Csillagászati Laboratórium I.
6. óra: A Plejádok fotometriája

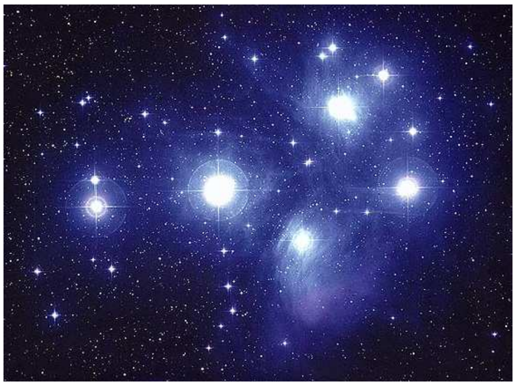
# 1. A labor célkitűzése

- A Plejádok csillagainak fotoelektromos többszín fotometriai mérése
- A Plejádok szín-fényesség diagramjának tanulmányozása
- A Plejádok távolságának meghatározása ZAMS illesztéssel

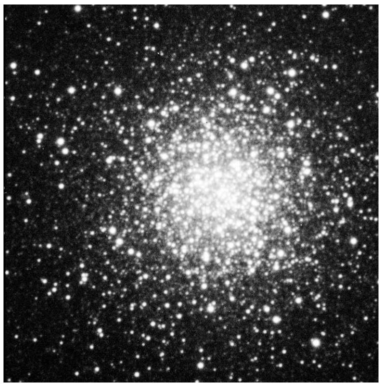
# 2. Nyílthalmazok és fotometriai vizsgálatuk

A csillaghalmazok az asztronómia egyik legérdekesebb és asztrofizikai szempontból egyik legfontosabb objektumai. Segítségükkel a tagcsillagokra tudunk fizikai paramétereket megadni. Magukkal a halmazokkal a Galaxisunk történetét, nagyságát, korát és fizikáját tudjuk vizsgálni. Gyakorlatilag „asztrofizikai laboratóriumként" lehet rájuk tekinteni.

A csillaghalmazoknak több fajtáját ismerjük, melyek nem csak megjelenésben különböznek, hanem összetételükben, elhelyezkedésükben és átlagos korukban is. Három fajta csillaghalmaz típust különböztetünk meg: Nyilthalmazok (Open Clusters, vagy OC), Gömbhalmazok (Globular Clusters, vagy GC) és Asszociációk (Associations).



1. ábra. A Pleiadok nyílthalmaz



2. ábra. Az M3 gömbhalmaz

A nyílthalmazok és az asszociációk nagyon hasonlítanak egymásban mindenben, az egyedüli „különbség" az, hogy az asszociációk csak pár taggal rendelkeznek és gravitációsan már nem annyira kötöttek, mint a nyílthalmazok. A nyílthalmazok pár millió évestől egészen egy-két milliárd éves korig előfordulnak a Galaxisunkban, annak a fősíkja mentén, a spirálkarokban. Nyílthalmazok a mai napig keletkeznek a Galaxisunkban, az úgynevezett „beágyazott halmazokból", miután azok „elfújták" az őket körülvevő intersztelláris anyagot. A nyílthalmazokban található csillagok fémgazdagok (mint második generációs csillagok, ez logikus). Átlagos átmérőjük néhány 10 pc.

A gömbhalmazok a nyílthalmazoktól teljesen eltérő csillagászati objektumok. Az Univerzum történetének korai szakaszában jöttek létre. Az első, melyet felfedeztek az M22 volt. Azóta már több, mint 150-et ismerünk a saját Galaxisunkban. Egy gömbhalmazban több tízezer csillag található (akár egy millió is), melyeg gömbszimmetrikusan, gravitációsan egymáshoz nagyon kötötten helyezkednek el. Maguk a gömbhalmazok a Tejútrendszer külső területén találhatóak, az úgynevezett „halóban". A gömbhalmazokat második populációs csillagok alkotják, azaz ezen csillagok fémszegények. A gömbhalmazok átlagos korát 11 milliárd év fölé becsülik.

Már bevezetés a csillagászatba tantárgyból tanultátok, hogy mi is az a Hertzsprung-Russel diagram. Ugye ez az a diagram, melynek vízszintes tengelyén a csillagok effektív felszíni hőmérsékletét (színképtípusát vagy színindexét) míg a függőlegesen a csillag fényességét (luminozitását vagy abszolút magnitúdóját).

Ezen a diagramon mind a fősorozati, óriásági, horizontális ági ...stb. csillagok jellegzetes helyen tartózkodnak. Pontosan innen is van a kifejezésük, hogy „fősorozati”. Ugye a fősorozati csillagok azok, melyeknek a magjában a jól ismert $H \rightarrow He$ fúzió zajlik.

A Plejádok nyílthalmaz igen fiatal (és körülbelül 250 tagja van), s még a legnagyobb tömegű tagja is fősorozati állapotban van. Méréseitek során meg fogjátok mérni a halmaztag csillagok fényességét különböző hullámhossz tartományokon. Mivel a csillagok felszíni effektív hőmérsékletével korrelál a csillagok színindexe (különböző hullámhosszakon mérhető fényességek különbsége) és tudjuk a csillagok fényességét is, ezért ábrázolhatjuk a Plejádok úgynevezett „szín-fényesség diagramját” (Colour-Magnitude Diagram, vagy CMD), mely így a HRD-vel azonos diagram lesz! Mivel a Plejádok igen fiatal, gyakorlatilag „nulla” korú, ezért a szín-fényesség diagramra illeszthetitek a modellszámításokból ismert ZAMS-ot. Az úgynevezett ZAMS („Zero Age Main Sequence” - Nulla korú fősorozat) megadja különböző tömegű csillagok pozícióját a Hertzsprung-Russel diagramon (HRD) mikor éppen éppen rákerültek a fősorozatra, azaz éppen amikor beindult a magjukban a $H \rightarrow He$ fúzió. A laborórán pontosan ezt fogjátok tenni! Az illesztésből meg fogjátok tudni becsülni a Plejádok távolságát.

**Hogy miből is lehet megbecsülni a távolságát ZAMS illesztésből?**

Korábban tanultátok, hogy egy csillagnak a távolságát meg lehet adni a jól ismert „távolságmodulus” képlettel, mely szerint:

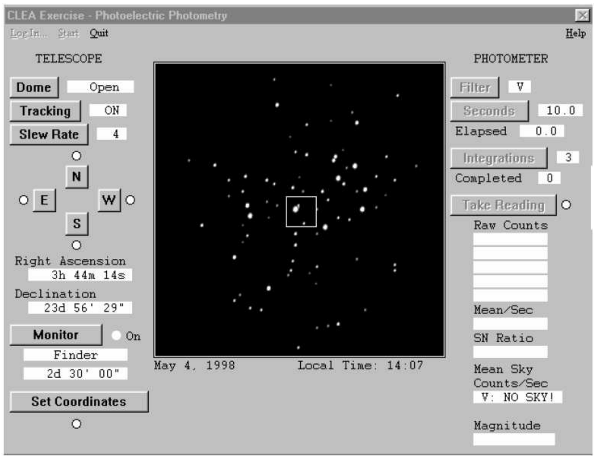
$$\mathrm{m} - \mathrm{M} = -5 + 5 \cdot \log_{10} \mathrm{d} \tag{1}$$

Ebben a képletben a kis m jelenti a csillag látszólagos fényességét (amit mérünk), a nagy M pedig az abszolút fényességét. Ugye az abszolút magnitúdó megadja, hogy milyen fényesnek látszana a csillag 10 pc távolságból. A magnitúdó definíciójába ha beírjuk azt, hogy a fluxus a távolság négyzetével fordítottan arányos, és beírjuk a képletbe a két magnitúdó különbségét, akkor megkapjuk ezt a képletet.

A ZAMS modellek abszolút fényességben adják meg a különböző tömegű, nulla korú csillagok pozícióját a szín-fényesség diagramon, így ha meghatározzuk, hogy mennyivel kell a függőleges tengelyen eltolni a modellgörbét a mérésekhez, hogy illeszkedjenek, akkor ebből megbecsülhetjük a halmaz távolságát. Nyílvánvalóan ez a módszer csak halmazokra működik, hiszen a halmaztag csillagok tőlünk nagyjából egyenlő távolságra helyezkednek el!

# 3. Mérések a CLEA-val

A gépet indítsátok el szokásosan Windows rendszer alatt, és indítsátok el a CLEA Plejádok mérőprogramot. A megjelenő kezelőfelületen (3. ábra) sok gomb található. Hasonló kezelőfelülete lesz a csillagok spektrálklasszifikációja gyakorlatnak is. Láthatóan alapból a kupola („**Dome**”) zárva van, illetve az óragép is ki van kapcsolva („**Tracking**”). Ha kinyitjátok a kupolát, illetve bekapcsoljátok az óragépet, akkor a csillagok mozdulatlanul fognak látszani a látómezőben. Az „**N, S, E, W**” gombokkal tudjátok mozgatni a távcsövet Észak, Dél, Kelet és Nyugat irányba. A mozgatás sebességét a „**Slew Rate**” gombbal tudjátok változtatni. A „**Monitor**” gombbal tudjátok változtatni azt, hogy a fotométer látómezejét lássátok, vagy a keresőtávcsövét. A „**Set Coordinates**” gombbal tudjátok beállítani azt, hogy merre nézzen a távcső.




3. ábra. A mérés kezelőfelülete

A kezelőfelület jobb oldalán a fotométer gombjai találhatóak. A „**Filter**” gombbal logikusan a szűrőt tudjátok váltani. A „**Seconds**” gombbal be tudjátok állítani, hogy hány másodpercig gyűjtse a fényt a fotométer, az „**Integrations**” gombbal pedig azt, hogy hányszor végezzen el egy mérést (a méréseket aztán automatikusan átlagolja). A mérést a „**Take Reading**” gombbal tudjátok elindítani.

**FONTOS! Mielőtt bármelyik csillagot is mérnétek, szükséges megmérni az égi háttér fényességét is minden szűrőben! Ezt úgy tudjátok megtenni, hogy egyszerűen az égi háttérre irányítjátok a távcsövet és azt méritek meg!**

Az „**SN Ratio**” megadja a jel/zaj arányát. A méréseknél ügyeljetek arra, hogy ez az érték 100 felett legyen! A „**Magnitude**” értéknél logikusan a csillag fényessége olvasható le, magnitúdóban.

### 3.1. A mérések

Legelőször az égi hátteret mérjétek meg. Erre miért is van szükség? A csillagok fényességét úgy méritek meg, hogy egy bizonyos kör alakú részen (apertúra) megnézitek, hogy mennyi fény megy be a fotométerbe. Ennek az apertúrának a mérete természetesen nagyobb a csillagénál. Ez viszont azzal jár, hogy nem csak a csillagnak a fényessége, hanem a háttérnek az intenzitása is belekerül a mérésbe. Erre tudunk korrigálni azzal, ha megmérjük, hogy ennek mekkora az értéke.

Mérjétek meg az égi háttér értékét minden egyes szűrőben, 10 másodperces expozíciókkal, ötszörös integrációval. **A jegyzőkönyvbe jegyezzétek fel, hogy mekkora lett a háttér átlagértéke beütés/másodperc egységben („Counts/sec ”)**. Természetesen táblázatba foglaljátok össze ezt az eredményt!

Az angol nyelvű sillabusz végén található táblázatban szereplő 24 darab csillagnak a fényességét mérjétek meg B-ben és V-ben. Az expozíciós időt és az integráció számát Ti állítsátok be mindíg, úgy, hogy az megfelelő legyen a merendő csillagra. A jel/zaj arány 100 felett legyen, ne felejtsétek el! Az adatokat jegyezzétek fel egy `txt` ASCII fájlba (oszlopok: csillag sorszám - B fenyesség - V fényesség). A fájl valahogy így nézzen ki:

```
plej1    14.34    15.23
plej2    13.23    12.12

...
```

## 4. A mérések kiértékelése

Ha befejeztétek a mérést, akkor a fájlt másoljátok fel az `oberon`-ra és bootoljatok át Linuxra. Linux alatt `scp`-zzétek át a fájlt az oberonról a saját `kfpc`-s gépetekre, amit az előbb mentettetek le. Az scp parancs valahogy így kell, hogy kinézzen (logikusan átírva a paramétereket):

```
scp user@oberon.physx.u-szeged.hu:labor1/Plejadok/fajl .
```

Ugye ebben a fent látható három oszlop van a 24 darab csillagra. Egy egyszerű `awk` paranccsal kiszámoljuk most a B-V értékét a csillagokra. Adjátok ki a:

```
awk '{print $1,$2,$3,$2-$3}' fájl > ujfajl
```

parancsot, ahol a „fájl” az eddigi fájl, míg az „újfájl” a létrehozni kívánt új adatfájl. Értelmezzük a scriptet: `awk`-kal magát az `awk` programot indítjuk el. Az `awk` szintaxisa szerint `'{}'` jelbe kell tenni a parancsot. A parancs pedig az, hogy a `fajl` mindegy egyes sorára „printelje”, azaz nyomtassa ki a képernyőre az első, a második, a harmadik oszlopot, illetve a második és a harmadik oszlop különbségét. Ez lesz ugye a B-V érték. A kimenetet pedig a képernyőről az `ujfajl`-ba irányítjuk.

A `ujfajl`-ban található adatokat `gnuplot` segítségével ábrázoljátok. A vízszintes tengelyen a B-V színindexét kell ábrázolni a csillagoknak, míg a függőleges tengelyen a V fényességüket. Készítsetek egy szép ábrát és mentsétek le `eps`-ben. Ne feledjétek: a magnitúdóskála inverz, ezért a függőleges tengely irányát fordítsátok meg!

### 4.1. A távolság meghatározása

A **http://petra.hos.u-szeged.hu/~gaspi/zams.dat** linken található adatfájlt töltsétek le, és tegyétek a korábbi fájlok mellé. Ez a fájl tartalmazza a számítások alapján előállított abszolút V és B-V magnitúdó értékét a modellcsillagoknak. Ezt kéne `gnuplot` segítségével „szemre" ráilleszteni a Plejádok szín-fényesség diagramjára. Ezt valahogy így lehet megtenni például:

```
unset key
set xlabel "B-V [mag]"
set ylabel "V [mag]"
set yrange [] reverse
plot "ujfajl" u 4:3 pt 7 ps 1.5
replot "zams.dat" u ($2):($1+5) w l lt -1 lw 2
```

Az `unset key` paranccsal kikapcsoljuk a magyarázó dobozkát. Látható, hogy a tengelyeket feliratozzuk. A `set yrange [] reverse` paranccsal megadjuk, hogy forditsa meg az y tengely irányát. Az `ujfajl`-nak a 4:3-as oszlopát ábrázoljuk, azaz a B-V érték függvényében a V értékét a mért csillagoknak. A „`pt 7 ps 1.5`"-gyel azt állítjuk be, hogy a 7-es ponttípust használja a `gnuplot` (ez a pötty) illetve, hogy 1.5-ös méretű legyen.

A lényeg az utolsó sorban van: A `zams.dat` fájlt a 2-es és az 1-es oszlop felhasználásával ábrázoljuk. Látható, hogy itt `awk` jellegű szintaxist használunk, ugyanis a `gnuplot` tud ilyet is! Látszik, hogy itt a ZAMS görbéjét 5 magnitúdóval toljuk a szín-fényesség diagramon lefele! A „`w l lt -1 lw 2`" kapcsolóval azt mondjuk, hogy a ZAMS-ot vonallal ábrázolja (*with line*) méghozzá a „-1"-es típusú vonallal (*line type*), melynek a vastagsága legyen 2 (*line width*).

Az ábrát ízléseteknek megfelelően állítsátok össze. A ZAMS görbéjét illesszétek rá szemmel a Plejádok szín-fényesség diagramjára (állítgassátok a „`$1+5`" paramétert). Ha készen vagytok, akkor jegyezzétek fel, hogy mekkora lett a távolságmodulus és zsebszámológéppel számoljátok ki a Plejádok távolságát. Az illesztett ábrát is mentsétek le `eps`-ben! Egy körülbelüli hibahatárt is becsüljetek meg az illesztésetekre, mind magnitúdóban, mind pedig távolságértékben!

## 5. Feladatok

1. Mérjétek meg a Plejádok csillagainak a fényességét B-ben és V-ben! Ne felejtsetek el mérni égi hátteret is mindegyik szűrőben.

2. Ábrázoljátok a Plejádok szín-fényesség diagramját.

3. A letöltött ZAMS-ot illesszétek rá a szín-fényesség diagramra, és becsüljétek meg hibahatárral a Plejádok távolságát.

4. Minden eredményt foglaljatok össze táblázatokban és írásban is! Az `eps` ábrákat tegyétek bele a jegyzőkönyvbe!