

A távcső tökéletesítése Galileitól a XX. század közepéig

A csillagászat történetében minden bizonnyal a távcső feltalálása volt a leglényegesebb megfigyeléstechnikai fordulat, hiszen ezen eszköz segítségével alakultak át az addig szabad szemmel végzett vizsgálatok immár egy komoly és szigorú tudomány alapjává. A kezdetekben egyszerű kivitelű és gyatra képalkotású eszközök természetesen folyamatosan fejlődtek az idők során és ezen fejlesztéseket alapvetően három igény motiválta: nagyobb fénygyűjtőképesség az ezzel együtt járó jobb felbontással, az élesebb képalkotás és nem utolsósorban a robusztusabb állványok, mechanikák.

A XVII. század első évtizedében Hollandiában feltalált (az elsőségért többen is vetekedtek, pl. Hans Lipperhey és Sacharias Janssen) távcső vitathatatlanul Galileo Galilei kezében vált csillagászati műszerré 1609 telén. Megfigyelései a Holdról, a Jupiter holdjairól, Vénuszról, a Tejútról a következő évben jelentek meg a Siderius Nuncius című munkájában, ami ösztékelte ezen eszköz használatát a többi csillagász számára is. A róla elnevezett Galilei- vagy hollandi-távcső bikonvex objektívlencsét és bikonkáv okulárlencsét tartalmazott, így egyenes állású képet adott viszonylag kis nagyítás és szűk látómező mellett. Maga Galilei is számos kisebb (alig néhány cm nyílású!) távcsövet fabrikált, így hamar számos követőre talált, akik az 1610-es évek közepén már a Nap megfigyeléséhez is ezt az új eszközt használták. Mindazonáltal a lencsék ilyen elrendezése korlátozott lehetőségeket biztosított új felfedezések megtételére.

Johannes Kepler 1611-es kelezésű Dioptrice című munkájában javasolt egy alternatív elrendezést két bikonvex lencsével, ami nagyobb látómező és nagyítás elérését tette lehetővé, azzal a (csillagászati megfigyelések során kevésbé zavaró) hátulütővel, hogy a kép így fordított állású lesz, azaz a kép földi megfigyelések esetén "fejjel lefelé" áll. Ismereteink szerint Kepler egyetlen távcsövet sem készített, de hozzáértését bizonyítja, hogy leírta a szférikus aberrációt, azaz a gömbi torzítást: az optikai tengelytől távol beeső fénysugarak máshol fókuszálódnak mint a tengelyhez közelebb eső társaik. (Kepler hiperboloid felületeket javasolt ennek elkerülésére, a kor optikusainak képességeit azonban meghaladta ilyen felület csiszolása.) A lencsés távcsövek, azaz a refraktorok - mivel a fénytörést (refrakciót) használják - másik komoly hátránya volt a kromatikus aberráció, vagyis a színi hiba: ennek során a lencse különböző szögben tör meg az eltérő hullámhosszú fénysugarakat, melynek eredménye különböző színes gyűrűk kialakulása a kép körül. A kepleri elrendezés ezen hibáit lehetett csökkenteni egyrészt az objektív leblendezésével, másrészt kisebb görbületű, azaz nagyobb fókuszú lencsék alkalmazásával. Ezáltal a távcsövek legfontosabb paramétere a fókusz távolság lett, amelyet szokás szerint angol lábban (1 láb kb. 30 cm) adtak meg.

Johannes Hevelius gdanski sörfőző 1647-ben 12 láb fókuszú távcsövével már a Hold részletes térképét készítette el, egy évtizeddel később a holland Christiaan és Constantijn Huygens a Szaturnusz rendszerét vizsgálta még hosszabb fókuszú műszerével. Hevelius pedig egy 150 láb (közel 50 méter!) fókusz távolságú "távcsövet" konstruált, melynek használata az alkalmazott kötelek és csigák miatt meglehetősen nehézkes volt. A XVII. sz. második felében a használt lencsék minősége már egész tűrhető volt, sajnos az alkalmazott állványok, mechanikák csapnivalóan rosszak voltak. A kor csillagászaiban azonban már viszonylag pontos méréseket tudtak végezni mikrométerek segítségével, mellyel az égitestek egymástól való szögtávolságait határozták meg.

Akkoriban két út kínálkozott a távcsövek fejlesztésére: a refraktorok kromatikus aberrációjának csökkentése vagy egy teljesen új optikai elrendezés kifejlesztése. Már Galilei korában felmerült a lehetőség annak, hogy tükrök és lencsék egyidejű alkalmazásával hozzanak létre "hibrid" optikai eszközöket. Az első modern - fényvisszaverődésen, azaz reflexión alapuló - reflektor leírása James Gregory nevéhez köthető (1663). Az általa felvázolt eszköz - kifűrt parabola tükörrel, konkáv ellipsziodális segédtükrökkel - azonban túlmutatott a korabeli optikusok lehetőségein. Kortársa, Isaac Newton a színi hibát vizsgálva (és talán Niccolò Zucchi 1616-os ötletét követve) 1672-ben új megoldást fundált ki az általa refraktorok esetén kiküszöbölhetetlennek tartott leképezési hiba kikerülésére: réz, ón és némi arzén ötvözetéből (spekulum) készült gömbtükrök alkotta (azaz jelentős szférikus aberrációval terhelt) képet egy kisebb, lapos, 45 fokban elhelyezett segédtükrökkel vetítette ki oldalra, ez az elrendezés a róla elnevezett Newton-távcső alapja. Mindeközben a francia Laurent Cassegrain Gregory rendszeréhez hasonló elrendezést javasolt, de konkáv segédtükrökkel.

1720 körül John Hadley (az oktáns feltalálója és a használható altazimutális állvány tervezője) oldotta meg a gömbi hiba problémáját parabolikus felület alkalmazásával. 20 éven belül a londoni James Short már kereskedelmi vállalkozás keretében gyártotta a Gregory-reflektorokat. William Herschel autodidakta

csillagászként és optikusként az 1770-es évek elején kezdte el önteni és csiszolni saját tükreit. 1789-ben készült el a 40 láb (kb. 12 méter) fókustávolságú, 120 cm főtükörátmérőjű műszere, amely az alkalmazott szerelés következtében rendkívül nehézkesen volt csak használható. A XVIII-XIX. század fordulójára az angol optikusok már számos elrendezésben gyártották a teleszkópokat, de a nagyméretű tükrök gyártása nem volt jellemző. William Person (Lord Rosse) az 1840-es években kezdett el nagyméretű fémtükrök öntésével és polírozásával kísérletezni. Leginkább használható műszere egy kb. 90 cm átmérőjű tükröt használó Newton-távcső volt, amivel elég sok megfigyelés végzett az ott (Írország) uralkodó nem túl kedvező időjárási körülmények ellenére. A szerzett ismeretek birtokában vágott bele a 183 cm-es "Leviathán" megépítésébe, mely távcsőnél egészen 1918-ig nem épült nagyobb műszer. A csupán minimális oldalirányú elmozdulásra képes "tranzit-távcső" két kőfal közé épült, így használhatósága igencsak korlátozott volt, mindazonáltal sikerült néhány köd spirális mintázatát felismernie.

A távcső fejlődésének másik útja a refraktorok képalkotását romboló színi hiba kiküszöbölésére irányult; a képminőséget kevésbé romboló szférikus aberrációt a francia René Descartes és közvetve Marin Mersenne kutatta elméletben. Chester Moor Hall 1729-ben ismerte fel, hogy egy konkáv koronaüveg és egy konvex flintüveg összeillesztésével akromatikus (több hullámhosszra azonos fókusszal bíró) objektív készíthető. Mivel ő nem volt optikus, az 1750-as évekig kellett várni, amíg John Dollond cége és Jesse Ramsden kereskedelmi mennyiségben és minőségben tudtak akromatikus lencsákat csiszolni, amelyeket a legkülönbözőbb optikai eszközökben használtak fel, bár az alkalmazott flintüveg minősége meglehetősen gyatra volt. A XIX. század során a refraktorok elérkeztek fejlődésük csúcsára - köszönhetően a fejlett optikai üvegek technológiájának és a precíz, stabil ekvatoriális mechanikáknak. A svájci Guinand 1805-re vált képessé optikai hibáktól mentes flintüveg előállítására, müncheni üzleti vállalkozása keretében tanította ki Joseph Fraunhofer. Ez utóbbi spektrumokkal való kísérletezés során képes volt meghatározni a kombinálható lencsék görbületi sugarait. Az így előállított kéttagú objektív már mai szemmel nézve is igen jó, bár hibáktól nem mentes képet adott. Fraunhofer másik korszakalkotó tette a német ekvatoriális mechanika prototípusának megalkotása volt (1824). Az ilyen típusú állványzatra szerelt, 24 cm-es lencsét tartalmazó dorpát-i refraktorral F. G. W. Struve számos alapvető kettőscsillag megfigyelést végzett. A súly hajtotta óragép alkalmazásával, azaz a poláris tengely forgatásával a távcső vezetése csupán kisebb beavatkozásokat, korrekciókat jelentett; óragép nélkül lehetetlen lett volna a század második felében elterjedt fotografikus és spektrográfiai technikák alkalmazása.

A jobb minőségű üveganyagoknak, a tökéletesedő csiszoló/polírozó gépeknek és az optikák ellenőrzésére szolgáló kés-él módszer kifejlesztésének (Foucault, 1858) köszönhetően egyre nagyobb és egyre jobb képalkotású lencsét sikerült gyártani mind Európában (Merz, Zeiss, Schott, Guinand, Cooke, Henry, Gautier, Steinheil, Reipsold, Grupp - az akkori időket fémjelző néhány nagy név), mind Észak Amerikában (Alvan Clark és fia, valamint Lundin). A refraktorok gyártásának csúcsát a 75 cm-es pulkovói (1883), a 93 cm-es Lick (1887) és a 102 cm-es Yerkes (1897) lencsék csiszolása jelentette, ezeknél nem készült nagyobb objektív azóta sem.

Az 1840-ben született csillagászati fotográfiához sokáig vizuális célra konstruált távcsöveket használtak, amelyek azonban nem voltak a fotólemezek legérzékenyebb hullámhossz tartományára - a kék oldalra - korrigálva. Az 1860-as években készített először az amerikai Rutherford fotografikus munkához korrigált objektíveket. A vizuális megfigyelésekhez használatos okulárok is jelentős fejlődésen mentek keresztül az egytagú lencsétől kiindulva: Huygens már 1640-ben két plánkonvex lencsét használt, ezt az elrendezést a XVIII. században Jesse Ramsden tökéletesítette, majd a következő században a Kellner vagy ortoszkópikus típus jelentett továbblépést, emellett a Barlow által először alkalmazott okulár előtti konkáv lencsével lehetett fokozni a nagyítást.

A két legnagyobb spekulum tükör William Lassell 120 cm-es máltai távcsövében (1860) és Thomas Grubb ugyanakkora melbourni távcsövében (1869) gyűjtötte nem túl jó hatékonysággal a fotonokat, a fémtükrök korszaka azonban végéhez közeledett. Az 1850-es években Foucault és mások kísérletei nyomán az ezüstözött üvegtükrök jelentették az áttörést: a reflexió réteg mattulásakor elég volt újraezüstözni a tükröt, nem kellett újra a megfelelő alakra csiszolni a felületet. Az angol Andrew Common számos közepes méretű koronaüveg tükröt készített obszervatóriumok számára, ő mutatta meg, hogy lehetséges akár másfél méteres tükröt készíteni, akár úgy is, hogy az üvegkorong közepén lyuk van. Ezek a tükrök azonban tekintélyes súlyúak voltak: Lord Rosse, Grubb és Common ellensúlyokkal próbálták elkerülni a tükör alakjának saját súlya miatti torzulását. Az igazi, kellően komplikált megoldás az amerikai George Willis Ritchey nevéhez fűződik, amit a másfél méteres Wilson-hegyi reflektornál alkalmazott először. A mechanikáknak is alkalmazkodniuk kellett a megnövekedett terhekhez, a német ekvatoriális szerelés mellett elterjedtek az

eredetileg a XVIII. században Sisson által feltalált tengelykeresztek különböző verziói: a Ramsden által tökéletesített angol szerelés, a villás szerelés (Common), valamint a francia szerelés (Gautier).

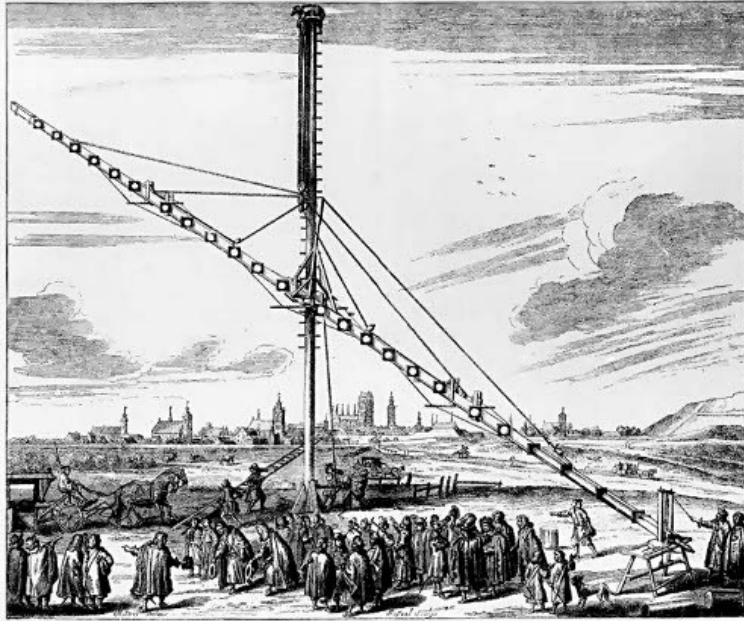
A csillagászati kutatások minőségében bekövetkezett fejlődés annak is köszönhető volt, hogy a nagyobb, főként nemzeti obszervatóriumok kikerültek a közeli nagyvárosok fényszennyezett, poros, füstös, valamint "asztroklíma" szempontjából is hátrányos közelségéből. A Máltán dolgozó Lassel volt az első, aki ennek szükségességére rámutatott és a Lick Obszervatórium tervezésekor vették először figyelembe ezeket a szempontokat. Bár George Ellery Hale egy közepes wisconsin-i helyszínt választott a nagy Yerkes-reflektor számára, gyorsan felismerte a megfelelő helyszín fontosságát és megalapította a kaliforniai Wilson-hegyi obszervatóriumot.

A XIX. század végére meglehetősen sok egy méter körüli műszert használtak a csillagászok, Ritchey másfél méteres, villás szerelésű és sok technikai újítást tartalmazó Wilson-hegyi távcsöve mutatta meg 1908-ban, hogy lehet ennél még nagyobb, precíz és fotográfiára, spektroszkópiára egyaránt jól használható eszközt építeni. Ez utóbbi követelmény megvalósításához a Cassegrain elrendezés kínálkozott a legkézenfekvőbbnek, azonban a főtükör kifűrése nem tűnt triviális feladatnak (Ritchey James Nasmyth nyomán egy harmadik tükröt helyezett közvetlenül a főtükör elé, ami oldalra vetítette ki a fényt). A kanadai Plaskett a 183 cm-es Victoria távcső tervezésekor találta ki, hogy még olvadt állapotban kell ezt a feladatot elvégezni. Ez a távcső - Ritchey számos mérnöki és optikai újítását felhasználva - maradt hosszú időn keresztül a nagy távcsövek "standard modellje": önbeálló golyós csapágyakkal, elektronikus vezérléssel, könnyen elérhető és átváltható primer, Newton- és Cassegrain-fókusszal.

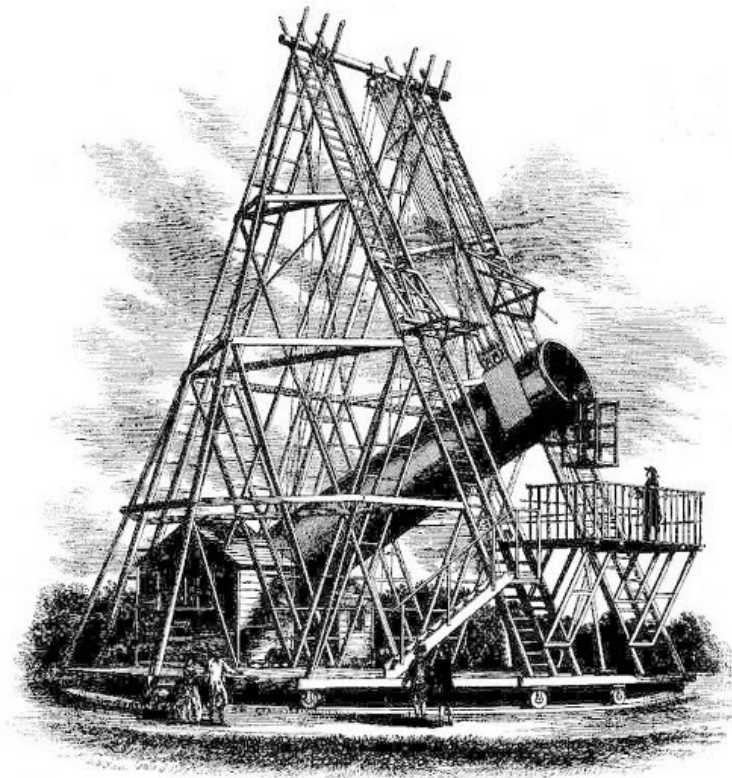
A XX. század első évtizedeiben főként spektroszkópiai célokra használták ezeket a tükrös műszereket. Az alacsony jel/zaj viszony és az "extragalaktikus" csillagászat térhódítása egyre nagyobb távcsöveket igényelt. Hale már a másfél méteres műszer csiszolásakor egy nagyobb - 100 hüvelykes azaz 2,54 méteres - tükörről álmodozott. Az ezt tartalmazó műszer meg is valósult és 1918-as szolgálatba állításától fogva 30 éven át volt a legnagyobb csillagászati távcső. Edwin P. Hubble munkássága nyomán méltán került a leghíresebb csillagászati eszközök közé. Hale még nagyra törőbb terve egy kétszer akkora távcső megalkotása volt, amelyhez 1928-ban a Rockefeller Alapítványtól kapott támogatást. Hamar világossá vált, hogy nem elég a "kicsi", 100 hüvelykes műszert egyszerűen átskalázni nagyobb léptékre, számos, újonnan felmerült mérnöki problémára kellett megoldást találni, pl. a hatalmas üvegtükör hőtágulását is orvosolni kellett, erre a bórszilikát (Pyrex) üvegyanyag megjelenése jelentett gyógyírt. Emellett a tükör torzulásmentes felfogatása is komoly fejtörést okozott. A II. világháború miatt csak 1948-ban tudott a kutatás frontvonalába lépni a Hale nevét megőrkítő új műszer, azonban 1975-ig megőrizte elsőségét, mint a legnagyobb (optikai) távcső.

A spektroszkópia mellett a fotográfia háttérbe szorult, ennek oka részben a távcsövek kóma hibája volt, ami az úgynevezett Ross-korrektor használatával küszöbölhető ki. Eltérő megoldást kínált a Ritchey és Henri Chrétien által javasolt (és az ő nevüket megőrkítő) elrendezés, amely közel parabola alakú főtükört, hiperbolikus segédtükört és konkáv alakra hajlított fotólemez használta. A lencsét és tükröt alkalmazó úgynevezett katadioptrikus rendszerek is mentesek a kóma hibától, az első ilyen rendszert az észti/svéd származású Bernhard Schmidt fejlesztette ki 1930-ban. Az ő nevét viselő elrendezés egyszerűen előállítható gömb főtükört, valamint egy különlegesen csiszolt korrekciós lencsét használta, ami ugyan némi kromatikus aberrációt vitt a rendszerbe, de cserébe korrigálta a gömbi, valamint a kóma hibát. Hátrányaként említhető a szintén görbült fókuszfelület. A rendkívül fényerős, rövid fókusz távolsággal és nagy látómezővel rendelkező Schmidt-távcsövekkel számos fotografikus égbolttelmérés készült, melyek digitalizált verziói az interneten is hozzáférhetőek. Az orosz Dimitrij Dimitrijevic Makszutov által 1944-ben konstruált Makszutov-távcső szintén mentes a gömbi hibától, itt azonban a főtükör elé helyezett erősen görbült negatív meniszkusz lencse végzi a korrekciót.

A fejlődés azonban nem állt meg, a mérnökök/tudósok leleménye tovább emelte a távcsövek technikai/optikai színvonalát: a spektrográfok hőmérséklet szabályozásától fogva, a elektronikus vezérlésen át, az érzékenyebb fotografikus emulziókon keresztül az alumíniumból készült tükröző rétegekig. A fotoelektromos fotométerek megjelenése pedig végre egzakt fényességmérést tett lehetővé. A múlt század első felében a tudományos megfigyelések céljaira készült távcsövek mellett egyre több, természetesen kisebb méretű eszköz került az amatőr csillagászok birtokába, akik munkájukkal sok területen (Hold, bolygók, változócsillagok) egészítették ki a szakcsillagászok munkáját.



Hevelius 150 láb fókusztávolságú lencses "távcsöve".



Herschel 40 láb fókuszu tükrös műszere.



A kaliforniai Wilson-hegyi Observatórium 100 hüvelykes (2,54 m) tükröt tartalmazó Hooker-távcsőve.