

# Bevezetés az asztrofizikába

Balog Dániel

2011. 10. 03

## Alapfogalmak:

### Távolságok:

- csillagászati egység (*astronomical unit*), Jele: AU.  
 $1AU \sim 1.5 \cdot 10^{11}m$ , A Nap-Föld átlagos évi távolsága.  
 Ez a naprendszerben nagyon jól alkalmazható, hiszen a Plútó is kb. 40 AU-ra van.

- PARSEC, Jele pc.  
 Egy parsec az a távolság, amennyiről nézve 1 AU  $1''$  alatt látszik.  $1 pc = 206265 AU$ .

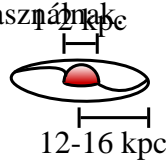


A legközelebbi csillag nagyságrendileg 1 pc-re van.

- Fényév, Jele ly.  
 A fényév egy súlycsoportban van a parseccel.  $1pc \simeq 3.26ly$

### Galaxis méretek:

A (kilo-;Mega-)parsecnél nagyobb mértékegységet még a galaxisok közötti távolság leírásánál sem használunk.



### Viszonyításképp:

- A hozzánk legközelebbi nagy galaxis, az Androméda 600-700 kpc távolságra van. (Megjegyzés: Messier katalógusban a 31-es sorszámot kapta, így M31-el is jelölik.)
- Abell úgy definiálta a galaxishalmazt, hogy egy 1.5 Mpc átmérőjű tartomány, amin belül legalább 30 galaxis van.
- A Budapestről látható legközelebbi nagy galaxishalmaz a Virgo-halmaz, 30 Mpc távolságra van.
- Mi kb 8 kpc-re lakunk a tejútrendszer középpontjától, és a tejútrendszer sugara 12 kpc.
- A közeli csillagok 1Pc re vannak

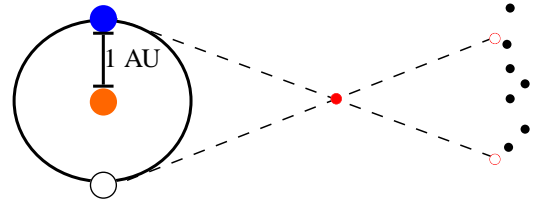
### Távolságmérés:

Hogyan mérjük meg közeli galaxisok távolságát?

A csillagászat problémája, hogy a legtöbb távolságmérés relatív, tehát az egyik objektum távolságát a másik objektum távolságának léptékében lehet csak kifejezni. Pl.: Van két gömbhalmaz. Azt meg tudjuk mondani, hogy az egyik gömbhalmaz négyszer messzebb van mint a másik, de hogy ez konkrétan mennyi, azt nem tudjuk. A távolabbi távolságát akkor tudjuk megadni, ha valahogy kimérjük a közelebbi távolságát.

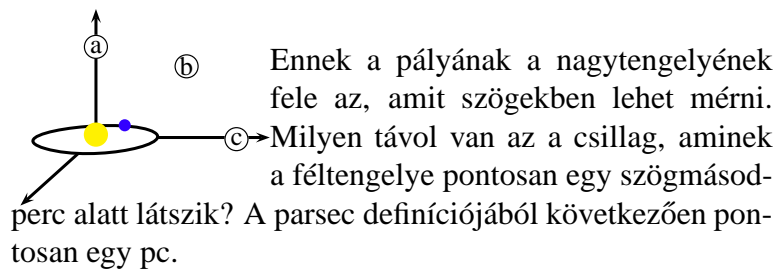
Ahhoz hogy ennek az ún. távolságlétrának (a távolságok függenek egymástól) számértéket lehessen adni, az kell hogy legyen egy abszolút távolságot tartalmazó legelső foka.

A legközelebbi csillagok távolságát az ún. parallaxis módszerrel lehet megmérni.



Lényege az, hogy a Föld a Naptól 1 AU távolságra kering. Egy közelebbi csillag (az ábrán vörössel jelölt) a távolabbi (feketével jelölt) csillagokhoz képest relatívan elmozdul az év folyamán. Az ábrán a pálya két szélő pontjánál jelölve van a látszólagos helyzet. Hogyan néz ki a csillag pályája a teleszkópban?

Általánosan egy ellipszis. Attól függően, hogy a csillag hogyan helyezkedik el az ekliptika síkjához<sup>1</sup> képest lehet kör, ellipszis, és egyenes. Az ábrán rendre a, b, és c pozíció.



<sup>1</sup>az a sík, amiben a Föld kering a Nap körül

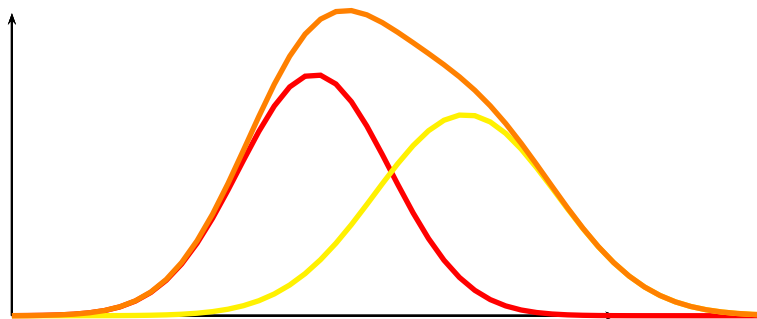
Tehát a parallaxis mérésénél a távolságot ki lehet úgy fejezni, hogy

$$d = \frac{1}{p} \quad (1)$$

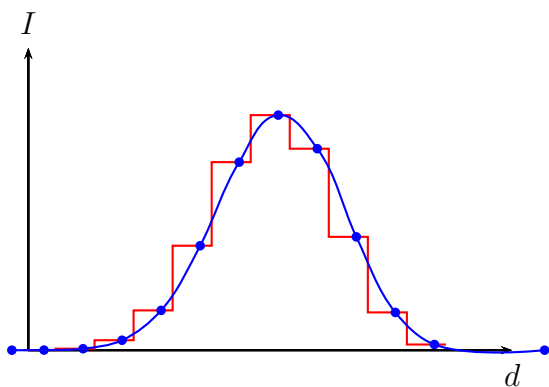
a távolság parsecban a  $p$  szögmásodpercben értendő.

A legközelebbi galaxis 1.3 pc-re van, tehát a parallaxisa kisebb mint 1". Hogyan lehet ezt megmérni a földről, ha a legjobb elérhető felbontás 1"?

A felbontás azt jelenti, hogy egy pontszerű csillag képe szétkenődik. Ennek a fő oka a légkörben lévő párának a szóró hatása. A szétkenődött paca Gauss-szerű intenzitás-görbének félértékszélessége 1". Ezt seeing-nek nevezik. Ezáltal a földön lévő távcsövek felbontóképessége nem csak attól függ, hogy milyen a távcső, hanem hogy hol van. A legjobb helyek: Atacama-sivatag (*Chile*), és Mauna Kea (*Hawaii*)



Az ábrán két egymástól 1 szögmásodpercre látszó csillag intenzitásgörbéje látható (*pirossal és sárgával*), valamint az általunk érzékelt összeadódott görbe (*narancs*). Ezek egybeesnek, így a szemünk már nem képes megkülönböztetni a két csillagot. De ha csak egy csillagot nézünk, és annak az elmozdulását akarjuk megfigyelni, csak egy intenzitásgörbét kell vizsgálnunk. Az alábbi ábra képpontok intenzitásának eloszlását mutatja.



Az ábrán is látható módon a pixelek fényességadataira illesztjük a görbét, ezáltal azt is tudjuk, hogyha ez egy kicsit jobbra vagy balra van a középponttól, másképpen fogalmazva "szubpixel" pontosan kiszámolható, hogy hol van ennek a görbének a csúcsa. Emiatt egy pontosan mért 1" felbontású képnél a gauss görbét két század szögmásodperc

pontosan lehet illeszteni. Ezzel már az ??-es képlet alapján 50 pc távol lévő csillag távolságát lehet meghatározni a föld felszínéről.

Ez a távolságlétra első foka, így minél több csillagot minél pontosabban kell megmérni. Pontosabban úgy lehet mérni, hogyha az űrből mérjük a távolságokat.

A Hipparcos (*High precision parallax collecting satellite, 1989-1993*) már egy nagyságrenddel pontosabban tudott mérni. Egy nagyságrend távolságnövekedés három nagyságrenddel növeli meg a feltérképezhető csillagok számát, hiszen egy a maximális mérhető távolság átmérőjű gömbben elhelyezkedő csillagokat lehet mérni.

Az előző órán elhangzott, hogy Hubble megmérte az Andromédában egy cefeida periódusidejét, és ebből kiszámította a valós fényességet, melyet a mért fényességgel összehasonlítva már lehetett következtetni a távolságra. Ezt az tette lehetővé, hogy a periódusidő és a maximális fényesség közötti összefüggés ismert.

Ha egy objektum abszolút fényessége ismert, azt standard gyertyának nevezzük.

Ahhoz azonban, hogy a periódusidő és az abszolút fényesség közötti összefüggést használni lehessen, azt előbb kalibrálni kell. Úgy lehet beállítani, hogy parallaxis módszerrel megmérhető távolságban lévő cefeidáknak megmérjük a távolságát, a látszólagos fényerejét, és a periódusidejét, és ebből kifejezzük az abszolút fényerőt.

### Fényességmérés:

A fényességet magnitúdóban méri a csillagász, a látszólagos magnitúdó jele  $m$ .

Az ókori görögök már megfigyelték, és osztályozták a csillagokat, fényességük szerint 1-6-ig, ahol a legjobban látható, legfényesebb az 1-es. A mai definíció az, hogy két csillag, egy  $m_1$  és egy  $m_2$  magnitúdójú csillag magnitúdókülönbsége:

$$m_1 - m_2 = -2.5 \cdot \log_{10} \left( \frac{f_1}{f_2} \right)$$

Ahol az  $f$  a fluxus.

A negatív előjel amiatt kell, hogy a fényesebb csillagnak kisebb legyen a magnitúdója, a logaritmus azért, mert az ember szeme logaritmikusan érzékeny a fényre. A konstans arra szolgál, hogy ha ma megmérjük egy görög 1-es, és egy 6-os osztályú csillag pontos fluxusát, akkor a magnitúdókülönbség 5, a fluxus pedig  $\sim 100$ -szorosa, ennek a logaritmus 2, így ezt 2.5-el kell szorozni.

Ezek azonban csak látszólagos magnitúdók. Ha egy csillag nagyon távol van, akkor halványnak látszik, hiszen a fluxus fordítottan arányos a távolság négyzetével ( $d^2$ ).

## Magnitúdó értékek:

- Egy fényesebb galaxis, pl.: az Androméda 8-as
- A Hubble-űrtávcsővel látható leghalványabb objektum 27 – 30-as
- $m_{\odot} = -27$  (A Napot egy alsó indexbe írt  $\odot$  jellel jelöljük.)

A látható csillagok alatt természetesen az éjszakai égbolton pislákoló fénypontokat kell érteni. Ezért lesz ilyen nagy negatív szám a  $m_{\odot}$ , hiszen ennek sokkal nagyobb a fényessége.

Ez az összehasonlítás azonban nem "fair". Egy abszolút fényességet kellene definiálni, amiben már figyelembe vesszük a csillag távolságát. Az abszolút magnitúdó (jele:  $M$ ) úgy van definiálva, hogy a  $m$ -el egyenlő, ha a csillag távolsága 10 pc. Milyen összefüggés van a látható és az abszolút magnitúdó között?

Legyen  $m$  a látható-,  $M$  az abszolút magnitúdója egy csillagnak.

$$m - M = -2.5 \cdot \log_{10} \left( \frac{f_1}{f} \right)$$

Itt  $f_1$  az a fluxus, amit  $d$  távolságból látunk,  $f$  pedig az a fluxus, amit 10pc távolságból látnánk. Mivel  $f \sim \frac{1}{d^2}$ ,

$$m - M = -2.5 \cdot \log_{10} \left( \frac{\frac{1}{d^2}}{\frac{1}{10^2}} \right)$$

$$m - M = -5 \cdot \log_{10} \left( \frac{10}{d} \right)$$

$$m - M = 5 \cdot \log_{10} \left( \frac{d}{10} \right)$$

$$m - M = 5 \cdot (\log_{10}(d) - 1)$$

Természetesen ez csak akkor helyes, ha  $[d] = pc$ .

Ha egy csillag 10 pc távolságra van, akkor a látható és az abszolút magnitúdója definíció szerint megegyezik, ezzel vissza lehet ellenőrizni a képletet. Ebből az egyenletből természetesen kifejezhető a távolság:

$$m - M = 5 \cdot (\log_{10}(d) - 1) / \div 5; +1$$

$$\frac{m - M}{5} + 1 = \log_{10}(d) / \exp_{10}$$

$$d = \exp_{10} \left( \frac{m - M}{5} + 1 \right)$$

Egy mért látszólagos, és egy valahonnan ismert abszolút fényességéből kiszámítható a távolság, a fenti **távolságmodulus egyenlettel**.

Mennyi a nap abszolút magnitúdója?

Ismert a látszólagos magnitúdó, és a távolság,

$$m_{\odot} = -27, d = 1cse$$

$$-27 - M_{\odot} = 5 \cdot \left( \log_{10} \left( \frac{1}{206265} \right) - 1 \right)$$

$$-27 - M_{\odot} = 5 \cdot (-5.31 - 1)$$

$$-27 - M_{\odot} = -31.55 / + 27; \cdot (-1)$$

$$M_{\odot} = 4.5$$

A táblázati érték kb. 4.75, attól függően, hogy milyen színszűrővel nézzük.

Kellene valamiféle nullpontot definiálni, ez a Vega nevű csillag lesz. Ennek definíció szerint a magnitúdója nulla, minden színszűrővel.

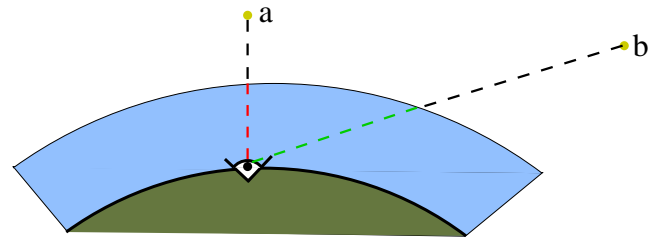
Hogyan függ a fluxus a frekvenciától?

$$f = \int_0^{\infty} f_{\nu} T_{\nu} F_{\nu} R_{\nu} Q_{\nu} d\nu$$

A képletben szereplő tagok:

- $T_{\nu}$

A transzmissziót, azaz a légkör áteresztő-képességét jelöli.



Mivel a távcső a földfelszínen van, a fénynek át kell haladnia a légkörön. Látható, hogy az **a** esetben (*a Zenitnél*<sup>2</sup>) kevesebb, a **b** esetben (*Horizont közelében*) több levegőn kell áthaladnia a fénynek. A levegő a frekvencia függvényében különböző mértékben elnyeli a csillag fényét.

Az is ismert, hogy a légkör infravörös, és ultraibolya tartományokban erősen elnyel, másképp megfogalmazva, a transzmisszió erősen függ a frekvenciától. A víznek két áteresztési ablaka van, az egyik a rádiótartományban, és a másik a látható fény tartományában. Minden más EM sugárzást elnyel.

Ha két csillag fényességét akarjuk összehasonlítani, akkor figyelembe kell venni az égen elfoglalt pozíciójukat. Ezt úgy szokták megfogalmazni, hogy ha  $a$  hosszúságú szakaszon halad a légkörben, azaz a mennyiségű levegőn kell áthaladnia a fénynek, akkor a transzmisszió az adott frekvencián arányos  $e^{-a}$ -val.

Legyen a minimális légkörben megteendő út, azaz a zenitnél megtett út  $a_0$ . Legyen a zenittől mért szög  $z$  (tehát a zenit  $z = 0^\circ$ , a horizont pedig  $z = 90^\circ$ )

<sup>2</sup>Az  $F_g$  irányának inverze

Milyen összefüggés van az előző ábrán vörössel jelölt  $a_0$ , a zölddel jelölt  $a$  és a  $z$  között? Mivel az kb. egy derékszögű háromszög, így

$$a_0 = a \cos(z)$$

Amennyiben  $a_0$ -at vesszük egységnek, akkor

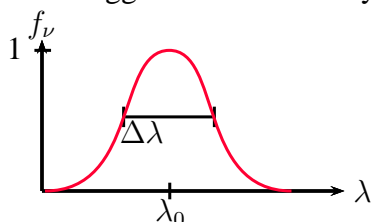
$$a = \frac{1}{\cos(z)} = \sec(z)$$

Azért jelöljük  $a$ -val, hogy utaljon arra a légtömegre (*air-mass*), amin át nézzük a csillagot.

Tehát egy megfigyelt csillag fényességét  $\sec(z)$ -vel korrigálhatjuk a légtömeg elnyelését.

- $F_\nu$

Ez a szűrő (*filter*). A teljes frekvencia-tartománynak csak egy része érdekes a mérés szempontjából, ezért a fényképek készítésekor mindenki úgy jár el, hogy berak egy színszűrőt a rendszerbe. Ezek a filterek úgy néznek ki, hogy az átteresztőképesség ( $f_\nu$ ) egy adott  $\lambda_0$  effektív hullámhossznál, egy  $\Delta\lambda$  félértékszélességgel átteresztik a fényt.

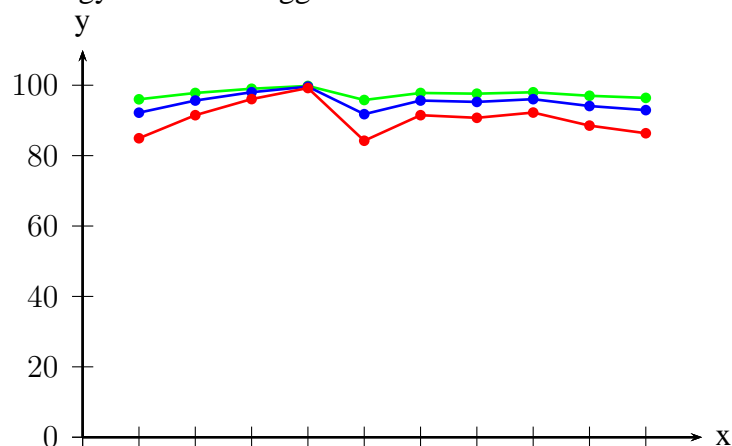


Ezzel ki lehet választani a spektrum azon részét, amit mérni szeretnénk. Fotók készítésénél általában szélessávú színszűrőt használnak, ennek definíciója az, hogy a  $\Delta\lambda/\lambda_0 \simeq 0.2$ . Vannak keskenysávú szűrők ( $\Delta\lambda/\lambda_0 \simeq 0.01$ ), ezek egy-egy színképvonalra vannak kihegyezve.

A képletben tehát nem a teljes tartományban integrálunk, hiszen ahol a színszűrő nem enged át, ott az  $F_\nu$  nulla.

- $R_\nu$

Ez a reflexiót jelöli. A reflexió azt jelenti, hogy egy modern tükrös távcsőben kettő (*vagy több*) tükrőről kell visszaverődnie a fénynek. Még a legjobb ezüstözött tükrök is csak a beérkező fény 98%-át verik vissza, ráadásul ennek van egy frekvenciafüggése.



Az ábrán egy pszeudo-visszaverődésfüggvény (*zöld*) hatása látható kettő (*kék*), illetve négy (*vörös*) tükröződés esetén.

- $Q_\nu$

A kvantum-hatásfokra utal. Vagy fényképezőgép-lemezt, vagy CCD-t használunk a kép rögzítésére. Azt hogy hány fotonból lesz egy-egy elektron, illetve hány elektrontól tudunk egy-egy digitális egységet megmérni, az attól függ, hogy milyen a hatásfoka a rögzítésnek. Természetesen ez is frekvenciafüggő.

A nagyobb energiájú, tehát nagyobb frekvenciájú, illetve kisebb hullámhosszú fotonok jobban be tudnak hatolni egy CCD-be, tehát nagyobb valószínűséggel váltanak ki elektronokat.

Az univerzum tágul, és a távolodó csillagok fénye eltolódik a vörösbe, tehát kisebb energiájú fotonok érkeznek. Itt a kvantum-hatásfok már elég rossz.

### Színszűrő rendszerek:

Azért fontos a pontos definiálásuk, hogy reprodukálni lehessen egy mérést. A szűrőt úgy szokták definiálni, hogy megadják a gyártási leírást.

Először Johnson és Morgan 1953-ban csinált ilyen színszűrő rendszert, az UVB-rendszert (*ultraviolet, blue, visual*). Ezek rendre 365,445, és 556 nm jelentenek. Ezt később kiegészítették, vörös, (*R, 658nm*) és infravörös (*I, 806 nm*) tartományokkal. Ez a legelterjedtebb rendszer. A látható tartomány 400-700nm, csillagász megfogalmazással BVR. Amennyiben a látható sárgás-zöld helyére beírjuk a zöldet (*G*), akkor a jól ismert RGB-t kapjuk.

Ezt az ötvenes években úgy csinálták, hogy adott típusú festéket adott vastagságban felvittek egy üveglemezre, majd száradás után felvitték a következő festéket. Ez ma annyiban egyszerűbb, hogy egyetlen gyártótól rendel mindenki. Ezek a csillagok megfigyelésére lettek kitalálva, a galaxisokhoz más szűrőket alkalmaznak. A galaxisokhoz jobban illeszkedőt fejlesztett ki Than-Gunn 1972-ben.