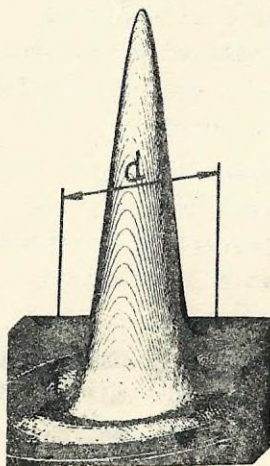


A távcsövek felbontóképességének vizsgálatakor arra a kérdésre kell válaszolnunk, hogy az objektív által alkotott kép mennyire részletdús. Ugyanis ezt a képet nagyítjuk fel az okulárral a szem feloldóképességének megfelelően, amelynek az értéke kb. 1 ívperc. Ekkor már minden kis apró részletet felismerhetünk, amelyet az objektív egyáltalán le tudott képezni. A gyakorlatban ennél mindig erősebb nagyítást használunk a szem kifáradásának elkerülése miatt.

Ha már rendelkezünk egy adott átmérőjű és fókuszú objektívvel és azt is tudjuk, hogy távcsövünk pl. vizuális megfigyelésre készült, akkor az elméleti felbontóképességét is egészen pontosan meghatározhatjuk. Az erre vonatkozó számításokat és kísérleteket Rayleigh már a múlt században elvégezte. Ő mutatott rá az általa kidolgozott és a róla elnevezett kritérium alapján, hogyha az objektív lencsén áthaladó, vagy a távcső főtükreiről visszaverődő bármelyik két, a fókuszpontban található fénysugár utja közötti különbség a beeső fény hullámhosszának egy negyede, akkor egy csillag fényének a 84 %-a egy központi korongba, az úgynevezett Airy-korongban koncentrálódik és ezt, több a középpontból kifelé haladva rohamosan halványodó diffrakciós gyűrű veszi körül. Az 1. ábra ezt nagyon szemléletesen mutatja, mert a valóságos síkbeli fénysűrűség változását térbeli kép formájában jeleníti meg.



1. ábra. Egy csillagnak az objektív által leképzett ideális diffrakciós képe, három dimenzióba ábrázolva. A jelölt "d" méret egyenlő az első sötét gyűrű átmérőjével. /Airy - korong./

A Rayleigh-kritérium utmutatást ad arra vonatkozóan is, hogy az objektívek felületeit geometriai szempontból mennyire pontosan kell megmunkálni, egyáltalán a távcsövünk megtervezésekor hol lehet elkerülni a fölösleges megszorításokat és hol kell mindenáron betartani azokat, hogy Rayleigh határon belül maradjunk.

Megjegyezzük, hogy a $\lambda/4$ értéke a sárgás-zöld hullámhossz tartományban egyenlő 0,00014 mm-rel és erre a fényre legérzékenyebb a szemünk is. A felbontóképesség szempontjából érdekes első sötét gyűrű átmérője /lásd 1.ábra/, azaz az Airy-korong mérete, az objektív átmérőjétől /D/, fókusz-távolságától /f/ és a beeső fény hullámhosszától / λ / függ. Értéke a következő képpen adható meg:

$$d = \frac{1,22 \cdot \lambda \cdot f}{D} \quad \text{/mm-ben/}$$

Az amatőr csillagászokat az érdekli elsősorban, hogy hogyan tudják a Rayleigh-kritériumot betartani távcsőtükreik elkészítése során. Vagy másképpen kérdezve milyennek kell lennie egy jónak minősített távcsőtükör geometriájának, milyen felépítésű távcsövek elkészítésére vállalkozhatnak? Már előljáróban leszögezhetjük, hogy akromatikus objektív lencse csiszolása az amatőrököt szinte megoldhatatlan feladat elé állítja, mivel itt négy felületet kell egymáshoz viszonyítva helyesen megmunkálni és műszerekkel ellenőrizni. Azonkívül a flint és a korona üveg minden optikai szempontból lényeges tulajdonságát is ismerni kell ahhoz, hogy a Rayleigh kritériumnak megfelelően tudjuk méretezni a lencsét.

E gondolatok előre bocsátása után érdekes és hasznos lesz konkrétan is áttekinteni távcsöveink teljesítőképességét a diffrakciós gyűrűk szempontjából. Az összehasonlítás alapját a Sky and Telescope, 1978.áprilisi számában a 347. oldalon megjelent cikk képezi.

Newton reflektorok: itt egy segéd optikát /siktüköröt, prizmat/ kell alkalmaznunk, hogy a főtükörrel visszaverődő és fókuszpontba tartó sugárnyalábot kitereljük az okulárba. Alta-

lában a segéd optika a főtükör 0,2-szeresét takarja le.

Ha a főtükör helyesen parabolizált, akkor nincs szférikus aberráció, de például még egy 100 mm átmérőjű gömbtükrőnél sem lépjük át a Rayleigh-határt, ha tükrünk nem fényerősebb mint $f/7,1$. Ugyanez a határ 200 mm-esnél már csak $F/8,9$. A kóma a Newton-távcső központi látómezejében szintén nulla, ha a tükrök jól vannak szabályozva. Azonban ha az egytengelyűség csak pár millimétert is romlik, már tullepjük Rayleigh határt. Az asztigmatizmust, gondos csiszolással és polírozással, illetve helyes szereléssel tudjuk elkerülni.

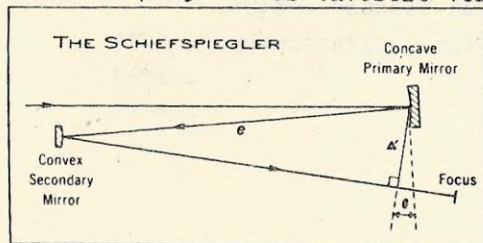
A Newton-távcső segédtükrét tartó szerkezet árnyéka szinten megjelenik a főtükörön, és diffrakciós képe, mint több águ halvány fénykisugárzás jelentkezik a leképzett csillag középpontjából kiindulva. Azonban ez a hatás jelentéktelen, nem különösebben zavaró /Lásd 6.ábra/.

A fentiek szerint tehát, egy jó Newton-teleszkópnál, amelynek főtükre parabolizált csak egyetlen hatást kell figyelembevenni, és pedig a középpontos takarást.

Ide sorolhatók még a kvázi - Cassegrain, a Cassegrain és más középpontos takarással bíró reflektorok.

Ferdetükrös távcsövek: /németül: Schiefspiegler-ek/

E távcső típus jellemzője, hogy főtükre és segédtükre gömbtükrő, valamint a főtükör egy megadott szögben be is van döntve. Nagy előnye, hogy a gömbtükrőket egyszerűen elő tudjuk állítani és az ellenőrzésük sem különösebb gond. A nyilvánvalóan jelentkező kómát és az asztigmatizmust, a kis fényerővel és bedöntés szögének a pontos meghatározásával tudjuk a Rayleigh-határ alatt tartani. A távcső vázlatát a 2.ábrán láthatjuk. Alatta pedig a táblázatban az $\varnothing 80$ mm-es, a 110 mm-es és a $\varnothing 150$ mm-es távcsőre vonatkozó adatok vannak.



Ferde tükrös távcső optikai elrendezése

2. ábra.

Ferdetükrős távcsövek optikai adatai /mm-ben/

Főtükör átmérője	80	110	150
Főtükör fókusza	960	1620	2550
Segédtükör átmérője	40	55	70
Segédtükör fókusza	-1000	-1620	-2720
e /térköz/	548	965	1481
' /térköz/	144	219	277
Valóságos fókusza	1633	2720	4201
Fényerő	f/20	f/25	f/28
/dőlés szög/	12°	10°26'	8°34'

Az optikai úthosszkülönbségből

eredő hiba, azaz a kóma nagy-

sága 0.00016 0.00013 0.00011

A táblázat utolsó rovatában található a számítógéppel meghatározott úthosszkülönbségek, amelyek kielégítik a Rayleigh kritériumot, bár igaz, hogy éppen határértékben.

A fényerők szokatlanul kicsik, de nagyobbak esetén már korrekciós lencse válna szükségessé.

A távcső szerkezeti hossza viszont a nagy effektív fókusztávolsághoz viszonyítva csekély.

Akromatikus távcsövek:

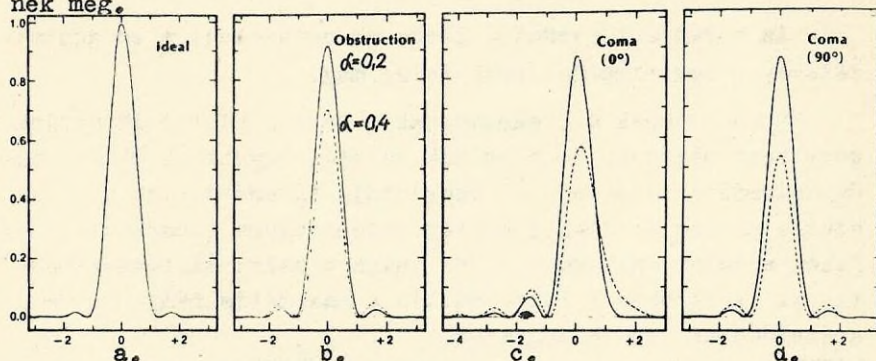
A reflektorok takarás mentesek, de valamennyi akromatikus lencse rendelkezik egy picike szini hibával és lehetetlen úgy elkészíteni, hogy minden színű fénysugarat egyetlen pontban képezzen le. Ez a fókuszon kívüli hatás egyenes arányban áll az aperturával és fordított arányban a fényerővel. Például egy Ø 100 mm-es f/15-ös fényerejű akromatikus, vizuális megfigyelésre készült lencse leképzését megvizsgálva a következőket tapasztaljuk a fókusztávolságra vonatkozóan a különböző színű fénysugarak beesése esetén.

f = 1510,51 mm sárga fénytartomány	=	5876
f = 1511,21 " kék	"	4861
f = 1511,29 " vörös	"	5653

A fókuszátlanságból eredő hiba 0,78 mm és messze kiemelkedően a legnagyobb, a szférikus aberrációból származó úthossz különbség 0,000034 mm-es és kóma 0,000001 mm-es hibája mellett.

Mindezek után, tehát azt mondhatjuk, hogy a Newton reflektorok a ferdetükrös távcsövek és az akromatikus refraktorok mindegyike rendelkezik egy sajátos kisebb vagy nagyobb valódi hiányossággal, amely lerontja az ideális diffrakciós képet. A következő diagramokon jól összevethető az egyes optikai leképzési hibáknak az ideális diffrakciós képre gyakorolt hatása. Nem részleteztük az asztigmatizmus és a szférikus aberráció okozta rendellenességeket, mivel feltételeztük, hogy azokat ki tudjuk küszöbölni, /pl. tükrörsiszolásnál a megfelelően forgatott tükörrel és csiszolókoronggal, ill. a parabolizálással/. Azonban azért, hogy lássuk, jelenlétükkel mennyire zavaróak, érdemes összevetnünk a többi diagrammal. Az egységek minden diagramon egyformák és egyforma apertúrájú távcsövekről van szó. A beeső fény hullámhossza $\lambda = 0,00056$ mm /fényerő = $f/8$ /.

A vízszintes skála egységei a valóságban 0,0045 mm-nek felelnek meg.



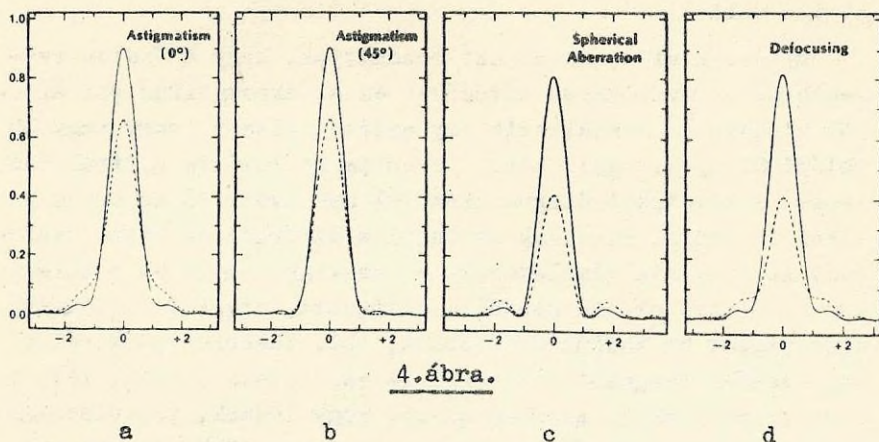
3. ábra.

3/a. Az ábra az ideális leképzés esetén a fényintenzitás sugárszerinti eloszlását mutatja.

3/b. Newton-távcsőnél a takarással segédtükrös takarási átm. zavart kép főtükrös átmérete

3/c.d. Ferdetükrös távcsőben fellépő kóma az egymásra merő-

leges metszetekben./A metszetek értelmezését lásd az 5.ábrán./
A hiba az egyszeres /folyamatos görbe/ és a kétszeres /szag-
gatott görbe/ Rayleigh-határon.



4.ábra.

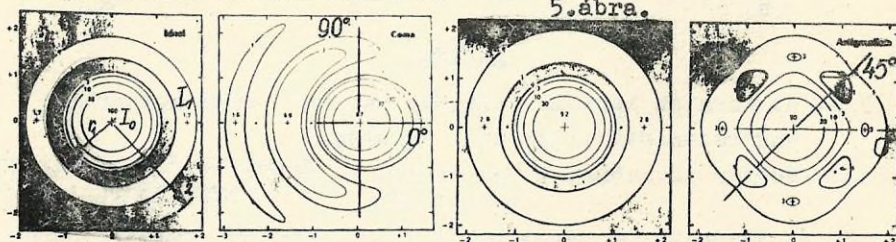
4/a.b. Az asztigmatizmus hatása, a 0° -os és a 45° -os metsze-
tekben /l.:5.ábra/

4/c. A szférikus aberráció hatása.

4/d. A fókuszátlanság hatása.

Az ábrán a folyamatos görbe az egyszeres, a szaggatott a kétszeres Rayleigh-határnak felel meg.

Ugyanezeknek a diagramoknak a kontur képeit láthatjuk a következő ábrákon. Az egységek szintén egyenlők $0,0045 \text{ mm}$ -rel. Ugyanarról a fényerejü és aperturájú távcsőről van szó. A szürke háttér az 1%-nál kisebb intenzitásra vonatkozik, /+/ jelek a helyi maximumot a /o/ jelek a helyi minimumot mutatják. A körökön a fényeloszlás a maximális fényerősség százalékában van feltüntetve.



5.ábra.

18 Ideális le-
képzés

Kómával ter-
helt leképzés

Takarással ter-
helt leképzés

Asztigmatiz-
musmal terhelt
leképzés

Erdemes még számszerűen is összevetni az ideális és a valóságos teleszkópok diffrakciós képét.

Egy csillag diffrakciós képe az ideális és a valódi teleszkópoknak megfelelően

Rendszer jellemzői	I_0	I_1	I_2	r_1	r_2	P.
Ideális /aberráció nélkül/	1.00	0.017	0,0042	1.22	2,23	0,84
Takarás /0.2-szeres az a- perturának megfelelő takarással	0.92	0.028	0.0014	1.17	2.36	0.77
Kóma /Rayleigh-határon/	0.87	0.069	0.016	1.10	2.32	/0.77/
Asztigmatizmus /R.határon/	0.90	0.031	0.0052	1.27	2.24	0.81
Gömbi eltérés /" " /	0.80	0.030	0.0032	1.20	2,87	0.68
Fókuszolatlanság /R. " /	0.81	0.032	0.0054	1.22	2.32	0.74

I-t és r-t l. az 5. ábrán! A"P" a beeső csillagfénynek az Airy-korongba eső része.

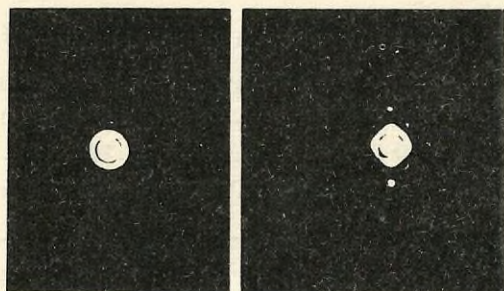
A táblázat értékei nagyon jó egyezést mutatnak a grafikonokkal. Összegezve a leirtakat azt mondhatjuk, hogy a Newton-reflektor teljesítő képességét optikai szempontból sem az aktromatikus lencsés távcső, sem a ferdetükrös távcső lényegesen nem haladja meg a leképzés középponti tartományában. Ha azonban egy Newton-távcsőnél azt vesszük észre, hogy kisebb a kép élessége mint más hasonló átmérőjű távcsöveknél, akkor elsősorban a tükrök minőségére gyanakodhatunk vagy a tükrök rossz beszabályozására esetleg még a tubus elhúzóására is.

Erdemes még a következő kis táblázatot is figyelembe venni tanulásként, amely az Airy-korong egyértelmű növekedését mutatja a takarás /segédtükrő/ méretének növekedésével. A takarás mértéke a főtükrő átmérőjének törtrésztében kifejezve.

Takarás	0	0,05	0,1	0,15	0,20	0,25	0,3	0,4	0,5
A beeső fény- intenzitása	0,838	0,832	0,818	0,79	0,76	0,73	0,68	0,58	0,47
Airy-korongban									

Az utolsó oszlopban a segédtükör átmérője fele a főtükör átmérőjének, a beeső fény mennyiségéből az Airy-korongban már csak 0,47 rész jut és több mint a fele a diffrakciós gyűrűkben van. Ez az eset áll fenn a kvázi-Cassegrain távcsőnél is, amelyből pedig az következik, hogy egy ugyanolyan átmérőjű Newton-távcső felbontóképesség tekintetében kétszeresen felülmúlja, nem is beszélve a takarás miatti fényvesztéséről.

A diffrakciós gyűrűk a valóságban is kimutathatók, ha a távcsövünket egy fényes csillagra irányítjuk és 15-25 mm átmérőre leblendézzük, majd egy jó minőségű, rövid gyújtótávolságú okulárt kiválasztva figyeljük meg a leképzett képet.



a

b

6.ábra

6/a. A diffrakciós kép a 20 mm-re leblendézett távcső esetén

6/b. A diffrakciós kép a 20 mm-re leblendézett és 0,2-es takarással bíró Newton-távcső esetén

Ha ezután az amatőr távcső építők a leírtak tudatában kezdenek tükreik csiszolásához és távcsöveik megtervezéséhez, akkor pontosan tudni fogják, hogy milyen felbontást és fényerőt kapnak távcsövük elkészítése után. Végül még egyszer hangsúlyozzuk, hogy egy jól megtervezett és elkészített Newton-reflektor majdnem eléri az ugyanolyan aperturájú akromatikus objektívvel rendelkező refraktorok képminőségét a középponti tartományban.

A cikk a Sky and Telescope 1978. áprilisi számának 347. oldalán megjelent Roger W. Sinnott "Star Images in the Presence of Aberrations" c. írásának lefordítása alapján készült.

Geresdi Sándor