



Távcsőkészítés

A távcsőtükör teszteléséről

Az alábbi cikkben a teljesség igénye nélkül szólok a leggyakrabban használt tesztelési módszerekről, amelyeket távcsövek vagy távcsőtükrök ellenőrzésekor használhatunk. Nagyvonalakban ismertetem a tesztelési módszereket, és rávilágítok azok hiányosságaira ill. érzékenységeikre. Ezzel szeretnék néhány tévhitet eloszlatni, ill. elérni azt, hogy a távcsőhasználó amatőrök jobban rálássanak a dolog lényegére.

Az alábbi tesztek ismertetem: csillagteszt, Foucault-féle késél teszt, Ronchi-rács teszt, autokollimációs teszt, Interferometria.

A csillagteszt a legalapvetőbb, mindenki számára elérhető eljárás a távcső minőségének megbecsülésére. Hangsúlyozottan *nem* mérésről van szó! Ez egy szemmel végzett összehasonlító becslés, amely gyakorlattal nagyon pontosan is elvégezhető, de ennek alapfeltétele az, hogy a tesztelést végző személy legalább egyszer az életben lásson egy tökéletes vagy közel tökéletes diffrakciós képet (pl. a 80/1200-as Zeiss AS akromát képalkotása).

A teszt lényege az, hogy legalább akkora nagyítással nézzünk egy csillagot, hogy lassuk az Airy korongot! Ezután az élesre állított képtől extra ill. intrafokálisban defokuszalunk, majd a kitágult fénykorongokat összehasonlítjuk. Ha méretre és fényességeloszlásra egyformák, akkor az optika jó – röviden ez a lényege. Természetesen nem ilyen egyszerű, de aki részletesen kíváncsi a dologra az tanulmányozza a cikk végén ajánlott szakirodalmat. Kimerítő információkat fog találni a tesztre vonatkozóan.

Tegyük azonban említést néhány fontos dologról. A teszt valóban érzékeny, de csak azoknak, akiknek van gyakorlata a csillagteszt terén. Egy kezdő vagy átlagos amatőr átlagos légkörnél nem tud különbséget tenni egy $\lambda/3$ -as és egy diffrakcióhatárolt optika között. Ha pedig a hiba ennél is kisebb, az a gyakorlott tesztelőt is próbára teszi. (Az egyszerűség kedvéért csak a szférikus aberrációról beszéltem.)

Tévhit, hogy minél fényesebb a teszteléshez kiválasztott csillag, annál jobb. A valóságban minden távcsőátmérőnek megvan az ideális fényességű tesztcsillaga. Például egy 8 cm-es műszernek 1-2 magnitúdós, egy 25 cm-esnek 4-5 magnitúdós, egy 35 cm-esnek 7 magnitúdós. Ha műcsillagra tesztelünk, figyeljünk a műcsillag méretére és távolságára. A távolság empirikus meghatározása alapján min. 20-szorosa a tesztelendő műszer fókusz távolságának azért, hogy a visszamaradó aberráció $\lambda/4$ legyen. Ez azt jelenti, hogy ennél pontosabban nem tudunk tesztelni. Ha azt akarjuk, hogy még pontosabb legyen a tesztünk, még messzebb kell tennünk a fényforrást (40-szeres távolság, $\lambda/8$). A fényforrás látszó mérete nem haladhatja meg objektívünk felbontóképességét, ellenkező esetben nem lesz pontszerű a fényforrás, ami alapfeltétel ehhez a teszthez. Ez azonban csak ún. standard fényerejű távcsövekre igaz. Ha a távcső nagy fényerejű, nagy méretű, ez a távolság a sokszorosára nő. Pl. egy 406 mm-

es $f/4$ es tükör teszteléséhez a fénytörést 84-szeres fókusz távolságra kell elhelyezni ahhoz, hogy a kívánt $\lambda/4$ -es érzékenységet elérjük.

Foucault-féle késél teszt. Ezt a tesztet Jean Bernard Leon Foucault vezette be homorú tükrök görbületi középpontban történő teszteléséhez. Tudni kell azt, hogy ez az alapja sok más, az optikában használatos tesztnek. A lényege egy mozgó vagy álló fénytörésről áll, ami mellett szorosan egy ún. késél van. Az egész a homorú tükör görbületi középpontjában helyezkedik el. A fénytörésből kiinduló és a tükörről visszaverődő fényt a késéllal kivágjuk, az így a tükrön létrejövő árnyékrajzokat tanulmányozzuk. Ezen teszt változatai a Couder-féle maszkolás, a Ronchi-rács teszt, az autokollimáció is és még sok más módszer. A teszt érzékenysége a legfinomabb árnyék-kontraszt észrevételében rejlik. Ha elég kis méretű fényforrást használunk, pl. 10 mikrométer méretűt, akkor akár $\lambda/40-50$ -es felületi hibákat is megláthatunk – de ez függ a fényerejtől is. A tesztet alapvetően kisebb, $f/6-8$ fényerejű tükrökhöz „találták” ki. Nagyobb fényerőnél már nem olyan érzékeny, nem beszélve arról, hogy egy nagy fényerejű és átmérőjű tükörnél már az optikai tengelyben kell elhelyezni a fénytörést és a késélt, különben asztigmatizmus lép fel.

A teszt közvetlenül csak gömbtükörré használható, ha pontosan szeretnénk egy parabolát bemérni vele, akkor már a Couder-maszkra lesz szükségünk. Ez egy árnyékoló ernyő, ami lehetővé teszi különböző zónák görbületi sugarainak mérését, a gyákkorlatban max. 0,01 mm leolvadási pontossággal. Egy jó számítógépes program segítségével kellő számú mérőösszefüggést készítve a tükörről, kielégítően meghatározható annak minősége. És ez már mérésnek nevezhető! A maszk hátránya, hogy nem látszik egyszerre a teljes felület. Természetesen a tükör eltorgatásával ez némileg kiküszöbölhető. További hátrány az, hogy fényerős tükröknél akár 8–10 zónát is kell készíteni a maszkra, és azokat precízen kivágni. A széleknél, ahol a legkeskenyebb a türemszege a tükörnek, a diffrakció tovább nehezíti a leolvadást. Mindemellert ez az amatőrök által még könnyen elérhető legpontosabb és legmeghízhatóbb teszt. Ez a teszt alapos elméleti és gyakorlati felkészültséget igényel, valamint megfelelő felszerelést, mint ahogy a további tesztek is.

A Ronchi-rács tesztben az okulárt vagy a késélt egy ún. optikai rács helyettesíti. A rácson keresztül szemlélve a tükröt ún. rácsképet látunk, amely nagyon hasonlít az interferencia-sávokra, de azoktól merőben eltérő módon keletkezik, és nem keverendő össze velük! Előnye, hogy az egész optikai felületet láthatjuk, viszont nem olyan érzékeny, mint a Foucault-teszt. Fontos megjegyezni, hogy a teszt érzékenysége függ a tesztelt optika fényerejétől és attól, hogy milyen sűrű az optikai rács. Az sem mindegy, hogy a tesztet a görbületi középpontban vagy a fókuszpontban alkalmazzuk. Bizonyos kombinációk nagyon érzékenyek, mások fatalisan érzéketlenek. A teszt pontossága a diffrakciós hatás miatt behatárolt, valahol $\lambda/4$ körüli. Nem alkalmas hullámfrontanalízisre, mint pl. az interferometria!



A Ronchi-rács teszt. Balra: alutkorrigált felület, jobbra: tökéletes felület rácsképe

A Ronchi-rácsesztestet legtöbbször a görbületi középpontban alkalmazzuk, úgy, hogy összehasonlíttuk az extra- és intrafokális rácsképet. Azonban e rácsképek hajlása csak kicsi különbséget mutat a jó és az ellogadhatatlan között (l. ábránkon!).

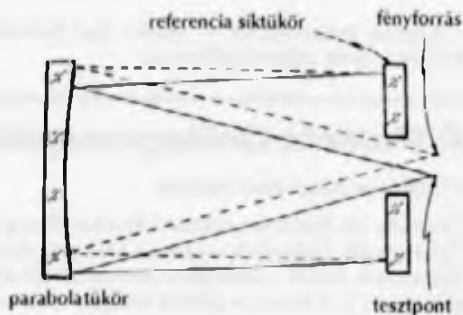
Az ábrából látható, hogy milyen kicsi a különbség a pertekt és a használhatatlan közt. Ezt a gyakorlatban észrevenni még nehezebb! Jőmagam a tesztestet csak durva hibák felismerésére és a perem ellenőrzésére használom, arra viszont nagyon jó.

Az interferometriku tesztestet az, ami egzakt módon megválaszolhatja a kérdést: milyen minőségű az optikám? Látszólag ugyanolyan sávokat hoz létre, mint a Ronchi-rácsesztest, de ez távolról sem igaz. Itt ugyanis két hullámfront interferenciájáról van szó, és nem fényelhajlásról, mint a Ronchi-tesztben.

Az egyik hullámfront a referencia, a másik a tesztelendő felületről jön. Ha a kettő a megfelelő feltételek mellett találkozik, akkor létrejön az interferencia. A hullámok kioltják és erősítik egymást, a kioltott helyeken jönnek létre az interferencia-sávok. A kiértékelésnél azt kell tudni, hogy ha direktben használjuk az interferométert pl. gömbtükör tesztelésénél, akkor az interferencia-sávok közt 1λ a különbség. Ha autokollimációban használjuk, pl. parabolatükör méréséhez, akkor $0,5 \lambda$ a különbség. Egy egyszerű esetet véve, amikor csak szférikus aberráció van jelen a tesztben, az egyenes interferencia-sávok hajlanak valamilyen irányban. Ha a sáv áthajlik a szomszédos sáv középig, akkor annyi az aberráció mértéke, amennyi a két sáv közt a távolság. autokollimációban $0,5 \lambda$. Ha csak ennek töredékéig hajlik, akkor e szerint számolandó. Az aberráció a hullámfontra értendő.

Minden főbb aberráció mérésére ill. kiértékelésére alkalmas, úgy mint, szférikus, asztigmatizmus, kóma, zónahiba, peremkopás stb. Egyetlen egy nagy hátránya van: drága felszerelés kell hozzá, és a szférikus aberráció kivételével a többi hiba kiértékeléséhez szinte mindig számítógépes program kell.

Végül, de nem utolsósorban hadd említsem meg az autokollimációt, amely szintén a Foucault teszt elvén alapul, de használható Ronchi teszthez, interferométerhez is. A gömbtükör tesztelni egyszerű. Ha a görbületi középpontban elvágom a késéllel a visszavert sugárkúpot, akkor a pertekt gömb egyszerre elsötétül a peremtől a peremig. Ha valamilyen zónahiba van, akkor az azonnal púp vagy gödör formájában jelentkezik, mégpedig azért, mert a pertekt gömb minden egyes felületi pontjának ugyanabban a pontban van a görbületi középpontja. A parabolára ez nem igaz! A parabola akkor mutat ilyen tulajdonságot, ha a végtelenből érkezik a fény, magyarul párhuzamos a sugármialáb. A végtelenből érkező kollimált sugármialábot a parabola a fókuszpontjában képezi le. Innen nézve ugyanolyan tulajdonságot mutat, mint a gömbtükör a görbületi középpontból nézve, vagyis egyszerre sötétül el a felület.



Autokollimáció

Ilyen kollimált sugárnyalábot kapunk, ha egy csillagot tesztelünk (igazit), ill. létrehozhatjuk a saját párhuzamos sugárnyalábunkat egy megfelelő méretű síktükör segítségével.

Fontos az, hogy a kétszeres visszaverődés miatt a tükör hibái megduplázódnak! Így olyan hibák is könnyen észrevehetőek, ill. durva hibának látszanak, amiket a csillagtest során vagy észleléskor észre sem veszünk. Azért hívják autokollimációnak, mert amikor összeáll a teszt és a visszavert sugárnyaláb a késél mellett, és a szemünkbe érkezik, akkor automatikusan létrejön a kollimált sugárnyaláb a síktükör segítségével. A fókuszpontban teszteljük a tükrünket, ide kell elhelyezni a késelt, és a csót ill. az interferométert is. Mivel duplázza a hibákat, ezért kell ebben az esetben az interferométernél az interferencia sávok közti távolságot $0,5 \lambda$ -val figyelembe venni.

A teszt hátránya, hogy szükséges hozzá egy megfelelő minőségű síktükör (főleg a felület finomsága döntő), aminek az átmérője legalább akkora, mint a tesztelendő legnagyobb tükrünk. Jónagam két ilyen síktükörrel is rendelkezem, az egyik 30 cm, a másik 50 cm átmérőig teszi lehetővé a tesztelést. A teszt továbbá megengedi a tükör felületének egyszerre történő vizsgálatát. Couder maszkkal kombinálva pedig egészen finoman el lehet dönteni azt, hogy melyik felületrész magasabb egy kicsit a többinél (vagyis hosszabb a fókusza). Itt arra kell figyelni, hogy az összes zóna egyszerre sötétüljön el. Akárcsak egy jó gömb, a jó parabola is egyszerre sötétül el autokollimációs teszteléskor.

Ezzel a rövid cikkel szerettem volna némi betekintést nyújtani a tükörkészítés rejtelmeibe, ill. a tesztelések nehézségeibe, buktatóiba. Remélem az amatőr, aki távcsövével az égbolt szépségeit fürkészi, így talán jobban megérti, hogy mennyi munka és fáradság van egy jó parabola elkészítésében, amely lehet, hogy épp az ő távcsövének lelke.

SCHNÉ ATTILA

Ajánlott irodalom: H. R. Suiter: Star Testing Astronomical Telescopes. Willmann-Bell, Inc., 1994. ISBN 943396-44-1

A Polaris Csillagvizsgáló programjaiból

Előudús-sorozat keddenként

- Február 18.** 530 éve született Kopernikusz (Csabn György Gábor)
- Február 25.** Epítsünk napórát! (Murlon Géza)
- Március 4.** Sci-fi – csillagász szemmel (Kulláth Zoltán)
- Március 11.** A Mars, a „fehér bolygó” (Kereszturi Ákos)
- Március 18.** Rosetta: hogyan tovább? (Spányi Péter)
- Március 25.** Hipernóvák (Szabó Gyula)

Ifjúsági szakkör középiskolásoknak!

A szakköri foglalkozásokat csütörtökönként tartjuk, 18 órai kezdettel. A szakkör MCSE-tagok számára díjtalan. Az ifjúsági szakkört Horvai Ferenc csillagász szakos egyetemi hallgató vezeti.

1037 Budapest, Laborc u. 2/c., E-mail: polaris@mcse.hu