Rövidebb expozíciókat ne alkalmazzunk, mert ekkor a kamera zárszerkezetének véges sebességű mozgása vagy a kiolvasásnak a véges időtartama befolyásolhatja az intenzitásviszonyokat.) Az elkészített világosképeket a megfelelő paraméterű sötétkép sablonnal korrigáljuk az átlagolás előtt. Fontos, hogy amint elkészültek a világosképek, ne változtassunk az optikai rendszer konfigurációján, vagyis ne vegyük le a kamerát, ne állítsunk jelentős mértékben az élességen, ne cseréljünk szűrőt. Csak abban az esetben tehetjük ezeket meg, ha 5–10 mikrométeres pontossággal vissza tudjuk állítani az egyes elemek egymáshoz viszonyított helyzetét (I. III. fejezet: Színszűrők, szűrőváltó). Különböző nemhogy eltávolítanánk a hamis struktúrákat, de újabbakat viszünk a képre. A világoskép szerepe ugyanis az, hogy ha pl. egy porszem árnyéka miatt egy terület kevesebb fényt kap, s emiatt sötétebbnek mutatkozik, akkor e terület intenzitását közel az eredetire állítsa vissza, mintha nem lett volna ott a porszem a szűrőn vagy



5.14. ábra. Egy világosképpel nem korrigált felvétel, valamint a flat-field kép és a korrekció eredménye

kameraablakon. A világoskép ugyanis – ha nem változik az elemek helyzete – ugyanazon a ponton sötétebb, mint a korrigálandó csillagászati felvétel. A világosképsablon egyes képpontjainak intenzitását el kell osztani az összes képpont átlagos intenzitásával (normálás), így azon 1 körüli intenzitásértékek lesznek. Ott, ahol valami miatt sötétebb volt a világoskép, egynél kisebb, máshol egynél nagyobb értékek szerepelnek. Ha ezzel az egyre normált képpel elosztjuk a korrigálandó felvételt (ami annyit tesz, hogy az egymásnak megfelelő képpontok intenzitásait elosztjuk egymással), akkor annak a porszemek miatti sötétebb területeit egynél kisebb számmal osztjuk, ami növeli ezen képpontok intenzitását.

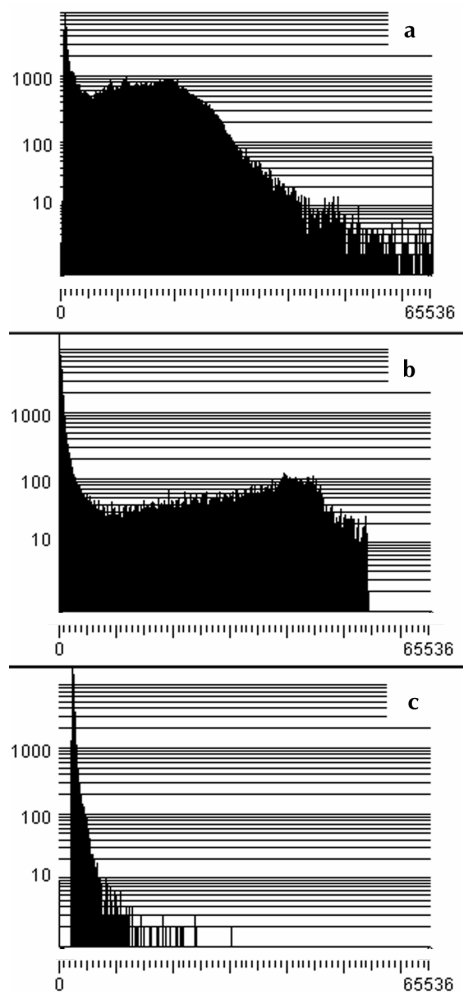
Látható, hogy ha több szűrőt használunk, akkor ezek mindegyikével kell világosképsablont készítenünk. Amennyiben a parafokális okulár módszert használjuk (I. III. fejezet: Fokuszálás, objektum beállítása), úgy gondoskodnunk kell a kamera pontos visszaillesztéséről, illetve szűrők cseréje esetén a megfelelő visszaállási pontosságra képes szűrőváltóról. A világosképek készítése során csillagok is megjelenhetnek a felvételeken, ezért egy-egy világoskép között mozgassuk odébb a távcsövet vagy kapcsoljuk ki az óragépet, így a medián átlagolás után nem lesznek csillagnyomok a sablonon. Amint megváltozik az optikai elemek helyzete (juszírozás, nagyobb mértékű fokuszálás, újabb szűrők stb.), új sablonokat kell készíteni.

Geometriai átalakításokat egyszerűen végezhetünk az elkészült képeken, tükrözhetjük, forgathatjuk, átméretezhetjük azokat. Az átméretezés során új információt nem vihetünk a képbe azzal, hogy megnöveljük a méretét. Vagyis egy eredetileg 100x100 pontból álló kép semmivel sem mutat több részletet az objektumból, ha 500x500 pixelessé alakítjuk. Amennyiben kicsinyítünk, úgy információt veszünk, s a lekicsinyített képből ezt már nem tudjuk visszaállítani. A nagyobb látómezejű égterületeket mozaikolással fedhetjük le. Ehhez több képet készítve fedjük le a megörökítendő területet úgy, hogy a képmezők átfedésben legyenek egymással. A szomszédos képeken lévő azonos részleteket egymásra illesztve készíthetjük el a mozaikot. Az illesztést pl. olyan programmal végezhetjük, amely egyszerre több rétegben képes tárolni a képeket, s ezeket egymáshoz képest mozgathatjuk. Segíthet, ha a felső réteget részben átlátszóvá tudjuk tenni az illesztés idejére. Ekkor finoman mozgatva könnyen észrevehető a tökéletes illeszkedés, ekkor ugyanis az átfedett területen úgyszólván megnő az alakzatok kontrasztja. Bármiféle skálázást, szűrést hajtunk végre, azt a mozaikolás után tegyük, az egyes részképeket ugyanis nagyon nehéz külön-külön teljesen azonos tónusra hozni. Ennek hiányában pedig látszani fognak az il-

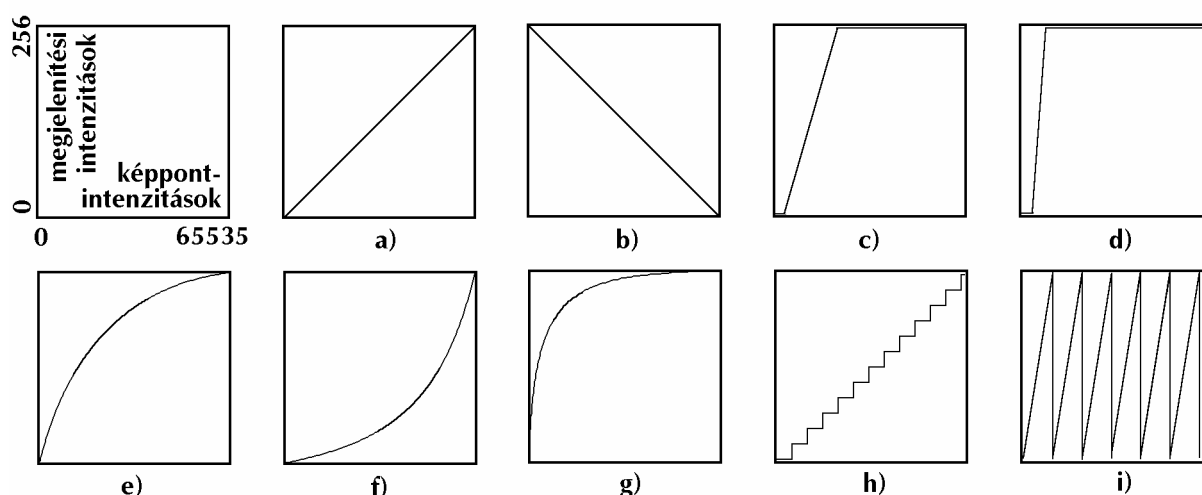
lesztés nyomai. Bizonyos esetekben a pontos illesztés pixelnél kisebb mértékű (szub-pixeles) eltolást igényel, ezt azonban csak kevés szoftver tudja.

A *hisztogram* az egyik leghasznosabb segédeszköz a képfeldolgozás során. Ennek segítségével egyszerűen látható, milyen intenzitásviszonyok uralkodnak a képen, mit érdemes és miként kiemelni. A hisztogram azt mutatja meg, hogy az egyes intenzitásszintek hány pixelen jelennek meg. Ez előbbi szerepel a vízszintes tengelyen, 16 bites kamera esetén 0-tól 65 535-ig, lineáris skálázásban. A pixelek számát a függőleges tengely tünteti fel, s ennek skálázása logaritmikus. A mellékelt ábrán egy holdfotó (a), egy bolygókép (b) és egy mélyég-felvétel (c) hisztogramja látható. A holdkép esetén szinte minden intenzitástartományban egyenletesen osztoznak a pixelek, a bolygóról készült felvételen viszont egy nagyobb csúcs is mutatkozik az alacsony intenzitású tartományban. Ez a mélyég képnél még hangsúlyosabb, hiszen ez a csúcs az égi háttérét képviselő sötét pixelek nagy számát jelenti. A bolygófelvétel esetén viszonylag nagy intenzitástartományig egyenletes az eloszlás, a mélyég felvételnél viszont csak egy szűk és a háttérnél alig magasabb szintig terjedő tartományban találunk több pixelt, ezek tartoznak az objektumhoz. A kis, különálló, elszórt csúcsok csillagokhoz tartoznak, s olyan is van ezek közt, amely beégett. A telítődést az jelzi, ha a hisztogram jobb szélén is nagy pixelszámig nyúló oszlop jelenik meg, mint az 5.17a. ábra esetében is. Ha ezt látjuk, csökkentjük az expozíciós időt.

Nyilvánvalóan egy galaxisról készült felvétel esetén nem érdemes a teljes dinamikai tartományt megjelteni. Az 5.15c. ábrán látható példát tekintve ugyanis ha a 0 intenzitású pontokat a legsötétebb, a 65 535 intenzitásúakat a legvilágosabb képponttal jelenítjük meg, akkor 2–13 000 közötti, az információt hordozó tartományra igen kevés szürkeárnyalat jut a monitoron. Érdekesebb a legsötétebb megjeleníthető szint az égi háttér értékére állítani, a legvilágosabbat pedig a galaxisához tartozó legfényesebb képpontok intenzitására. Ezáltal csak a lényeges információt jelenítjük meg, azt viszont sokkal több árnyalatban. Ezt a *lineáris átskálázást* szemléltethetjük az *átviteli függvény* is, aminek segítségével később a nemlineáris skálázásokat is megérthetjük. Az 5.16. ábra diagramjainak vízszintes tengelyén a kamerából letöltött kép intenzitásszintjei szerepelnek 0–65 535 között, a függőleges tengelyen pedig a megjelenített kép intenzitásai 0–255 között. (Hiába az akár 24 bites képmegjelenítés, ez azt jelenti, hogy színcsatornánként 8 bit áll rendelkezésre, szürkeárnyalatos képeket azonban így is csak 8 biten jeleníthetünk meg.) A megjelenítés során úgy használjuk az átviteli függvényt, hogy a kép adott intenzitásszintjét függőlegesen fölfelé vetít-



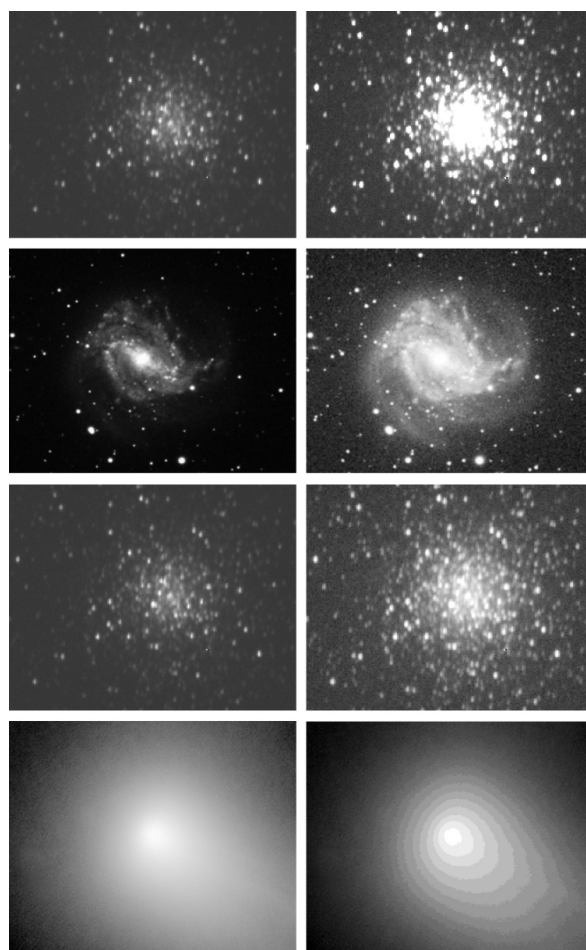
5.15. ábra. Egy holdfotó (a), egy bolygókép (b) és egy mélyég felvétel (c) jellegzetes hisztogramja



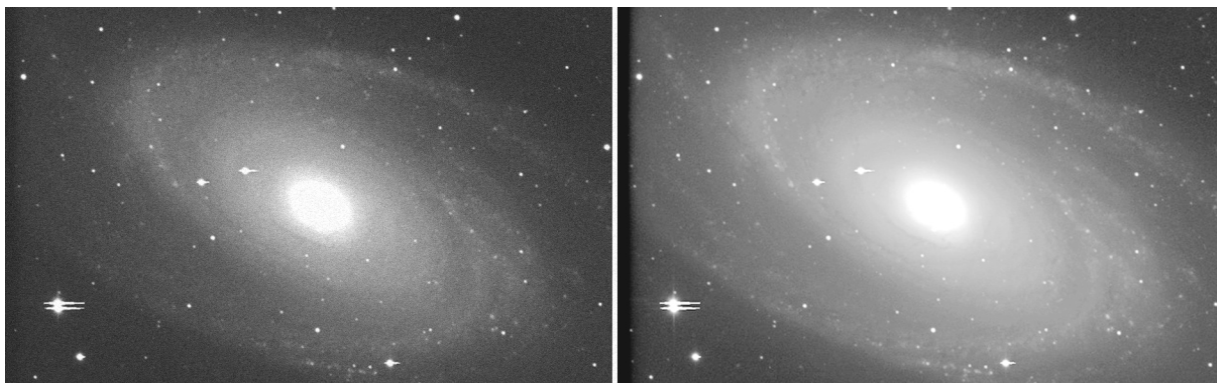
5.16. ábra. Különböző átviteli függvények

jük, amíg el nem metsszük a berajzolt görbét vagy egyenest. E metszéspontból egy vízszintes egyenest húzva kapunk a függőleges tengelyen egy pontot, s ezzel a szürkeárnyalattal jelenik meg az a képpont, aminek intenzitásértékéből kiindultunk. Az egyszerű megjelenítést így egy bal alsó sarokból a jobb felső sarokba futó egyenes jelenti (5.16a.), a kép negatívját (invertálás) egy bal fentről a jobb alsó sarokba tartó egyenes adja (5.16b.). Az előbbi lineáris átskálázás során az 5.16c. átviteli függvényt valósítottuk meg, csak az 5–20 000 közötti tartományt ábrázoltuk, az ez alatti intenzitások teljesen feketén, az e fölöttiek teljesen fehérén jelentek meg (széthúzás, stretching). Az egyenes szakasz meredekségét növelve erősödik a kontraszt, de ezáltal tovább csökken a megjeleníthető intenzitástartomány is (5.16d.), a kép egyes részei beégnek, mások a háttérbe olvadnak.

Sok esetben hasznosak a *nemlineáris átviteli függvények*, ugyanis pl. az emberi szem sem lineáris. Élethűbbé tehetünk egy képet, ha exponenciális, vagy logaritmikus skálázást alkalmazunk. Az exponenciális skálázás során az egynél kisebb kitevőkkel a halványabb régiók megjelenítésére szélesebb tartományt használhatunk, kevesebb szürkeárnyalatban ábrázolva a fényes intenzitásokat (5.16e.). Ez különösen mélyég felvételeknél hasznos, de egyhez közelebbi kitevővel holdfotóknál



5.17. ábra. Lineáris széthúzás, exponenciális, logaritmikus és lépcsős skálázások hatása

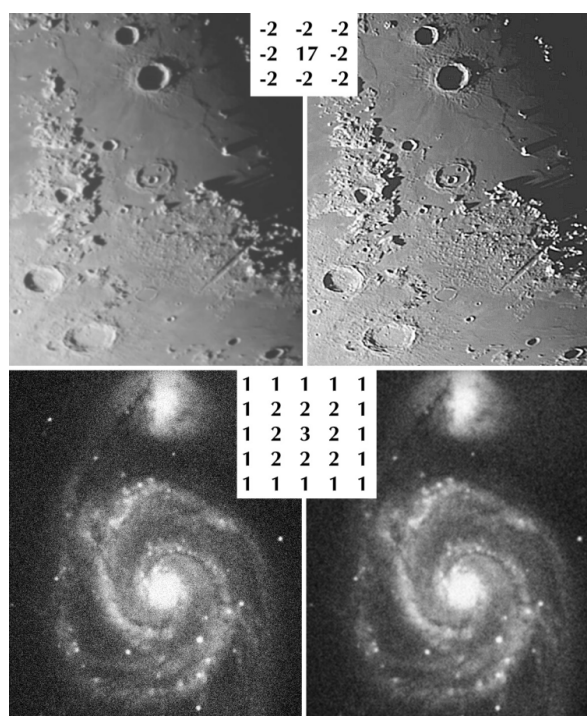


5.18. ábra. Több kép átlagolásával csökken a zaj, nő a határfényesség

is alkalmazható. Egynél nagyobb kitevő a világosabb részek megjelenítésére ad több árnyalatot (5.16f.). A logaritmikus skálázás 5.16e-hez hasonló, azonban sokkal több szürkeárnyalatot ad a halvány régióknak (5.16g.). Ezek a skálázások azonban a teljes bemeneti intenzitástartományra működnek. Így először pl. egy mély-ég felvétel esetében lineáris, a már bemutatott széthúzással le kell vágnunk az értéktelen tartományokat, s e képre kell alkalmazni a logaritmikus vagy exponenciális skálázást. Ehhez viszont a memóriában tárolt kép intenzitásviszonyait is át kell definiálnunk, nem csak a megjelenítés során más hangsúlyokkal megmutatni azt. Meg kell tehát különböztetnünk két esetet: az egyikben csak a képernyőn megjelenített kép intenzitásszintjeit változtatjuk meg s továbbra is megőrizzük az eredeti információkat (csak képernyőre skálázás, scale only on display), a másikban pedig a memóriában, illetve a merevlemezen tárolt kép tartalmát is átírjuk (skálázás, scaling). Utóbbi esetben az átviteli függvény mindkét tengelye a teljes dinamikai tartományt (vagyis példánkban 0–65 535) ábrázolja, az x tengely az eredeti, az y tengely a módosított képhez tartozik.

Léteznek több szakaszból álló átviteli függvények, mint pl. a lépcsős (5.16h.) vagy fűrészfog (5.16i.), melyek segítségével a képek azonos intenzitású tartományai jól elkülöníthetők, ezáltal pl. egy üstökös kómájának szerkezete térképezhető fel. Néhány skálázás hatását mutatják az 5.17. ábra képpárjai.

Nagyon hasznos lehet *több kép összeadása*, illetve *átlagolása* a már ismertetett medián módszert használva. Nem részletezve az okokat, röviden csak annyit említünk meg, hogy egy kép minősége, simasága, az átmenetek egyenletessége a zajtól függ. A zaj azonban nem csak a környezet miatt léphet fel (RON), hanem a jel négyzetgyökével arányos ún. fotonzajt is figyelembe kell venni. (Ez röviden annyit jelent, hogy ha egy



5.19. ábra. Konvolúciós szűrők mátrixa és azok hatása a képekre

állandó intenzitású forrásból 100 foton érkezik másodpercenként, akkor többször egymás után másodpercenként megszámolva a detektált fotonokat azok száma 90 és 110 közé esik nagy valószínűséggel; sok mérés átlaga valóban 100-at ad.) Tegyük fel, hogy ideális kameránk van, vagyis a RON nulla. Ekkor ha pl. 100 elektron van egy pixelben, akkor a fotonzaj $100^{1/2} = 10$, vagyis a jel/zaj viszony (Signal to Noise ratio, S/N) $10/100 = 0,1$, ami 10%. Ha 20 ilyen képet összeátlagolunk, akkor a jel $20 \times 100 = 2000$, a zaj $2000^{1/2} = 44,7$. A jel/zaj viszony $S/N = 0,022$, vagyis már csak 2%.

Az égi háttér is jellemezhető valamilyen fényességgel, vagyis értelmezhető a háttér szórása is. Amennyiben egy csillag képének intenzitása ennek legalább háromszoros, akkor már egyértelműen felismerhető a képen. Ha egy csillag picit is fényesebb az égi háttérnél, úgy több kép átlagolásával a csillag képének jel/zaj viszonya kicsit gyorsabban nő, s elegendően nagy számú kép felhasználásával (ezt a háttér és a detektálni kívánt csillag fényessége szabja meg) elérhető a háttérhez képest háromszoros S/N arány. Vagyis a határfényességet is a jel/zaj viszony szabja meg, több kép átlagolásával tehát nemcsak simább, szebb lesz a kép, de a határfényesség is javul (5.18. ábra). A képeket átlagolás előtt pontosan fedésbe kell hozni, ebben segít, ha jól definiált referenciapontokat tudunk megjelölni. Erre kiválóan alkalmas egy csillag képe, aminek vagy legfényesebb pixelét, vagy egy csillagkereső algoritmussal pixelnél pontosabban meghatározott középpontját használhatjuk referenciának.

A képeken nem csak globálisan, de lokálisan is változtathatunk az intenzitásvizonyokon, figyelembe véve egy pixel környezetét, s ennek függvényében változtatva meg annak intenzitását. Ehhez egy mintavételezési maszkot kell definiálnunk, ami egy 3×3 , 5×5 , 7×7 stb. pixelméretű mátrixszal jellemezhető. Egy ilyen maszk középpontját ráhelyezzük egy képpontra, s a maszk adott elemének értékével (ezeket nevezzük súlyoknak) megszorozzuk az alatta lévő pixel intenzitását. Ezt elvégezzük a maszk minden elemével, s a kapott értékeket összeadjuk, majd elosztjuk a súlyok összegével. A végeredményt egy új kép azon pontjába írjuk, melynek koordinátája megegyezik az eredeti képen a maszk középpontja alatt lévő képpont koordinátájával. Ezután az eredeti képen egy pixellel arrébb toljuk a maszkot, kiszámítjuk az előbbi módon a súlyozott átlagot, s az új képen ezáltal megjelenik a második képpont az előző mellett. Végigtolva a maszkot az eredeti képen pixelről pixelre, sorról sorra haladva, az új kép is teljesen felépíthető. A kép nagyléptékű szerkezete nem változik, hiszen a teljes képhez képest a maszk kis méretű. Azonban a súlyok értékétől és előjelétől függően nőhet vagy csökkenhet a kontraszt a kép egyes részletei között. Ezáltal élesebbnek láthatunk egy képet, avagy homályosabbnak. Az előbbi esetben felüláteresztő szűrőről beszélünk (crisp, sharpen), aminek jellemzője a központi elem pozitív és viszonylag nagy értéke, amit negatív és viszonylag kis értékű súlyok vesznek körbe. Aluláteresztő szűrő esetén a külső elemek is pozitívak, s annál nagyobb mértékű az elmosás (smooth, blur), minél kisebb az eltérés a központi és a szélső súlyok értéke között. Egy-egy példát mutatunk be ezekre az ún. *konvolúciós szűrőkre* az 5.19. ábrán. Akár árnyékoló hatást is megvalósíthatunk, ha a maszk szélső elemei közül az egyik oldalt pozitívnak, a másikat negatívnak választjuk. Több program lehetőséget ad saját maszk definiálására is. Érdeemes kísérletezgetni, az előbbi alapelveket (alul- és felüláteresztő) szem előtt tartva. A kettőt akár vegyesen is lehet alkalmazni (I. IV.4.).

Elmosást még Gauss-szűrővel is végezhetünk, ami az előbbiekhöz hasonló módon működik. Jellemző paraméter a maszk sugara, minél nagyobbak választjuk ezt, an-

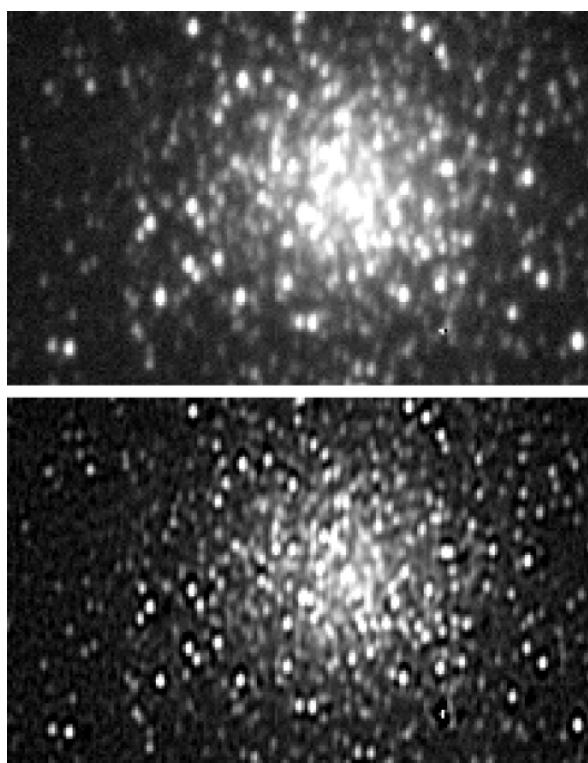
nál nagyobb mértékű az elmosás. Szintén maszk felhasználásával működnek a *statisztikus szűrők*. Ezek tulajdonképpen medián átlagolást végeznek, azonban lokálisan, a maszk által meghatározott méretű területen. Segítségükkel a sötétáram miatt beégett ún. forró (hot) pixelek és kozmikus sugarak kisebb nyomai tüntethetők el. Itt a maszk elemei nem súlyozottak, pusztán mérete és esetleg alakja számít. A konvolúciós szűrőkhöz hasonlóan működik, azonban az új képpont intenzitását nem a súlyozott átlag, hanem a maszk elemei alatt lévő intenzitásértékek medián átlaga adja.

Maszkolás alatt két eljárást is érthetünk, az egyik az életlen maszkolás (unsharp masking), a másik pedig az intenzitásmaszk használata. Előbbi során az eredeti kép egy elmosott változatát kell létrehozni, amit 2–6 pixel sugarú Gauss-szűrűvel tehetünk meg. Ezek után az eredeti kép n -szereséből vonjuk le a maszk ($n-1$)-szeresét. Ezáltal a részletek kontrasztja nő, mély-ég és bolygófelvételeken nagyon sokat segíthet. Ne esünk azonban túlzásba, a nagyon elmosott maszk vagy a 2–4-nél nagyobb szorzótényezők használata valószerűtlenné teheti a képet (pl. a csillagok körül sötét gyűrűk jelennek meg stb.). (L. még IV.4-et!)

Az intenzitásmaszkot akkor alkalmazhatjuk eredményesen, ha egy objektum nagy dinamikai tartományt fed le, s egyszerre szeretnénk a fényesebb és halványabb részeket is szépen, részletgazdagon megmutatni (tipikus példa a Nagy Orion-köd). Ez esetben kétféle, esetleg több képet is készítsünk, amelyeken különböző intenzitású tartományokat hagyunk meg. Például egyet, amin a fényes részletek látszanak, de a halványak nem (A kép), s egy másikat, amin a fényesebb részek már beégnek, de a halványak részletgazdagon látszanak (B kép). Az ezt követő lépések a szoftvertől függenek. Elképzelhető, hogy az új kép egy adott pixelének a B kép megfelelő pixelének intenzitását rendeli, ha-



5.20. ábra. Intenzitásmaszk hatása



5.21. ábra. Dekonvolúció hatása

csak az nem nagyobb egy intenzitásküszöbnél. Ekkor ugyanis az A kép megfelelő pixelének értékét másolja az új képpontba. Elképzelhető az is, hogy meg kell adnunk még az A kép egy életlenített változatát is, mint maszkot. Ennek segítségével nem egy küszöbintenzitás választja el a két részképet, hanem az életlen maszk homályos kontúrjai mentén folyamatos átmenet valósítható meg A és B kép között.

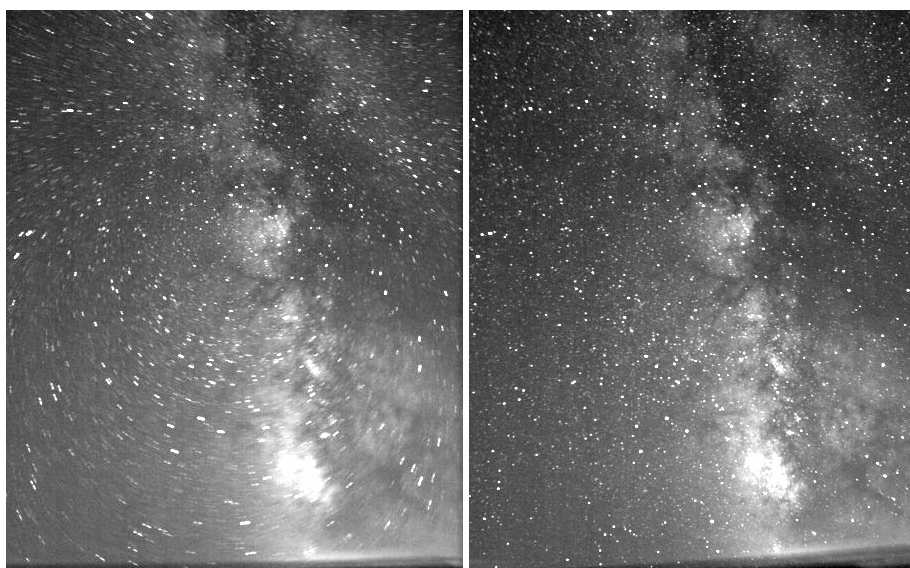
A légkör elmosó hatása kismértékben javítható szoftveresen az ún. *dekonvolúciós* eljárásokkal. Ennek részletes ismertetése bonyolult matematikai ismereteket igényel. Így röviden csak annyit, hogy néhány megjelölt referenciacsillag intenzitás-eloszlása és a megadott paraméterek alapján a program kiszámolja, milyen is lenne egy csillag képe, ha nem szól közbe a légkör. E számított profilt a képen lévővel összevetve képes meghatározni egy olyan matematikai műveletet, amely segítségével nemcsak a csillagok, de kiterjedt objektumok részletei is kontrasztosabbá, élesebbé tehetők (5.21. ábra). Lehetőleg fényesebb, de nem beégett, izolált környezetű (más csillagoktól távol eső) referenciacsillagokat adjunk meg, és az iterációs lépések számát ne emeljük túl magasra. Ekkor ugyanis a csillagok körül sötét gyűrűk jelennek meg, s a zaj is felerősödik a képeken, ami inkább ront a megjelenésen.

A *színes CCD-felvételek* ugyanazon az elven készíthetők, mint ahogy azt II.1-ben bemutattuk (RGB technika). A három különböző színben készült felvételek összeillesztése itt azonban sokkal könnyebben megvalósítható, az egyes szűrőkkel (I. III., Színszűrők) készült képek egyszerűbb képmanipuláló szoftverek segítségével is összeilleszthetők. A CCD-k esetében viszont korántsem olyan egyenletes a spektrális érzékenység, mint a filmek esetében. Ez jól látható az 5.3. és az 5.11. ábrák összevetésekor. Vagyis a színhűség érdekében az egyes szűrőkkel különböző expozíciós időket kell alkalmazni, s ezeket alapvetően három dolog határozza meg: a detektor spektrális érzékenysége, a szűrők átérésztése és az emberi szem receptorainak spektrális érzékenysége. A részleteket, számítási és kalibrálási lehetőségeket bővebben az irodalomjegyzékben megadott források tartalmazzák. Itt most csak annyit említünk meg, hogy CCD-k esetén a kék szűrőn át sokkal hosszabb expozíció szükséges.

Nagyon eredményes a három szűrős technika egy kissé módosított változata, az LRGB vagy LCMY eljárás. Itt az L betű a luminozitásra utal, vagyis a színszűrőkkel készített felvétel mellett egy szűrő nélküli felvétel is készül. Ez csak az intenzitás (vagy luminozitás) eloszlását rögzíti, vagyis az objektum szerkezetét. Szűrő nélkül ugyanis a teljes spektrális érzékenységet kihasználjuk, érzékenyebb a kamera, tehát kevesebb expozícióval rögzíthetünk halvány részleteket. A színes felvételek a szűrők miatt hosszú integrációkat igényelnének, azonban egy kép színi információjának nem kell azonos felbontásúnak lennie, a szem erre kevésbé érzékeny. Vagyis a szűrős képeket készíthetjük 2x2, 3x3-as összevonással (I. binning, II.2.), ezáltal érzékenyebb a kamera, kevesebbet kell exponálni. E képeket aztán utólag geometriailag átskálázzuk, a luminozitáskép méretére hozzuk, majd pl. Photoshopban a négy képet bemásoljuk a nevüknek megfelelő csatornába. Ezáltal nagyon jó felbontású színes képek készíthetők viszonylag rövid integrációs idővel.

Digitális fényképezőgépekkel készült képek

Mint említettük, a nyers képfórmátumban (RAW) történő fotózás ajánlott. Ez esetben általában 12 bit (4096 árnyalat) rögzíthető színcsatornánként, ami már elegendő a képfeldolgozáshoz. A különféle kamerák RAW képei az adott gyártóra (és kamerára) jellemző kódolással kerülnek elmentésre, vagyis általában a gyártó programjának

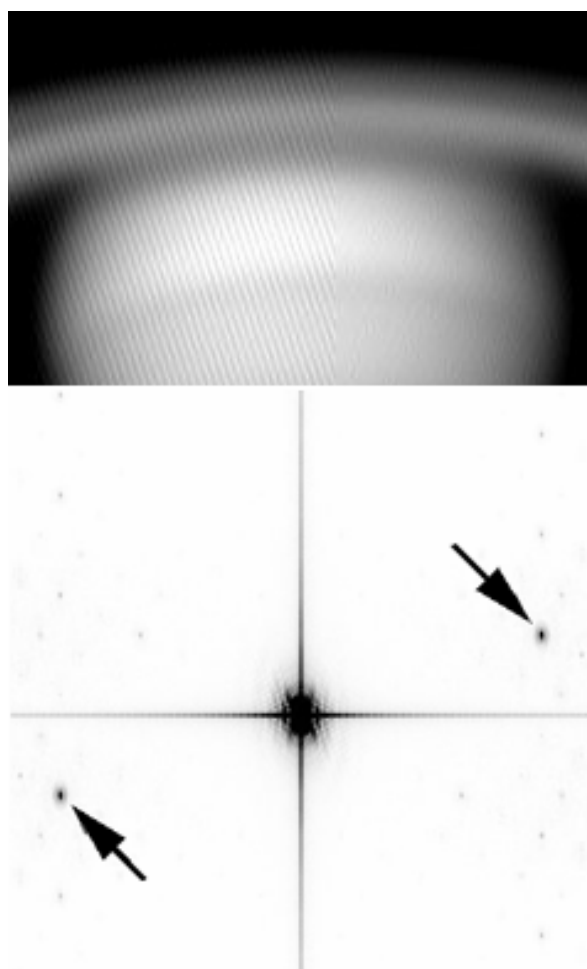


5.22. ábra. Kevés, ill. megfelelő számú csillag használata nagylátószögű digitális képek illesztésekor

segítségével lehet csak pl. 16 bites TIFF formátumra konvertálni ezen képeket. A már említett IRIS itt is segítségünkre lehet a több kamerát is támogató konverterével, mely FITS formátumra alakítja a RAW képeket. Amennyiben kameránk nem ad lehetőséget a RAW fájl mentésére, úgy mindenképpen a TIFF formátumot válasszuk.

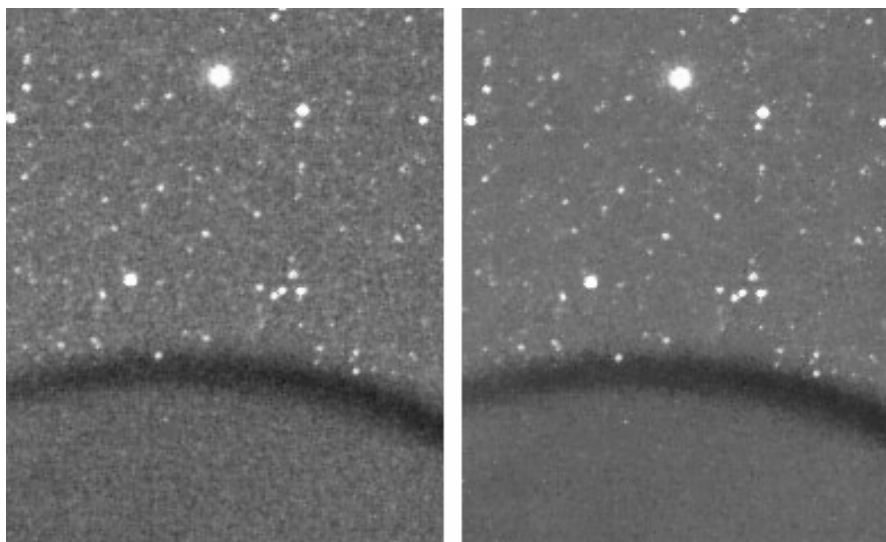
Sötétkép- és világoskép-korrekcióra ugyanúgy szükség van, mint CCD-felvételek esetében, s a kivitelezés módja is egyezik a fentebb leírtakkal. Míg CCD-kamerák esetében viszonylag kevés az ún. forró pixel, addig digitális kameráknál nagy lehet a számuk, ezért a statisztikus szűrőknek nagy hasznát vehetjük. A sötétáram értéke ugyanis a beépített hűtés hiánya miatt magas lehet, s ezért általában több kép átlagolására kényszerülünk halvány objektumok megörökítésékor, aminél a forró pixelek nagyon zavaróak. Az egyes képek egymáshoz képesti elcsúszását lehetőleg több csillag pozíciója alapján korrigáljuk, s az egyedi képeken végezzük a statisztikus szűrést.

CCD-kamerákat is csatlakoztathatunk a távcsöveknél sokkalta nagyobb látó-



5.23. ábra. Periodikus zajjal terhelt Szaturnusz-kép, ill. a zaj Fourier-térbeni azonosítása

mezőt adó fényképezőgép-objektívek-hez, azonban a digitális kamerák általában nagyobb pixelszáma és színes detektora sokkal valószínűbbé teszi állókamerás vagy vezetett Tejút-, teleobjektíves fotók készítését digitális fényképezőgép segítségével. Ez esetben több kép átlagolása már nem csak egyszerű eltoláson alapuló geometriai képátalakítást igényel, s legalább három csillagra van szükségünk a képek pontos



5.24. ábra. Szelektív statisztikus szűrő zajcsökkentő hatása

fedésbe hozásához (l. 5.22. ábra). (Nagyobb látómezejű, alapobjektíves felvételeknél az optika torzítása is befolyásolhatja az elcsúszott képek illesztését.)

A pixeleken elhelyezett színszűrők ismétlődő mintázata, a digitális technika magában hordozza a képekre épülő, szabályosan ismétlődő mesterséges mintázatok megjelenését. Ezeket a zavaró jeleket adott kép ún. Fourier-transzformáltjának vizuálisan megjelenített változatán könnyen azonosíthatjuk (l. 5.23. ábra, alul), s eltüntethetjük (vö. az ábra bal és jobb oldalát). A *Fourier-transzformált szűrését*, majd inverz transzformációval a kisimított kép visszanyerését az IRIS program szintén lehetővé teszi.

Digitális kamerák képein a CCD-kamerákhoz képest kisebb érzékenység miatt relatíve jobban látható a zaj (holott kiolvasási zajuk pl. akár összemérhető is lehet). A „grízes” háttér kisimítása sokat javít a kép megjelenésén, azonban ezt nem triviális megtenni a finom részletek elmosása, a halványabb csillagok elvesztése nélkül. A megoldás a már megismert elmosó konvolúciós szűrők szelektív használata, a kép információt nem hordozó zajos részeire. Egy kép csillagmentes, egyenletes háttérű részletét felhasználva megállapítható az elmosni kívánt zaj karakterisztikája, s hogy a háttértől milyen mértékű kontraszttal elűtő objektumokat tekinthetünk valósnak. A *szelektív elmosás* módszere több programban elérhető (NeatImage, IRIS stb.), s eredményességét az 5.24. ábra kiválóan szemlélteti.

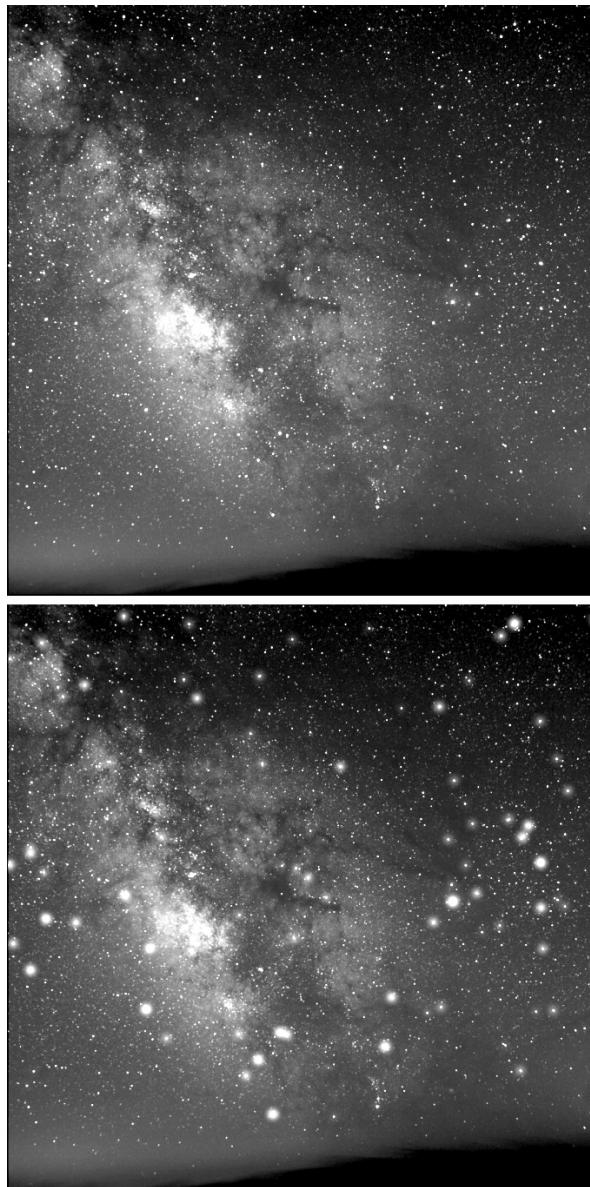
Beszkennt fényképek feldolgozása esetén is hasznos lehet az effektus alkalmazása, mely Akira Fujii nagylátószögű égbolttfelvételeihez hasonló hatást ér el. Ennek során a fényes csillagok „nagyobbak” lesznek, a csillagképek könnyű felismerését téve lehetővé. Erre azért lehet szükség, mert a nagy határfényességű, több konstellációt is magában foglaló nagyfelbontású (3000x2000 képpont) képeken elveszik az ember tekintete, s zavaró, hogy nem tud egy ismert alakzatban sem megkapaszkodni. A szelektív elmosás egy másik példája ez, amikor is egy képpontot és környezetét

egy bizonyos határfényesség felett annál jobban mosunk el, minél nagyobb annak intenzitása. (l. 5.25. ábra)

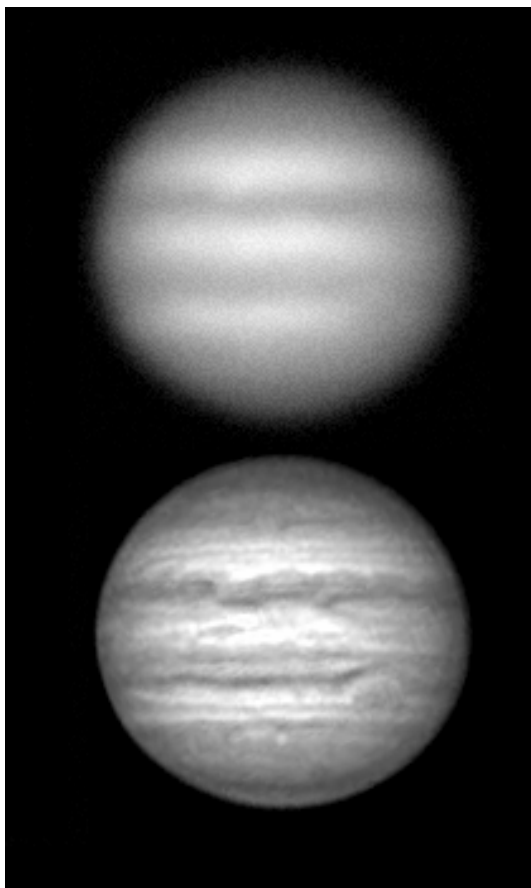
Webkamera képeinek feldolgozása

A megdöbbentő részletgazdagságot mutató napfolt-, hold-, vagy bolygófelvételek titka abban rejlik, hogy a lehető legrövidebb idő alatt a lehető legtöbb képet készítsük, majd ezeket pontos illesztés után összeátlagoljuk. A jel/zaj viszony ui. az átlagolt képek számának négyzetgyökével arányosan nő, 16 kép esetében 4-szeres, 256 kép felhasználásával 16-szoros növekedést érhetünk el a hasznos jelben a zajjal szemben. Az átlagolás a webkamerák hűtésének hiányában fellépő magas elektronikai zaj mellett a légköri hatásokat is csökkenti, hiszen amíg a korong egy adott részlete az egyik képen kivehető, a másikon elmosódott, ezért több kép összegzése egyértelműen kirajzolja e struktúrákat.

Az átlagolásból azonban célszerű kihagyni a nagyon elmosódott, finom részleteket alig tartalmazó képkockákat, illetve az egyes képeket pontosan fedésbe kell hozni (a képek közötti elcsúszást nem is annyira az esetleges vezetési hibák, hanem sokkal inkább a légkör turbulenciája okozza). Speciálisan erre a feladatra szabadon letölthető programok találhatóak az Interneten, mint a Registax (registax.astronomy.net). Ezek a szoftverek egy képsorozat (általában egy AVI formátumú video fájl) elemeinek információtartalmát automatikusan összehasonlítják, s csak azokat használja fel az illesztés utáni összeátlagoláshoz, melyek finom (ún. magas térfrekvenciájú) részleteket is tartalmaznak. Ezen szűréshez az ún. FFT (Fast Fourier Transform, gyors Fourier-transzformáció) algoritmust használják. Ennek során egy adott képből egy olyan másik képet állítanak elő, melynek meghatározott részén (a transzformált kép közepén) lévő intenzitás arányos az eredeti kép részletgazdagságával. Az FFT kép alapján tehát könnyű kiválogatni az elmosott képeket, illetve az egyes képek illesztéséhez szükséges eltolásról is információt kapunk. Az említett program esetében viszonylag kevés paraméter beállításával (az egyszerű, áttekinthető programleírások elolvasása és némi próbálgatás után) gyorsan érhetünk el szép eredményt. Részletesebb segítséggel az irodalomjegyzékben megadott, Dán András által írt cikk szolgál. Az efféle átlagolás eredményességét az 5.26. ábra szemlélteti.



5.25. ábra. Szelektív elmosás segítségével jobban kivehetőek a csillagképek



5.26. ábra. Egyetlen képkocka, illetve egy feldolgozott AVI fájl

(800x600, 1024x768) jóval nagyobb asztrofotót a teljes kép megjelenítése érdekében interpolációnak veti alá a szoftver. Ennek során zavaró törések, élek jelenhetnek meg a kivetített képen, esetleg halvány részletek nem látszanak. Ezért igyekezzünk ilyen jellegű bemutató előtt a képeket a megfelelő felbontásra átskálázni, s szükség esetén kicsit módosítani a kontrasztot, fényességértékeket.

Másik megoldás, ha kinyomtatjuk a képet. Ehhez legalább 600 dpi valós feloldású nyomtatót használjunk. Lehet tintasugaras vagy lézernyomtató, viszont mindenképpen fotónyomtatáshoz készített papírra nyomtassunk, csak így kaphatunk szép képet. Ma már elterjedtek a fotónyomtatók, a megfelelő papír sem drága. A házi nyomtatás előnye, hogy saját ízlésünknek megfelelően állíthatjuk be a színeket és a háttérrel néhány próbanyomtatás segítségével. A rengeteg gyártó és évről évre változó modellek közül nem is igazán lehet hosszú távon érvényben maradtót ajánlani, de talán a Canon és a HP tintasugaras fotónyomtatói adják a legjobb ár/teljesítmény arányt. Amennyiben nincs printerünk, úgy a nyomtatást szintén bízhatjuk cégekre, ezzel már a legtöbb fotós szaküzlet is foglalkozik. Általában jobb, valósághoz közel álló, színhű eredményt érhetünk el, mint a papírképeknél, s a digitális „negatív” sem karcolódik.

Harmadik lehetőség, ha közvetlenül negatívra vagy diára írattuk a képet. Az ezt lehetővé tevő ún. diaírók a filmszkennerekhez hasonlóan akár 4000 dpi felbontással világítják le a digitális képet az adott negatívra vagy diára, s szinte teljesen megkülönböztethetetlen a végeredmény egy eredeti fotótól a minőséget tekintve. E beren-

A kamerák kezeléséhez és a képek letöltéséhez több ingyenes programot is használhatunk, melyek kezelőfelülete eltérő ugyan, de a jó minőségű képek készítésének tekintetében hasonló beállításokat igényelnek (a sokat emlegetett IRIS is kezel USB portra csatlakoztatható webkamerákat): az ún. gamma értéket állítsuk közel 1-re, a fehér-egyensúlyt pedig automatikus módba kapcsoljuk. A fényerő (brightness), a kontraszt (contrast), az erősítés (gain), majd a középérték (midrange) beállításával úgy hangoljuk az expozíciós időt, hogy az minimális legyen (ideálisan 1/10–1/25 másodperc vagy az alatti), de a zaj is alacsony szinten maradjon (az erősítést ne állítsuk túl magasra). Így a kép a monitoron nézve halványnak tűnhet ugyan, de ezen a későbbi átlagolás és feldolgozás segíteni fog.

Feldolgozott képek megjelenítése

A feljavított képeket többféleképpen is bemutatathatjuk: nagyobb közönség számára rendezvényeken ma már elterjedt a számítógépes kivetítők használata. A képet megjelenítő programtól függően gyakran előfordul, hogy az általában a kivetíthető méretnél

dezések azonban nagyon drágák, saját beszerzés szinte elképzelhetetlen, s csak nagyon kevés szolgáltatónál fordulnak elő.

III. Általános gyakorlati ismeretek, tanácsok

A szép asztrofotók készítése a következőkön áll vagy bukik, legyen szó akár hagyományos, akár CCD-s képrögzítésről:

- tökéletes optika
- jó fókuszálás
- hibátlan vezetés
- nyugodt légkör

E négy feltételnek egyszerre kell teljesülnie, bármelyik is hiányzik, az eredmény nem lesz tökéletes! Ezeken kívül még egy fontos összetevő van: türelem, sok türelem. Egy megkapó asztrofotó mögött sok-sok órányi munka lehet, azonban az égbolt és a digitális sötétszoba mindenki számára nyitott. Lássuk hát a fontosabb gyakorlati tudnivalókat!

Légköri nyugodtság, mikroklíma, átlátszóság

A légkör globális állapotára nem lehetünk hatással. Csak egyet tehetünk, kivárjuk a megfelelően tiszta, teljesen derült és nyugodt levegőjű éjszakát, és ekkor fotózunk, lehetőleg minél magasabban a horizont felett. Van azonban a seeing-nek egy olyan összetevője, amire igenis hatással lehetünk, ez a mikroklíma. Különösen a rövid expozíciós idejű felvételek (Nap, Hold és bolygófotózás) esetén figyeljünk az alábbiakra!

A *mikroklíma* azt jelenti, hogy az adott helyen napszaktól függően akár óráról órára is változhat a nyugodtság. Sok észlelés alapján egy optimális időpontot ki lehet választani, de fronthatásra ez is megváltozhat. Azt is meg kell figyelni, hogy az objektum irányába esik-e közeli lakóház, kémény vagy valami hőt kibocsátó objektum, ezek ezek irányába tekintve ugyanis romlik a nyugodtság. Erkélyen dolgozók ügyeljenek, hogy az ablak, ajtó zárva legyen, mert a szobából kiáramló melegebb levegő szintén elrontja a képet. Tapasztalatok szerint az sem mindegy, hogy a távcső nyílása az erkély külső síkján belül vagy kívül van. Kívül jobb a kép. Főleg télen tapasztalható, ha a cső csaknem függőleges, hogy a testünkből felszálló hő is rontja a képet. Az átlátszóságot is figyelembe kell venni. Általában az igen tiszta levegő nyugtalan, a párásabb nyugodtabb, így az imént felsorolt témák esetén jobb eredményt érhetünk el kissé párás, de nyugodt égen. Hosszú expozíciós vezetett asztrofotóknál inkább a jó átlátszóság legyen a meghatározó.

Filmes gépvázak

A gépvázról – mint a fotózáshoz elengedhetetlen eszköztől – is ejtenünk kell pár szót. Aki asztrofotózásra adja a fejét, annak nyilván már vannak tapasztalatai a fényképezőgépek terén, azonban nem árt néhány alkalmazásbeli eltérésre felhívni a figyelmet. Asztrofotózáskor a fényképezőgépnek pusztán zárszerkezetét használjuk, valamint a váznak a film fókusz síkjában tartásában és a filmtovábbításban van szerepe. Leginkább az, egyaknás tükörreflexes gépvázak (ún. single lens reflex, SLR) használhatóak. Az objektív e típusoknál menettel vagy bajonettzárral csatlakozik a vázhoz, és könnyen eltávolítható. A keresőbe nézve pontosan azt a képet láthatjuk, ami a filmen fog megjelenni, ez segíti az objektumok beállítását. Általában semmiféle automatikára nincs szükség, a legegyszerűbb mechanikus gépváz is megfelel, sőt bizonyos esetekben jobb, mint az elektronikus zárral szerelt gépek. Ezeknél ugyanis az asztrofotózásban gyakran használt „B” idő során egy elektromágnes tartja az ex-

pozíció idejére a fényútból kiemelt tükröt, s ez fogyasztja az elemeket. Néhány órás expozíció során a telepek lemerülnek, s a nagy hidegben gyakran nem is működnek ezek az elektronikus eszközök. A fénymérőnek sem kell mindig hinni (a Nap, ill. a Hold fotózásán kívül nem is igen használható), sokkal többet érnek a gyakorlati tapasztalatok. Röviden összefoglalva tehát egyszerű, lehetőleg mechanikus váz, levehető objektívvel, egyaknás-tükörreflexes keresővel – ez az alkalmas gépváz csillagászati fotózáshoz.

Természetesen a használni kívánt film formátuma is megszabja, milyen vázak közül válogathatunk. Egy középformátumú váz azonban sok távcsőmechanikának már túl nehéz, ezt is tartsuk szem előtt. A középformátumú filmek nem tartják meg magukat a fókuszsíkban, a hátlaptól emelkedhet a negatív, s ezáltal e területeken életlen lesz a kép. A 4x5 cm-es képméret felett csillagászati célra csak az ún. vákuum hátlapos kamerák alkalmazhatóak, melyek az expozíció alatt a negatív mögött elhelyezett sík lapnak szívva tartják a filmet.

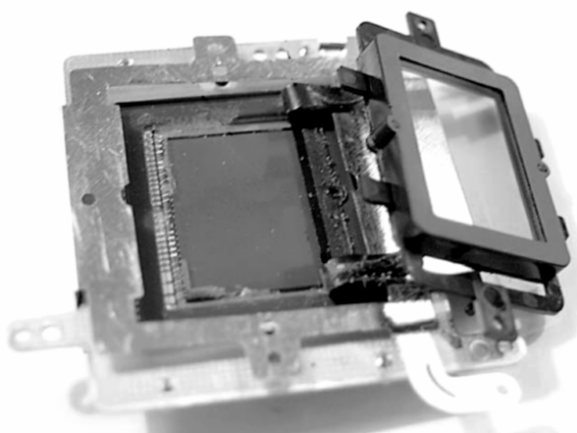
Fontos szempont az *exponálózsínór* csatlakoztatásának lehetősége. A távcsőre szerelt gép exponológombját ugyanis szabad kézzel lehetetlen úgy megnyomni, hogy ne rezdüljön meg a mechanika, amikor hozzáérünk a géphez. Nap- vagy holdfotózásnál esetleg az önkioldót is alkalmazhatjuk, de hasznosabb az exponálózsínór. B idő esetén több géptípusnál csak addig marad nyitva a zár, amíg lenyomva tartjuk az exponológombot. Amennyiben tudunk csatlakoztatni egy exponálózsínórt, akkor ezt lenyomva és rögzítve (ha lehet, az erre szolgáló kis csavarral ellátott zsinórt vásároljunk, vagy esetleg függönycsípesszel rögzíthetjük) megoldódik a problémánk. Ha csak lehet, ne vászon, hanem fémháló borította exponálózsínórt válasszunk, az előbbi típus borítása az éjszakai párasodás miatt hamar előregszik, kiszakad, megnyúlik stb. Elektronikus időzítő esetén mindig gondoskodjunk pótelemről! Egy másik lehetőség pl. Zenit vázak esetén, hogy az exponológomb lenyomása után elfordítható, s így elengedve a gombot az lenyomott állapotban marad, a zár pedig nyitva. Durvább zárszerkezet esetén maga a zár kinyitása is akkorát lökhet a gépen, s ezáltal a távcsövön, hogy az beremeghet. Ennek elkerülésére alkalmazható az objektívletakarasos exponálás. B idő felvételek esetén takarjuk le az objektívet, indítsuk el az expozíciót, majd finoman vegyük le a takarást az objektívről. Pár másodpercre még tartsuk nagyon közel az objektívhez, hogy ne jusson be fény, de már ne érzünk a tubushoz, majd hirtelen emeljük el. Az expozíció végeztével fordított sorrendben ugyanezt tegyük. Amennyiben a gépvázat ellátták a tükrök kiakasztásának opciójával (mirror lock-up), úgy ezt is használhatjuk az exponálózsínórral kombinálva. Ekkor az első „exponálás” csak a tükrök ugrik ki a fényútból, s marad is ebben a pozícióban, míg a zár csak az exponológomb második megnyomásakor nyílik ki. Ez utóbbi sokkal kisebbet lök a gépen, s így lehetőség van a tükrök kiakasztása és a zárnyitás között megvárni az esetleges rezgések lecsillapodását.

Digitális vázak

A digitális SLR vázakra – a filmekre vonatkozó utalások nélkül – ugyanazok érvényesek, mint az előzőekben leírtak a filmes gépvázakra. Mivel azonban a szenzorok nem cserélhetőek (a filmes vázakhoz erősíthető digitális hátlapok csak a közép- és nagyformátumú, profi kamerák piacán maradtak életképesek), így maga a gépváz megválasztása egyben a detektor megválasztását is jelenti. Emiatt talán érdemes felsorolni az asztrofotózásra leginkább használható modelleket. Csillagászati célokra sokáig a Canon saját fejlesztésű CMOS-szenzoraival szerelt félprofesszionális SLR

vázai voltak alkalmasak (EOS D30, D60, 10D, 300D, 20D, 350D, 5D), az újabb CCD alapú Nikon vázak (D70/D70s, D50) azonban szintén kellően alacsony zajúak a hosszú expozíciókhoz. Zaj tekintetében a Fuji S2 Pro típusa is igen jó teljesítményt nyújt, azonban talán a nagyobb méretű, robusztus váz miatt kevésbé elterjedt csillagász körökben. Funkcionalitásukat, képminőségüket és árakat tekintve közel állnak e termékek egymáshoz, a választás többnyire ízlés és a már meglévő objektívkészlet kérdése. Ugyanakkor a Canon mintha mindig picit előrébb tartana, elsősorban asztrofotós értelemben. Nem csak régebb óta használhatóak jól gépei az éjszakai ég alatt (vezetékes távkioldó, veszteségmentes RAW formátum stb.), de az EOS 20Da a jelenlegi egyetlen, kifejezetten asztrofotózásra kifejlesztett digitális SLR kamera. Ezt nem csak módosított programozása, hanem egy fontos elem, az infravörös szűrő gyári eltávolítása is mutatja.

A digitális szenzorok a közeli infravörös tartományban is érzékenyek, s a valós színek visszaadására tervezett RGB szűrők gyakran a névleges tartományon túl, a közeli infravörösben is áteresztnek, felborítva ezzel a színegyensúlyt. Ennek helyreállítása érdekében az érzékelőfelület előtt, egy annak egészét lefedő, kb. 2 mm vastagságú szűrőt helyeznek el a 600 nm feletti hullámhosszak nagymértékű csökkentésére, levágására. A csillagászatban azonban az egyik legfontosabb fényforrás a hidrogén 656 nm-es vörös sugárzása ($H\alpha$ vonal), mely ennek így áldozatul esik. A digitális fényképezőgépek többsége ezáltal, módosítás nélkül, sokkal kevésbé érzékeny a vörös ködökre, mint a galaxisokra, planetáris ködökre. Erre hamar rájöttek az asztrofotósok, s az Interneten több, képekkel gazdagon illusztrált oldal található mely a bátrabbak számára részletesen leírja a digitális vázak szétszerelését és az infraszűrő eltávolítását. Fontos megemlíteni, hogy egyrészt ezzel a beavatkozással mindennemű garancia elvész, másrészt ugyan megnő a vörösérzékenység, ugyanakkor a kamera nappali fotózásra szinte használhatatlan lesz. A színegyensúlyt külső infraszűrőkkel és szoftveresen lehet korrigálni többé-kevésbé, azonban az autofókusz a megváltozott optikai úthossz miatt nem fog jól működni. Az eltávolított belső infraszűrő helyére azzal egyező optikai vastagságú, azonos méretű üveglemezt téve a fókuszálási problémák orvosolhatóak. Nagyon érdemes tehát megfontolni az átalakítást, ami sok veszélyt rejt magában, s nagy valószínűséggel csak csillagászati célra alkalmazhatóvá teszi a drága berendezést. Bizonyos cégek átvállalják a munka elvégzését, a felelőség azonban mindig a gép tulajdonosáé marad... Hasonlóan igaz ez egyszerűbb, olcsóbb típusok belső szoftvereinek (ún. firmware) módosítására. Ezek megnövelik a gép funkcionalitását, ugyanakkor a garancia és esetleg a fényképezőgép működőképességének elvesztésével járnak.



5.27. ábra. Infravörös szűrő utólagos eltávolítása szétbontott digitális kamera érzékelőjéről

Egyes kompakt, nem cserélhető objektív vázak is alkalmasak asztrofotózásra, többnyire fényesebb objektumok megörökítésére, rövid expozíciós idejű állókamerás felvételek készítésére. Amennyiben ilyen fényképezőgépet választunk, figyeljünk arra, hogy legyen lehetőség a beépített objektív elé szerelhető nagylátószögű/teleobjektív feltétek csatlakoztatására. Ezt a menetes kialakítású részt használhatjuk a távcsőhöz, annak okulárjához történő illesztésre is, megfelelő adapter segítségével. A kompakt kamerákon 30 másodperc körüli a leghosszabb záridő, ami – zajkarakteristikájuk mellett – limitáló tényező a mélyég-felvételek terén. Bár több kép átlagolásával érhetünk el szép eredményt fényesebb objektumok esetén, mégis elsősorban Nap, Hold, valamint állókamerás felvételekhez ajánlott használatuk.



5.28. ábra. Kompakt digitális fényképezőgép távcsőokulárhoz illesztése

A digitális vázak a párára még inkább érzékenyek, mint filmes társaik. Amennyire lehet, próbáljuk kerülni a páralecsapódást. Az SLR vázak esetében egy programfunkció általában lehetőséget ad a tükör felbillentésére és a zár kinyitására annak érdekében, hogy megtisztíthassuk az érzékelő felületét. Ezt csak zárt légtérben, megfelelő szerszámokkal, és csak akkor végezzük, amikor már nagyon szükséges. Az objektívek cseréjekor, távcsőre szereléskor tartsuk lefelé néző pozícióban a vázat, ezzel is minimalizálva porszemek, kosz detektor felé áramlását.

CCD-kamerafejek

A legtöbb CCD-gyártó adott paraméterű kamerafej (méret, hűtés stb.) mellett több különféle érzékelőt ajánl, melyekből távcsövünk, a megfigyelni kívánt objektumok és pénztárcánk alapján választhatunk. Ezek a kamera gyártóitól többé-kevésbé függetlenül határozzák meg a komplett CCD-kamera teljesítőképességét. Az egyes érzékelőkről és annak megválasztásáról lentebb ejtünk szót, itt most a „körítés”, a kamera paramétereivel kapcsolatban szólnak röviden.

A CCD-kamerák lelkét, a CCD-chipet, valamint az előerősítőt tartó, s ezeket általában légmentesen lezáró, hűthető kamerafej számos formában terjedt el. Általában két alaptípus használatos, az egyik a csőkamera, amelynek elektronikája egy hengeres, 5–6 cm átmérőjű és 10–12 cm hosszú csőben kap helyet. A másik típusnál a kamerafej szintén hengeres, vagy négyzetes alapú, de lapos, alig néhány centiméter a magassága, átmérője vagy oldalhosszúsága viszont 10–15 cm. Mindenképp gondoljuk végig, távcsövünkhöz miként tudjuk illeszteni az adott kamerafejet. A pontos vezetéshez szükséges a jól kiegyensúlyozott tubus, mechanika. A csőkamerák és a lelógó kábelek egy Newton-távcső esetén nagyban eltolhatják a tubus súlypontját annak tengelyétől. Egy villás szerelésű Schmidt–Cassegrain esetében nem biztos, hogy a csőkamera még befér a villa és a tubus közé a pólus közeli területeken.

Akármilyen is legyen azonban a kamerafej kiképzése, a kábelek megfelelő elvezetéséről mindenképpen gondoskodni kell. Célszerű azokat minél rövidebb úton a tubushoz, majd onnan több ponton a mechanikához rögzítve továbbvezetni, hogy a lelógó kábelek súlya ne befolyásolja a vezetést. Az alacsonyabb abszolút hőmérsékletet adó vízűtés esetén az elektromos vezetékek mellett a hűtőfolyadék gumicsöveit is végig kell vezetni a távcső mellett. A léghűtés kicsit kisebb teljesítményét szó szerint ellensúlyozza a körülményes gumicsövek hiánya.

A hűtés miatt gyakran előfordul probléma a páralecsapódás a kamera belső terét lezáró ablakon, annak belső vagy külső felületén. Előbbi akkor fordul elő, ha nem zár légmentesen a kamerafej és/vagy azt nem töltötték fel száraz levegővel/nitrogénnel. E nagyon zavaró hibának a javítása igen körülményes. Bizonyos gyártók ezt úgy próbálják megelőzni, hogy egy cserélhető kis páratlanító szelencét helyeznek el a kamera oldalán. Ez a lehető legrosszabb megoldás, hiszen a szilikon-golyócskákat tartó elem túl kicsi térfogatot biztosít az eredményes szárításhoz, s minden kinyitáskor esély van még több pára bevitelére. A hermetikusan lezárt kamerafej előnyösebb, különösen, ha abban légritkított teret hoznak létre. Ez utóbbi az ablak külső párasodásának is elejét veszi, hiszen azt az ablak a hideg CCD-chip okozta lehűlése okozza. E hűtési folyamat elsősorban a belső levegő közvetítésével történhet, de okozhatja vákuum esetén a túlzottan kicsi chip–ablak távolság és radiatív transzfer is. Nagyon ritka a vákuumos, jól szigetelt kamerafej, több amatőr kamera pedig a fejbe integrált szűrőváltó miatt rendszeres felnyitást igényel.

A számítógépes csatlakozás a soros portról egyre gyakrabban az 1.1 vagy 2.0 USB portra tevődik át, így a képletöltés ideje másodpercekben mérhető. Bizonyos kamerák külön kártyát igényelhetnek, amelyek a lappal történő használatnak szabnak gátat. Egyes modellek TCPIP (Internet) protokollt is ajánlanak, ami a robotikus, távolból vezérelt megfigyelésekben jelent nagy segítséget. A meghajtó szoftver többnyire Windows, sok esetben elérhető azonban linuxos vezérlőprogram is.

Ne felejtjük el, hogy a CCD-kamerafejek között olyan értelemben nincs szabvány, hogy a fókuszmélység mekkora. Fényképezőgépeknél az objektívek kompatibilitása miatt ez meghatározott, CCD-k esetében a gyártótól függ, mint ahogy a csatlakozási lehetőség is.

Web-, panel- és videokamerák

A *komplett kamerák* között igen elterjedtek és viszonylag olcsók a mini DV szalagra dolgozó videokamerák. Ezek a webkamerákkal egyező felbontást adnak, némelyek azonban három CCD segítségével külön rögzítik az egyes színcsatornákat, megnövelve így a képek információtartalmát. Általában a pixelek méretéről nincs informá-



5.29. ábra. különböző kiképzésű kamerafejek

ció, de ez nem is annyira fontos azokban az esetekben, ha ilyen kamerát használhatunk. A CCD-chip méretét vagy a teljes pixelszámmal vagy a chip átlójának hüvelykben megadott méretével (pl. 1/2 vagy 1/3, utóbbi 3,6x4,8 mm-nek felel meg) jellemzik. A feltüntetett zoom értékből csak az optikai zoom mérvadó, a csábító „400x digital zoom” semmit sem ér, a digitalizált képet később mi is nagyíthatjuk ilyen formában, de a rögzíteni kívánt objektumról plusz információt nem vihetünk így a képbe.

Az olcsóbb, kompakt változatok, a webkamerákhoz hasonlóan, kis tömegük miatt könnyen illeszthetők távcsőhöz, azonban nem nyújtanak sokkal többet a még kedvezőbb árú webkameráknál, hacsak a számítógép nélküli képrögzítést nem tekintjük előnynek. Az objektív itt nem távolítható el, ami kereteket szab az alkalmazásoknak. A szabad szemmel közel élesre állított, vagy okulár nélküli távcső kihuzatához így is illeszthetjük a videokameránk objektívját, ekkor vagy az okulár, vagy maga az objektív adja a projekciót, bár a nyújtás mértékét nem igazán tudjuk befolyásolni.

A drágább modellek nagyobb felbontást kínálnak, azonban fotografikus üzemmódjuk sokkal zajosabb képet eredményez, mint a kompakt digitális fényképezőgépeké. Videó üzemmódjuk pedig szintén webkamera szintű feloldást, legfeljebb kisebb zajú videó rögzítést teszi lehetővé. Mivel ez a videó mód teljesen más követelményeknek tesz eleget, mint amelyek a csillagászati képrögzítésben fontosak, ezért a szép „holdfelszínen sétálást” visszaadó képsorok rögzítése mellett folyamatában érdekes események (Hold csillag- vagy bolygófedése, fogyatkozások, bolygótvonulás Nap előtt) dokumentálására alkalmasak, illetve korlátozottan meteorészleléshez is használhatóak. Érdeemes minél érzékenyebb modellt választani, itt az érzékenységet luxban adják meg, feltüntetve azt a legkisebb fényintenzitást, ami mellett még „lát” a kamera. A „0 lux” jelzés azt jelenti, hogy szinte teljes sötétben is rögzíthetünk képet, ez viszont eléggé zajos, egyszínű (zöldes) lesz, és gyakran az teszi ezt lehetővé, hogy infravörös forrással világítják meg a közeli tájat. Hiába a csábító felirat, nem azt jelenti, hogy nagyon halvány objektumokat is színesben rögzíthetünk.

A *webkamerák, panelkamerák* (biztonsági kamerák) igen kicsik, nem jelent gondot távcsővégre szerelésük. A kicsavarozható objektív előny, egyszerű adapterre cserélhető mely az okulárkihuzatba illeszkedik. Mivel áruk viszonylag alacsony, így többen nem állnak meg a módosítás ezen fokánál, hanem a teljes házat lebontják és egyszerű ventilátorral vagy komolyabb termoelektromos hűtéssel ellátott új burkolatot készítenek. Az elektronikai rész is módosítható a hosszabb integrációs idők engedélyezése érdekében, az Interneten több részletes leírás is található ennek kivitelezésére bizonyos kameratípusok esetén. A



5.30. ábra. Webkamera okuláradapterrel

CCD- érzékelővel szerelt kamerák (mint pl. a ToUcam Pro) érzékenyebbek, s jobban teljesítenek hold- és bolygófelvételek esetén. Utóbbiak esetén gyakran Barlow-lencsével érdemes a fókuszot a kicsiny chip jobb kihasználása érdekében nyújtani, égi kísérőket akár Barlow-nyújtással, akár okulárprojekcióval is megörökíthetjük, a megfelelően szűrt napkoronghoz hasonlóan.

Panelkamerák esetén szintén a chip méretét adják meg hüvelykben, esetleg a pixel-számot, így nagyjából következtethetünk a pixelméretre. Sokszor azonban a videojel TV-sorban kifejezett feloldását adják meg, az átlagos érték 400–450 sor (kb. 580x500 pixelszám), a nagy feloldás 550–600 TV-sor (kb. 750x580 pixelszám). Az érzékenységet szintén luxban adják meg, azonban $f/1,2$ -es objektívre vonatkozóan. Átlagosak a tízed lux körüli eszközök, az érzékenyebbek század lux körüliek. A fekete-fehér kamerák fizikai felbontása jobb, de a kis pixelszám miatt az objektívként használt távcső adta felbontóképességet csak nagyobb fókuszok, fókusznyújtás esetén ($f/20\dots f/30$) tudjuk kihasználni.

A legtöbb ilyen eszköz videojelet ad ki (bár létezik a jelet is digitális formában rögzítő kamera is), így az egyes objektumok megfigyelése esetén a képet digitalizálnunk kell. A digitalizálás a mai modern videokártyákkal közvetlen megtehető (fogadnak videojelet), régebbi gép esetén külön digitalizáló kártyát kell vásárolni. Vigyázzunk, az olcsóbbak csak 8 bitesek, vagyis 256 árnyalat megkülönböztetésére képesek, ami mint említettük (l. II.4.), számunkra nem kielégítő. Érdemes közvetlenül digitalizálni, nem pedig először videoszalagra felvenni a filmet, majd erről számítógépre vinni az egyes állóképeket, ekkor ugyanis egyrészt felbontást veszítünk, másrészt nő a zaj.

Filmek

Egy adott téma esetén a film kiválasztását nagyon sok tényező befolyásolja. Ezekről részletesebben az Egyszerűbb számítások, táblázatok c. alfejezetben, illetve IV. fejezet megfelelő alfejezeteiben olvashatunk. A 2005-ben beszerezhető és asztrofotózásban használt filmek rövid ismertetését adjuk az alábbiakban. Fontos megjegyeznünk azonban, hogy a fejezet frissítésekor már több, alábbiakban említett film nem szerepelt a gyártó cég hivatalos terméklistáján, vagyis annak gyártása megszűnt.

Az ezredfordulót követő években az asztrofotózásra alkalmas filmek száma jelentősen megcsappant. A Kodak PJM, PPF, PJ400, Supra 400 színes negatívjai eltűntek, a híres fekete-fehér TP2415 gyártása is megszűnt. Mind a Kodak, mind a Fuji színes filmjeinek összetételét módosították, így több ígéretes emulzió (pl. Fuji Superia 400 és 800) sokat veszített vörösérzékenységéből.

Színes filmek esetén így kevés az elérhető információ, s változó a kínálat. Általánosan elmondható, hogy nem a legnagyobb névleges érzékenységű film feltétlenül a legjobb, hiszen az érzékenységgel növekedő szemcseméret zavaró lehet s jelentősen ronthatja az elkészült kép esztétikai értékét. A 200–400, esetleg 800 ASA ajánlott. A gázkezelés (l. később, a mélyég-objektumok rögzítését tárgyaló alfejezetben) jelentősen növelheti az érzékenységet változatlan szemcsézettség mellett. Régebbi tapasztalatok azt mutatják, hogy a Kodak filmek vörösérzékenyebbek (hidrogénfelhők), a Fuji filmjei pedig jobban kihozzák a kék és zöld színeket (planetárisok, galaxisok, reflexiós ködök).

Színes diák közül asztrofotózáshoz a Fuji Provia 400F, Fuji Sensia II 400, Kodak Elite Chrome 400; hold- és napfotózáshoz, napfogyatkozáshoz az 50 ASA érzékenységű Fujichrome Velvia, valamint a Kodak Ektachrome 64 ajánlható.

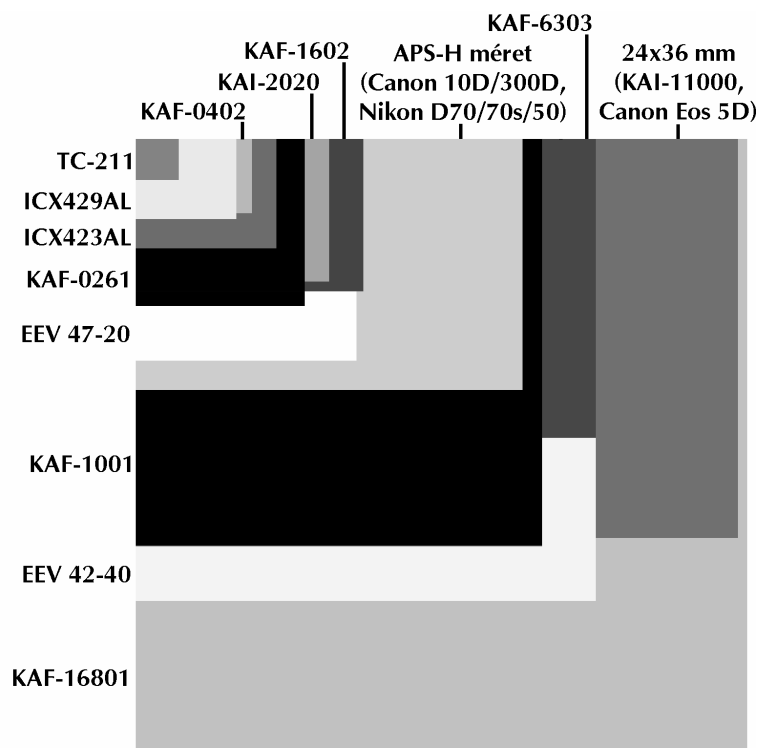
Formátumok A kisfilmes formátumot, vagyis a 24 mm szélességű emulziót a 135-ös szám jelzi, a 24 képkockás negatív 135-24, a 36 kockás 135-36 jelzéssel van ellátva, egy képkocka mérete 24x36 mm. A középformátum esetén 6 cm széles a negatív, ezeket a 120-as vagy 220-as szám jelöli. Géptől függően egy képkocka 4,5x6, 6x6, 6x7 vagy 6x8 cm méretű. A 120-as jelzésű rollfilmre 12 db 6x6-os kép fér, a 220-es jelzésű emulzióra 24 db.

Digitális szenzorok

A CCD-érzékelők között kisebb különbségek vannak, mint a filmek között. A kamera kiválasztása nagyrészt az érzékelő kiválasztását jelenti, s ennél a II.2-ben leírt tulajdonságok, jellemzők alapján ítélni lehet meg egy-egy chip. Gyakorlati szempontból nyilván a pixelszám és a pixelméret mérvadó az ár mellett. Adott távcsőhöz e tekintetben a megfelelő detektor kiválasztására vonatkozó tanácsok az Egyszerűbb számítások, táblázatok c. alfejezetben találhatóak. Az egyéb szempontokat itt tekintjük át.

Kamera	CCD chip	pixelszám	Pixelméret (mm)	látómező (f= 1000, ill. 2000 mm)	felbontás ("/pixel)
ST-4, Cookbook 211	TC-211	192x165	13,7x16	9' x 9' 4' x 4'	3,2 1,6
SXV-M7	ICX429AL	752x580	8,2x8,4	21 x 17 11 x 8	1,7 0,8
ST-7E, AUDINE, CM7, U1	KAF-0402	765x512	9x9	24' x 16' 12' x 8'	1,8 0,9
SXV-M9	ICX423AL	752x580	11,2x11,4	29 x 23 14 x 11	2,4 1,2
ST-8E, CM8, U2	KAF-1602	1536x1024	9x9	47' x 32' 24' x 16'	1,8 0,9
ST-2000XM	KAI-2020	1600x1200	7,4x7,4	40 x 30 20 x 20	1,5 0,7
ST-9E, CM9, U260	KAF-0261	512x512	20x20	35' x 35' 17' x 17'	4,1 2,0
STL-1001E, IMG1001E, U6	KAF-1001	1024x1024	24x24	84' x 84' 42' x 42'	5,0 2,5
IMG 47-10, U47	EEV 47-20	1024x1024	13x13	46 x 46 23 x 23	2,7 1,3
IMG 42-40, U42	EEV 42-40	2048x2048	13,5x13,5	95 x 95 47 x 47	2,8 1,4
STL-6303E, IMG6303E, U9	KAF-6303;	3072x2048	9x9	95 x 62 47 x 31	1,8 0,9
EOS 10D/300D; D70/70s/50	Canon CMOS; Nikon CCD	3072x2048; 3008x2000	7,8x7,8	80 x 52 40 x 26	1,6 0,8
STL-11000M; EOS 5D	KAI-11000, Canon CMOS	4008x2912; 4368x2912	9x9; 8,5x8,5	124 x 82 62 x 41	1,8 0,9
U16, IMGX16801E	KAF-16801	4096x4096	9x9	126 x 126 63 x 63	1,8 0,9

ST: SBIG; SXV: Starlight Xpress; CF, IMG: Finger Lakes; U: Apogee Alta; MX: starlight Xpress;
EOS: Canon EOS digitális váz; D: Nikon digitális váz



5.31. ábra. Különböző CCD-chipek méretének összehasonlítása

továbbítású érzékelővel szerelt kamerát válasszunk, a sorközi továbbítású szenzorokat inkább kerüljük, vagy ha ilyenre esne választásunk, akkor a mikrolencsemátrixsal ellátott érzékelők nagyobb fényhasznosításúak. A képfeldolgozás során hasznos, ha a chip pixelei négyzetesek.

A digitális kamerák CMOS/CCD-érzékelői egy viszonylag szűk családot alkotnak, így azok között még kevesebb az eltérés, mint a CCD-kamerák érzékelői között. Az SLR kamerák APS vagy teljes méretű, átlagosan 8 mikrométer körüli pixelméretűek.

Egyik CCD-chip sem teljesen tökéletes, a pixelek érzékenysége kisebb-nagyobb mértékben eltérő lehet, de akár teljesen érzéketlen, vagy az anomálishan magas sötétáram miatt másodpercek alatt telítődő pixelek is előfordulhatnak. Kisebb chippek esetén általában kevés a hibás képpontok száma, nagyobb chippeknél viszont több egymás melletti pixel, esetleg egész oszlopok hibásak lehetnek. Az elkészült CCD-érzékelőket ezért tesztelik és minőségileg osztályozzák. A (majdnem) teljesen hibátlan, vagy minimális defektusú chippek a „grade 0” vagy „grade 1” (első osztályú) minősítést kapják, és drágábban értékesítik azokat. A gyártótól függ, pontosan milyen jellegű és mennyiségű hiba jellemez egy minőségi osztályt, melyekből 3–4-et szoktak megkülönböztetni. Ha módunkban áll, a kamera választásakor figyeljünk e paraméterre is, és ha pénztárcánk engedi, minél alacsonyabb grade fokozatú érzékelővel szerelt kamerát vásároljunk. (A II.4-ben leírt világoskép- és sötétkép-korrekció ugyanis csak rész megoldást kínál a hibás pixelek eltüntetésére.)

Az egychipes színes érzékelők között a legnagyobb eltérés a színeképzés módjában van. Lehetőleg olyan chipet érdemes választani, amely minél kevesebb komponensből (3–4) állít elő egy színes képpontot.

CCD-kamerák esetében az AD konverzió legalább 14, de inkább 16 bites legyen, a legtöbb képfeldolgozási eljáráshoz ez szükséges. Az elektronika fontos értékmérője

A legnagyobb különbség a kvantumhatásfokban lehet. Az érzékenység az előző megvilágítású chippek esetében függ a gyártási technológiától, illetve a töltésléptetés módjától (fázisok száma). Amatőr kamerákban a viszonylag kis mértékű hűtés miatt fontos azonban a sötétáram mértéke, ez szintén a technológiától függ. Ezek alapján általánosan elmondható, hogy a Texas Instruments chipjei érzékenyek, de nagyobb a sötétáramuk, míg a Kodak chippek kevésbé érzékenyek, de kisebb a sötétáramuk, és az újabb, „E” sorozatú érzékelők a kék tartományban is elég jól működnek. Lehetőleg a teljes, vagy teljes kép-

még a kiolvasási zaj, az elérhető határfényesség annál jobb, minél kisebb a RON értéke. 6–10 elektron/pixel már igen jónak mondható amatőr eszköz esetében.

Objektívek, optikák

A *fotoobjektívek* részletes ismertetése, összehasonlítása nem célunk, hiszen egyrészt oly sok típus van forgalomban, másrészt esetünkben többnyire a távcső alkotja a képet. Vannak azonban esetek, amikor mégis fotoobjektíveket használunk, pl. meteor- vagy üstökös-fotózás; nagyobb pixelszámú (4–8 megapixel) digitális SLR kamerákkal kedvelt a nagylátószögű Tejút-fényképezés, vezetett teleobjektíves felvételek készítése. CCD-kamerákkal nagyobb látómezőt a chipek kisebb mérete miatt csak igen rövid fókuszú optikákkal kaphatunk. Azt viszont ne felejtsük el, hogy a viszonylag kis pixelszám miatt egy alapobjektíves felvételen egy-egy csillag képe csak egy-egy pixelre esik. Ez sok képfeldolgozási eljárás számára kezelhetetlen. Nagyobb felületű objektumok azonban szépen megörökíthetők így is, mint pl. az Észak-Amerika-köd vagy a Barnard-ív.

Általában elmondható, hogy 300 mm-es fókusz fölött érdemesebb távcsöveket használni, s nem pl. egy 600 mm-es tükörobjektívet vagy lencsés teleobjektívet. Ezek ugyanis más célra készültek (pl. az akár néhány méterre történő fókuszálás és állítható fényrekesz elhelyezése is szempont volt a tervezéskor), s képalkotásuk minősége elmarad egy csillagászati célra készített távcsőétől. A zoom-objektívek használata pedig egyenesen kerülendő, egyrészt nagyobb fényvesztésük, másrészt nagy torzításuk miatt. A nagyon fényerős alapobjektíveket (pl. 1:1,4) mindenképpen egy-két rekeszértéknyit blendézzük le, és inkább kicsit hosszabbat exponáljunk, így kisebb lesz a torzítás a kép sarkaiban. Esetleg középformátumú kamerák objektívjeit is használhatjuk kisfilmes gépeken, amennyiben meg tudjuk oldani a megfelelő mechanikai illesztést. Ezen lencserendszereket ugyanis jóval nagyobb képméretre korrigálják, így 24x36 mm-en teljesen torzításmentes képet adnak.

Ne hagyatkozzunk az objektíven bejelölt távolságskálára, sokszor a végtelenre állított lencse nem ad éles képet a csillagos égről. Gyakran előfordul, főleg digitális fényképezőgépek esetén, hogy az adott váz más gyártó objektívjével nem fókuszál tökéletesen automatikus üzemmódban, de eltérés mutatkozik a skála és a valóság között is. Többnyire az objektívek állíthatóságának határa már túl is van a végtelenről éles képet adó helyzeten, ami lehetővé teszi az élesre állást. Mindenképpen előnyös, ha mindig ugyanaz(oka)t az objektíve(ke)t használjuk, s tesztfelvételekkel meghatározzuk az éles képet adó helyzetet. Ne lepődjünk meg, ha (főként) a látómező szélén torz, üstökösszerű csillagképeket kapunk. Ez elsősorban nagylátószögű és alapoptikák esetében jelentkezik. Az amatőr csillagászok által kedvelt manuális típusok (az autofókusznak éjszaka nem sok hasznát vesszük, szerencsére), melyek fotóbizományi üzletekben olcsón beszerezhetőek:

- *nagylátószögű*: 20 mm-es Flektogon, f/2,8 és f/4-es változata is létezik
- *alapobjektív*: 50 mm-es Nikkor, manuális fókuszállítású változat, többféle fényerővel kapható, legélesebb képalkotású az f/2-es
- *teleobjektívek*: 180 mm-es Sonnar (f/2,8), 300 mm-es Sonnar (f/4)

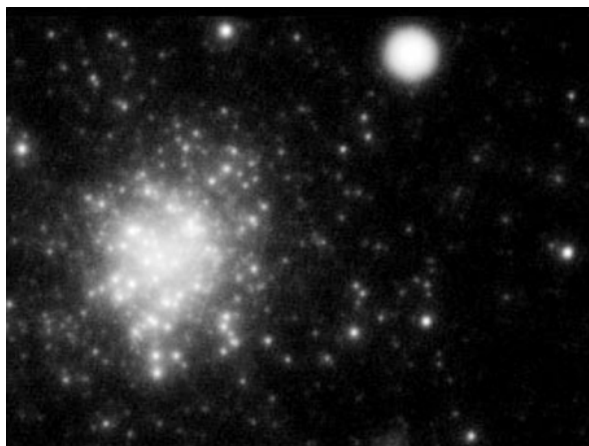
Természetesen autofókuszos objektívjeinket is használhatjuk a manuális üzemmódban. A Canon, Nikon, Sigma felsőbb kategóriájú objektívjei közül több – még kritikus asztrofotós szemmel nézve is – szép képet alkot. Amennyiben APS méretű szenzorhoz használunk „hagyományos”, 24x36 filmméretű tervezett objektívet, úgy azok fókusza 1,5–1,6-szorosnak tűnik (az érzékelő méretétől függően, általában

1,5 Nikon, 1,6 Canon vázak esetében). A fényerő azonban változatlan marad, tehát egy 2,8/35 kisfilmes objektív ugyanúgy 2,8-as fényerejű egy 6–8 megapixeles APS szenzorral ellátott digitális vázon, azonban az eredő fókusz-távolság 52,5, ill. 56 mm-nek felel meg a látómező alapján. (A 24x36 mm-es szenzorok várhatóan 4–5 éven belül az alacsonyabb kategóriás SLR kamerákban is elterjednek, így nem érdemes a már esetleg meglévő objektíveket a kompaktabb, ámbr kisebb látómezőt kirajzoló „digitális” objektívekre cserélni.)

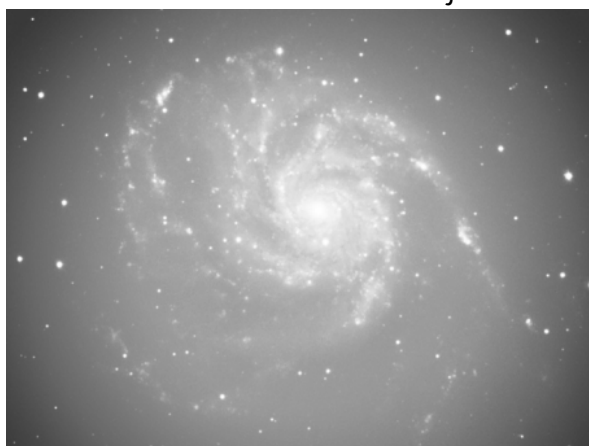
Amennyiben CCD-kamerákhoz illesztünk fotóoptikát, könnyen előfordulhat, hogy a fényesebb csillagok hatalmas foltokká duzzadnak. Ez annak köszönhető, hogy mivel a fotoemulziók nem érzékenyek a közeli infravörösben, így e tartományra nem is korrigáltak az optikák. A CCD-k viszont még itt is igen érzékenyek, így az élesen leképezett fénysugarak alkotta képre ráépül a közeli életlen infravörös kép, s ez különösen a fényesebb csillagok esetében megfigyelhető felfújódást okoz. Ezt ún. infra-blokkoló szűrőkkel kerülhetjük el. Így viszont a kamera érzékenysége is csökken. Esetleg csak infravörösben áteresztő szűrőt is használhatunk, ezáltal szintén egyenletesen éles képet kaphatunk, azonban ez eltérő lesz a vizuális látványtól.

Fotóobjektívek és hagyományos filmek esetén hasonló segédszűrőt használhatunk a csillagok képének élesebbé tételéhez, azonban itt az ultraviolet tartományt kell levágni. Az ún. minus-violet, vagy UV blokkoló szűrők különösen akkor ajánlatosak, ha egy látómezőben nagyon fényes és nagyon halvány csillagokat együtt szeretnénk megörökíteni.

Távcsövek közül mindenféle optikai elrendezés használható. Az egyes távcső-típusok azonban az optikai tengelytől távolodva különböző mértékben, de egyre romló minőségű képet alkotnak. Nagylátómezű fotók készítése során ez problémát okozhat, a kép szélei felé torzultak lesznek a csillagok. f/5–f/8-as Newton-távcsövek primer fókuszában már a 24x36 mm-es film szélein is torzok, a középponttól sugárirányban megnyúltak a csillagok. Sokat segíthetnek az ún. kóma-korrektorok. A Cassegrain-rendszerrel szintén nem használható nagy látómező, a csillagok képe 1 fokos látómező szélén már üstökösszerű. Az árnyékolás nem megfelelő méretezése pedig vignettálást okozhat, vagyis a látómező széle sötétebb, s ez nagyon zavaró lehet a képeken (5.33. ábra). Schmit–Cassegrain- és Makszutov–Cassegrain- távcsövek egészen nagy látómezőkre adnak elfogadható



5.32. ábra. Az infravörös sugarak miatt a fényes, vörös csillagok „megduzzadnak” a lencsés távcsővel készült képeken



5.33. ábra. Vignettálás nyoma a felvételen

minőségű képet, természetesen az árnyékolás megfelelő méretezése itt is fontos. Az ideális fotografikus műszer a Schmidt-távcső, amely többfokos torzításmentes látómezőt ad. Itt viszont a „képsík” gömbfelület, és a tubus belsejében van, így a fotóemulzió elhelyezése speciális kazettát igényel, hiszen egy hagyományos vagy digitális SLR váz túl sokat takarna ki a fényútból, nem is beszélve a sík érzékelőfelületről. (A fókuszfelület görbületét lehet csökkenteni megfelelő segédoptikával.) A refraktorok általában megengedik a nagyobb látómezők, s így a nagyobb detektor/filmformátumok használatát, azonban a vignettálásra, a tubus megfelelő árnyékolására, ill. a fókuszírozó megfelelő méretére (elegendően nagy belépő nyílás szabadon hagyása) itt is érdemes odafigyelni.

CCD-kamerák esetében e leképezési hibák kevésbé jelentkeznek, hiszen általában az amatőrök által is elérhető kamerák képérzékelő felülete kisebb látómező rögzítését teszi lehetővé. A vignettálás a világoskép-korrekcióval eltüntethető, bár ez igaz a digitális vagy digitalizált fényképekre is. Refraktorok esetében azonban érdemes odafigyelni, hogy az akromátok, apokromátok általában csak a vizuális tartományra vannak korrigálva. Így a fotoobjektíveknél már tárgyalt infra-blokkoló szűrő hasznos lehet. Bármivel rögzítjük is a képet, a tubuson belüli szórt fény teljesen tönkretetheti munkánkat. Különösen ügyeljünk tehát a megfelelő árnyékolók elhelyezésére, azok megfelelő méretezésére, a belső felületek teljes mattságára!

Az *objektívek párasodása* teljesen tönkretethet egy asztrofotót. Ezt érdemes megelőzni, hiszen a már bepárasodott objektívet csak a hajszáritó teheti újra használhatóvá. Így azonban, amíg nagyjából le nem hűl az optika a környezet hőmérsékletére, addig a seeing nagymértékben leromlik. A párasodást megfelelően hosszú, legalább az objektív átmérőjével egyező hosszúságú, belső oldalán valamilyen sötét, nedvszívó anyaggal bevont párasapkával előzhetjük meg. Nagyon hideg éjszakákon hasznos lehet a kis teljesítményű fűtés alkalmazása. Ezt vagy sorba kötött ellenállásokból, vagy ellenálláshuzalból készíthetjük. A távcső apertúrájával egyező méretűre hajlított fűtőszálát közvetlenül az objektív elé, a párasapka belső oldalára helyezzük el. Amennyiben ellenállásokból készíthetjük, azok egyenletesen helyezkedjenek el az objektív körül. Az ellenállások értékét és a tápegységet úgy méretezzük, hogy közelítőleg a hüvelykben kifejezett távcsőátmérővel azonos számértékű legyen a wattban kifejezett teljesítmény. Állókamerás felvételek esetén már az is sokat segíthet, ha magasabbra emelt állványon rögzítjük a gépet.

Fokuszálás és az objektum beállítása

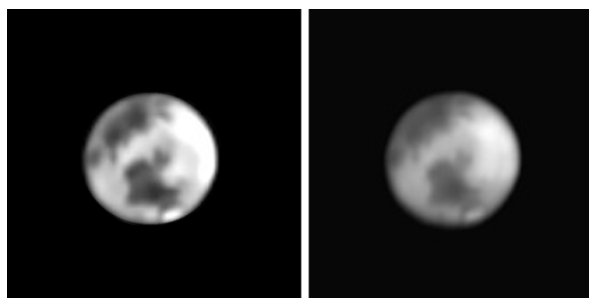
Mindenekelőtt érdemes utánaszámolni annak, mekkora is a *fokuszálás toleranciája* (T) egy adott műszer esetén. Az alábbi képlet és táblázat segítségével ezt könnyen megtehetjük:

$$T = 8 R^2 \cdot l \cdot \Delta l,$$

ahol R a távcső fényereje, l a fény hullámhossza, Dl pedig a defokuszálás miatti hullámfronttorzulás, l hányadában kifejezve. Pl. 600 nm-en egy f/6-os műszer esetén az 1/8-ad hullámhossznyi eltérés 22 μm defokuszáltságnak felel meg! Az alábbi táblázat különböző fényerők esetére adja meg a toleranciát mikrométerben, $\lambda/8$ eltérés esetén.

F/D	2	3	4	5	6	8	10	12	15	20	30
T (μm)	2,5	5	100	15	2	40	60	90	130	240	540

Jól látható, hogy minél fényerősebb a műszer, annál érzékenyebb a fókuszálásra. És ami nagyon fontos, a táblázatban is szereplő toleranciaértékek a mozgó alkatrész pozíciójára vonatkoznak! Vagyis egy Schmidt–Cassegrain effektív fényereje hiába 1:10-es, a fókuszálás itt (többnyire) a fő- és segédtükör távolságának változtatását jelenti. E bázisvonalon a főtükrő fényereje $f/2$ körüli, s ez mérvadó. Vagyis a két tükör távolságát 2,5 mikron pontossággal kell beállítani a jó fókusz eléréséhez! Az 5.34. ábra jól mutatja, milyen érzékeny egy ilyen rendszer 1/100 mm-nyi defokuszálásra.



5.34. ábra. Fényerős rendszer már 1/100 defokuszáltságra is érzékeny

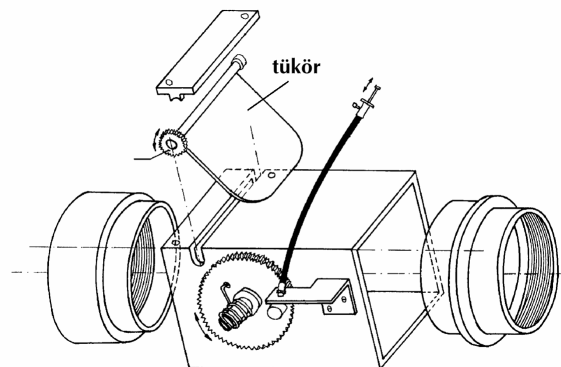
Fényképezőgépek esetén a legegyszerűbb, ha tüköraknás gépünk keresőjébe pillantva a Mess-lupe, vagy ennek hiányában (első generációs Zenit fényképezőgépek) a kereső mikrorasztere segítségével ellenőrizzük a képélességet. Sajnos a Mess-lupét csak akkor tudjuk használni, ha kiterjedt, fényes objektum is található a látómezőben (pl. Hold). Azt is meg kell említeni, hogy az olcsóbb gépeknél előfordulhat, hogy a reflextükör–filmsík, valamint a reflextükör–mattüveg távolság nem teljesen azonos. Vagyis amit mi a mattüvegen élesnek látunk, az a filmsíkban valójában életlen. Komolyabb fényképezőgépek elektronikus képélesség-visszajelzéssel vannak ellátva. A tapasztalatok szerint ezek segítségével többnyire tökéletes fókuszálás valósítható meg. Ilyen rendszer hiányában filmes gépekhez nagyon megbízható eszközt készíthetünk egy 8–10 mm fókuszu okulár, és egy 800-as porral felcsiszolt diaüveg segítségével. A diaüveg fényes felületére egy okulárkihuzatot ragasztunk, majd belehelyezve az okulárt, a diaüveg szemcséit minél pontosabban élesre állítjuk. Ezután fényképezőgépünk hátlapját kinyitva a diaüveget a negatív vájatába helyezzük, majd a gépet B időn kinyitjuk. Állítsunk egy viszonylag fényes objektumot a látómezőbe, majd addig fókuszírozzuk a távcsövünket, míg a mattüveg szemcséit és az objektumot egyszerre élesnek látjuk. Sajnos ezt a módszert csak töltetlen gépnél alkalmazhatjuk. Ezért filmbefűzés után már nem ajánlatos a fókuszírozót tekergetni. A mattüveges élesre állítást pontosabbá teheti a Hartmann-maszk alkalmazása (l. később).

CCD/digitális kamerák esetében sokkal egyszerűbb a helyzet, bármikor ellenőrizhetjük a kép élességét egy-egy tesztfelvételt készítve. Digitális fényképezőgép esetén a képvisszajátzás nagyításának mértéke, illetve az LCD felbontása nem mindig elegendő a tökéletes fókusz megállapítására. Hasznos lehet, ha közvetlenül számítógépre tudjuk tölteni a képet, és valamilyen képfeldolgozó programmal ellenőrizni a tesztfelvételek élességét.

CCD-kamerákhoz több vezérlőprogram nyújt fókusz üzemmódot, ezek használatkor azonban tartsuk szem előtt azt, hogy a légkör igen rövid időskálájú változásokat mutat. Válasszunk halványabb objektumot, aminél az 1–3 másodperces expozíciók esetében is a legfényesebb képpont a dinamikai tartomány kb. negyedét éri el a fókuszhoz közeli állapotban. egy adott fókuszbekállításnál legalább 4–5 képet készítsünk egymás után, s az ezeken látott csillagprofil és csúcsintenzitást fejben átlagoljuk, s ezután állítsunk kicsit a fókuszírozón. Webkamerák esetében adott a fókuszu üzemmód, de a légkör miatt szintén 4–5 másodpercet várjunk, mielőtt ismét állítanánk a fókuszírozón.

Nagyon eredményes a *Hartmann-maszk* használata, amit minden képrögzítő eljárás esetén jól használhatunk. A Hartmann-maszk az apertúrára helyezett sapka, melynek két átellenes szélén (esetleg a peremen, egymástól 120 fokra három db) kis, néhány cm-es kör alakú nyílások vannak. Működése rendkívül egyszerű. Mindaddig minden csillagnak a képét megkettőzve (háromszorozva) fogjuk látni, míg az élesség nem tökéletes. Hagyományos fényképezőgép használata esetén jelentősen növelhetjük az eljárás pontosságát, ha a mattüveges módszerrel együtt alkalmazzuk. Amennyiben a gépváz vagy a kamera könnyen, a fókusz elállítása nélkül levehető a távcsőről, akkor alkalmazhatjuk a parafokális okulár módszert is. Ehhez szükségünk lesz egy okulárra, valamint egy gyűrűre, amely az okulárkihuzatba illeszkedő palástján kotyogás nélkül mozgatható és egy csavar segítségével rögzíthető. A fent leírt módszerek valamelyikével állítsuk be az élességet, majd ezek után rögzítve a fókusz a gépváz vagy kamerafej helyére tegyünk fel egy toldatot, amely az okulár befogadását lehetővé teszi. Az okulárt behelyezve addig toljuk azt finoman befelé – anélkül, hogy hozzányúlnánk a fókuszírozóhoz –, amíg teljesen éles képet nem látunk. Ekkor rögzítsük az okulárt a kihuzatba, majd a kis gyűrűt addig toljuk az okuláron, míg neki nem ütközik a kihuzat végének. Ebben a pozícióban a kis oldalsó csavar segítségével rögzítsük az okulárhoz a gyűrűt. Ezután bármikor elővéve távcsövünket e kis rögzített gallérral ellátott okulárt a kihuzatba helyezve élesre állhatunk. Ezt nemcsak fókuszálásra használhatjuk, hanem egy objektum beállítására is.

A célpont látómezőbe állítása másként is megoldható: billenőtükör (amatőr körökben fénycsappantyú néven is ismert). Ennek az igen hasznos kis eszköznek talán egyetlen hátránya, hogy a fókusz és az objektív közti fényútból 5–10 cm-t is elvehet, s így nem használható minden fókuszírozóval. Elsősorban refraktorokhoz és Cassegrain-rendszerekhez használható. Segítségével a fókuszálás, az objektum beállítása, az exponálás rövid időre történő felfüggesztése (pl. hirtelen megerősödő szél miatt) könnyedén megvalósítható, s nem kell a kamerát eltávolítani a távcsőről. Az eszköz lelke egy síktükör, amely könnyedén a fényútba billenthető. Részletesebb leírás nélkül álljon itt egy rajz, mely egy Rózsa Ferenc tervezte „fénycsappantyú” szerkezetét szemlélteti (5.35. ábra). A megoldás előnye, hogy az exponálósínor segítségével anélkül mozgatható a tükör, hogy hozzáérnénk, s így meglöknénk a távcsövet. CCD-k esetén elsősorban az objektum beállításában jut nagy szerep a csappantyúnak, ez után ugyanis rendszerint nincs szükség a csappantyúra a kép készítése során. Így itt nem szükséges a tükör nagyon finom, exponálósínoros mozgatása, helyettesíthetjük azt valami egyszerűbb mechanikus szerkezettel.



5.35. ábra. Billenőtükör

Nagyobb méretű műszernél ajánlatos utána számolni a hőtágulásból eredő esetleges elfokuszálódás mértékének, vagy esetleg kísérletileg meghatározni azt. Fényerőtől függően, amennyiben ez az érték meghaladja a 0,1–0,3 mm-t, a fókuszírozón ajánlatos korrigálni. CCD-k esetében bármikor ellenőrizhetjük a fókuszváltozást, s interaktívan korrigálhatjuk is azt, hagyományos fotózás esetében kissé nehezebb

helyzetben vagyunk. A tubus hosszváltozását az alábbi képlet segítségével becsülhetjük meg:

$$\Delta L = \alpha \cdot (T_1 - T_0), \text{ ahol } \alpha_{Al} = 23,8 \cdot 10^{-6} \text{ 1/Kelvin}$$

Hasznos eszközt készíthetünk egy kis méretű mérőóra felhasználásával. Az órát rögzítjük a fókuszírozó fix részéhez, a tapintószárat pedig támasszuk egy mozgó peremhez. Így a számított, vagy az alábbi módon meghatározott fókuszkorrekciót pontosan elvégezhetjük. A fókuszváltozás méréséhez egy éjszaka elején hőmérő segítségével állapítsuk meg a hőmérsékletet, majd a lehető legpontosabban fókuszáljunk, s jegyezzük fel a mérőóra állását. Az éjszaka végén, hajnalban ismét fókuszáljunk, s olvassuk le a hőmérsékletet és a mérőórát. A kezdeti és végső értékekből meghatározhatjuk, mekkora hőmérsékletváltozás mekkora fókuszszíkeltolódást jelent, s ezt a későbbi éjszakákon a mérőóra segítségével korrigálhatjuk.

Színszűrők

Asztrofotózásban a szűrő általában az objektívnél kisebb méretű, és közvetlen a fókusz sík előtt kerül elhelyezésre. (Fotografikus objektíveket használva a szűrő kerülhet az objektív elé is.) A szűrő mérete és a fókusz síktól való távolsága tehát meghatározza a vignettálatlan látómező méretét. A szűrők hordozója többnyire üveg, s az összetartó fénykúpba helyezve ez megváltoztatja a fókusz távolságot: kb. a szűrő vastagságának felével megnöveli azt. Így tehát a szűrő nélkül élesre állított kép a szűrő behelyezésekor éleetlen lesz, s különböző vastagságú szűrők különböző mértékben módosítják a fókuszt. Célszerű tehát az adott szűrővel, vagy egy azzal egyező paraméterű tiszta üvegből készült „szűrővel” élesre állni. A legtöbb szűrő ún. interferenciaszűrő, ezeknél figyelni kell arra, hogy merőlegesen álljanak az optikai tengelyre, csak ekkor érhetjük el a megadott áteresztést. Nagyon fényerős műszereknél (f/3–f/5) ilyen szűrők használatakor a látómező szélei felé már kissé más lehet az áteresztés.

A *Ha* szűrők a hidrogén ún. Balmer-alfa vonalára, 656 nm-re vannak centrálva. Az Univerzumban a leggyakoribb elem a hidrogén, s szinte minden csillagászati objektum sugároz ebben a tartományban, de különböző intenzitással. Egy hidrogénfelhő sokkal markánsabban jelenik meg a csillagkörnyezetéhez képest ilyen szűrővel készített felvételeken. Mivel a szűrő általában keskeny sávban ereszt csak át, így az égi háttér fényessége is jelentősen lecsökken, az esetleges közeli fényszennyező források sem annyira zavaróak. Fekete-fehér képrögzítéshez nagyon hasznos segédeszköz. Az általában az égi háttérbe vesző Barnard-ív pl. könnyen megörökíthető még nagyvárosok közeléből is. A Nap protuberanciáinak megfigyelésére szolgáló eszköznek (l. A Nap c. fejezetet) egy ilyen szűrő a lelke.

A különféle sávszűrők (O-III, H-béta) valamint *fényszennyezést csökkentő szűrők* a fotografikus és a CCD-technikában is jól alkalmazhatóak. Ezen szűrőkről részletesen olvashat a T. Olvasó A mély ég világa c. fejezetben. A II.4 fejezetben tárgyalt színes CCD-képek készítésében e szűrőket használva igen látványos képek készíthetőek. Akár a valóságoshoz közeli színeket is elérhetünk (H β -t kéknek, O-III-at zöldnek, H α -t vörösnek használva), de tetszőleges szűrővel készült képet tetszőleges színca-tornába másolhatunk, ezek az ún. hamisszínes felvételek.

Az ún. *tricolor* képek esetén vörös, zöld és kék (Red, Green, Blue, RGB) vagy encián, bíbor és sárga (Cyan, Magenta, Yellow, CMY) szűrőkkel készült képeket használhatunk fel. Az 5.36. ábrán látható az egyes szűrők áteresztése. Jól megfigyelhető, hogy pl. a C szűrő az R komplementere a vizuális tartományon, s ez igaz az M-G és

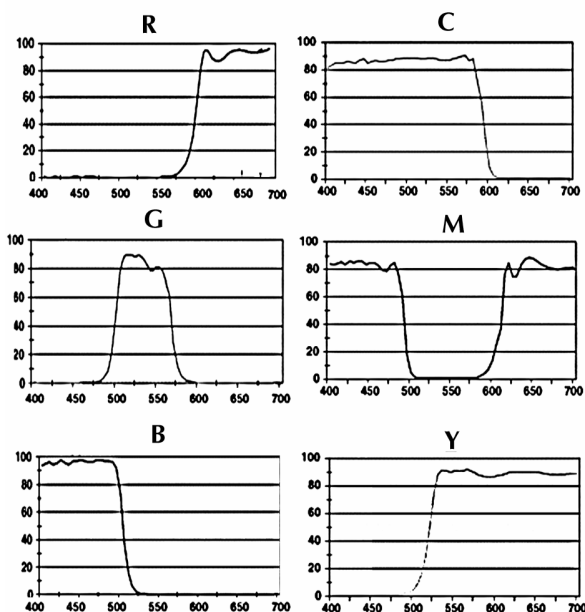
B-Y párokra is. Vagyis a CMY rendszer egyszerűen transzformálható RGB rendszerbe az alábbi egyenletek szerint:

$$R = Y + M - C; \quad G = Y + C - M; \quad B = C + M - Y.$$

Az RGB rendszer előnye, hogy az egyes szűrők áteresztése nagyon közel áll az emberi szem receptorainak színérzékenységehez. Hátránya viszont, hogy a csillagászati objektumok színeképe nem folytonos. Az egyik fontos vonal, az OIII pedig éppen abba a tartományba esik, ahol a B szűrő már nem nagyon, a G szűrő pedig még alig ereszt át. A CMY szűrői ugyanakkor átfednek, s az egyes képek egy-egy szűrő szélesebb áteresztési tartománya miatt rövidebb expozíciós időkkel is készíthetők, mint RGB szűrők esetén. Csakhogy ez az előny hátrány is egyben. A légkör ugyanis a különböző hullámhosszakon különbözőképpen szórja, nyeli el a fényt, s ez a horizont feletti magasságtól is függ. Ez érthetően befolyásolja a hosszabb expozíciós idők mellett készült, több képből összeállított végső kép színeit, mégpedig annál jobban, minél nagyobb az átfedés az egyes szűrők között. Ez az átfedés már eleve rontja az egyes színcsatornában készült képek közötti kontrasztot, eltérést, s ezt a légkör csak tovább torzítja. A CMY-ban készült képek tehát fakóbbak, színeik kevésbé élénkek, mint az RGB-ben készültké. (I. még II.4)

A *fénycsökkentő szűrők* a Nap fotózásánál jutnak szerephez (gyengébb szűrők esetleg a Hold vizuális megfigyelésében). E szűrőket úgy készítik, hogy nagyon vékony fóliára vagy plánparallel üveglemezre valamilyen fémet (alumínium, króm) párologtatnak. A fóliaszűrők sérülékenyek, nagyon gondos kezelést igényelnek, előnyük viszont, hogy a hordozó vékonysága miatt nem befolyásolják a leképezés minőségét, és viszonylag olcsók. Az üvegszűrők mechanikailag stabilabbak, azonban jóval drágábbak. Egy üveg hordozó esetében ugyanis nagyon pontosan síkpárhuzamosnak kell lennie a szűrőnek, különben lerontja a képminőséget. Az eddig említett szűrőkkel ellentétben ezek a napmegfigyelés során a fókusz sík közelében fellépő nagy hőterhelés miatt az objektív elé helyezendők. Nem szükséges a teljes apertúrával egyező méretű szűrő használata, a Hartmann-maszk (I. Fokuszálás c. alfejezet) nyílásaira helyezett szűrők esetén a műszer felbontása megmarad, és sokkal kisebb szűrők elegendők. Fotózáshoz sokkal nagyobb áteresztésűt kell választani, ugyanis a szem számára nem zavaró fény mennyiséget áteresztő szűrők túl hosszú expozíciós időt (1/60–1/250 s) követelnek. CCD-s, webkamerás napészleléshez többnyire a vizuálisan kényelmes szűrők is megfelelnek. Fénycsökkentésre alkalmazhatunk tükröző réteg nélküli sík üvegfelületet is, pl. a zenitprizmákhoz hasonló eszközt, ezáltal csak a fény mintegy 4%-a halad tovább a tiszta üvegfelületről.

Előfordulnak napmegfigyelésben még olyan interferenciaszűrők is, amelyek úgy érik el a fénycsökkentést, hogy csak egy nagyon keskeny, néhány, vagy néhányszor tíz nanométer széles sávban eresztenek át. (Vagyis hasonlítanak a már említett sáv-

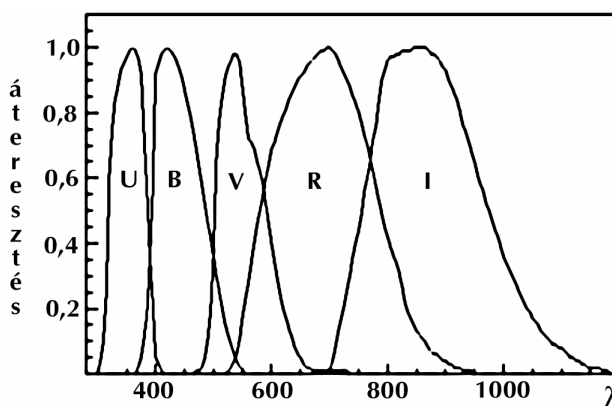


5.36. ábra. RGB és CMY szűrők áteresztése

szűrőkhöz, működési elvük is ugyanaz, csak más tartományokban és más célra használják ezeket.) E tartomány középső hullámhossza határozza meg, hogy milyen színű fény hatol át a szűrőn. Ezeket gyakran valamilyen speciális hullámhossznak választják, pl. a magnézium, nátrium vagy a kalcium valamilyen alapállapotbeli vagy ionizációs vonalára centrálva a szűrőt. E szűrők fénycsökkentése önmagában még nem elég, és a speciális gyártási technika miatt csak kis méretben gyárthatóak (vagyis csak a fókusz sík közelében használhatóak, ahol nagy a hőterhelés). Emiatt gyakran egy – önmagában még fotografikus észleléshez is sok fényt áttereszítő – enyhe előszűrést végző, az objektív elé helyezendő szűrőt is kell alkalmazni.

Polárszűrőket asztrofotós körökben ritkán használnak, pedig néhány objektum esetén meglepő képek készíthetők. Sajnos az expozíciós időt akár a duplájára is kell emelni e szűrők használata esetén, így inkább CCD-kamerák segítségével érdemes néhány objektumot polarizált fényben megörökíteni. A lineárisan polarizáló szűrő pl. 60 fokos elforgatásával készített képek érdekes struktúrákat hoznak elő pl. a Rák-ködből.

Fotometriai szűrőkből nagyon sokféle létezik, a legáltalánosabban elterjedt az ún. Johnson-féle UBVRI rendszer, illetve ennek a CCD-kamerák infravörös érzékenysége miatt korrigált, Cousins-féle UBVRI változat. (Ultraviolet, Blue, Visual, Red, Infrared – ultraibolya, kék, zöld, vörös, infravörös) Ilyen szűrőre akkor lehet szükségünk, ha tudományosan is értékelhető fényességadatokat szeretnénk kimérni (l. IV.8.).



5.37. ábra. A Johnson-féle UBVRI szűrők átteresztése

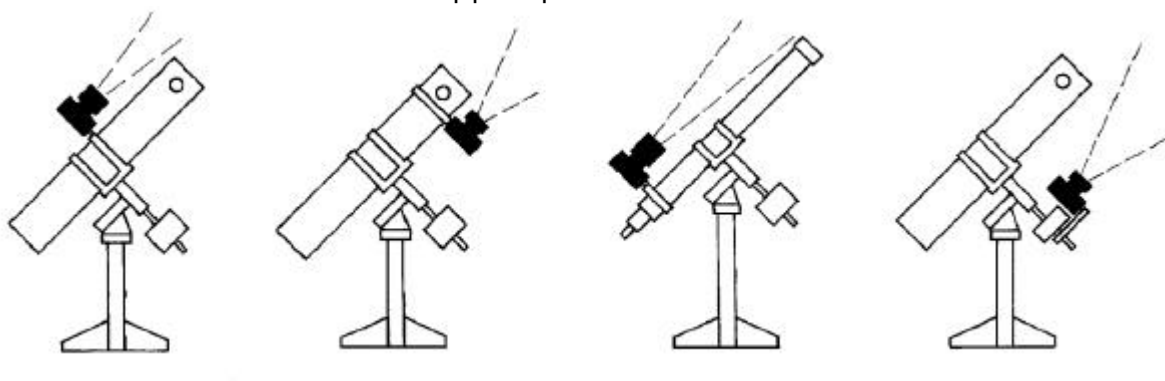
A *színkorrekciós szűrők* széles hullámhossztartományban engednek át, szinte mindenféle tartománybeli kapható. Feladatuk adott szín kihangsúlyozása, vagy épp eltompítása a többivel szemben. Fekete-fehér képrögzítésnél a hasonló denzitást adó színek (pl. vörös és zöld) szeparálására alkalmazhatóak, régebben elsősorban színes emulziók esetén használták e szűrőket. A világossárga szűrő pl. holdfotók esetén növeli a kontrasztot (párás időben) fekete-fehér filmek esetén, és csökkenti a refraktorok színszóródását. A bolygómegfigyelésről szóló fejezetben ismertetett szűrők fekete-fehér képrögzítés esetén ugyanolyan előnyöket nyújtanak, mint vizuális észlelésnél. A színkorrekciót kisebb mértékben ugyan, de létrehozhatjuk utólag is, dia- vagy video-kivetítésnél a vetítő objektívje elé helyezett szűrővel.

A *szűrőváltó* nagyon hasznos segédeszköz, ha többször változtatjuk a szűrőket, pl. színes CCD-felvételek készítésekor. A szűrőváltóval szemben azonban igen nagyok a követelmények a szűrők pozíciójának reprodukálhatóságát illetően. A visszaállítás pontosságának ugyanis a CCD-chip pixelének nagyságával összemérhetőnek kell lennie, ami 10–20 mikrométert jelent! Csak ekkor alkalmazható eredményesen a világoskép-korrekció (l. II.4.).

Mechanika, tubus

Az asztrofotózásra használható műszerrel szemben sokkal komolyabbak a mechanikai követelmények, mint a vizuális megfigyelésre használt távcső esetében. Mind a mechanika, mind a távcsőtubus kialakításában körültekintőbben kell eljárunk. Hosszabb expozíciós időnél, vagy nagyobb teleobjektívnél már elengedhetetlen a követés, mellyel az égbolt látszólagos elfordulását ellensúlyozzuk. Ez a finommozgatás lehet akár manuális, akár elektronikus, de ne feledjük, a nemritkán több órás expozíció nagyon próbára tudja tenni a fotóst. Nem lehetetlen az ilyen hosszú idejű kézi vezetés, de ma már szinte minden komolyabb mechanikát óragéppel látnak el. Ahogy növeljük a vezetni kívánt műszer fókuszát, egyre kritikusabbá válik a vezetés pontossága is. 500 mm-nél hosszabb fókuszú távcső vezetéséhez vezetőtávcső alkalmazása elengedhetetlen. Ennek segítségével vizuálisan (vagy egyszerűbb felépítésű, direkt vezetésre kialakított CCD-kamerával, webkamerával) kontrollálhatjuk óragépünk esetleges pontatlanságait, és azokat idejében korrigálni is tudjuk. Erről bővebben I. a Vezetés c. alfejezetet.

A távcsőmechanikának mindenképpen parallaktikusnak kell lennie, az azimutális



5.38. ábra. Fiahordó szerelés alap- és teleobjektívekhez

szerelés esetében egyrészt a kéttengelyes követés nehézkes volta, másrészt a látómező forgása jelent problémát.

A mechanikának finoman kell fordulnia a tengelyek mentén. Asztrofotózáshoz nem elegendő a csúszócsapágyas megoldás. Mindenképp csapággal, lehetőleg egymásnak előfeszített kúpgörgős csapággal ellátott mechanikát készítsünk vagy vásároljunk. A mechanika névleges terhelhetősége legyen kicsit nagyobb a hordozandó teljes felszerelés (főműszer, vezetőtávcső, esetleg fiahordó szerelésben elhelyezett teleobjektívek) tömegénél. A teljesen kihasznált, vagy túlterhelt mechanika apró fizikai behatásokra is (pl. gyenge széllekek) érzékenyen, nagy lengésekkel reagál. Az óragép lehetőleg minél kevesebb áttételt tartalmazzon, ez csökkenti a periodikus hiba fellépésének esélyét. Az óratengely hüvelyén mindenképp legyen finomállítási lehetőség, ami a pólusmagasság és az északi irány horizontális beállítását teszi lehetővé. Hasznos lehet a pólustávcső, azonban nem szükséges. A Távcsöves tudnivalók c. fejezetben megtalálhatóak a pólusra állásra vonatkozó ismeretek. Asztrofotózáshoz ajánlott a Scheiner-módszer, legalább 3–4 iterációs lépésben. A pólusra állásra ne sajnáljuk az időt, a jól vezetett asztrofotók titka nagyrészt ebben rejlik! A csigakerék és -orsó megfelelő anyagminőségére (bronz, ill. edzett acél) is legyünk figyelemmel, valamint ezek tökéletes, kotyogásmentes illesztésére. Gondosan egyensúlyozzuk ki a mechanikát, esetleg a tubusok hossz tengelye mentén is szükségünk lehet kisebb, pozicionálható súlyokra. Az állvány lehetőleg olyan magas legyen, hogy a vezetőtávcsőbe ülve tudjunk betekinteni, több egymás utáni expozí-

ció során nagyon fárasztó állva vezetni. Az alacsonyabb állvány egyébként nagyobb stabilitást is ad. Az állványt ne helyezzük puha talajra, vagy ha pl. háromlábát alkalmazunk, jól tapossuk be a lábakat a földbe. Egy esetleges eső során a fellazuló talajban ugyanis szinte biztos, hogy a fáradságosan beállított pólus teljesen elállítódik.

A *tubusok* tekintetében alapvető követelmény, hogy a fókuszsíknak elegendő távol kell lennie a tubustól. Az általában 40–50 mm-es mélységű gépvázat és az azt csatlakoztató adaptert ugyanis még el kell tudnunk helyezni a tubus és a fókuszsík közé. Fotografikus refraktor esetében csupán két dologra kell fokozottan odafigyelnünk. Az egyik a tubus falának megfelelő vastagsága, a másik pedig a fókuszírozó tökéletes szilárdsága. A nem megfelelően megválasztott falvastagságú tubus szinte bizonyos, hogy expozíció közben lehajlik, ezzel „csíkhúzás” felvételt eredményezve; csakúgy, mint a kotyogó, lötyögő fókuszírozó. Sokkal nehezebb a dolgunk, ha egy Newton-reflektort szeretnénk fotózásra alkalmassá tenni. Távcsőünk minden alkatrészének fokozottan stabilnak kell lennie. Akár a főtükr, akár a segédtükr legapróbb mozgása tönkretelheti felvételünket. Ezen optikák rögzítésénél kerülnünk a vizuális távcsőveknél jól bevált rugalmas ragasztást. A fókuszírozó esetében hasonlóképpen legyünk körültekintőek. Hiába van egy jól elkészített fókuszírozónk, ha az nincs megfelelően rögzítve a tubushoz. A fókuszírozó rádiuszát inkább egy kicsit kisebbre



5.39. ábra. Vezetőtávcső helyes rögzítése

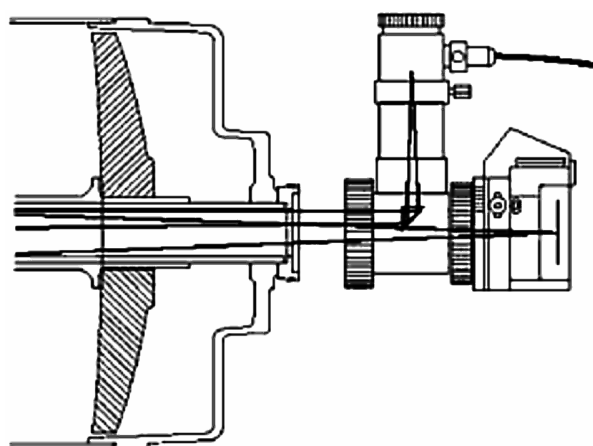
készítsük, így a rögzítőcsavarok behúzzák a tubust a görbületbe. Ha biztosra akarunk menni, akkor a fókuszírozóval átellenben stabil merevítőgyűrűt szereljük a tubusba.

A *vezetőtávcső tubusát* is igen stabilan kell elkészíteni és rögzíteni. A stabilitásra nincs konkrét recept, de általában elmondható, hogy a vezető tartó gyűrűt nem lehet túlméretezni. Erre azért kell fokozott figyelmet fordítani, mert ha expozíció közben a vezető és a főműszer pozíciója nem marad azonos, akkor hamis korrekciókat fogunk végezni. Persze ne feledjük, hogy hiába is van szupererős tartógyűrűnk, ha azt a főműszer tubusának vékony falára rögzítjük. Nagyobb átmérőjű távcsőveknél helyes megoldás, ha a vezető tartógyűrűjét a főműszer tubusgyűrűjére csavarozzuk. Természetesen kisebb refraktoroknál (pl. Zeiss-refraktorok) nem kell deformációtól tartanunk, mivel az átmérőhöz képest nagy a falvastagság. A vezető állíthatósága szintén fontos, hiszen ritka az a

tubusátmérőnél 2–4 cm-rel nagyobbra.) Sokan a gyönyörűen festett vezetőtávcső felületét megóvándó, az állító-rögzítő csavarok végére puha műanyagkupakokat tesznek. Ezek a kupakok ugyan megvédik a festést, de a távcső rögzítésekor terhelés alatt szinte kifolynak a tubus és a csavar közül, ezzel megváltoztatva a vezető és a főműszer egymáshoz viszonyított helyzetét. Komoly áldozat, de hagyjuk el a védőkupakokat.

Vezetés

A *vezetőtávcső nagyítását* úgy válasszuk meg, hogy az a főműszer fókuszának legalább hatoda legyen. Pl. egy 1200 mm fókuszu távcső vezetéséhez minimálisan 200x-os nagyítás szükséges. Téves az a nézet, miszerint a vezetőtávcső fókuszának hosszabbnak kell lenni, mint amilyen a vezetni kívánt műszer fókusza. Amennyiben nem érhetjük el a megfelelő nagyítást az adott okulárral, a vezető fókuszát nyújthatjuk pl. Barlow-lencsével (I. III., Fókusznyújtás és csökkentés).



5.40. ábra. Tengelyen kívüli (off-axis), sajátfókuszú vezetés segédeszköze

Nem kell feltétlenül vezetőtávcsövet alkalmazni, magát a fotózásra használt műszert is befoghatjuk vezetésre. Az ún. *sajátfókuszú vezetés* (vagy tengelyen kívüli, off-axis vezetés) lényege, hogy a detektor síkja előtt, de a detektorra vetülő fényt nem kitakarva, egy kis prizmat helyezünk el, s ennek segítségével kivezetjük a fény egy részét. Érdeemes a prizmat és az annak tartójához rögzített, a vezetőokulárt befogadó kihuzatot

dönthetővé elkészíteni, valamint az optikai tengely mentén szabad, de kotyogásmentes elforgatást engedő fókuszi-rozót használni. Erre azért van szükség, mert elég kicsi a prizma által adott látómező, s kis eséllyel találunk annak fix helyzetében vezetésre alkalmas csillagot. Az előbbi állítási lehetőségek birtokában viszont sokkal nagyobb valószínűséggel találunk vezetőcsillagot.

A *tényleges vezetésre számos módszer* létezik: vezethetünk a látómező peremére ültetett, extrafokált csillaggal. Ilyenkor a kör alakú csillag-kép torzulása jelzi, hogy órágépünk pontatlanul jár. E módszer hátránya, hogy csak bizonyos mértékű eltéréseket, és azokat is csak késve fogjuk észrevenni. A túlságosan felfújtt csillag képe meglehetősen fényzegény lesz, így csak fényes csillagokat tudunk használni. A fentebb ismertetett módszer továbbfejlesztett változata az, amikor egy egyszerű, megvilágítatlan szálkeresztrel látjuk el vezetőnk látómezejét. Ebben az esetben is extrafokális csillagot használunk, azonban, most nem kényszerülünk akkorára növelni a csillagunk képét, mint a vezetőokulár peremblendéje. Itt a csillag képét négy egyenlő részre osztjuk a szállal, és a legkisebb változást is azonnal korrigáljuk. A legkifinomultabb módszer az, amikor a vezetőtávcső szálkeresztjét valamilyen módon megvilágítjuk. Ekkor a túéles csillag-kép Airy-korongját állítjuk a szálak metszéspontjára. A szálkeresztet kétféleképpen tehetjük láthatóvá a látómezőben. Az egyszerűbben kivitelezhető módszer, amikor a vezetőtávcső nyílásába, az objektív elé egy apró fényforrást (LED, rizsszem-izzó stb.) helyezünk. Ilyenkor a halványan derengő lá-

tómező előtt sötét sziluettként válik láthatóvá a szál képe. Itt is elmondható, hogy a háttér világítása a látható csillagok határfényességét rontja. Bonyolultabb, de kétségkívül a legkomfortosabb, amikor a szálát világítjuk meg. Megjegyzendő, hogy érdemes mindkét esetben változtatható fényerejű fényforrást alkalmazni, így nem fordulhat elő, hogy a szál fényében eltűnik a vezetőcsillag. Jegyezzük meg, hogy szálmegvilágításra csak a karcolt vagy maratott szállemezek, vagy a szabad szálgyűrűk alkalmasak. Fotózott szállemezt csak háttérmegvilágítással lehet használni. Egy másik megoldás, hogy nem az okulárban helyezik el a fonálkeresztet, hanem egy speciális fényosztóval belevetítik azt. Előnye ennek a megoldásnak, hogy tetszőleges okulárt használhatunk.

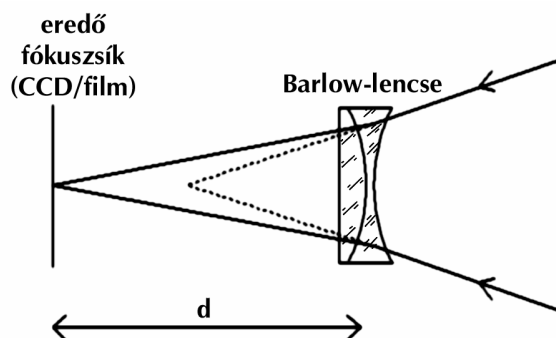
A CCD-kamerát nem csak képrögzítésre, de vezetésre is használhatjuk, sőt, kifejezetten csak e feladatra alkalmazható, olcsóbb *CCD-vezetők* (CCD-guider) is kaphatók. Ezek használatához azonban a mechanikának alkalmasnak kell lennie a vezérlőjelek fogadására. A vezetőcsillagot ekkor is a vezetőtávcső pozicionálásával, vizuálisan kell beállítani. Ezután inicializálni kell a rendszert, ami annyit tesz, hogy a távcső kismértékű elmozgatásával képeket készít a kamera, s ez alapján meghatározza a mozgás sebességét és a pixel/ívmásodperc léptéket. A korrigálási intervallumot a seeing miatt nem érdemes túl kicsire választani (5–10 másodperc optimális), s figyeljünk arra, hogy ne égjen be a vezetőcsillag képe, illetve túl halvány se legyen.

CCD-s képrögzítés esetén elegendő, ha az órágép néhány perces felvételek elkészítését engedi korrekció nélkül. (Egyes CCD-kamerák tartalmaznak egy beépített, esetleg külön kis kamerafejbe foglalt CCD-guidert is, pl. az SBIG ST-7 utáni modelljei.) A rövidebb expozíciójú képek utólagos összeadásával, átlagolásával ugyanis szinte „tetszőlegesen növelhetjük” az expozíciós időt. Megemlítendő azonban, hogy egyetlen hosszú expozíció alkalmazásakor csak egyszer jelenik meg a kiolvasási zaj, míg több kép átlagolásakor minden egyes kép terhelt e zajjal, és bár az is csökken az átlagolás során, 5x10 perc integráció mégsem teljesen azonos 50 perces egyszeri integrálással.

Hagyományos fotózás esetén a siker talán legfontosabb titka a jó vezetés. A jó vezetés titka pedig a tengernyi türelemben, a jó mechanikában, és a jó pólusra állásban rejlik. Talán meglepő a kijelentés, de ez utóbbi nem létezik. Hiába találjuk el óratengetyünkkel pontosan a pólust, bizonyos pozíciókban úgy fogjuk tapasztalni, a vezetőcsillag deklináció irányban „elmászik” a szálkeresztől. Belátható, hogy az ezt okozó refrakció akkor zavar a legkevésbé, amikor az objektum közel párhuzamosan halad a horizonttal. Érdemes úgy megtervezni éjszakai programunkat, hogy minden témánkat lehetőleg delelés idején fotózzuk, ilyenkor a légkör fényelnyelése is kisebb.

Fókusznyújtás és -csökkentés

A fókusz megváltoztatásának több módja van, minden esetben figyeljünk azonban arra, hogy a nyújtást/redukciót végző lencsetag megfelelő, a gyártó által megadott oldala nézzen a beérkező fény, vagyis az objektív felé. Ellenkező esetben a fellépő torzítások mértéke növekszik. Különösen igaz ez a fókusz-



5.41. ábra. Fókusznyújtás Barlow-lencsével

reduktorok esetén. Fókusznyújtás esetén további toldatokat kell a kihuzatra helyezni, amik tartalmazzák nyújtótagokat és ezektől megfelelő távolságban a detektort. Különösen ügyeljünk a kihuzat nagy szilárdságára, stabilitására, és a toldatok pontos, lehajlásmentes illeszkedésére. Projekció esetén kifejezetten ajánlott a felcsapágyazott (ún. Crayford) kihuzat alkalmazása.

A Barlow-lencse két, esetleg három tagú homorú, tehát szórólencse. Az objektívhez közelebb kell helyezni, mint az eredeti fókusz sík, a fókusznyújtás mértéke:

$$A = (d/f)+1,$$

ahol d a Barlow-lencse és a nyújtott fókusz síkjának a távolsága, f a nyújtó tag fókusza. d változtatásával tehát lehet a nyújtás mértékét változtatni. Ezt azonban ne vigyük túlzásba, egy „2x” feliratú Barlow-lencsével ne akarjunk 4–5 szörös nyújtást elérni. Az ilyen lencsét ugyanis adott nyújtáshoz tervezik, s a képminőség jelentős romlását okozza, ha ettől eltérő nyújtáshoz alkalmazzuk. Célszerű az eredeti, okulárkihuzatba illeszthető, és okulár befogadására alkalmas tokból eltávolítani a lencsét, s megfelelő, állítható tartót készíteni számára.

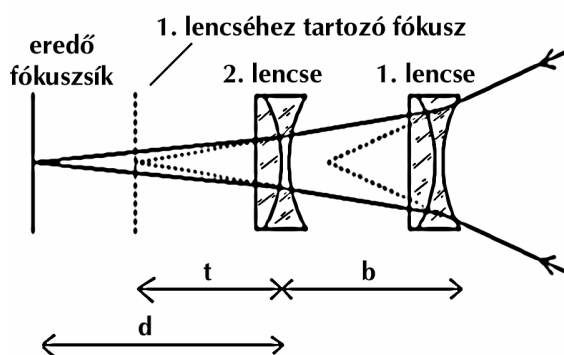
Az előbbi képlet egyszerűen átrendezhető d -re, így ismert távcsőhöz szükséges adott nyújtás esetén meghatározhatjuk a lencse távolságát a film vagy CCD síkjától. Csakhogy f nem minden esetben ismert, minthogy szórólencséről lévén szó, nem triviális meghatározása. Ehhez készítsünk egy ismert méretű objektumról képet (kettőscsillag, vagy meghatározott időre kikapcsolt óragép segítségével), egyet Barlow-lencse használatával, egyet anélkül. Mindkét esetben számítsuk ki a fókusz-távolságot az

$$F = 206 S/P$$

képlet segítségével, ahol P az objektum látszó szögátmérője ívmásodpercben, S pedig a fókusz síkban mért átmérő mikrométerben. (Ez utóbbit a pixelméret ismeretében, vagy a negatív mikroszkópos kimérésével határozhatjuk meg.) A két kapott fókuszérték hányadosa megadja a nyújtás mértékét, s ezek után már csak d távolságot kell lemérnünk, s így megkaphatjuk f -et, a nyújtó tag fókuszt.

Nagy nyújtások eléréséhez esetleg alkalmazhatunk két Barlow-lencsét egyszerre. Legyen most is a végleges, másodlagosan nyújtott fókusz sík távolsága a hozzá közelebbi (2. lencse) Barlow-lencsétől d , a két Barlow távolsága b , t pedig jelölje az elsődlegesen nyújtott fókusz sík távolságát a második Barlow-tól (5.43. ábra). Egy numerikus példán át mutatjuk be, miként is számolható az eredő nyújtás:

Vegyünk két, 76 mm fókuszu Barlow-lencsét, melyek $b = 50$ mm-re vannak egymástól. A második nyújtó tag és a detektor fókusza közötti távolság legyen $d = 100$ mm. A 2-es lencse nyújtása a már ismert képlet alapján $A_2 = (d/f)+1 = (100/76)+1 = 2,3x$. Ekkor $t = d/A_2 = 100/2,3 = 43$ mm. Az 1-es lencse és az elsődlegesen nyújtott fókusz sík távolsága $t+b = 43+50 = 93$ mm, vagyis az 1-es lencse nyújtása $A_1 = ((t+b) /$



5.42. ábra. Két Barlow-lencse alkalmazása nagymértékű nyújtáshoz

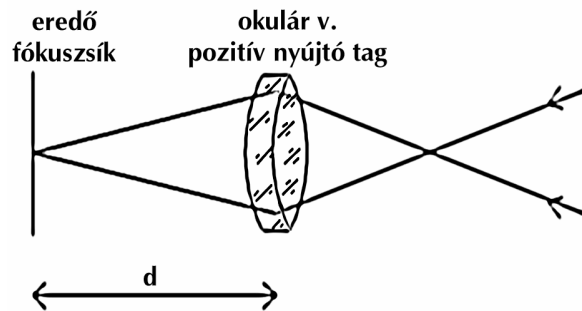
$f)+1 = (93/76)+1 = 2,2x$. Végül az eredő nyújtás a két nyújtás szorzata $A = A_1 \cdot A_2 = 2,3 \cdot 2,2 = 5,1x$.

Okulárprojekció esetén pozitív taggal végezzük a nyújtást, vagyis a lencsét az objektív elsődleges fókusza után helyezük el. Kézenfekvő, hogy okulárt használjunk, hiszen ez távcsövünk tartozéka-kaként kéznél van. Csakhogy az okulárokat úgy tervezték, hogy vizuális betekintés, vagyis párhuzamos kilépő nyáláb esetén adjanak torzításmentes képet. Projekció esetén pedig konvergens nyáláb lép ki, ami elengedhetetlenül aberrációk megjelenését vonja maga után. Ezek hatása csökkenthető, ha minél nagyobb nyújtást alkalmazunk (tipikusan $6x$, vagy ennél nagyobb). Plössl vagy ortho okulárt használjunk, 15–20 mm körüli fókusszal (rövidebbet a gyengébb nyújtáshoz). A nyújtás mértéke:

$$A = (d/f) - 1,$$

ahol d az okulár és a detektor síkjának távolsága, f pedig az okulár fókusza. Természetesen ez a módszer nemcsak okulárok esetén, hanem más pozitív, tehát gyűjtőlencsék esetén is működik. A mikroszkópos fotózáshoz kifejlesztett mikrofotó projektor-okulárok is kiválóan alkalmazhatók, az 1:4, 1:6,3, 1:8, 1:10 típusok a legkedvezőbbek. Ez azt jelenti, hogy az eredeti fókuszt 4–10-szeresére nyújtják, ha az okulár és a filmsík közötti távolság 16 cm. A mikroszkópopjektíves nyújtás előnye, hogy e lencsét pontosan arra tervezték, hogy síkot síkba képezzenek le, így a vetített kép szinte teljesen torzításmentes. Hátrány, hogy a megfelelő lencsék nehezen és drágán szerezhetőek be, illetve viszonylag kicsi lesz a látómező a nyújtó tag kis átmérője miatt. Tipikusan bolygózáshoz, kis központi kitakarású Newtonok esetén alkalmazható ez a módszer. A megfelelő objektívtípus a sík leképezést adó ún. plan-achromat vagy plan-apochromat. Az objektíven általában a következő adatokat tüntetik fel: típus, lupenagyítás/numerikus apertúra, tubushossz/fedőlemez; vagyis pl. Planachromat, 16x / 0,32, végtelen/–. A lupenagyítás (l_p) alapján az objektív fókuszát az $f = 250/l_p$ képlet adja. Számunkra a 10–20 mm közötti fókusz és a 0,8 alatti numerikus apertúra felel meg. A tubushossz azt adja meg, hogy milyen távolságban megjelenő kép esetén ad torzításmentes leképezést az objektív. Ez 160 mm körüli, de vannak végtelenre korrigált típusok is, azonban még ez utóbbiakkal is jobb eredményt érhetünk el, mint okulárokkal. Sok objektívet úgy terveznek, hogy figyelembe veszik a preparátumra helyezett fedőlemez vastagságát is. A mi céljainkra az ilyen jelölés nélküli, vagy „–” jellel ellátott objektívek felelnek meg. Léteznek ún. immerziós objektívek is, ezeken általában az „imm.” rövidítés és egy folyadék neve szerepel, azonban ezek sem felelnek meg okulárprojekcióhoz.

A *fókuszreduktorok* sokszor egyben *korrektorok* is, tehát nem csak a fókuszt csökkentik, hanem bizonyos, a megnövekedett fényerő miatt fellépő leképezési hibákat is korrigálnak. Ezekre is igaz, hogy csak meghatározott detektorsík-reduktor távolság mellett adják a névleges fókuszcsökkentést, és ettől nem tanácsos eltérni. Továbbá azt se felejtjük el, hogy egy Schmidt-Cassegrain-rendszerhez tervezett reduktor nem ad tökéletes képet egy refraktorral, és fordítva. Refraktorok esetében a *képgörbület-*



5.43. ábra. Okulárprojekció – fókusznyújtás pozitív lencsével

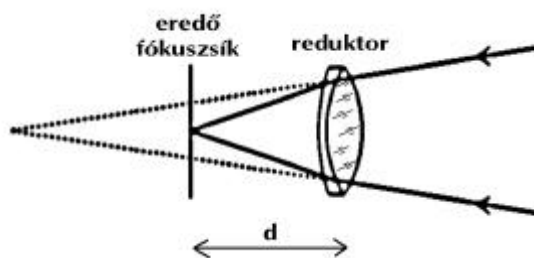
korrigáló (field-flattener) sokszor csak minimálisan változtat a fókuszon. Szerepe a közép- és nagyformátumú fotózásra korlátozódik, kisfilmes felvételeknél nem szükséges használata. E lencsék a nagy vignettátlan látómező miatt nagy átmérőjűek, s majdnem egy második objektívnek felelnek meg, árban is. Az egyszerűbb reduktorok is két- vagy háromtagú lencserendszerek, átmérőjük viszont jóval kisebb, s rendszerint sokkal közelebb helyezkednek el a detektorsíkhöz, mint a síkító lencsék. A redukció mértéke:

$$R = 1 - d/f,$$

ahol az eddigiekhez hasonlóan d a detektorsík-reduktor távolság, f pedig a korrekciós lencse fókusza. Pozitív lencséről lévén szó a gyújtótávolság könnyen mérhető.

Fókuszcsökkentés esetén soha ne feledkezzünk meg arról, hogy könnyen léphet fel vignettálódás. Egy megfelelően méretezett, árnyékolócsövekkel ellátott, $f/10$ -es Schmidt-Cassegrainből hiába is csinálunk $f/3,3$ -as műszert, legfeljebb 1 cm lesz a fókuszsíkban a vignettátlan látómező az eredeti 3 cm körüli értékkel szemben. Refraktorok és Newtonok esetében jobb a helyzet, de itt is számolnunk kell a vignettátlan látómező csökkenésével.

Használhatunk fotós telekonvertereket is. A nyújtás mértéke 1,8–3x, és ezt akkor adják, ha a konverter és a gépváz közé nem helyezünk el további közgyűrűket. Ez utóbbi esetben növelhető a nyújtás, de rohamosan romlik a képminőség.



5.44. ábra. Fókuszreduktor használata

Egyszerűbb számítások, táblázatok

A látómezőt adott chip- vagy filmméret (k) és fókusztávolság (F) esetén a következőképp számíthatjuk ki:

$$a = 2 \cdot \arctg(k/2F),$$

ahol k -t és F -et azonos egységben, pl. mm-ben megadva, a -t fokban kapjuk. Adott látszó átmérőjű *objektum képének nagyságát* az előző képlet alapján, annak átrendezése után kaphatjuk:

$$k = 2F \cdot \tg(a/2).$$

Amennyiben nem akarunk vagy épp nem tudunk tangenst számolni, úgy kisebb szögek esetén teljesen jó, nagyobb szögek esetén közelítő eredményt ad az alábbi egyenlet, ahol a jelölések magyarázata egyezik a fentiekkel:

$$k = a \cdot F/q.$$

q értéke attól függ, milyen egységben szeretnénk megkapni a végeredményt, fokra $q = 57,3$, ívpercre $q = 3438$, ívmásodpercre $q = 206\,265$. Hasonlóképpen a látómezőt is számíthatjuk arctg használata nélkül:

$$a = k \cdot q/F.$$

F (mm)	24	28	35	50	85	100	135	200	300
LM film (°)	74x53	65x46	54x38	40x27	24x16	20x14	15x10	10x7	7x5
LM APS (°)	50x35	43x30	36x25	26x18	16x11	13x9	10x7	7x5	5x3

Az alábbi táblázat 24x36 mm-es film, illetve APS méretű szenzor és különböző fókuszú objektívek esetén adja meg a látómező közelítő méretét:

Fontos tudni, mekkora a *feloldóképesség*, vagyis mi a legkisebb képen rögzíthető részlet mérete. Ez, mint említettük (I. II.1., II.2.), sok mindentől függ. Nem elég pusztán a távcső apertúrájának átmérőjét és a film/CCD feloldóképességét ismerni, nagyon sok múlik a kontraszton is. Az Encke-rés a Szaturnusz gyűrűjében pl. 0.05, mégis erős kontrasztja (közel 100%) miatt látható nagyon nyugodt időben 17–20 cm-es, jó minőségű refraktorral vagy kis központi kitakarású műszerrel. Átlagos bolygó-részlet esetén a kontraszt 20% körüli, vagyis két szomszédos részlet intenzitása ennyiben tér el egymáshoz viszonyítva. Ilyen kontraszt esetén sokkal kisebb mind a távcső, mind a detektor feloldóképessége. Sokat számít továbbá a feloldandó részlet alakja. Szabályosan ismétlődő világos-sötét csíkokat könnyebb megkülönböztetni, mint egy azonos periódussal ismétlődő, a csíkok szélességével azonos átmérőjű körökből álló sorozatot, ami azonban csak egyetlen oszlopból áll. És a légkörről se feledkezzünk meg. A feloldóképesség tehát:

$$R = \text{MAX} (r \cdot q / F ; 120 / D ; S),$$

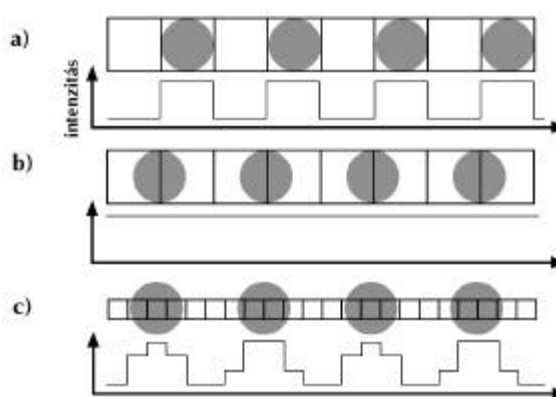
ahol r a CCD chip egy pixelének élhosszúsága mm-ben megadva, vagy film esetén a feloldóképesség vonal/mm-ben megadott értékének reciproka, f a fókusz távolság mm-ben, $q = 206\,265$, D a távcső átmérője mm-ben, S az ún. seeing-diszk (egy csillag légkör által elmosott, kiszélesített Airy-korongjának) átmérője ívmásodpercben. Az R feloldóképességet ívmásodpercben kifejezve a zárójelben szereplő három mennyiség legnagyobbika adja. Rövid expozíciók (század-tized másodperc) és erős kontraszt mellett S -et kevésbé kell figyelembe venni. Adott esetben a távcső átmérője által „megengedett” feloldásnál 5–10-szer kisebb részletek is lehetnek a képeken. Hosszabb expozíciók esetében pedig valószínűleg S lesz a meghatározó.

Amikor filmet vagy kamerát választunk távcsövünkhöz (esetleg fordítva), figyeljünk arra, hogy a detektort minél jobban kihasználjuk, vagyis annak feloldóképessége lehetőleg essen közel a távcső által adott feloldóképességhez. Az optika által átlagos kontrasztviszonyok (kb. 20%) mellett a legkisebb felbontott részlet l mérete a fókusz-síkban:

$$l = (F/D) / 1720,$$

ahol F a távcső fókusza, D pedig az átmérője, vagy ha úgy tetszik, az F/D fényerő számát. Pl. egy $F/D = 6$ fényerőjű távcső esetén a legkisebb feloldott részlet mérete mindössze 3,5 mikrométer, ami minden létező pixelméretnél és filmszemcsézetnél kisebb, vagyis igazából egyetlen detektor sem használja ki (még egyszer hangsúlyozzuk, hogy a csillagászatban, átlagos kontrasztviszonyok között) egy $f/6$ -os távcső optikai teljesítőképességét.

Amit mindenképpen meg kell még említenünk a feloldóképesség tárgyalása során, az a Shannon-féle mintavételezési tétel: Ha egy bizonyos jelet szeretnénk rögzíteni, akkor a mintavételezés sűrűbb kell hogy legyen, mint a rögzítendő jelben a legkisebb detektálni kívánt változás. Ezt jól



5.45. ábra. A Shannon-féle mintavételezési

szemlélteti az 5.45. ábra is. A pontsorozat alkotta jel (pl. azonos méretű, szabályosan ismétlődő légörvények a Jupiter légkö-rében) adott esetben teljesen élesen megjelenhet a CCD-képen is (a), de csak egy fél pixelnyi elcsúszás, s máris egyenletesen szürkévé mosódnak a részletek (b). A legkisebb megfigyelni kívánt részletet tehát legalább egyszerre két, de inkább három mintavételezési egységnek látnia kell (c), ekkor biztosan nem veszik el.

Állókamerás felvétel esetén a bemozdulás nélküli maximális expozíció függ a használt objektív fókuszától (F) és az objektum deklinációjától (D). Az alábbi képlet és táblázat átlagos filmfelbontás esetén érvényes, CCD-k esetén az időértékeket – az általában rosszabb fizikai feloldás miatt – másfélszeresére növelhetjük:

$$t = 1000 / (F \cdot \cos \Delta).$$

$D \setminus F$	28 mm	35 mm	50 mm	135 mm
0°–30°	22	18	13	5
30°–60°	50	40	25	9
60°–90°	67	53	42	14

Az elérhető határmagnitúdó szintén sok tényezőtől függ. Fotografikus téren léteznek tapasztalatokra épülő, közelítőleg jó becslést adó képletek. CCD esetében azonban még több a paraméter, nagyon sokat számít a CCD-chip és a kiolvasást végző elektronika zaja, s ez eléggé összetett számítást eredményez, amit itt hely hiányában nem részletezünk. Általános azonban az a megállapítás, hogy akkor tekintünk egy csillagot egyértelműen detektáltnak, ha az égi háttér intenzitásértékeit több ponton megmérve kiszámítjuk annak átlagértékét és szórását, akkor a csillaghoz tartozó maximális intenzitású képpont ezen átlagtól a háttér szórásának legalább háromszorosával magasabb, és a csillag képe nem egy pont (I. Shannon-féle mintavételezési tétel). Az optika fénygyűjtő képessége, vagyis az átmérő fontos tényezője az elérhető határmagnitúdónak. A fotográfia nem lineáris volta miatt nem érhető el az expozíciós idő növelésével tetszőleges határfényesség, az értékek konvergálnak adott távcső esetén egy határértékhez. CCD esetén viszont elegendően sok képet összeátlagolva a határfényességet rontó zaj szinte korlátlanul csökkenthető. Így pl. 40 cm-es távcsővel is lehet 24 magnitúdós csillagokat rögzíteni, igaz, ehhez több száz felvételt kell felhasználni, melyek együttesen 42 órás expozíciónak felelnek meg. CCD esetében tehát szó szerint határ a csillagos ég (a légköri fénylés, állatövi fény, galaktikus és intergalaktikus háttérfény szabja meg a határmagnitúdót), fotoemulzió esetén pedig az alábbi képlet ad támpontot:

$$M = 4,4 + 5 \cdot \log D + 2 \cdot \log T - \log F + 2,5 \cdot \log (S/800),$$

ahol M az elérhető határfényesség magnitúdóban, T az expozíciós idő percben, D és F az objektív fókusza és átmérője centiméterben, S pedig a film/digitális érzékenysége ASA-ban kifejezve. Az alábbi táblázat különböző fotografikus objektívek esetén ad meg tájékoztató értékeket, 800 ASA érzékenység és 1 perc expozíció, valamint sötét ég, 6 α 5 vizuális határfényesség mellett.

f (mm)	24	35	50	85	100	135	200	300	400	500
f/1,4	9,2	9,8	10,5	11,4	–	–	–	–	–	–
f/2	8,4	9,1	9,7	10,6	10,9	11,4	–	–	–	–
f/2,8	7,7	8,3	9,0	9,9	10,2	10,7	11,4	–	–	–
f/4	6,9	7,6	8,2	9,1	9,4	9,9	10,6	11,3	–	–
f/5,6	–	–	–	–	–	–	9,9	10,6	11,1	11,5
f/8	–	–	–	–	–	–	–	9,8	10,3	10,7

Az alábbi táblázatok az imént megadott – még egyszer hangsúlyozzuk, csak tájékoztató jellegű – határmagnitúdó értékeket alapul véve különböző érzékenységű filmek és más expozíciós idők, illetve eltérő horizont feletti magasságok esetén fellépő korrekciókat adják meg. (A jobb oldali táblázatban *s* azt mutatja meg, hogy egy zenitbeli expozíciós időt hányszorosra kell növelni adott horizont feletti magasságban, hogy ugyanakkora határfényességet érjünk el.)

S (ASA)	M (mag)
50	-3,0
100	-2,3
200	-1,5
400	-0,8
800	0
1600	+0,8
3200	+1,5

T (perc)	M (mag)
0,2	-1,6
0,5	-0,6
1	0
2	+0,6
5	+1,4
10	+2,0
20	+2,6

A (°)	M (mag)	s
10	-1,15	2,9
20	-0,58	1,7
30	-0,40	1,4
40	-0,31	1,3
50	-0,26	1,3
60	-0,23	1,2
70	-0,20	1,2

Csillagok esetében a határmagnitúdó nem a fényerőtől függ! Egy 20 cm-es távcső ugyanannyi fényt gyűjt össze, legyen akár 20, akár 200 cm a fókusza. A fényerő kiterjedt objektumok fotózásánál jelentős tényező. Kétszer akkora fókusz esetén ugyanis a detektor egy egységnyi felületére négyszer kevesebb fény jut. Kiterjedt objektumok esetén tehát előnyösebb a fényerős műszer, azonban ekkor az égi háttérfényesség is hasonló arányban megnövekszik, tehát csökken *a maximálisan alkalmazható expozíció hossza (t)* is. Ezt az alábbi képlet ill. táblázat alapján becsülhetjük meg, mely *t* értékét percben adja 60s szabadszemes hmg mellett:

$$t = 1,5 \cdot (F/D)^{2,5} \cdot (800/S)^{1,25}$$

ASA	f/1,4	f/2	f/2,8	f/4	f/5,6	f/8
50	1>50	4>30	10>30	-	-	-
100	45	1>55	4>25	10>45	-	-
200	20	50	1>50	4>30	10>30	-
400	8	20	45	1>55	4>25	10>45
800	3	8	20	50	1>50	4>30
1600	1,5	4	8	20	45	1>55
3200	0,5	1,5	3	8	20	50

Gyakran előforduló hibák – amit mindenképp ellenőrizzünk fotózás előtt!

Talán elmosolyodunk az alábbiak egyikén-másikán, mégis, a tapasztalatok azt mutatják, nem árt, ha számolunk ezekkel a talán abszurdnak tűnő lehetőségekkel. Fotózás esetén ellenőrizzük:

- van-e film a gépben, avagy digitális adattároló, s azon elegendő hely;
- digitális fényképezőgép esetén RAW formátum-e a beállított;
- a használt elemek/akkumulátorok töltöttsége megfelelő-e;
- teleobjektív esetében a kívánt (általában teljesen nyitott) blendenyílásra van-e állítva az objektív;
- B időn áll-e a zárszerkezet;
- eltávolítottuk-e az objektívsapkát, a Hartmann-maszkot;

- nem kezd-e párásodni az objektív;
- a vezetősíllag megválasztásakor gondoljunk arra, hogy ami első pillantásra még elégséges fényességű a vezetéshez, nagyon fárasztó lehet az 50. percben;
- az expozíció kezdetekor kényelmesnek érzett testhelyzet szinte biztos, hogy az egyórás expozíció vége felé már kényelmetlen lesz. A széket mindig úgy helyezzük el, hogy az egész expozíció alatt kényelmes legyen;
- néha ellenőrizzük az objektívet, nem párásodott-e be;
- napközben szereljük le távcsövünkről a fényképezőgépet, és tegyük sötét, hűvös helyre. Amennyiben ezt nem tudjuk megtenni, a filmes gépet alaposan burkoljuk alufóliába.

CCD-s szemmel nézve pedig az alábbiakra figyeljünk:

- minden kábelt megfelelően csatlakoztattunk-e;
- levettük-e a fókuszáláshoz használt Hartman-maszkot;
- eltávolítottuk-e a fényútból az objektum beállítása után a csappantyú tükrét;
- van-e elég hely a winchesteren a képek elmentéséhez;
- valós értéket mutat-e a számítógép belső órája (idő és dátum);
- néha ellenőrizzük az objektívet, illetve a kamera ablakát, nem párásodtak-e be időközben.

Akármilyen eszközt használunk képrögzítésre, sokat veszít a felvétel az értékéből, ha nem jegyezzük fel a kép készítésének körülményeit. Ezt CCD esetén általában a kamerát vezérlő szoftver megteszi, digitális fényképezőgépeknél is van legalább a készítés időpontjáról információnk, és az elmentett kép tartalmazza ezeket az adatokat is. Ekkor sem árt azonban egy kis jegyzetfüzetbe, vagy egy fájlba elmenteni, lejegyezni az alábbiakat: **objektum; film esetén a képkocka száma; dátum; az exp. kezdete; az exp. hossza; optika; a használt film/digitális gépnél beállítások; az égbolt jellemzői** (átlátszóság, nyugodtság, páratartalom becslése); **a használt szűrő; esetleges egyedi történések feljegyzése** (pl. átúszott exp. alatt egy felhő stb.).

IV. Az egyes objektumtípusok megörökítése

IV.1. Csillagképek, együttállások, meteorok – állókamerás, alapobjektíves felvételek, vezetés egyszerűen

A III. fejezet végén (Egyszerű számítások, táblázatok) található képlet, illetve táblázat segítségével kiszámíthatjuk, hogy adott fókuszú objektív esetén mekkora az a maximális expozíciós idő, ami mellett még nem mozdulnak be a csillagok álló kamera esetén. Sokszor azonban a bemozdult, több perces expozícióval készített, „csíkhúzás” képek is igen impozánsak. Szintén az előbbi helyen megtalálható módon meghatározhatjuk a LM nagyságát is. E területen, ahol a nagy látómező a cél, a hagyományos fotografikus technika mellett a mai digitális kamerák (elsősorban SLR) is eredményesen alkalmazhatók.

Egyes csillagképek, bolygóegyüttállások, fényes üstökösök, állatövi és sarki fények nagyon szépen megörökíthetők álló kamerával, nagylátószögű vagy alapobjektívvel, az előbbi esetén hosszabb expozíciót alkalmazhatunk. Ehhez érzékenyebb filmet/beállítást (400–1600 ASA) érdemes használni. Nagyon szép képeket készíthetünk színes diára is: meglepően sok csillag lesz a képen, hiszen a film a legelső pár másodpercben dolgozik a legeredményesebben. Ezért hasznos a képmező méretének ismerete.