

Csillagászati észlelés gyakorlatok I.

4. óra

Hajdu Tamás & Perger Krisztina & Császár Anna & Bögner Rebeka

2018. március 22.

1. Optikai alapfogalmak

Az emberi szem, az elektromágneses sugárzás töredékét képes érzékelni: ezt látható (optikai) tartománynak nevezzük, hullámhossza 380 nm–760 nm. A pupilla tágulásával és szűkítésével (2-8 mm, normál állapotban 4 mm) szabályozni tudjuk a szemünkbe jutó fény mennyiségét. A tipikus távcsövek jóval nagyobbak az emberi pupillánál, így jóval nagyobb felbontóképességet és nagyítást érhetünk el velük. Magyarország legnagyobb távcsöve Piszkéstetőn található, átmérője 1 méter. Ennél jóval nagyobb távcsövek is léteznek, a Kanári-szigeteken kb. 10 méteres optikai távcső működik, és jelenleg épül egy kb. 40 méteres optikai távcső is (E-ELT). Optikai tartományban észlelve a távcső felületén 100 nm-nél nagyobb hibák nem lehetnek, valamint több darabból, méhsejt szerkezetben állnak össze. Ha egy tömbből akarnánk létrehozni, a saját súlya alatt túlságosan eldeformálna, még így is speciális alátámasztás szükséges. Hosszabb hullámhosszakon a megengedett hibák is nagyobbak lehetnek: a legnagyobb mozgatható távcsövek kb. 100 méteresek. Ennél a méretnél nagyobbat mozgatni jelenlegi mérnöki tudásunkkal nem tudunk. Azonban még ennél is nagyobb távcsöveket építenek hegyek közötti több száz méteres átmérőjű völgyekbe, ezek azonban csak a Föld forgásából eredően tudnak különböző égterületekre nézni.

1.1. Felbontóképesség

Az emberi szem felbontóképessége $\sim 1'$ normál fényviszonyok mellett.

A felbontóképesség az a legkisebb távolság két pont között, mely esetén az adott optikai rendszer (szem, távcső) még el tudja különíteni a két pontot. Az emberi szem esetén, a tisztánlátás távolságában ez 0,08 mm. A tisztánlátás távolsága az a legkisebb távolság, ahol az adott tárgyat még élesen látjuk. Ez azt jelenti, hogy az emberi szem nem tud akármilyen közelre fókuszálni: az átlag felnőttél a tisztánlátás távolsága kb. 25 cm az a távolság.

A szem színfelbontása ennél sokkal rosszabb. ($8 - 10'$)

A fény az objektív peremén elhajlik, így a pontszerű csillag köré szorosan sorakozó színes gyűrűk csatlakoznak (diffrakciós kép). Minél kisebb az objektív átmérője, annál szorosabbak ezek a fénygyűrűk. A csillag képe annál nagyobb, minél kisebb az objektív átmérője.

Az elhajlási gyűrű átmérője (λ és D mértékegysége legyen azonos!):

$$d[\text{rad}] = 1,22 \cdot \frac{\lambda}{D}$$

$$d['] = 206265 \cdot 1,22 \cdot \frac{\lambda}{D}$$

Ha két csillag szorosan egymás mellett van, akkor a diffrakciós gyűrűk egybeolvadnak, és a távcső nem tudja különválasztani a két csillagot.

Látható, hogy a felbontóképesség függ a fény hullámhosszától. A sárga fény hullámhosszára felírva a képlet a következő alakra egyszerűsödik:

$$d['] = \frac{11,6}{D [\text{cm}]}$$

A csillagok a légköri turbulencia miatt nem lesznek teljesen pontszerűek, ha szabad szemmel ránézünk, mintha vibrálnának. A turbulens áramlások összekeverik a különböző hőmérsékletű levegő cellákat, amiknek különböző a fénytörése. A csillagok látszó méretét az égen seeing-nek szokás hívni. Az ún. jó asztrolímiájú földrajzi helyeken a seeing kisebb, mint máshol. A legjobb asztrolímiájú hely persze a világűr, ahol a légkör egyáltalán nem zavarja a méréseket. A fenti összefüggés a felbontóképességre nem veszi figyelembe a **levegő** fénytörését: nagyon ritka, hogy $1''$ alatti pontosságot el lehessen érni mindenféle trükközés nélkül. Ilyen trükk lehet az adaptív optika, amikor a főtükör alakját módosítják a turbulens hatások kiküszöbölésére. Ehhez persze fejlett számítástechnika szükséges, hogy valós időben ezt végre lehessen hajtani. A CCD-k korában emellett létezik szoftveres megoldás is: a CCD chipen is lekövetjük a csillag elmozdulását, a töltések folyamatos léptetésével.

Az egyes távcsövek elméleti felbontóképességét nem tudjuk növelni, viszont bizonyos esetekben több távcső által egyszerre végzett mérések esetén interferenciaképet hozhatunk létre (IR és rádió hullámhosszakon). Az interferenciaképből visszatranszformált felvétel felbontása akkora lehet, mintha egyetlen, a távcsövek közötti távolságnak (bázistávolságnak) megfelelő átmérőjű távcsővel készült kép lenne. A helyzetet kicsit rontja, hogy ebből a nagyfelbontású képből igazból csak mintavételezünk, így érdemes minél több távcső felvételeit interferáltatni.

1.2. Nyílászviszony

Fényerőnek hívjuk a gyújtótávolság (másnéven fókusztávolság) és az objektív (illetve az apertúra) átmérőjének hányadosát (f/D). Jelölés pl.: $F/5$. Ez azt jelenti, hogy $f/D = 5$.

Nyílászviszonynak a fényerő reciprokát hívjuk (D/f), blendézéssel csökkenthetjük a nyílást és ezzel a nyílászviszonyt is.

Általában a nagy fényerejűeknek az $f/4$ - $f/5$ -ös, közepes fényerejűeknek az $f/6$ - $f/9$ -es, kis fényerejűeknek az $f/10$ - $f/15$ -ös objektíveket szokás nevezni.

Csillag esetén a bejövő fény egyetlen pontban összpontosul: a fényesség a távcső átmérőjétől (D) függ.

Kiterjedt objektum esetén a fókusztávolság is számít. 3x nagyobb gyűjtőtávolságú távcső képének mérete minden irányban 3x nagyobb lesz, tehát 9x nagyobb területre oszlik el ugyanaz a fényesség.

1.3. Képméret

Egy 1° -os nyíláshoz tartozó képméret annál nagyobb, minél távolabb keletkezik az egy fokos kép, vagyis minél nagyobb a távcső gyűjtőtávolsága.

A kép méretét a következő módon lehet meghatározni:

$$k = 0,0175 \cdot \alpha [^\circ] \cdot f [\text{cm}]$$

k a cm-ben megadott képnagyság, α a leképezendő objektum szögnagysága és f a cm-ben megadott gyűjtőtávolság.

$$1^\circ \cdot \frac{2\pi}{360^\circ} = 0,0175 [\text{rad}]$$

1.4. Nagyítás

A nagyításnak alsó és felső határa is van. A Cél az, hogy a fénygyűjtőképességet maximálisan kihasználjuk.

Az okulárból kilépő sugárnyaláb átmérője a távcső kilépő pupillájának nevezzük.

Távcső nagyítása = objektív átmérője / kilépő pupilla átmérője

Emellett használják még az objektív és okulár fókusztávolságainak arányát is.

$$N = \frac{D_{\text{ob}}}{D_{\text{ok}}}$$

$$N = \frac{f_{\text{ob}}}{f_{\text{ok}}}$$

A távcső által befogott fény mennyiségét akkor használjuk fel teljesen, ha a távcső kilépő pupillája nem nagyobb, mint a szemünk pupillája, azaz 8 mm. Amennyiben ennél kisebb nagyítást használunk, akkor a fény egy része elvész.

Minimális hasznos nagyítás = objektív átmérője mm-ben / 8 mm

$$N_{\text{min}} = \frac{D_{\text{ob}}}{8 \text{ mm}}$$

→ a $D/8$ értékű nagyítás az optimális, tehát a cm-ben mért objektívátmérő 1,25-szerese.

A másik határt a **felbontóképesség** szabja meg.

Felső hasznos nagyítás = a távcső átmérőjének 5-szöröse. Ekkor már az 1' nagyságú elemeket is láthatjuk.

$$60'' = N \frac{12}{D [\text{cm}]}$$

$$N = \frac{60}{12} D [\text{cm}]$$

(1'' → 1' átváltásból, a szem felbontása miatt; 11,6-ból lett a 12)

Ennek többszörösét azért célszerű használni, hogy a szemidegek fáradtság nélkül szemlélhessék a részleteket.

A nagyítás fokozásával nő a képméret, de az élesség csökken, ez az úgynevezett **üres nagyítás**.

1.5. Határmagnitúdó

A begyűjtött fény mennyisége az objektív átmérőjének négyzetével arányos. A pupilla átmérőjét vegyük 6 mm-nek. A műszerben annyszor halványabb csillagokat észlelünk, ahányszor nagyobb az objektív felülete a szemlencse felületénél.

$$\frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{D [\text{mm}]}{6 \text{ mm}} \right)^2$$

$$\Delta m = 2,5 \log \left(\frac{D [\text{mm}]}{6 \text{ mm}} \right)^2$$

Szabad szemmel maximum 6,5^m-ig látunk.

$$HMG = m_{\text{szabad szem}} + \Delta m = 6,5 + 2,5 \log \left(\frac{D [\text{mm}]}{6 \text{ mm}} \right)^2$$

1.6. Látószög

Fontos lehet számunkra az is, hogy tudjuk, hogy egy kiterjedtebb objektum „benne van-e a képben”. Ennek megbecslésére szolgál a látószög, amit a következő módon lehet kiszámolni:

$$\frac{\alpha_{\text{ok}}}{N} = \alpha_{\text{latszo}}$$

ahol α_{ok} az okulár látómezeje, N pedig a nagyítás. Egy átlagos okulár látómezeje 40 – 50°.

Az objektumunk látszó szögátmérőjét (radiánban) a tényleges átmérőjének és távolságának hányadosából kaphatjuk meg: $\tan \frac{\varphi}{2} = \frac{d/2}{r}$. Mivel a csillagászati objektumok esetében $r \gg d$, a képlet egyszerűbb alakban is felírható: $\varphi \approx \frac{d}{r}$

Források:

- <http://www.mcse.hu>
- <http://www.konkoly.hu/staff/mosoni/if.html>

Feladatok:

1. Határozzuk meg egy 200/1000-es távcső tulajdonságait!

Megoldások:

- Felbontóképesség: $0,58''$
 - Nyílászviszony: $F/5$
 - Minimális hasznos nagyítás: $25\times$
 - Felső hasznos nagyítás: $100\times$
 - Határmagnitúdó: $14,11^m$
2. Ha az előzőekben használt eszközhöz egy 25 mm-es kb 50° -os látómezejű okulárt használunk, akkor mekkora lesz a nagyítás és a látószög?
 - Nagyítás: $40\times$
 - Látószög: $1,25^\circ$
 3. Állítsd felbontás szerint csökkenő sorrendbe a következő eszközöket: 20 cm-es Newton távcső, 3 méteres távoli infravörös (~ 100 mikron) teleszkóp, illetve 300 méteres rádiótávcső (a fél méteres hullámhossztartományban)! (4 pont)

Megoldás: A felbontóképesség a arányos $\frac{\lambda}{D}$ -vel, ahol λ a hullámhossz, D a távcső átmérője.

A hullámhosszakat azonos mértékegységre kellett hozni.

Látható	~ 450 nm	$400 \cdot 10^{-9}$ m
Infravörös	~ 100 mikron	$100 \cdot 10^{-6}$ m
Rádió	0,5 m	$5 \cdot 10^{-1}$ m

A hullámhossz-értékeket leosztva a távcsövek átmérőjével megkapjuk a sorrendet. A legpontosabbal kezdve: Newton, Infra, Rádió.

4. A Ceres törpebolygó tőlünk $d = 231419582$ km-re van. Egyenlítői sugara: $r = 487,3$ km. Látszó fényessége $m = 9,32^m$. Legalább mekkora távcső szükséges ahhoz, hogy láthassuk? Mekkora a látszó szögátmérője? Mekkora távcső kéne hogy egy 100 km-es objektumot rajta észlelni tudjunk?

Megoldás:

- Átmérő (HMG-hez): $D = 21,986$ mm
- Látszó szögátmérő: $\arctan \frac{r}{d} \approx 0,43''$ $\cdot 2$ az átmérőhöz, $\alpha = 0,86''$
- Látszó szögátmérő (100 km): $\arctan \frac{50 \text{ [km]}}{d} \approx 0,0446''$ $\cdot 2$ az átmérőhöz, $\alpha = 0,089''$
- Szükséges átmérő: $D = \frac{11,6}{\alpha \text{ ["]}} \approx 130$ cm

Házi feladatok

1. A cepheidák abszolút fényessége és periódusideje között az alábbi korreláció található: $M_V = B \cdot \log P + C$, ahol $B = -2,81$ és $C = -1,43$ ha P -t napokban mérjük. Ha egy cepheida távolsága tőlünk 1 kpc, periódusa pedig 2,2 nap, milyen fényesnek látnánk?
2. A Kínai Nagy Fal szélessége 8 méter. Látnánk-e a Holdról szabad szemmel? Miért? Látnánk-e egy 15 cm-es távcsővel (látható tartományban)?
3. Mekkora lesz a 102/663-as távcső nagyítása és látószöge egy 10 mm-es, 50° -os okulárral? Érdemes-e ilyen okulárt választanunk? Indokoljuk meg a választ!