



Távcsőkészítés

Az apokromátok alternatívája: a ferdetükrös távcső

Az utóbbi években viszonylag sok írás jelent meg az apokromátok különféle típusairól, összehasonlítva őket rendszerint egy hasonló méretű Newton-távcsővel. Ezeknek a cikkeknek többnyire az volt a végső kicsengése — nem is alaptalanul — hogy az apokromatikus objektívvel szerelt távcső a Távcső, és a központi kitakarással rendelkező optika (Newton, Cassegrain stb.) csak a segédtükrő méretének minimalizálásával válik valamennyire versenyképessé az apokromáttal szemben.

Természetesen, ha csak az a cél, hogy minél halványabb csillagokat, galaxisokat pillantsunk meg, akkor a tükrő előbb-utóbb győzedelmeskedik a lencse felett annak ellenére, hogy a kontraszt ezen az észlelési területen is fontos tényező marad. Egészen más a helyzet, ha egy bolygón akarunk finom, halvány részleteket megfigyelni, amikor a tükrő átmérőjének növelése már nem célravezető, mert a nagyobb átmérőjű optika fokozottan érzékeny a földi légkör turbulenciájára.

A hazai amatőr csillagászat hőskorában, 20–30 évvel ezelőtt a távcsövek kontraszt-tényezője nem volt szempont a köztudatban, inkább az a nézet uralkodott, hogy a kb. 60%-os központi kitakarásnak is csupán annyi hatása van a leképezésre, hogy némi fényvesztést okoz. Készültek is kvázi-Cassegrain távcsövek, amelyek mégsem váltották be a hozzájuk fűzött reményeket.

Voltak olyan amatőrök, akik inkább észleltek 80/1200-as Zeiss lencsével, mint 300/2000-es tükrőrel. Erre az az egyszerű magyarázat, hogy akkoriban viszonylag könnyen, és elérhető áron hozzá lehetett jutni kiváló minőségű NDK-s Zeiss termékekhez. Ugyanez viszont már nem volt érvényes a közepes és nagy átmérőjű (15–30 cm-es) gyári tükrőkre, amelyek jórészt csak az USA-ból voltak beszerezhetőek, így ezek a tükrök valódi státuszszimbólumokká váltak. Sajnos ugyanez volt a helyzet a minőségi tükröcsiszolást elősegítő optikai szakkönyvekkel is.

Mára nagyot változott a világ! Minden típusú optika beszerezhető azok közül, amelyeket korábban csak megcsodáltunk a magazinok borítóján, sőt, a kínálat már kibővült az apokromát objektívvel rendelkező távcsövekkel is. Ezeknek a lencséknek a tulajdonságai valóban megközelítik a tökéletes optika fogalmát. A különleges üveganyagoknak és többszörös reflexiógátló bevonatoknak köszönhetően a maradék színhiba (tercier spektrum) elhanyagolható, és a lencsén áthaladó fény csaknem 100%-a hasznosul. Természetesen a különféle gyártó cégek termékei között vannak minőségbeli különbségek azonos típusú lencsék esetében is. Áruk sajnos csillagászati!

Van azonban egy olyan távcsőcsalád, amelyben szerencsésen ötvöződik az apokromát tiszta fényútja, a tökéletes színihibamentesség és a viszonylagos olcsóság. Ezekről a távcsövekről eddig csak említés történt egy-két mondat erejéig. A ferdetükrös távcsövekről, (angolul Tilted Components Telescopes) rövidítve TCT-kről van szó. Legalább tucatnyi fajtája létezik a döntött tükrös távcsöveknek, a két tükröstől a három, sőt négy tükrös rendszerekig. Vannak közöttük gömbtükrrel rendelkezők és bonyolult aszférikus, kéttengelyű ellipszoid (toroid) felületekkel bírók is.

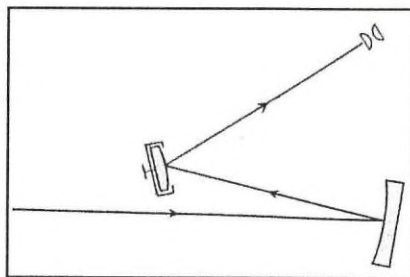
Legelőször W. Herschel épített ferdetükrös távcsövet azért, hogy minél több fényt tudjon összegyűjteni fémtükrű távcsövével. A főtükör döntéséből fakadó leképezési hibákat (kóma és asztigmatizmus) hosszú fókusszal igyekezett mérsékelni. Távcöve a nehézkes kezelhetőség és a tökéletlen leképezés miatt nem vált népszerűvé. Hosszú szünet után századunk elején az 1910-es években jelent meg az első kéttükrös TCT, Brachyt néven.

A 80-as évek elején Papp Sándor barátommal módunk volt kipróbálni egy antik, a Karl Fritsch und Otto Prokesch osztrák cég által gyártott távcsövet. A főtükör 110 mm átmérőjű volt, az eredő fókusz 3000 mm körüli. A hosszúságos jusztrózás után leképezése elfogadható volt. Ez a távcsőfajta sem terjedt el igazán. Több évtized múltán, az 50-es években Anton Kutter német optikus megalkotta az általa schiefspieglernek nevezett távcövet, amit később az ő nevével is emlegetnek. A schiefspiegler szó is ferdetükröst jelent, mi azonban maradjunk a rövidség kedvéért a TCT-nél, de ne felejtjük el, hogy a Kutter-schiefspiegler csak egy típusa a sokféle TCT-nek.

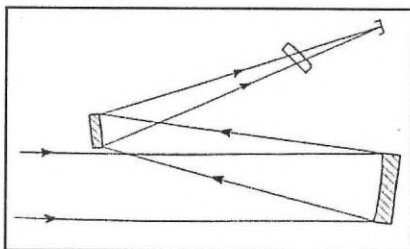
Anton Kutter több fontos feltételt állított fel a siker érdekében távcövének tervezésekor:

- a fő- és segédtükör görbületi sugara legyen azonos, az elkészítést megkönnyítendő,
- a görbületi sugarak legyenek nagyok (a főtükör fényereje kb. $f/12$), így a rendszer eredő nyílászöve $f/20$ és $f/30$ közé esik,
- a brachytnál meglévő aberrációkat a segédtükör döntésével kompenzálja.

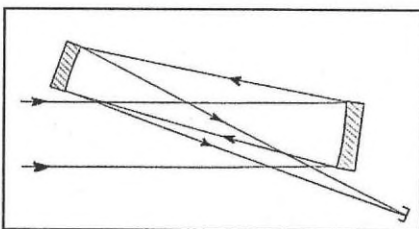
Az eredmény nem maradt el: az optikai tengely mentén jól korrigált, központi kitakarás mentes hosszú fókuszú távcövet kapott, amely jellegéből adódóan kiválóan



A neo-brachyt távcső



A schiefspiegler teleszkóp



A Yolo-teleszkóp

alkalmas Hold, bolygó és kettőscsillag megfigyelésekre. Később Kutter megalkotta a schiefspiegler háromtükrös változatát a tri-schiefspiegler, ami fényerősebb és kompaktabb korábbi formájánál. A schiefspieglerok főleg az USA-ban terjedtek el kitűnő képkontrasztjuk és szintén kiváló leképezésük miatt. Magyarországon tudomásom szerint volt egy sikertelen próbálkozás Kutter-távcső készítésére; ennek ellenére jó lenne több figyelmet szentelni ennek az optikának, mert ez az amatőrök által legkönnyebben elkészíthető TCT. 1965 újabb nagy évszám a ferdetükrös távcsövek történetében, amikor Arthur S. Leonard a Nevada állambeli Renoban bemutatott egy általa feltalált új távcsőtípust, a Yolo-t. Ez a távcső máig nem érte el azt a népszerűséget, ami pedig méltán megilletné leképezési paramétereit tekintve.

A Yolo-távcső két homorú tükrökből áll, amelyek közül a főtükör erős hiperboloid, a segédtükör pedig kéttengelyű ellipszoid (toroid) felületű. Ez utóbbi olyan különleges felület, amelynek görbületi sugara két egymásra merőleges irányban eltér egymástól. Ilyen felület például a Föld egyenlítőjének egy darabja is. Ez a szándékoltan asztigmatikus felület kompenzálja a főtükör döntéséből eredő leképezési hibákat, asztigmatizmust és kómát.

Az optikai tervezést manapság nagyon megkönnyítik a különféle számítógépes programok (ray-tracing), amelyekben több száz, több ezer képzeletbeli fénysugarat küldenek át a vizsgálni kívánt optikai rendszeren. Az eredmény numerikusan és grafikusán megjelenik a képernyőn, ez utóbbi az ún. spot-diagram, amely mutatja az optikai tengely menti és azon kívüli leképezést. A lépték rendszerint az Airy-korong mérete.

Egy optika akkor kifogástalan, ha az objektívre eső fénysugarak az Airy-korong méreténél kisebb területen találkoznak, és ez az optikai tengely minél nagyobb környezetére igaz. Mi a helyzet a Kutter- és a Yolo-távcsövek esetében?

A vizsgálatok azt mutatják, hogy az eredeti Kutter-távcső csak kb. 110 mm átmérőig felel meg a fenti kritériumoknak, jelentős a tengelymenti kóma. Nagyobb átmérők esetében szükségessé válik a főtükör aszferizálása mellett még egy harmadik tükrő beépítése a rendszerbe — és ez már a tri-schiefspiegler!

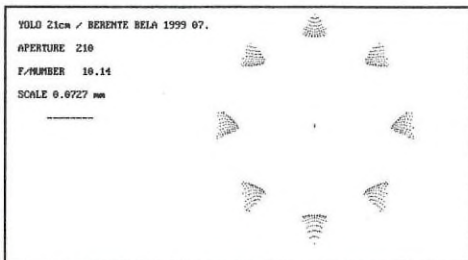
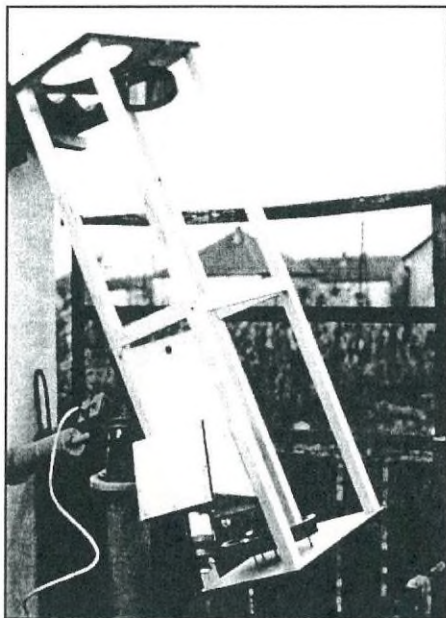
A helyesen méretezett Yolo-távcsőnek 15–20 cm átmérőnél az optikai tengelyen a leképezése tökéletes, 0,5-os látómező szélén a kóma nem nagyobb, mint egy hasonló méretű f/6-os Newton-távcsőé. A Yolo viszonylag nagy fényereje (f/10–f/16) a különleges felületeknek köszönhető, amelyek az elkészíthetőségét megnehezítik.

Érdekeségként érdemes megemlíteni, hogy Arthur S. Leonard Yolo-távcsővében a segédtükör kéttengelyű felületét a tükrő foglalatában kialakított mechanikus feszítéssel állította elő! Huszonhárom év múltán, 1988-ban José M. Sasian (University of Arizona's Optical Sciences Center) polírozta bele először az üvegbe a toroidot. Ennek előnye az, hogy stabil, nem kell minden észlelés előtt beállítani az optimális korrekciót adó feszítést.

A Yolo-távcső tükreinek pontos beszabályozása elengedhetetlen a jó képalkotás érdekében — ami nem kis feladat! Fontos a tükrök döntésszögének, távolságának precíz beállítása, mert eszerint változik az asztigmatizmus és kóma korrekciója.

Néhány éve, amikor először olvastam erről a távcsőről, rögtön felkeltette érdeklődésemet, mert viszonylag nagy fényerő és zavartalan fénytűni miatt egy ilyen távcső szinte minden észlelési területen a maximumot tudja nyújtani. Meg is terveztem a 160/2000-es Yolo távcsövet. A tervezés nem okozott problémát, a nehézségek a toroid segédtükör polírozásakor kezdődtek. Legalább tízszer csiszoltam újra a se-

gédttükrot, mert a kívánt toroid felület sehogy sem akart sikerülni. A kitartó és némi-
leg kísérletező munka idővel kezdte meghozni a gyümölcsét — a szerzett tapasztala-
latok felhasználásával végül sikerült peremtől-peremig kiváló toroidot kapni. Ehhez
némi szünetekkel bő egy év kellett! A tükör csiszolásban jártasaknak többet mond a
munka nagyságáról az, hogy polírozással olyan felületet kellett előállítani, amelynek
szagittális síkban 7530 mm, erre merőleges tangenciális síkban 7710 mm a görbülete
— a különbség 180 mm!



Balra: 21 cm-es Yolo-távcsővem tubusa —
burkolat nélkül. Jól láthatók az optikai
elemek. Jobbra: a távcső spot-diagramja

A főtükör hiperbolizálása a hosszú gör-
bület miatt gyorsan ment, itt inkább arra
kellett vigyázni, nehogy túlmélyüljön a
tükör közepe. A tükör ezüstözése után a
jusztirozás nehézségei okoztak némi fejfá-
jást! Be kellett állítani a tükör pontos
döntését és távolságát, valamint a segéd-
tükör elfordításával el kellett érni azt,

hogy a segéd-tükör tangenciális síkja egybeessen a távcső szimmetriasisíkjaival is.

Már az első próbánál látszott, hogy nem akármilyen optikát sikerült alkotni! A
Szaturnusz minden halo, kisugárzás nélkül keményen kontrasztosan lebegett az űr-
ben! A Vénusz olyan volt, mint szabad szemmel a Hold — minden kisugárzás nélkül,
pengeélesen virított a látómezőben.

Időközben elkészült a 210/2130-as Yolo-távcsővem is, amely már csak nagyobb
méreténél fogva is messze túlszárnyalja elődje teljesítményét. Kellően nyugodt légkör
mellett, közepesen fényes csillagnál kemény Airy-korong látszik, és egy halvány gyű-
rű. Legutóbb sikerrel észleltem az ST 2106 Oph kettőst, ahol hajszál réssel bontva
láttam a 0,7-es párt az 1^m-s fényességeltérés ellenére! A leképezés teljesen refraktor-
szerű, az optika természetéből adódóan a legcsekélyebb színhiba nélkül. A Holdon
eddig soha nem látott finom részletek tűnnek elő, a bolygók fantasztikusan színesek,
és részletgazdagok!

A Yolo olyan távcső, amely csupán két tükörrel a lehető legtökéletesebb képet adja.
Megérte a fáradtságot!

BERENTE BÉLA