Csillagászati Laboratórium II.

9. óra: A távcsőkonstansok felhasználása illetve izokrónok illesztése

Múlt órán eljutottunk odáig, hogy meghatároztuk az M67-es képek alapján az extinkciós illetve a standard transzformációs egyenleteket. A mai órán ezek alapján az NGC 2126-os méréseket bekalibráljuk a standard rendszerbe. Ehhez először kereszt-korreláltatnunk kell az NGC 2126-os méréseket, hogy meglegyenek az összetartozó BVRI adatok. A kereszt-korrelációhoz viszont szükséges, hogy meghatározzuk a pixelekhez tartozó rektaszcenzió illetve deklináció értékeket.

Az óra második felében a kapott adatokra illesztünk elméleti modelleket. Az illesztés alapján tudjuk értelmezni a halmaz fizikai paramétereit, így tudunk majd adni egy becslést a korára, távolságára. Emellett meg tudjuk becsülni a halmaz és közüttünk elhelyezkedő csillagközi anyag vörösítő hatását.

1. Az NGC 2126-os mérések kereszt-korreláltatása

Ugyanúgy, ahogy az M67-es méréseknél, az NGC 2126-os méréseknél is hozzatok létre egy `datok` nevű könyvtárat, és másoljátok be ide a négy `*.dat` fájlt. A fájlokban szereplő pixelkoordinátákat át szeretnénk alakítani rektaszcenzióra illetve deklinációra. Ehhez szükségünk lesz a már WCS-ben lévő `*w.fits` fájlokra, így ezeket is másoljátok bele a `datok` mappába.

A pixelkoordinátákból Ra és Dec adatot az `xy2sky` programmal kaphatunk, ami már a `WCSTools` programcsomaggal korábban telepítettünk. Mivel használata alatt több switch-el kéne bajlódni, ezért írtunk egy kisebb scriptet, mely a program vezérlését elvégzi helyettetek. Ez szokásosan a labor honlapjáról letölthető (`px2sky.sh`). Használata:

```
$ ./px2sky bw.fits b.dat
```

Azaz első argumentumként a kép nevét, másodikként a képhez tartozó `*.dat` fájlt kell megadni (azt amelyet az *IRAF* kiadott, beleírás nélkül). Ha jól megnézitek, akkor látható, hogy felülírta a korábbi `*.dat` fájlt, a pixelkoordináták helyén az égi koordináták láthatóak (Ra-nál is szögekkel), illetve csinált egy fejlécet a fájlnak, melynél láthatjuk, hogy melyik oszlopban melyik adat található. Futtassátok le mind a négy képre. Aki kíváncsi, az nézzen bele a scriptbe, és próbája értelmezni annak működését.

A négy adattömb kereszt-korreláltatását a labor honlapjáról letölthető `crosscorr` programmal végezzük. Ennek segitségével négy különböző szűrős, ilyen oszlopokkal rendelkező adatfájlokat tudunk kereszt-korreláltatni. A programnak dinamikusan növekvő az adattömbje, megkeresi az összes lehetséges csillagot, és mindegyikhez a hozzá tartozó adatokat. Ha letöltöttétek a labor honlapjáról, akkor futtassátok az előbb Ra, Dec koordinátarendszerbe helyezett képekre.

```
$ ./crosscorr -o bvri.dat -d 0.002 -ib b.dat -iv v.dat -ir r.dat -ii i.dat
```

A programnak több fájlt is meg lehet adni amúgy szűrőnként (akár „wildcard"-ozással -azaz `*b.dat`-, akár mondjuk egy `'cat vpic.ls'` jellegű beszúrással). A program `-h` kapcsolóra kiírja a használatát. Ajánlom mindenkinek esetleges későbbi felhasználásra. Mivel a program a levegőtömegeket szűrőnként átlagolja, ezért csak egy levegőtömegnél készült adatok kereszt-korreláltatására alkalmas.

Nézzétek végig a létrejött adattömböket! Az eddig tanultak alapján, illetve a múlt órán megoldott extinkciós és standard transzformációs egyenletek felhasználásával, egy `awk` script segítségével (nem lesz szép) transzformáljátok be az adatokat a standard rendszerbe! Ajánlatos ezt a sciptet otthon megírni, ugyanis sok időt fog elvenni! Korábbi órán a $V - I$ és a $V - R$-es színfüggéseket állapítottátok meg, így figyeljetek oda, hogy azon adatokra végezzétek el a számolást, ahol V, I és R adat is a rendelkezésetekre áll (azaz mondjuk a `$7!="-"`). Segítségül: A `crosscorr` program által létrehozott fájl oszlopai a következőek: `Ra, Dec, Bmag, Bmerr, Bchi, Bair, Vmag, Vmerr, Vchi, Vair, Rmag, Rmerr, Rchi, Rair, Imag, Imerr, Ichi, Iair`.

Ha megvannak a transzformált adataitok, akkor gnuplottal ábrázoljátok a terület szín-fényesség diagramjait. Mit lehet a kapott szín-fényesség diagram segítségével megállapítani, miért is jó ez? Korábbi asztrofizika tanulmányaitokat elevenítsétek fel és ennek segítségével értelmezzétek az ábrákat!

2. Izokrónok illesztése

Mint jól tudjuk, a halmazok szín-fényesség diagramjának elemzésével a halmaz bizonyos paramétereire következtethetünk. A szín-fényesség diagram megfeleltethető a csillagászok által már régóta használt Hertzsprung-Russel diagrammal (HRD). Miért is? Mivel a csillagok fekete-test sugárzó objektumoknak tekinthetőek, ezért sugárzásukat a fekete-test sugárzás képletével tudjuk leírni. A Plank görbének megvan az a kettő nagyon jó tulajdonsága, hogy egy görbe csak egy hőmérséklethez tartozhat, illetve hogy egy görbét már kettő pontja meghatározza. Így ha meg tudnánk mérni valahogy egy csillag sugárzását kettő különböző hullámhosszon (frekvencián), akkor meg tudjuk mondani az effektív felszíni hőmérsékletét! Szerencsénkre a szűrők pont ezt teszik, hogy bizonyos hullámhossz intervallumon belül vizsgálják a sugárzás értékét. Azaz a vizsgálható színek ($V-I$, $V-R$, $B-V$ ... stb.) a csillagok felszíni effektív hőmérsékletével arányosak. A függőleges tengelyen pedig a csillagok luminozitását ábrázolták az eredeti HRD-n, mi az ennek megfeleltethető magnitúdó fényességet ábrázoljuk.

Modell számítások alapján tudjuk, hogy a fősorozati, illetve a fősorozat utáni csillagoknak hol kell elhelyezkedniük ezen szín-fényesség diagramon (Colour-Magnitude Diagram, azaz CMD). Ezeket a modelleket, melyek leírják, hogy azonos korú de különböző tömegű csillagok hol helyezkednek el, nevezzük „izokrónoknak” (azaz „egy-idő”). Az izokrónoknak összesen kettő paraméterük van: a koruk illetve a fémességtartalmuk. A kort általában logaritmikus mennyiségben adják meg, azaz mondjuk egy izokrón kora $\log t = 9$ ($t = 10^9$ év). A fémességet **Z** százalékos értékben szokás megadni (például a Nap fémessége $Z = 0.019$).

Az egyik legismertebb izokrón modellező csoport a padovai egyetemen található. Az ő honlapjukról fogjuk letölteni az aktuális izokrón csomagot:

```
http://pleiadi.pd.astro.it/
```

Itt keressétek meg a „Theoretical isochrones in several photometric systems. I. Johnson-Cousins-Glass, HST/WFPC2, HST/NICMOS, Washington, and ESO Imaging Survey filter sets” linket. A névből kiderül, hogy itt megtaláljátok a Johnson fotomeriai rendszerhez tartozó izokrónokat is. A linken belül keressétek meg a „Johnson-Cousins-Glass UBVRIJHK” linket. Itt rengeteg izokrónt láthattok. A nyílthalmaz tagjai feltételezhetően a Napunknál ugyan fiatalabb, de ugyanúgy I. populációs csillagok, mint a Nap. Ezért megelégszünk a sok izokrón közül a „szoláris fémességű”-ekkel. Töltsétek le a $Z = 0.019$ fémességű izokrón csomagot (basic set)!

Ha letöltöttétek, akkor a `gz` fájlt tömörítsétek ki és nézzetek bele. Észre lehet venni, hogy ez az egy fájl ömlesztve tartalmazza a különböző korú izokrónokat. Ezt egy általunk biztosított script szépen szétválogatja különböző fájlokba. Mivel sok izokrón lesz, ezért először érdemes egy újabb mappát létrehozni, és abba tenni a kitömörített fájlt és ott szétszedni! A scriptet a honlapról töltsétek le (`parse_iso.awk`). Ez egy külső `awk` script, futtatásához a következő parancsot adjátok ki:

```
$ awk -f parse_iso.awk isoc_z019.dat
```

A szétválogatott izokrónokat nézegessétek végig. Az izokrónok a következő oszlopokat fogják tartalmazni: $\mathtt{M}_{ini}$, `B`, `V`, `R`, `I`. Az $\mathtt{M}_{ini}$ a modell csillag „initial”, azaz kezdeti tömegét adja meg. Figyeljétek meg, hogy az öreg izokrónoknál a nagy kezdeti tömegű csillagok már hianyoznak! Miért is lehet ez?

A `gnuplot` program használatával az izokrónokat illesszétek a standardizált adataitokra. (*Tipp: A 9.0±0.5-ös korú izokrónokkal próbálkozzatok.*) Az illesztéshez mint függőleges, mint vízszintes irányba is kell tologatni az izokrónokat. Mit is adunk meg az egyes tolásokkal? A modell izokrónjaink „abszolút” magnitúdó értékűek. Ehhez képest a mért értékeink pedig „standard” magnitúdók, azaz olyan fényességek, mint amilyennek a Föld távolságában látszanak. A jól ismert képlet alapján:

$$\mathrm{m_v} - \mathrm{M_v} = -5 + 5\log\mathrm{d} + \mathrm{A_v} \tag{1}$$

látható, hogy a függőleges eltolás a halmaz távolságát adja meg (ugye minden halmaztag csillag nagyjából azonos távolságra található tőlünk)!

Ha vízszintes tolást hajtunk végre, akkor az azt jelenti, hogy a pontjaink vagy vörösebbnek, vagy kékebbnek látszanak a kelleténél. Logikusan gondolkodva (mondjuk $B-V$ színindexszel) ha egy pont az ábra bal oldalán helyezkedik el, azaz kisebb B-V értéknél, az azt jelenti, hogy az objektumnak a fényességértéke B-ben kisebb, mint V-ben (tőle jobbra elhelyezkedő ponthoz képest), azaz fényesebb (mivel a magnitúdóskála az inverz). Ez azt jelenti, hogy az objektum kék színű, azaz forróbb, mint a tőle jobbra elhelyezkedő objektum.

Ez logikus is, hisz a HRD bal oldalán helyezkednek el a forró csillagok, míg a jobb oldalán a hűvösebb pár ezer K-es csillagok.

Ha egy csillagnak a fénye sok csillagközi anyagon jön át, akkor a fény Rayleigh szóródást szenved (mint naplementénél a fény). Ezért a csillagok fényét vörösebbnek látjuk, mint valójában. Ezt az effektust hívjuk csillagközi vörösödésnek. Emellett a fény ereje is gyengül, ezt pedig galaktikus (vagy csillagközi) extinkciónak nevezzük. **Figyelem! Nem összekeverni a légköri extinkcióval**. A két effektus között létezik empirikus összefüggés, amit vörösödési törvénynek hívuk. Jól ismert például a $B-V$-s vörösödés és a vizuális hullámhossz-tartományban mérhető extinkció közötti empirikus összefüggés, miszerint (Bessel, 1988):

$$3,12E(B-V) = A_v \tag{2}$$

Lehet látni, hogy az extinkció pontos meghatározása fontos, hisz a távolságmodulusban is megjelenik. Akár egy $0\overset{m}{,}5$-s vörösödés is már $0\overset{m}{,}15$-s extinkcióként jelentkezik. Ez a távolságmeghatározásban viszont jelentős eltérésekhez vezethet a valóság és a mérés között! Az egyes vörösödések között is található összefüggés, miszerint:

$$E(V-I) = 1,25E(B-V) \tag{3}$$

illetve

$$E(V-R) = 0,8E(B-V) \tag{4}$$

Kérdések, feladatok:

1. *Az NGC 2126-os mérések pixelkoordinátáit a letölthető script segítségével helyezzétek át a WCS-sbe.*
2. *A szintén letölthető program segítségével kereszt-korrelláltassátok a méréseket!*
3. *Írjatok egy saját `awk` scriptet (szerkesztőbe írjátok, hogy bármikor javíthassátok), mely az előbb létrehozott adatokat a múlt órán meghatározott távcsőkonstansokkal a standard rendszerbe helyezi!*
4. *Töltsétek le a padovai honlapról a sillabuszban megadott izokrón csoportot. A válogató scripttel szedjétek szét őket kor szerint.*
5. *`Gnuplot`-ban határozzátok meg, hogy melyik a legjobban illeszkedő izokrón, milyen távolságmodulussal és milyen vörösödéssel!*