



Távcsőkészítés

A távcsövek teljesítőképességét befolyásoló tényezők

A különféle távcsövek összehasonlítása örökzöld téma. Vannak akik a „tükrös a lencsés ellen” típusú vitákat kedvelik, mások megelégszenek azonos jellegű műszerek összevetésével. Ezúttal egy újabb — heves indulatoktól táplált — szubjektív kiromlás helyett a műszerek összehasonlításakor felmerülő objektív szempontokat foglalom össze. Az alábbi felsorolás egyben bizonyos fontossági sorrendet is jelent.

Jusztírozás

A mindenkori nyári MCSE hét alkalmából kiállított reflektorokba pillantva szinte minden esetben azonnal feltűnik a jusztírozás hiányossága. A rosszul beállított optikai elemek a keletkező nem pontszerű leképezés miatt rontják a határmagnitúdót és a kontrasztot. Ez elsősorban a milliméterben mért átmérő értékénél nagyobb nagyítás alkalmazásakor feltűnő. A lencsés távcsövek képalkotása is érzékeny a jusztírozásra, de jellemzően kisebb méreteik és egyszerűbb mechanikai felépítésük miatt a gyakorlatban ritkább a durva hiba.

Az optikák középpontos elhelyezkedése és megfelelő döntése mellett az *okulárkihuzat* optikai tengelyre merőleges (vagy éppen párhuzamos) és központos beállítása is nagyon fontos. Mindenkinek javaslom az ún. **benézőcső**¹ használatát, ami a pusztá szemmel végzettnél nagyságrenddel pontosabb jusztírozást tesz lehetővé.

Itt kell felhívnom a figyelmet annak az elterjedt nézetnek téves voltára, mely szerint a Cassegrain-távcső segédtükre tetszőleges távolságban lehet a főtükörtől. Valójában a segédtükör mozgatása nem csak az effektív fókusz távolság, hanem a *képalakítási hibák* (elsősorban a szférikus aberráció) és persze, adott árnyékolócsövek mellett, a vignettálás mértékének változását is eredményezi [1]! A félreértés forrásai A távcső világa [2] illetve az abban leírtakhoz hasonló egyszerűsített számításokat közreadó egyéb cikkek lehetnek, melyek nem említik az optikai rendszer képalkotási hibái optimalizálásának fontosságát [3]. Az említett nézet ahhoz hasonlatos, amikor egytagú lencsétől várunk tökéletes leképezést a fókuszat a görbületi sugarakból megadó képlet alapján!

A jusztírozás kérdésköréhez áll talán a legközelebb az optikai elemek *foglalásának* problémája. A jó foglalásban az optika nem szorul, hanem századmilliméteres hézaggal illeszkedik. Ezt a pontosságot nehéz amatőr körülmények között megvalósítani, az üveg és a foglalat hőtágulásának összehangolásáról nem is beszélve. Jobb megol-

¹A benézőcső egy célszerűen kb. 250 mm hosszú, okulárkihuzatba illeszthető cső. Szem felőli végén 2 mm átmérőjű központos furat, másik végén szálkereszt van.

dás a tizedmillimétert kotyogó befogás, mint bármekkora szorítás. A beszorított és emiatt deformálódott optika képkalkotására jellemző a halvány szellemkép és/vagy a torzult extrafokális diffrakciós kép, ami jelentősen rontja a kontrasztot.

Az optikai felület pontossága

E fogalom alatt az optika felületének egy bizonyos (forgás)felülettől való eltérését szokták érteni. Mértékegysége legtöbbször a sárgászöld fény hullámhossza. A mérés mikéntje azonban korántsem egyértelmű! A mérés egyik lehetséges módja a következő: Adott egy felület, melyen mérhetjük n db felületelem fókuszát. A mért n értékből és a mért felületelemek optikai tengelyéhez viszonyított pozíciójából kiszámíthatjuk a felületnek egy tetszőleges forgásfelülettől való eltérését. A számítás eredménye azonban adott optika és mérőeszköz esetén függ a felületelemek számától, helyzetétől és a választott forgásfelülettől, továbbá a megadási módjával is manipulálható az eredmény. Az alábbi megadási módok terjedtek el:

a) Csúcs-völgy (P-V) hiba. Az optikai felületnek a hasonlítás alapjául szolgáló forgásfelülettől pozitív és negatív irányban mért maximális eltérésének összege. Mivel a visszaverődött fény hullámfrontjában a felület hibái kettőzve jelentkeznek, tükrök interferométeres vizsgálata esetében ez a mérőszám a (legtöbbször tévesen értelmezett) *hullámfront hiba* fele.

b) \pm hiba. Ez az előbbi (P-V) hiba mérőszám fele.

c) Szóráshiba (RMS-Root Mean Square). A mért n felületelem hasonlítási felülettől való eltérésének szórása. Mérőszáma általában a P-V hiba, statisztikai szóhasználatnál a terjedelem ötöde-hatoda körüli érték.

d) Hullámfront hiba. Ezzel a számmal elsősorban összetett optikai rendszereket célszerű jellemezni. Értéke a rendszeren áthaladt síkhullám hullámfrontjának maximális torzulása a fókuszokban. Erre vonatkozik a *Rayleigh-küszöb* [1], amely $\lambda/4$ értéket jelöl meg a diffrakcióhatárolt képkalkotás minimális követelményeként. Összetett rendszer esetén, amilyen a legtöbb tükrös távcső, a felületek hibái, és így a hullámfront hiba is, összeadódnak. A sugármenetet nyújtó tag által keltett hullámfront torzulás a nyújtás arányában [1] érvényesül! Az összeadódást azonban nem matematikai pontossággal kell elképzelni: inkább interferencia jelenségről van szó, ahol az optikai felület és a fókuszok között a hullámfront eredő torzulását nem lehet számitással pontosan nyomon követni.

Bár kétségtelen, hogy az optikai felület hibája hozzájárul, illetve az optikai tengely közvetlen közelében elsősorban az felelős a hullámfront torzulásáért, mégsem lehet pontos mennyiségi összefüggést felállítani a felület és a hullámfront alakja között! Erre csak az interferometriában alkalmazott koherens fénynyaláb esetében van fizikai alap. Csak a teljes rendszer csillagtesztje során állapítható meg, hogy az interferométerrel adott hibával terheltnek mért optika milyen leképezést nyújt. Ennek ellenére gyakran adják meg a tükrök minőségét hullámfront hibában.

Látható, hogy az amatőröket szolgáló optikai cégek hirdetéseiben gyakran olvasható $\lambda/10$ pontosság értelmezése a megadási mód közlése nélkül bizonytalan, bár az optikai szakemberek általában P-V hibát értenek alatta! Sajnos az amatőr csillagásznak ritkán van lehetősége ellenőrizni a hirdetésekben szereplő állításokat, és ezt tisztességtelen módon egyes cégek ki is használják.

Központi kitakarás

A központi kitakarással rendelkező műszerek több fényt juttatnak a diffrakciós gyűrűkbe, mint a kitakarás nélküliek [1]. Ez és a következményként fellépő kontraszt- illetve határmagnitúdó-romlás vitathatatlan tény, de a kitakarás mértéke és a kép kontrasztja között pontos összefüggést felállítani csak az ún. optikai átviteli függvény mérésével vagy számítógépes szimulációval lehet. Még ekkor is hátra marad a kontraszt optikában használatos mérőszám és a szemmel érzékelt — szubjektív — látvány összehasonlításának feladata!

A központi kitakarás következtében az Airy-korongba kevesebb, a diffrakciós gyűrűkbe több fény jut. Kis nagyítás használatakor a pontszerű forrás képe felbonthatlan, de erősebb nagyítás már leválasztja a diffrakciós gyűrűk fényét, ami így elvész. Az ebből eredő határmagnitúdó romlás, a kitakarás arányától függően, néhány tized magnitúdó. 20%-os központi kitakarás esetén például 0,3 magnitúdó.

A központi kitakaráshoz hasonlóan kontrasztcsökkentő hatással jár a tubus faláról vagy közvetlenül az égről az okulárkihuzatba jutó fény, mert növelve a háttérfényeséget, csökkenti a kontrasztot. Nem árt tudni, hogy sűrűlő fényben a gyakran használt fekete walkyd festék kb. százszor jobb visszaverő, mint a fekete (kord) bárnyó [3]. Merőlegeshez közeli beesési szög esetén mindenképp nagyobb az elnyelés, ezért szoktak a tubusba diffragmákat (árnyékoló gyűrű) elhelyezni. Newton-távcsövek gyakori hibája, hogy az okulárkihuzat túl közel van a tubusvéghez, és így sok szórt, vagy esetleg közvetlen szennyező fény jut az okulárba. Cassegrain-távcsöveknél nagyon fontos az árnyékolás helyes tervezése, mert itt a látómező vignettálása sokszor elkerülhetetlen, de természetesen a szükséges minimális érték találgatással nehezen érhető el!

Fényhasznosítás

Antireflexiós réteggel bevont lencse (a réteg minőségétől függően) a beeső fénynek kb. 98–99,5%-át engedi át. Egy friss tükröző bevonat a beeső fénynek mintegy 90–98%-át veri vissza [4], [5]. Ezek a számok a vizuális hullámhossztartományra vonatkozó átlagos értékek. A nem megfelelően védett tükröző bevonatok reflexiós képessége hamar romlik.

Mivel a visszaverődés vagy fénytörés során fellépő veszteség azonos mértékben csökkenti a vizsgált égitestről és az égi háttérből származó fényt, a kontraszt változatlan marad, csak a határmagnitúdó romlik. Reflektorok esetében azonban a tubusba közvetlenül az égről jutó, szóródó fény változatlan, és ezért viszonylag erősebb, ha a visszaverődéskor több fény vész el.

Lássunk egy példát a reflektor és refraktor számszerű összehasonlítására a fényhasznosítás szempontjából!

A reflektor jellemzői: Főtükör átmérője: $D = 20$ cm, Segédtükrő kistengelye: $a = 4$ cm, Tükröző felületek visszaverőképessége: 95% A fénygyűjtő felület a főtükör segédtükrő optikai tengelybe eső vetületével csökkentett felülete:

$$A_f = (D/2)^2 \cdot \pi - (a/2)^2 \cdot \pi = 314,0 \text{ cm}^2 - 4\pi = 301,44 \text{ cm}^2$$

A fénygyűjtő felületnek kétszer (fő- és segédtükrő) véve a 95%-át kapjuk az egyenértékű felületet:

$$A_r = A_f \cdot 0,95^2 = 272 \text{ cm}^2$$

Ebből az egyenértékű átmérő:

$$D_e = 2 \cdot \sqrt{A_e / \pi} = 18,6 \text{ cm.}$$

Az **egyenértékű átmérő** annak az elméleti, 100%-os fényhasznosítású, távcsőnek az objektívátmérője, amelyik ugyanannyi fényt gyűjt, mint a kérdéses valódi távcső. Számítsuk ki annak a 98%-os fényhasznosítású refraktornak az objektív átmérőjét, amelynek a reflektorával azonos az egyenértékű átmérője! A refraktor egyenértékű felülete:

$$A_e = (D / 2)^2 \cdot \pi \cdot 0,98 = 272 \text{ cm}^2$$

Ebből az átmérő:

$$D = 2 \cdot \sqrt{A_e / 0,98 \cdot \pi} = 18,8 \text{ cm.}$$

A példában szereplő tükrő 95%-os reflexiós képessége egy korszerű alumínium-bevonatra jellemző érték, az amatőr tulajdonban levő műszerek többségére a 90% is optimista becslés! Az utóbbi esetben a reflektorral a fenti szempontból egyenértékű refraktor átmérője 17,8 cm.

Hangsúlyozandó, hogy ez a számítás nem veszi figyelembe a kétféle optikai rendszer közötti **kontrasztkülönbséget**. Az előbbi hiányossága miatt nem alkalmas az azonos hullámfront hibájú és átmérőjű reflektor és refraktor elméleti határmagnitúdó különbségének pontos számítására, bár annak nagy részéért az eltérő fényhasznosítás felelős. Jobb közelítést kapunk, ha a diffrakciós gyűrűk intenzitásának a kitakarás mértékétől függő változását is figyelembe vesszük. Természetesen a számítás csak a látómező **vignettátlan** részére érvényes!

A fenti paraméterekkel rendelkező 20 cm-es reflektor és azonos objektívátmérőjű, 98% fényhasznosítású lencse között a fényhasznosítást és a központi kitakarást figyelembe véve 0,32 határmagnitúdó különbség adódik a következő [2] összefüggést használva:

$$\Delta m = 2,5 \cdot \log \frac{A_{r2} \cdot I_2}{A_{r1} \cdot I_1}, \text{ ahol}$$

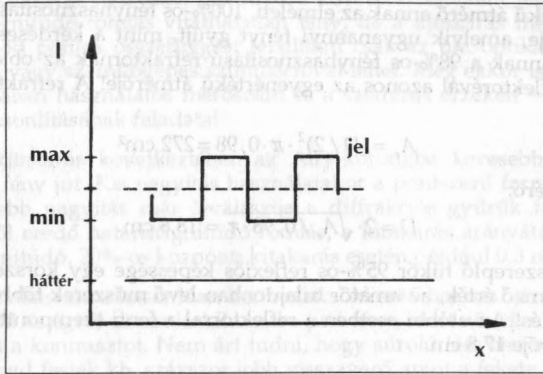
a számlálóban a lencse effektív felülete és az Airy-korong relatív intenzitása áll, míg a nevezőben a tükrös rendszer megfelelő adatai.

Közismert, hogy a bolygóészlelők számára elsőrendű szempont a kép kontrasztja. De mit is értünk **kontraszt** alatt? Az idealizált optika a leképezett (kiterjedt) tárgy intenzitásvizonyait eredeti formájában állítja elő a képsíkon, egészen az elméleti felbontóképesség határáig, ahol minden részlet hirtelen eltűnik. A valóságos optikák az intenzitásámeneteket a felbontóképesség határához közeledve egyre jobban elmosás, azaz a kép kontrasztja a tárgynál gyengébb lesz. Ennek okai a következők:

- a valóságos optikákat terhelő képalkotási hibák (pl. színi hiba, kóma),
- az optikai felületek megmunkálásának pontatlanságai, a jusztirozás tökéletlensége,
- az optikák felületén és a tubusban szóródó fény,
- központi kitakarás.

Az 1. ábra a kontraszt értelmezését mutatja. A diagramon a kép intenzitása a hely függvényében van feltüntetve. A kontraszt definíció szerint:

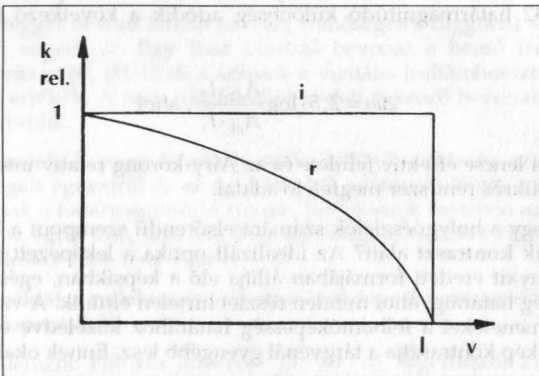
$$k = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$



1. ábra. A kontraszt értelmezése

Könyven belátható, hogy a háttérintenzitás növelésével a kontraszt csökken, mert a számláló változatlan marad, a nevező növekszik!

A 2. ábra a kontrasztátvitel alakulását mutatja a térfrekvencia (vonalsűrűség) függvényében. A függőleges tengelyen a tárgy és a képén mérhető kontraszt hányadosa, a relatív kontraszt van feltüntetve.



2. ábra. Kontrasztátvitel

Az ideális (i) optika a tárgy kontrasztját gyengítés nélkül adja vissza a képen, egészen a felbontóképesség határáig (l). A valódi optikák kontrasztátvitelő képességét az r jelű görbe jellemzi.

Folytatás a 29. oldalon!