Bevezetés az asztrofizikába

Balog Dániel

2011. 10. 10

Bevezetés:

A csillagászat úgy fejlődik, ahogy a távcsövek technológiája fejlődik. A legfontosabb része ennek a fejlődésnek a távcső fénygyűjtőképességének a növekedése, tehát a lencse/tükör átmérőjének a növekedése.

Miért jó a nagyobb lencse?

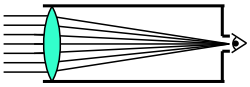
Egyszerű, nagyobb felületre adott idő alatt több energia, azaz több foton esik be. A seeing maximumát a légkör hatásai adják, hiába tudna többet a távcső optikailag, nem lesz új adat.
A távcsövek növekedése ezáltal nem a felbontás növelését, hanem a kevésbé fényes objektumok fényképezését szolgálja. Mivel a fluxus $f \sim \frac{1}{d^2}$, a halvány objektum távoli objektumot jelent.

A távcsövek fejlődése:

- 10 cm-es lencsés távcsővel *(ilyennel dolgozott Galilei)* nagyságrendileg 400 éve, a naprendszer objektumait tudta vizsgálni.
- 1-2 méteres tükrös távcsővel, ami a XX sz elején voltm gözeli galaxisokat lehet tanulmányozni
- A ma létező legnagyobb távcsövek 10 m átmérőjű tükrös távcsövek, messze extragalaktikus objektumokat képesek megfigyelni

Történelmi áttekintés

Lencsés távcsövek:

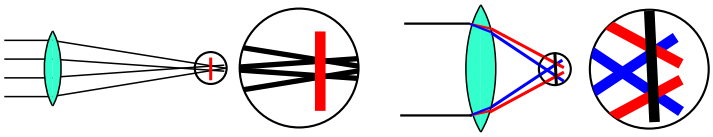


A lencsés távcső lényege az, hogy bejön az elsődleges lencsén a gyakorlatilag párhuzamos fénysugár, ezt a lencse összegyűjti a fókuszpontba, és a mögötte lévő szemlencsével *(okulárral)* ezt a képet nézegethetjük.

Mi a gond vele?

1. szférikus aberráció *(gömbi hiba)*:
   A probléma az, hogy ha beesik egy párhuzamos fénynyaláb, egy lencsére, és ott belépéskor, illetve kilépéskor megtörik, akkor nem feltétlenül ugyanoda fókuszálja a lencse a középen és a széleknél érkező fénysugarakat. Ezáltal vannak olyan sugarak amik a fókuszsík előtt, mások mögötte találkoznak, így egy szétkenődött képet fogunk látni.

2. kromatikus aberráció *színhiba*
   Abból adódik, hogy amikor a fény törik, ahol nagyobb a törés mértéke (szélen) mivel az üveg törésmutatója hullámhossz függő, jobban töri a kéket, és kevésbé a pirosat. A fókuszsíkban az egyik szín már találkozott, és széttart, a másik csak később fog. Színes koncentrikus gyűrűket találunk.
   Megoldások: A lencsére felvitt különböző fénytörésű rétegekkel két elterjedt megoldás van.
   - akromatikus, a két szélső hullámhosszat fókuszálja egy pontba
   - apokromatikus, a két szélső és a középső hullámhosszat fókuszálja egy pontba



szférikus aberáció kromatikus aberáció

Mekora a maximális átmérő?

Alvan Clark optikus készítette a lencséjét a Yerkes Obszervatórium 103 cm átmérőjű lencsés távcsövének *(ez a rekorder)*. Ennek akkora kupolája van, mint a Szent Péter bazilikáé.

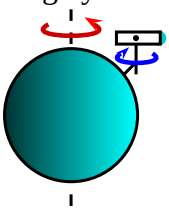
A lencsével az az egyik probléma, hogy a vékony pereménél kell befogni, és egy nehéz üvegtömböt nem bír el ez a kis felfogatás. A másik, hogy hibátlannak kell lennie az üvegnek, nem lehet benne légbuborék, vagy egyenetlenség.

Miért kell nagy kupola?

- Egy nehéz, hasas lencsét nem bír el a pereme, így vékony lencsét kell használni. De ha vékony a lencse, akkor nagy a fókusztáv, és ezáltal a tubus is.
- A XX. század elején csak úgynevezett ekvatoriális felfüggesztéssel tudtak dolgozni.

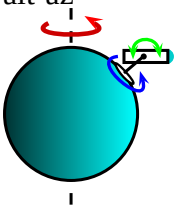
Felfüggesztések:

1. Ekvatoriális[1]
   Az a lényege, hogy úgy függesztik fel a tubust, hogy az egyik forgástengely párhuzamos legyen a föld forgástengelyével.

   Miért kell párhuzamosnak lennie?
   Az ismert, hogy a föld forog a tengelye körül, ezért az égi objektumok, amiket meg akaruk figyelni, relatívan mozogni látszanak. Ha nem csak pillanatképet szeretnénk *(pl. fénykép készítésekor)* akkor az éjszaka során nyomon kell követni az elmozdulni látszó objektumot. Ezt trackingnek nevezik.
   Annak idején ezt csak mechanikus óraszerkezettel lehetett megoldani, ami csak egyenletes sebességű mozgást képes produkálni. Ha az egyik tengely a föld tengelyével párhuzamos, akkor ekörüli egyenletes, a föld állandó forgási sebességét kompenzáló mozgással lehet dolgozni. Ezt az egészet kell bezsúfolni a kupolába.

2. alt-az[2]

   A két tengely a föld felszínével párhuzamosan *(mint egy forgózsámoly)*, és rá merőlegesen van. Ez mechanikailag sokkal egyszerűbb, mint az ekvatoriális felfüggesztés. A rendszer hátránya az, hogy a trackinghez nem konstans sebességgel kell a két tengelynél mozgatni a távcsövet. Sőt, a lefényképezett terület is elfordulni látszik, így még forgatni is kell a fényképezőt. Ez a számítógépek elterjedésével vált lehetségessé, mert a számítógépvezérelt mozgatás lehet nemlineáris.

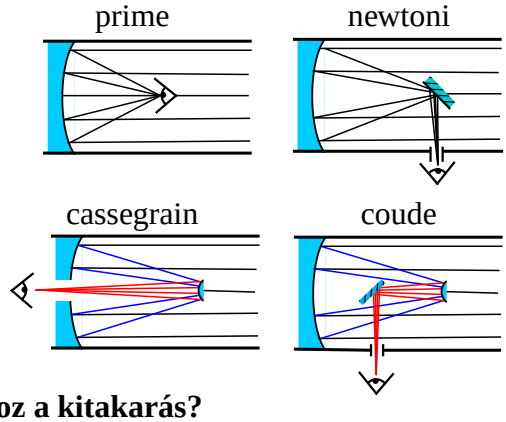
Az alt-az felfüggesztés, és a tükrös távcsövek tubusméret trükközései miatt lehetséges az, hogy egy mai bazilika nagyságú kuplában százszor akkora fénygyűjtőképességű távcsövet lehet felépíteni.

Tükrös távcsövek:

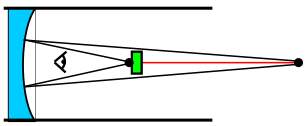
A türkös távcsőnek az a lényege, hogy használok egy homorú tükröt, akkor azzal ugyanúgy egy pontba lehet fókuszálni a fényt. Ezt a létrejött képet egy okulárral meg kell figyelni.

Mi a gond vele?

- A fókuszpont a bejövő fénynyalábban van. Hogyan lehet belenézni?
  - **prime fókusz:** Fogja magát a csillagász, és beül a távcsőbe
  - **newtoni fókusz:** Az oldalra kivezető tükör miatt nem kell beülni a tubusba. *(Egy 20cm átmérőjű amatőr távcsőbe macerás lenne beleülni...)*
  - **cassegrain:** Úgysem lehet a főtükör közepét használni, hiszen azt a másodlagos tükör kitakarja, ott vezetik ki a fényt. Ez azért jó, mert az oda-vissza szakasz kétszeresen számít a fókusztávba.
  - **coude fókusz:** Ez azért használatos, mert a súlypontnál van a tengely, és itt van az okulár is, amire fel lehet pakolni a nehéz(tonnás) CCDt, amit ezáltal nem kell mozgatni.



Mit okoz a kitakarás?



Az ábrán vörössel jelölt fénysugár az, ami szabad szemmel az égre tekintve a szemünkbe jutna. Ezt ugyan kitakarja a zölddel jelölt objektum, de azok a fénysugarak, amelyek elkerülik, visszatükröződve megalkotják a képet. Hiába van tehát a közepén egy valamilyen alakú kitakarás, az a rész csak a fénygyűjtő felületből hiányzik, így halványabb lesz a csillag képe.

[1] földhöz rögzített
[2] altitude-azimut

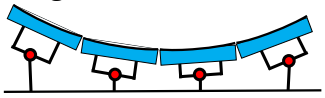
- Hogyan építünk tíz méteres tükröt?

  A fény hulámhossza nagyságrendileg $500nm$.
  Ahhoz hogy fókuszálni tudjunk, a tükör alakjának $\lambda/10$ pontosan kell parabolának lennie. De ez csak gyártástechnológiai nehézség, fontosabb gond az az, hogy ezt a többtonnás tükröt be kell rakni a távcsőbe, fölfogatni, és össze vissza döntögetni a gravitációs erőtérben. És nem változhat többet az alakja, mint $50nm$. Egy ekkora tükör csak a hőtágulás miatt többet változik, mint a megengedett hiba!

  A hőtágulásra megoldás a pirex, olyan üvegkeverék, aminek $\simeq 0$ a hőtágulási tényezője.
  A torzulás problémájára:

  – Honeycomb:

  Könnyítik az üveget, úgy hogy egy hatalmas forgatható kemencébe előre behelyeznek hatszögalakú oszlopokat, ahol majd az üreg lesz, majd körészórnak üvegdarabokat. Fölfűtik, és hűtés közben forgatják. Ezzel a méhsejtcellás megoldással sem lehet néhány méternél nagyobbat csinálni.

  – Szegmensek:
  
  KECK I; II 10m
  1 méteres parabolatükrökből *(36 db)* áll össze a nagy tükör. Ezeket a darabokat számítógépekkel irányítják, hogy mindig parabola alak legyen.

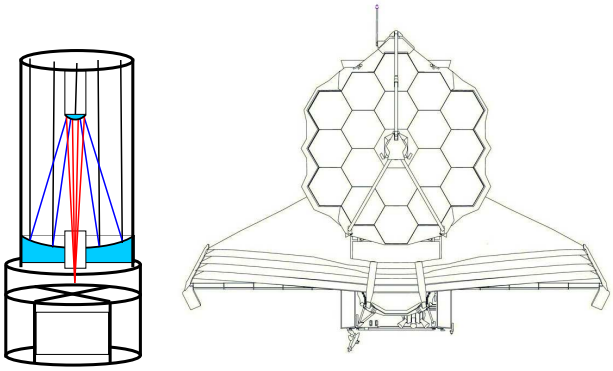
  Európai megoldás: VLT *(very large telescope)* egy darab hatalmas, vékony "tükörhártya", amit számítógép-vezérelt rendszerrel "tartanak formában"

- Kóma:
  A probléma az, hogy a gömb alakúra akarjuk csinálni a tükröt, mint ahogy a lencse is gömb alakú, akkor nem egy pontba fókuszál. Ha pontos parabola alakja van, akkor fog egy pontba fókuszálni minden párhuzamos bejövő fénynyalábot. Azonban ha van egy pontos parabolatükrünk, ha a tengellyel párhuzamosan érkeznek be a fénynyalábok, akkor tényleg pontszerű kép keletkezik. Azonban ez nem igaz, ha nem teljesen párhuzamosan érkezik a fénysugár, nagylátószögű (3°) távcsőnél némelyik pontba 1.5 fok alatt esik a fény.

  Ez kezelhetetlen, de nem is probléma, mert a forma eltorzulása a fizikai méréseket, a szín-, és fényességmérést nem befolyásolja.

Űrtávcsövek:

Ha felmentünk a légkör fölé, akkor a légkörből adódó minden probléma, a légkör szórása, elnyelő hatása is kiküszöbölhető.
Lyman Spitzer fogalmazta meg az űrtávcső gondolatát az 1960-as években. Ebből a gondolatból lett a egy 2.5m-es, tükrös, Hubble űrtávcső*(HST)*. A 70-es években kezdték fejleszteni az űrrepülőt, akkor az egyik legfontosabb elvégzendő feladat egy űrtávcső pályára állítása volt. A távcsövet pont akkorára méretezték, hogy beférjen az űrsiklóba. Ekkoriban még a honeycomb-szerkezet volt a használatos.



A Challenger katasztrófája után leállított űrprogram újraidulásakor, 1990-ben lőtték fel. Kiderült, hogy rosszul csiszolták a főtükröt. Ha állítható tükre van, akkor egy "gombnyomással" megoldható lett volna a probléma, így viszont 1993 végéig kellett várni, mikor fölmentek, és kicserélték az egyik detektort egy optikai korrektorra *(COSTAR)*, ami kompenzálta a főtükör hibáját.

Mostanában fejezték be az űrsiklók a repülést, a Hubble pedig úgy lett tervezve, hogy néhány évenként szervizelni kell. Nem csak azért, hogy a detektorokat jobbra cseréljék, hanem pörgő giroszkópok kellenek a pozícionálásához.

A következő lépés a James Webb űrtávcső. Ez jelenleg tervezés alatt áll. Ez már 10 méter átmérőjű, szegmensekből álló lenne. *(A jobb oldali ábra egy szemből készült tervrajz)*

Az USA-ban folyik a vita arról, hogy érdemes-e emberes űrrepüléssel kísérletezni, vagy csak robotokkal jobb. Ezzel kapcsolatban érdekes, hogy olcsóbb lett volna három-négy évente egy új űrtávcsövet fellőni, mint amibe Hubble javítgatása került.
Az emberes űrprogram azonban sokkal népszerűbb, így arra könnyebb pénzt szerezni.

A diffrakciólimitált felbontás: $\sim \lambda/d$ ahol λ a hullámhossz, d a tubus átmérője. Ez amiatt van, hogy a tubus pereme hullámforrásként viselkedik.