

Szegedi Tudományegyetem TTIK
Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék

SZAKDOLGOZAT

**Gömbhalmazok életkorának becslése
csillagfejlődési modellek alapján**

Globular Cluster Age Estimates Based on
Stellar Evolution Models

Készítette: Gyurita Árpád

Fizika BSc szakos hallgató

Témavezető: Dr. Vinkó József,

egyetemi docens

Szeged

2017

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	4
2. Elméleti összefoglaló.....	5
2.1. Gömbhalmazok jellemzői.....	5
2.2. Gömbhalmazok H-R diagramja.....	7
2.3. Kormeghatározás.....	9
2.4. Távolságmegahatározás.....	11
3. Műszerek.....	13
3.1. Távcső kezelése.....	13
4. A CCD-kamera.....	15
5. Fotometria.....	16
5.1. Korrekciós eljárások.....	16
5.1.1. Bias.....	16
5.1.2. Dark.....	16
5.1.3. Flat.....	17
5.1.4. A korrigált kép.....	17
5.2. Képek összetolása.....	18
5.3. PSF-fotometria.....	18
5.3.1. Adatok kinyerése a korrigált képekről.....	18
5.3.2. Fotometria.....	19
6. Standard transzformáció.....	20
6.1. Sloan Digital Sky Survey (SDSS).....	20
6.2. Transzformáció.....	21
7. Eredmények.....	22
7.1. Hibabecslés.....	23
7.2. M56.....	24
7.3. M3.....	26
7.4. M53.....	27
8. Összefoglalás.....	29
9. Köszönetnyilvánítás.....	29
10. Felhasznált irodalom.....	30

11. Függelék.....	31
11.1. PSF-fotometria során beállított értékek az IRAF-ben.....	31
11.1.1. M56 fotometriája.....	31
11.1.2. M3 fotometriája.....	32
11.1.3. M53 fotometriája.....	33
11.1.4. Diff.c programrész.....	34
12. Nyilatkozat.....	36

1. Bevezetés

A szakdolgozatom megírása során felhasználtam minden olyan tudást és tapasztalatot, amelyet a nyári gyakorlatom óta szereztem. A nyári gyakorlat témája az MTA Konkoly Thege Miklós Csillagászati Kutató Intézetének (Piszkés-tetői megfigyelőállomás) a 60/90/180 cm-es Schmidth távcsövének a transzformációs együtthatóinak meghatározása volt. A nyári gyakorlat során előkészítettem a projektmunkám témakörét, amely során az M56 gömbhalmaz PSF-fotometriáját tűztem ki célul. A fotometria segítségével és az ebből származó eredményeket felhasználva, különböző elméleti modellek illesztésével fizikai szempontból fontos tulajdonságokat deríthetünk ki az adott objektumról, esetünkben a gömbhalmazról (távolság, kor, fémesség). Végül a szakdolgozatom témájául három különböző korú gömbhalmaz életkorának becslését választottam, felhasználva mindazon tudást, amit eddig szereztem. Ezen felül szerettem volna komolyabban foglalkozni ezen módszerekkel, amelyekkel egy gömbhalmaz életkora becsülhetővé válik.

Dolgozatom elején rövid elméleti összefoglalót készítettem a gömbhalmazokról, ezen belül részletesebben a távolság és kormeghatározási módszerekről, majd a fotometriai módszereket és a transzformációs együtthatók meghatározásának módszerét ismertetem. Végül betekintést nyújtok az eredmények felhasználását illetően és természetesen ismertetem azon értékeket és határait, melyeket meg akartam határozni a munkám során.

2. Elméleti összefoglaló

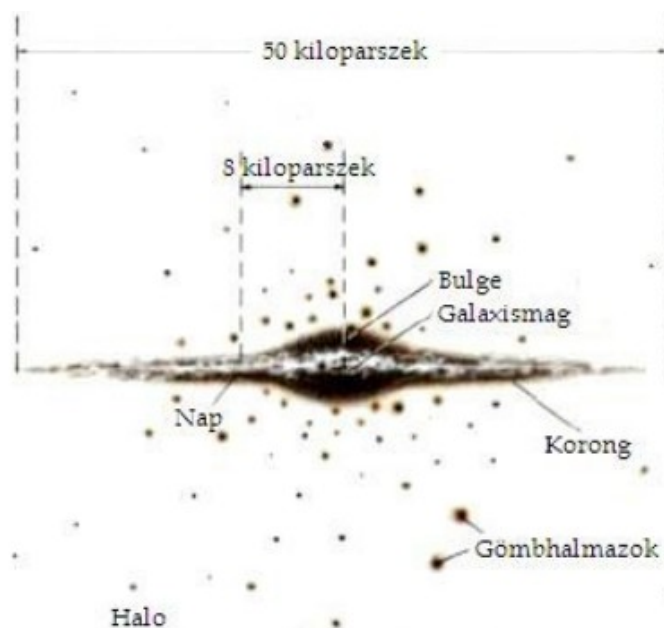
A csillagok legtöbbször csoportosan keletkeznek az összesűrűsödő gáz- és molekulafelhőkből. Ezek a csillagok legtöbbször gravitációsan kötöttek, tehát gravitációs csoportosulásokat is alkothatnak. Ezen csoportosulásokat három különböző csoportba soroljuk: asszociációk (társulások), nyílthalmazok és gömbthalmazok.

Asszociációk: ezek a csoportosulások gravitációsan nem kötöttek, legtöbbször az anyagfelhőkkel együtt, vagy azokba beleágyazódva találjuk meg őket. Három csoportjukat különböztetjük meg: OB asszociációk, R asszociációk és T asszociációk. Az osztályokba sorolás alapja lényegében az ezen csoportosulásokban található csillagok tömege. Az asszociációkra jellemző, hogy fiatal korú csillagok alkotják, általában 10 millió évnél fiatalabb csillagok.

Nyílthalmazok: 50 – 1000 csillag laza társulásai. A gömbthalmazokhoz képest fiatalabb és fém gazdagabb csillagok alkotják. Legfőképp a Tejútrendszer síkjában található meg. Eddig kb. 1200 nyílthalmazt ismerünk, de számuk akár 10000 is lehet. [15]

2.1. Gömbthalmazok jellemzői

A gömbthalmazokat öreg (több mint 10 milliárd éves) II. populációs csillagok alkotják. Két gömbthalmaz típus különböztethető meg, ilyenek a relatíve fémgazdag, ill. fémszegény csillagokból álló gömbthalmazok. Köztük nagy számban található különféle változócsillagok, mint például RR Lyrae típusúak, valamint hosszú periódusú cefeidák. A gömbthalmazok a csillagok gömb alakú csoportja, melyek 5000 – 50 millió tagot is számlálhatnak. Ránézésre a gömbthalmazok szabályos, középpontjuk felé sűrűsödő csillageloszlású halmazoknak tekinthetők, mintegy meglehetősen kicsi, 50 parszek átlagos átmérőjű területbe zsúfolódva. A nagy csillagsűrűség és a magas életkoruk miatt is, gravitációsan kötött objektumokról beszélhetünk. Pár esetben alakjuk eltér a szabályos gömbtől, viszont ez nem gyakori. Mai ismereteink szerint megközelítőleg 160 gömbthalmazt ismerünk (számuk 250-re tehető) a galaxisunkban, melyek gömbszimmetrikus eloszlása főként a Tejútrendszer halójában figyelhető meg (1. ábra). Tömegük 10^4 - 10^5 naptömeg, összfényességük $-2,6^m$ és $-10,3^m$ esik.



1. ábra: Gömbhalmazok eloszlása a Tejútrendszeren belül
 Forrás: <http://www.sciencebuddies.org>

A galaxisunkban a kezdeti hidrogénből és héliumból álló gázanyag idővel folyamatosan szennyeződött a felrobbanó szupernóvák által termelt nehezebb elemekkel, ezért az egyre később keletkező csillagok egyre több fémet tartalmaztak. A hidrogénnel és héliummal kívüli összes elemet a csillagászatban fémeknek nevezzük. Megkülönböztetünk fémszegény és fémgazdag csillagokat-csillagpopulációkat. A hidrogén tömegszázalékát X , a héliumét Y a fémekét pedig Z betű jelöli. Egy adott csillag vagy gömbhalmaz fémségét jellemezhetjük még a $[Fe/H]$ mennyiséggel is. Ez a szám a vas és a hidrogén csillagon belüli előfordulásának az arányával függ össze. A következő összefüggés alapján számítható ki:

$$[Fe/H] = \log\left(\frac{N_{Fe}}{N_H}\right) - \log\left(\frac{N_{Fe}}{N_H}_{nap}\right), \quad (1)$$

,ahol N_{Fe} és N_H a vasatomok, illetve a hidrogénatomok koncentrációja.

A vasatomok koncentrációjához való hasonlítás azért indokolt, mivel könnyen azonosíthatóak a színképvonalai, tehát egyszerű következtetni a fémtartalomra. A tömegszázalékokból egy formula segítségével könnyedén kiszámíthatjuk a $[Fe/H]$ mennyiséget:

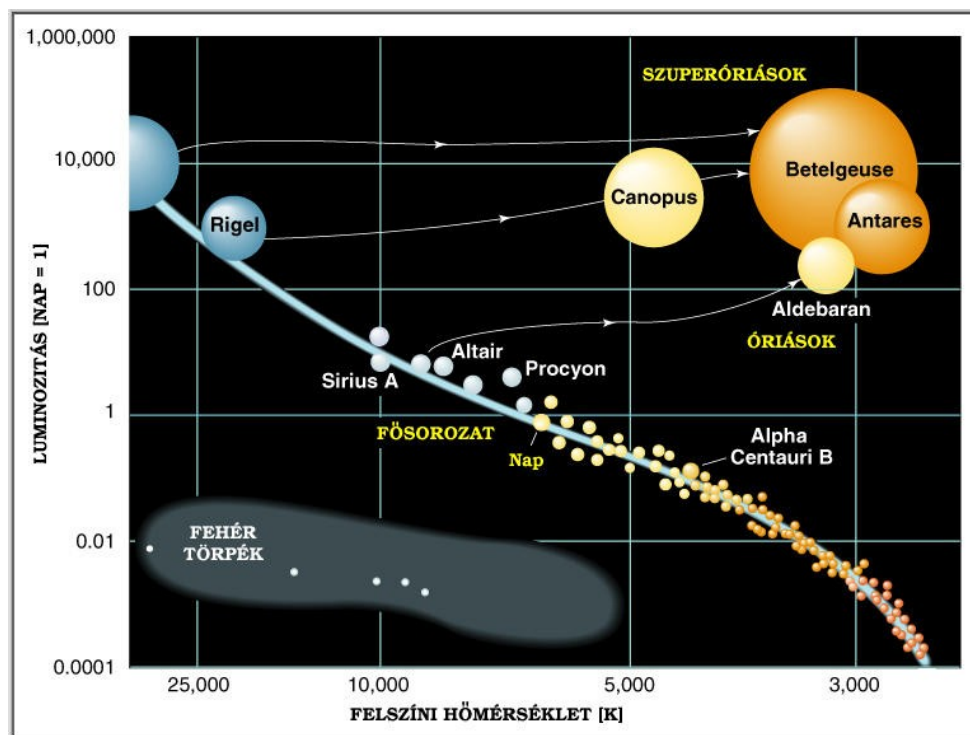
$$[Fe/H] = \log\left(\frac{Z}{Z_{nap}}\right), \quad (2)$$

ahol $Z_{nap} = 0,0151$. [3, 4, 11, 15, 19, 20, 21]

2.2. Gömbhalmazok H-R diagramja

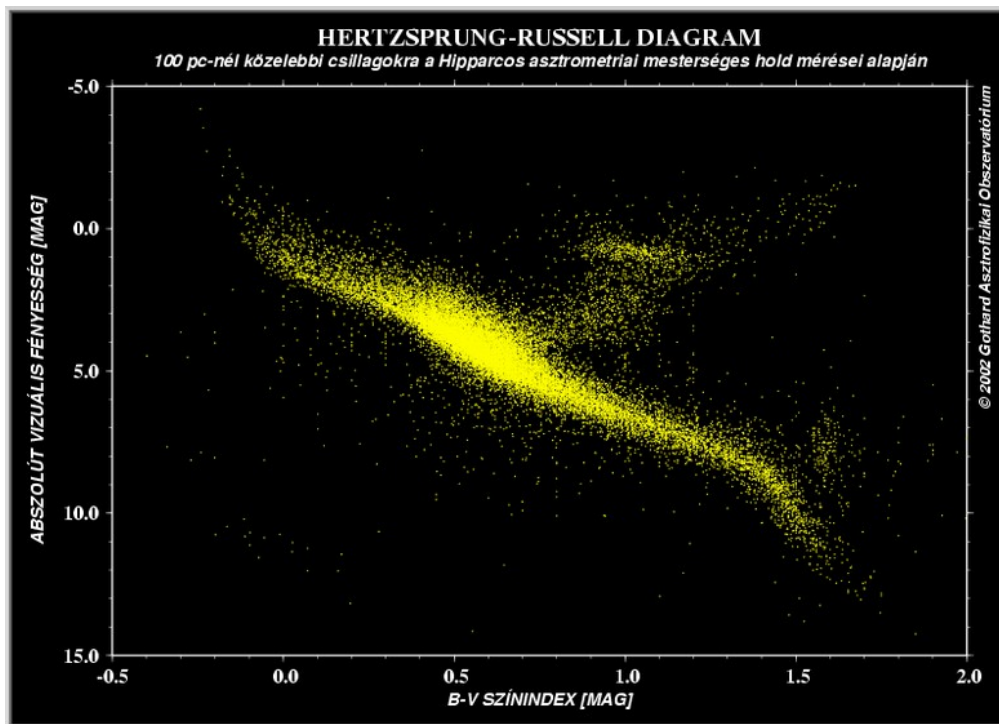
Azon paraméterek, melyek a csillagokat jellemzik, egymástól nem függetlenek. Különböző empirikus összefüggések léteznek közöttük. Ilyen összefüggés található például a csillagok hőmérséklete és luminozitásuk között. Ha ábrázoljuk a luminozitást a felszíni hőmérséklet függvényében, akkor megkapjuk a csillagászat egyik legfontosabb diagramját, a Hertzsprung-Russell-diagramot (továbbiakban HRD). Ezen a diagramon a luminozitás értéke felfelé nő, a hőmérséklet értéke pedig jobbra csökken (2. ábra).

Egy másik, jól működő alternatívája a HRD-nek az úgynevezett szín-fényesség diagram, mivel a csillagok hőmérséklete és színe szorosan összefügg, ezért, ha a hőmérséklet helyett a színindex (két különböző szűrővel mért fényességérték különbsége) szerepel a vízszintes tengelyen, a luminozitás helyett pedig a magnitúdóban mért fényesség szerepel a függőleges tengelyen, akkor kapunk egy a HRD-vel teljesen egyenértékű diagramot. Ez a szín-fényesség-diagram (3. ábra).



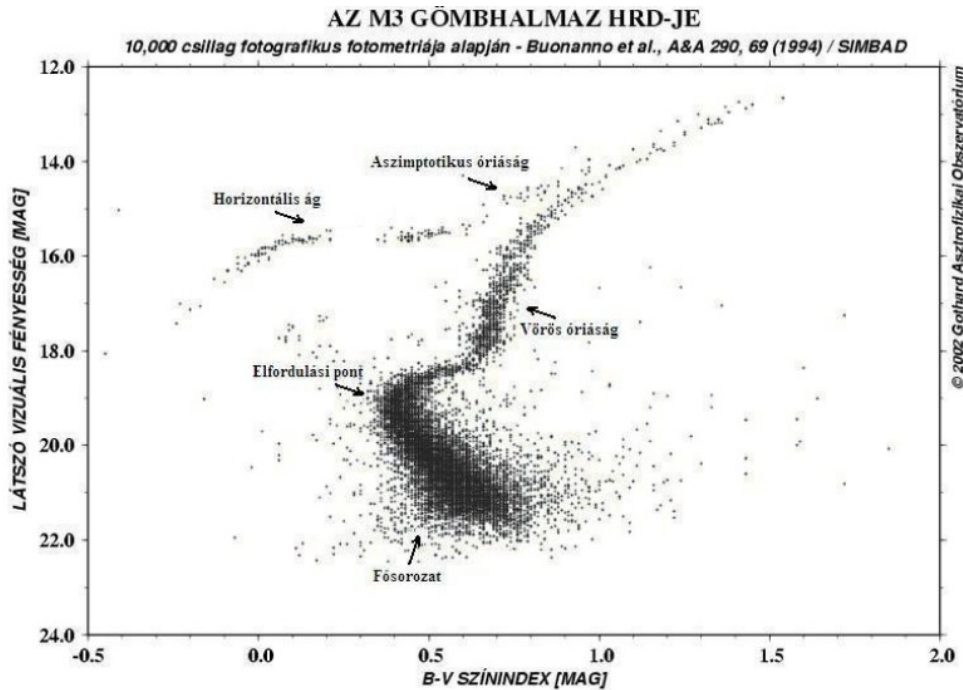
2. ábra: A legközelebbi csillagok HRD-je (sematikus ábra)

Forrás: <http://www.gothard.hu>



3. ábra: A 100 pc-nél közelebbi csillagok szín-fényesség-diagramja
 Forrás: <http://www.gothard.hu>

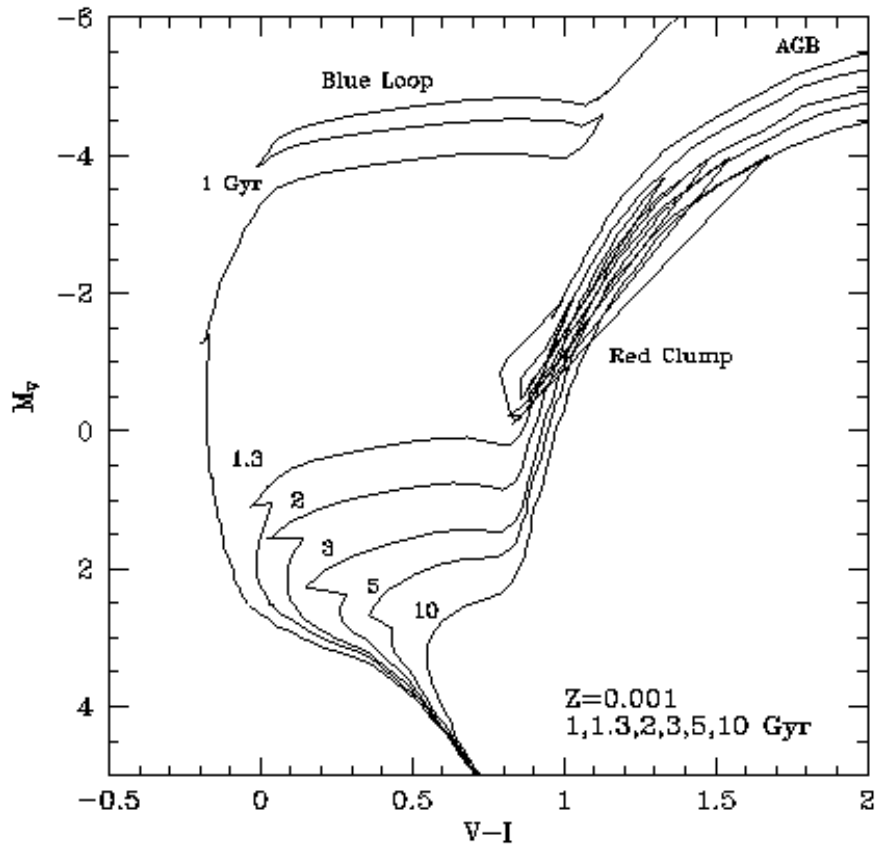
A fentebb említett diagramokon véletlenszerűen kiválasztott objektumok állapotdiagramját lehet látni. Egy gömbhalmaz esetében viszont számolnunk kell azzal, hogy idős objektumról van szó, tehát nagy valószínűséggel egy olyan diagram fog kirajzolódni előttünk, ahol a fősorozati sáv, és vele együtt az elfordulási pont is a halványabb csillagoknál lesz megfigyelhető. Az, hogy egyes csillagok hol fognak elhelyezkedni az állapot diagramon több milliárd év elteltével, csak is a kezdeti tömegüktől függ. Gömbhalmazok HRD-jén jól kivehetők a különböző fejlődési ágak, ilyen például a horizontális ág, aszimptotikus óriáság és a vörös óriáság. Ezen felül egy jól kivehető elfordulási pontot és egy egyre szélesebb sávban húzódó fősorozatot lehet elkülöníteni a diagramon (4. ábra). Ezen égi objektumok kormeghatározásánál igen fontosnak bizonyultak ezek a jól kivehető csoportosulások. Szeretném megjegyezni, hogy esetünkben mivel a gömbhalmaz csillagainak a tőlünk mért távolságát egyenlőnek tekintjük, ezért a függőleges tengelyen nincs szükség az abszolút fényességeket (ekkor lenne a fényessége a csillagnak, ha 10 pc távolságra lenne tőlünk) ábrázolni, elegendő az egyes mért fényességeket alkalmazni. [11, 16, 17, 19, 20, 21]



4. ábra: Egy átlagos gömbhalmaz szín-fényesség-diagramja
 Forrás: <http://astro.u-szeged.hu>

2.3. Kormeghatározás

Az egész éves munkám során a fő célom a gömbhalmazok korának a becslése volt. Ehhez a feladathoz két kormeghatározási módszer alapján tudtam hozzájárulni. Az egyik kézenfekvő megoldás, ha a diagram elkészítése után próbálom megtalálni azon elméleti modellek alapján létrehozott állapotdiagramokat, melyek a lehető legjobb mértékben illeszkednek az általam mért adatokból létrehozott diagramhoz. Egy csillaghalmaz HRD-je lényegében az azonos életkorú, de különböző kezdeti tömegű csillagok által benépesített "izokronnal" modellezhető. Ha az elméleti izokron jól illeszkedik az általunk létrehozott szín-fényesség-diagramhoz, akkor azon paraméterek, melyek jellemzik az izokront, igazak lesznek a mi gömbhalmazunkra is. Két fontos paramétert tudunk meghatározni ez alapján, az egyik a gömbhalmaz kora, a másik pedig a fémesség ($[Fe/H]$) értéke. Attól függően, hogy melyik paraméter értékét változtatjuk, nagyon eltérőek lehetnek a különböző modellek által létrehozott állapotdiagramok (5. ábra).

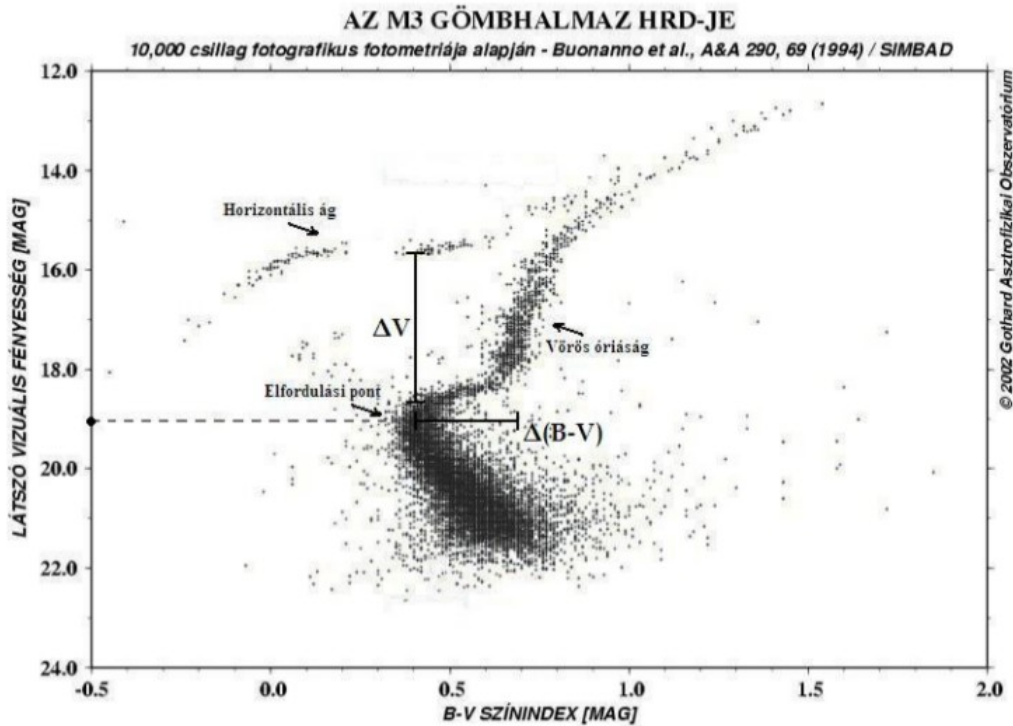


5. ábra: Elméleti modellek alapján létrehozott izokronok
 Forrás: <https://ned.ipac.caltech.edu/level5/Tolstoi2/Tol2.html>

A másik módszer, mely jó közelítéssel meg adja egy gömbhalmaz korát, kevésbé elterjedt, viszont összehasonlításként elegendő alkalmazni. Ez a módszer egy empirikus korreláción alapul, mely felállítható az elfordulási pont és a horizontális ág közötti fényességkülönbségből. A horizontális ágon lévő csillagok magjában hélium-szén fúzió zajlik. A modellek és a megfigyelések alapján ezeknek a csillagoknak a luminozitása főként a csillagok magjának a tömegétől függ, ezért a teljes tömegtől, és az effektív hőmérséklettől függetlenül, hasonló abszolút fényességű csillagokat találunk ebben az ágban. Ezek alapján a tárgyalt fényességkülönbség, főként a halmaz korának és a fényesség értékének a függvénye lesz, amelyre a következő összefüggés áll fenn:

$$\Delta V = 2,70 \log(t) + 0,13 [\text{Fe}/\text{H}] + 0,59, \quad (3)$$

ahol ΔV az elfordulási pont és a horizontális ág közötti magnitúdó-különbség, valamint a kort (t) milliárd években számoljuk (6. ábra). [3]



6. ábra: Kormeghatározási módszer
 Forrás: <http://www.atro.u-szeged.hu>

2.4. Távolságmeghatározás

A gömbhalmazok tőlünk mért távolságát is izokron-illesztéssel tudjuk meghatározni. Amikor rendelkezésünkre áll a megfelelő modell, amely nagy valószínűséggel illeszkedni fog a ponthalmazunk által kirajzolt diagramhoz, akkor nincs más dolgunk, mint hogy a megfelelő (vízszintes és függőleges) eltolásokkal pontosan ráillesszük az izokront a diagramra. Mindkét irányba való eltolás mértékének megvan a fizikai tartalma. Ennek megfelelően amikor a vízszintes tengely irányban toljuk el az izokront, akkor az eltolás mértéke egyenlő az izokron és a gömbhalmaz szín-fényesség-diagramjának a színexcesszusával $E(V-I)$. A utóbbiakhoz hasonlóan, ha a függőleges tengely menti eltolásról van szó, akkor az izokron és a gömbhalmaz szín-fényesség-diagramjának a távolságmodulusáról beszélünk ($V-M_V$) (7. ábra). [5, 16] Ezek után a távolság modulusra fel tudjuk írni a következő összefüggést:

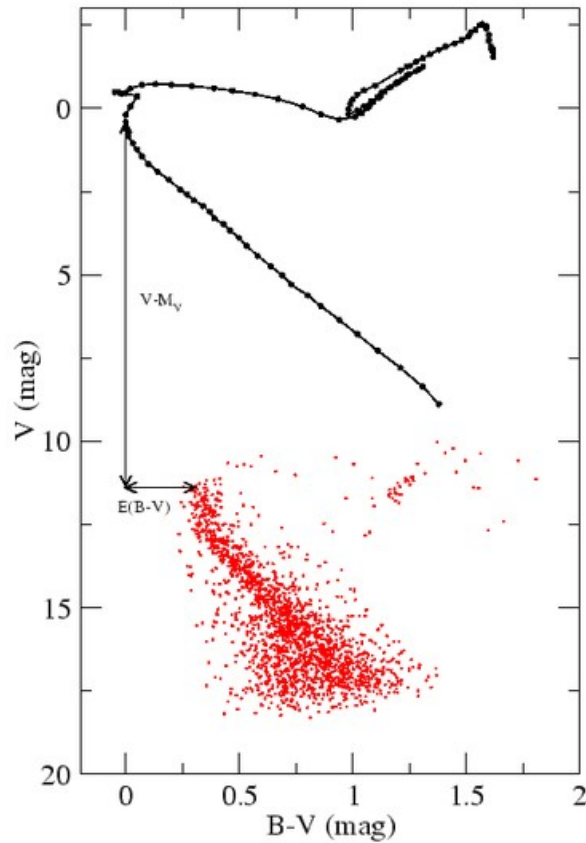
$$V - M_V = - 5 + 5\log(d) + A_v , \quad (4)$$

ahol d a keresett távolság parsecban kifejezve, A_v az interstelláris extinkció okozta fényességcsökkenés, V a mért, M_V az abszolút fényesség.

A megfigyelések alapján felírható a következő:

$$A_v = \sim 2,21 \cdot E(V-I) \quad (5)$$

Az (5) alapján kiszámított extinkciót felhasználva a (4)-es összefüggésben, könnyedén kiszámítható a keresett távolság.



7. ábra: Az M37 nyílthalmaz szín-fényesség-diagramja és a rá legjobban illeszkedő izokrón
Forrás: <http://www.astro.u-szeged.hu/>

3. Műszerek

Méréseimet az MTA Konkoly Thege Miklós Csillagászati Kutatóintézetének (Piszkés-tetői megfigyelőállomás) a 60/90/180 cm-es Schmidth-távcsövével végeztem.

A távcső adatait illetően a következőket lehet elmondani róla, VEB Carl Zeiss Jenna gyártmányú, Schmindt optikai rendszerrel, a korrekciós lemez átmérője 60 cm. A tükör átmérője 90 cm, fókusztávolsága 180 cm. Elég nagy látómezővel rendelkezik (5°).

A felszereléshez tartozik még egy Apogee Alta U16 folyadékhűtésű CCD kamera, Optec IFW 3" szűrőváltó és 58 mm-es négyzet-alakú Bessell 1990 BVRI szűrők. [14]



8. ábra: A Piszkés-tetői 60/90/180 cm-es Schmidth-távcső

Forrás: <http://www.konkoly.hu/staff/racz/schmidt.html>

4. Távcső kezelése

A távcsővel történő méréseket az alábbiak szerint végeztem.

Észlelés kezdete:

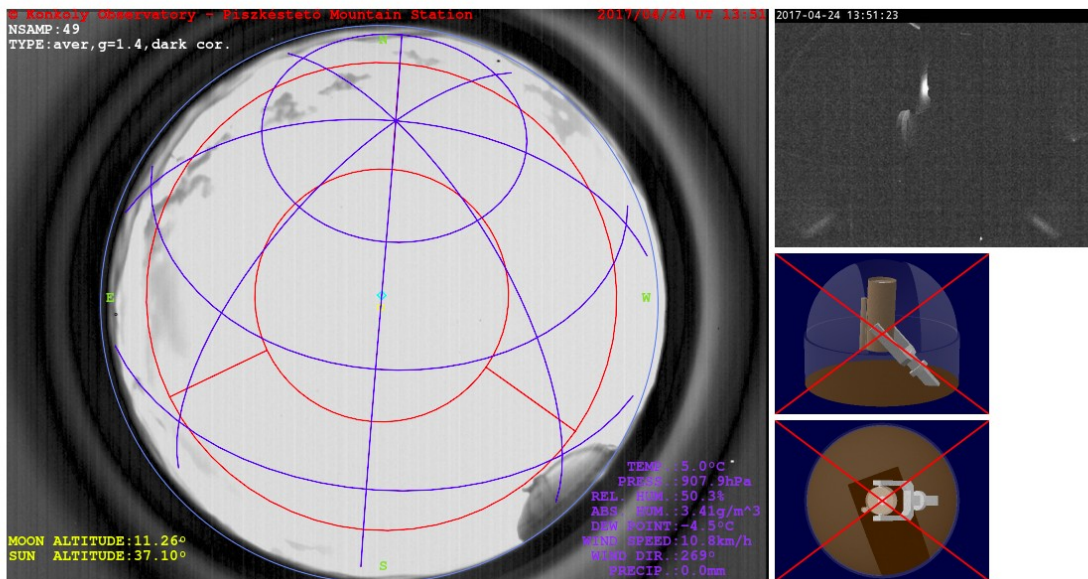
-A távcső üzembe helyezése (minden nap körülbelül napnyugta előtt egy órával történik a távcső és távcsőt tartó mechanika üzembe helyezése, ügyelni kell rá, hogy minden alkalommal szigorúan ki kell kapcsolni az óragépet a távcső biztonságának érdekében.

- A kamera lehűtése (nyári éjszakákon a legalacsonyabb hőmérséklet amelyre lehűthetjük a kamerát az -30 C° , ha ez megtörtént, akkor elkezdhetjük előállítani a dark és bias képeket.)

Észlelés:

- Az észlelés során követnünk kell a légkör és a távcső kupolán belüli állapotát, ezt egy weboldalon keresztül tudjuk követni (9. ábra).

- Elindítjuk az óragépet és a kupola automatikus követését, valamint kikapcsoljuk az automatikus fókuszálást.



9. ábra: Schmidt-távcső és a légkör állapota
Forrás: <http://ccdsh.konkoly.hu/static/tmp/psch-state.html>

- Megadjuk egy parancssor segítségével a mérni kívánt objektum égi koordinátáit, majd ha a távcső ráállt az adott objektumra, kezdődhet a mérés.

Mérés vége:

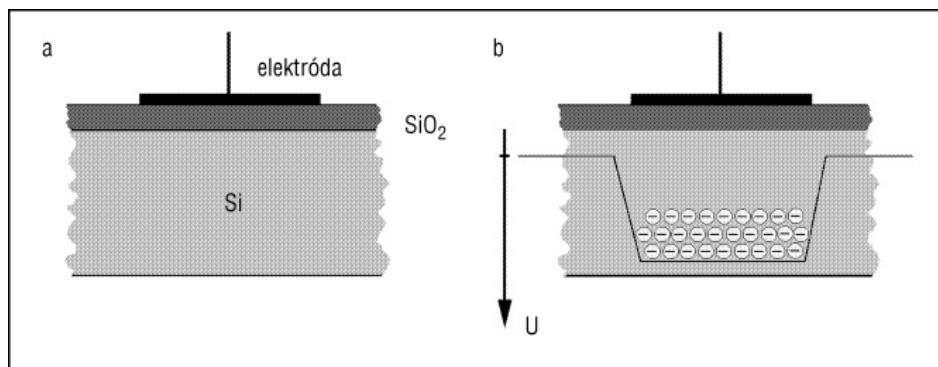
- Leállítjuk a kamera hűtését, az óragépet és a kupola automatikus követését és alap helyzetbe forgatjuk a kupolát.

- Kisétálunk a távcsőhöz és miután függőleges helyzetbe állítottuk, kikapcsoljuk.

A felsorolásban is kiderül, hogy a távcsövet távvezérléssel tudjuk irányítani, mely nagyban megkönnyíti a munkánkat. Pár parancssorral irányítani tudunk mindent. Ettől függetlenül a beüzemelésnél és kikapcsolásnál szükséges az emberi jelenlét.

4. A CCD-kamera

A CCD rövidítés az angol Charge-Coupled Device elnevezésből származik, ami magyarul töltés csatolt eszközt jelent. A kamera legfontosabb eleme a fényérzékeny pixelekből álló CCD-chip. A beérkező fotonok a fotoelektromos jelenség folytán a pixelekben elektronokat váltanak ki. Amennyiben az elektródára pozitív feszültséget kapcsolunk, akkor a fotoelektronok felgyülemlenek a szigetelő rétegnek (SiO_2) az elektródával átellenes oldalán (10. ábra). Az expozíciós idő alatt a fotonok számával arányosan nő a szigetelő réteggel szemben az elektronok száma. Sajnos nem csak megvilágító fény esetén keletkeznek elektronok, hanem a kristálybeli hőmozgások miatt is. Ezt nevezzük sötétzajnak, melynek a minimalizálása érdekében hűteni kell a CCD-kamerákat. A fotoelektronok mennyiségéből következtetni lehet a fényintenzitásra. Lineáris töltésléptető elemek segítségével, feszültség hatására elérhető, hogy az elektronok a pixelek között egy meghatározott irányba át tudjanak járni, amely folyamat végén egy regiszterrel történik a kiolvasás. A kiolvasás pár másodpercet ölel fel, ami után megkapjuk a nyers képet az adott objektumról. Manapság a tudományos világban ezek a képalkotó eszközök igen elterjedtek. Kvantumhatásfokuk igen magas, akár elérheti a 90%-os hatásfokot is, hullámhossztól függően. Összehasonlításként az emberi szem kvantumhatásfoka 1%. A nyers kép elkészültével, még nem tudunk használatos (hiteles) adatokat kinyerni a képről, ehhez előbb korrigálni kell azt. [14]



10. ábra: Egy CCD keresztmetszete (a) és a töltések tárolása potenciálgödörben (b)

Forrás: <http://www.konkoly.hu/evkonyv/ccd/furesz.html>

5. Fotometria

Mielőtt bármilyen fotometria módszert elkezdénénk alkalmazni, el kell végeznünk a nyers képek korrekcióját. Az objektumról készült nyers képeket három fajta korrekciós képpel kell korrigálni. Ezek a bias, dark és flat képekkel való korrekciók. Mind a fotometriai mérésekhez, mind a korrekciók elvégzésére szükség van egy csillagászati képfeldogozó programcsomagra. Esetünkben ez volt az IRAF (Image Reduction and Analysis Facility) nevű programcsomag, mely nagyban megkönnyíti a csillagászok munkáját. Ezen felül párhuzamosan futtatva szükség volt még a SAOImage DS9 elnevezésű képkezelő programra. Adatok kezelése, adattömbök létrehozása illetve kiválasztása során, nagy segítséget nyújtott a Gnuplot nevű ábrázoló program, valamint az „awk” scriptek megismerése és felhasználása.

5.1. Korrekciós eljárások

5.1.1. Bias

A bias képeket 0 expozíciós idővel készítjük el és csukott fedéllel. Azért kell lefedni a távcső tubusát, hogy fénymentesen tudjunk képeket készíteni. Ekkor azt fogjuk tapasztalni, hogy a fény hiánya mellett is jelen van egy alap zajszint, amelyet ha nem vonunk le a nyers képből akkor mérési hibát fog okozni. Ezeket a képeket először átlagolni kell, majd ezt az átlagolt bias korrekciós képet kell levonni a nyers képből. IRAF-en belül taszkokkal tudjuk elérni a kívánt eredményt. [4] Az átlagolt bias képeket a következő úton tudjuk létrehozni: `imred.ccdred.zerocombine`.

5.1.2. Dark

Dark képeket sötétzaj miatt kell készíteni. A CCD-kamera működési elvénél már említett sötétzaj miatt, akkor is létrejönnek elektronok, amikor nincs fotonbefogás, tehát érdemes ilyen képből is többet készíteni (mivel ez a jelenség véletlenszerű), majd ezen dark képeket átlagolni. A létrejött átlagolt képet kivonjuk a nyers képből. IRAF parancsok: `imred.ccdred.darkcombine`. A következő formulákkal tudjuk magyarázni a műveletet, ahol $I(x,y)$ -nal jelöltem a nyers (korrigálatlan) kép pixeleinek intenzitását, $D(x,y)$ -nal pedig az átlagolt dark kép pixeleinek az intenzitását:

$$I'(x,y) = I(x,y) - D(x,y), \quad (6)$$

ahol

$$D(x,y) = \frac{\sum_{i=1}^N D_i(x,y)}{N} . \quad (7)$$

5.1.3. Flat

A három korrekciós kép közül a végére maradt a flat képekkel való korrigálás. Általában a flat képeket sötétedés vagy esetleg napkelte előtt szürkületben készítik el, az égnek egy olyan pontjáról, amely nem tartalmaz semmilyen fényes objektumot, tehát egy homogén kép készítése a cél. Szerencsére a Pizskés-tetői Schmidt távcső már rendelkezik egy olyan kiegészítővel, amely megkönnyíti az észlelő munkáját. Egyszerűen egy flat ernyőnek nevezett elektronikus világító ernyőt a tubusba helyezünk. Ezzel a korrekcióval javítani tudunk a CCD-kamera pixeleinek érzékenységbeli különbségén, valamint a látómezőben jelentkező képalkotási hibákon (pl. vignettálódás a látómező széléin). Ebben az esetben is érdemes több képet készíteni, majd ezeknek a képeknek az átlagolt részét felhasználni. Ezt a következő tashk segítségével tudjuk elérni: `imred.ccdred.darkcombine`.

Flat korrekciót, a már dark korrigált képeken végezzük el a következők alapján:

$$I''(x, y) = \frac{I'(x, y)}{F(x, y)} K, \quad (8)$$

ahol $F(x, y)$ a flat képek átlagolt intenzitását, a K a flat átlagos fényességértékét jelöli. [16]

$$K = \frac{\sum_{i=1}^{N_{pix}} I_{pix,i}}{N_{pix}}. \quad (9)$$

5.1.4. A korrigált kép

Miután megtörtént a korrekciós képek átlagolása, egyetlen tashk segítségével korrigálni tudjuk a nyers képet. A következők alapján kell elvégezni: `noao.imred.ccdred.ccdproc`.



11. ábra: I szűrőben készült nyers kép az M56 gömbhalmazról



12. ábra: I szűrőben készült korrigált kép az M56 gömbhalmazról

5.2. Képek összetolása

Miután elvégeztük a nyers képek korrigálását, rendelkezésünkre áll 12 darab korrigált kép, melyek négy különböző szín szűrővel készültek, tehát szűrőnként van három darab képünk. A fotometriában fontos hogy minden csillag változó szűrőként, vagy eltérő időpontokban, de ugyanarra pixelre essen. Természetesen ezt a célt szolgálja a nagyobb távcsöveken az óragép, amely leköveti a csillag vagy észlelni kívánt objektum égi mozgását, ami a Föld forgása miatt lép fel. Viszont az esetek döntő százalékában így sem fog pixel pontossággal illeszkedni egymáshoz a különböző időpontokban készült képek. Ilyen esetek megoldására lett kitalálva az `xregister` taszk, mely egy referencia kép kiválasztása után, az összes többi képet ehhez az egy referencia képhez igazítja (összetolja). Ezzel nagyban megkönnyíti a későbbi fotometriát. Az összetolás után még mindig van 12 darab képünk, immár pixelre pontosan megegyező képekről beszélünk. Mivel egy szűrőben három képet szokás elkészíteni és lehet hogy ezen képek valamelyikén valamilyen zavaró tényező lépett fel (pl. áthaladt a látómezőben egy repülő, vagy becsapódott egy kozmikus sugár), akkor érdemes kombinálni ezeket a képeket, hogy egy végső B,V, R vagy I képet kapjunk. Ezt az `imcombine` taszk teszi lehetővé.

5.3. PSF-fotometria

5.3.1. Adatok kinyerése a korrigált képekről

Mielőtt neki kezdhetnénk a PSF (Point Spread Function – pontkiszélesedési függvény) -fotometriához, meg kell határoznunk a gömbhalmaz átlagos (se nem túl nagy, se nem túl kicsi, közepes méretű és fényességű a környező csillagokhoz viszonyítva és egyedülállóak) csillagainak a félértékszélességét. Ezen felül még meg kell határoznunk a háttér átlagos szórását is. Ezt a feladatot könnyen elvégezhetjük az IRAF programcsomag `imexamine` taszkjával. Amikor a DS9 segítségével megnyitottuk a korrigált képet, elkezdjük keresni ezeket az átlagos csillagokat a gömbhalmaz környékén. Amikor megállapítottuk például egy tucat csillag félértékszélességét, akkor ezeknek az értékeknek az átlagát kiszámítjuk. Így teszünk a háttér szórásati illetően is. Csillagszegény területekre vezetjük a kurzort és az “m” betű lenyomásával megkapjuk a szórás (STDDEV) értékét. Ez a két fontosabb feladatunk van, mielőtt elkezdenénk a PSF-fotometriát. Azért használtam a fotometriának ezt a módszerét, mivel a gömbhalmaz sűrűn elhelyezkedő, egymást átfedő csillagprofiljai nem teszik lehetővé az egyszerűbb apertúra-fotometriát. [4]

5.3.2. Fotometria

A PSF-fotometria alkalmas arra, hogy pár perc alatt több ezer csillag fényességét kimérje. Ez az eljárás a légkör-távcső-detektor rendszeren való áthaladás után kialakuló csillagprofil analitikus meghatározásán alapul. Maga a fotometria egymásra épülő több lépésből áll össze, melyet az IRAF programcsomagban tudunk elvégezni.

A szükséges lépések a következők voltak:

- `Daofind`: ezzel a taszkal egy adat fájl-ba tudjuk listázni a képen található összes csillagot.

- `Phot`: a `phot` taszk apertúra fotometriát végez az összes csillagon, amit előzőleg kilistáztunk.

- `Pstselect`: a programcsomag ezen részének a feladata, hogy kiválasztja azokat a csillagokat, amelyek alkalmasak lesznek a PSF illesztéshez. Itt meg szeretném jegyezni, hogy nem minden esetben a legjobb választás, ha nem interaktív módban használjuk a taszkot. Többszöri automatikus futtatás és hamis eredmények után, rá kellett jönnöm, hogy a program nem a legmegfelelőbb csillagokat tudja kiválasztani a feladat végrehajtásához. Miután én magam manuálisan (interaktív módban) futtatva a taszkot, kiválasztottam ezeket a csillagokat, egyből a helyes eredmények születtek meg.

- `Psf`: Ebben a csomagban az előzőleg kiválasztott (esetemben 100 darab) csillag profilját egyesével kellett megvizsgálni. Itt azok a csillagok feleltek meg, melyek jól elkülíthető és szabályos profillal rendelkeztek.

- `Allstar`: Ezt a taszkot futtatva az előző `Psf` taszk által létrehozott adatokat felhasználva az összes csillagra ráilleszti a pontkiszélesedési függvényt.

- `Txdump`: Végül ennek a csomagnak köszönhetően kigyűjtjük a számunkra fontos adatokat az adott csillagokról (a csillagok `x,y` pixelkoordinátáit (`xcenter,ycenter`), a mért fényességet (`mag`) és annak hibáját (`merr`)).

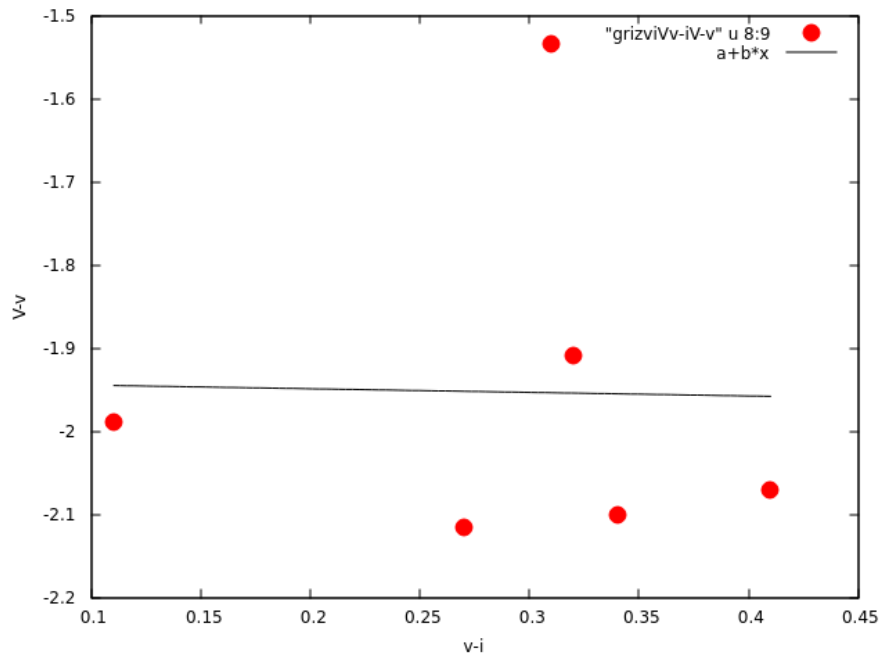
Miután elvégeztük a V valamint I szűrőben készült képekre a fotometriát, lesz két darab adat fájlunk, melyekben egy-egy csillag pixelkoordinátáihoz hozzá lettek rendelve a csillagok látszólagos fényessége, valamint ezeknek a fényességeknek a hibái. Végző lépésként az maradt, hogy csoportosítsuk a két különböző szűrőben készült képeken azonosított csillagokat az `x` és `y` koordináták szerint. Ebben a legegyszerűbben egy program tud segíteni. Ez egy `diff.c` nevű program volt, melyet lefuttatva létrejött egy `adat.dat` nevű fájl, melyben már a számunkra releváns adatok szerepeltek.[4]

6. Standard transzformáció

Mielőtt kiértékelhetnénk a kapott adathalmazokat, tudomásul kell vennünk, hogy az általunk használt műszerek egy adott instrumentális fényességet tudnak megállapítani, tehát az adott távcsőre és CCD-kamerára jellemző paraméterek fogják megszabni, hogy az adott objektum fényessége mekkora lesz. [1] Ezzel az a probléma, hogy nemzetközileg, ha mindenki a saját mért értékeit veszi sztenderd értékeknek, összeegyeztethetetlenek lesznek a kapott eredmények. A fotometriában ahhoz, hogy valamilyen sztenderd értékeket tudjunk megállapítani, valamilyen fotometriai rendszerben definiált sztenderd objektumok fényességeit kell alapul vennünk. Esetemben a Sloan Digitális Égboltfelmérő Programot választottam.

6.1. Sloan Digital Sky Survey (SDSS)

Az SDSS egy égboltfelmérő észlelőprogram volt, melyet az új-mexikói Apache Point Observatory-ban végeztek el. Egy 2,5 méter átmérőjű, nagy látószögű tükrös távcsövet használnak. Az eredeti program 2000-től 2005-ig tartott (SDSS-I), viszont meghosszabbították később 2008-ig (SDSS-II). 2008-ban eldöntötték, hogy 2014-ig finanszírozzák a programot. Ebben a 14 évben rengeteg galaxist, kvazárt, és csillagot rögzítettek. A CCD-kamerája 30 darab csipből áll, melyet 5 sorba helyeztek el, u,g,r,i,z (354, 476, 628, 769, 925 nanométeres) színszűrők mögé. A megörökíthető leghalványabb objektumok 24 – 25 magnitúdósak. Az SDSS honlapját bárki tudja használni. Első lépésként kiválasztjuk a referenciacsillagokat, hasonlóan a PSF-fotometriában alkalmazottak szerint az átlagos csillagokat keressük. Ha kiválasztottuk ezeket a csillagokat az SDSS kezelőfelületén és egyúttal megtaláltuk a referencia csillagokat a korrigált képünkön is, akkor egyszerűen feljegyezzük a megjelenített fényességeket. Az általunk készített képeken a csillagok fényességei B, V, R vagy I fényszűrőben értendők. Ezzel szemben viszont az SDSS által kiírt fényességek egy másfajta színszűrő rendszer által közölt értékek lesznek.



13. ábra: Az instrumentális (x) és a sztenderd magnitúdók (y) közötti transzformáció, egyenes illesztés segítségével

Ebben a formában még nem tudjuk összehasonlítani a két fényesség értéket, először át kell alakítanunk az SDSS által kiírt értékeket az általunk használt színszűrőkkel rögzített értékekre. Ezt könnyedén megtehetjük, ha alkalmazzuk a megfelelő formulákat, amelyekkel könnyedén átalakíthatóak ezek az értékek. [1]

$$V = g + (-0,565) \cdot (g - r) + (0,219) \quad (10)$$

$$I = I + (-0,386) \cdot (i - z) - (0,397) \quad (11)$$

Amikor megkaptuk a kívánt eredményeket, akkor még mindig két fajta értékünk van, az egyik az instrumentális fényesség, a másik a sztenderd fényesség.

6.2. Transzformáció

Mint minden nemzetközi mértékegységnek, a magnitúdónak is vannak etalonjai, ezek az ismert fényességű sztenderd csillagok. A sztenderd rendszerbe való átszámolás, transzformációs egyenletekkel lehetséges. Mivel a munkám során a gömbhalmazok korát szerettem volna meghatározni, ezért az elméleti összefoglaló alapján, szükségünk lesz egy szín-fényesség-diagramra. Ehhez V látszólagos fényességet ábrázoltam a $V-I$ színindex függvényében, tehát ezt a két színszűrőben készült (V , I) fényességértékeket kell átszámolnunk sztenderd értékekre. A három gömbhalmaz nyers képeinek az elkészítése három különböző éjszakán történt. Ezzel borítékolható az, hogy a légkör tulajdonságai, valamint a távcső és ezzel együtt a CCD-kamera környezetének a hőmérséklete is eléggé eltértek.

Annál inkább, mivel az első gömbhalmaz amelyről képet készítettem az M56 gömbhalmaz volt 2016.07.11. -én. A másik két gömbhalmaz képei, 2017.03.16. -án (M3) és 2017.03.21. -én (M53) készültek el. Ez egyben azt is jelenti, hogy az instrumentális fényességeket nem egyforma mértékben kell korrigálni például nyáron, mint télen. A sztenderd transzformációs egyenletek segítségével ki kell számolnunk a távcsőkonstansokat. Ennek érdekében a következő egyenleteket tudjuk használni:

$$V = v + \varepsilon_v \cdot (v-i) - \zeta_v, \quad (12)$$

$$I = i + \varepsilon_i \cdot (v-i) - \zeta_i, \quad (13)$$

ahol a kis betűkkel feltüntetett paraméterek az instrumentális fényességeket, a nagy betűvel jelölt a sztenderd fényességeket, valamint a különböző görög betűkkel jelölt paraméterek a távcsőkonstansokat jelölik.

A sztenderd és az instrumentális fényességek adottak. Meg kellett határozni a távcsőkonstansokat. Ezt úgy tudjuk megtenni a legegyszerűbben, ha egy egyenest illesztünk az instrumentális fényességek függvényében ábrázolt sztenderd fényességek által kirajzolódó grafikonokra. Ezek után kapunk egy értéket az a és b paraméterekre. Ezeket az értékeket behelyettesítve a megfelelő transzformációs egyenletbe, megkapjuk az instrumentális fényességek átszámításához szükséges egyenletet. Az alkalmazott egyenleteket (ezen belül a távcső konstansokat) az adott gömbhalmazokra adódott eredmények ismertetésénél feltüntettem. (13.ábra)

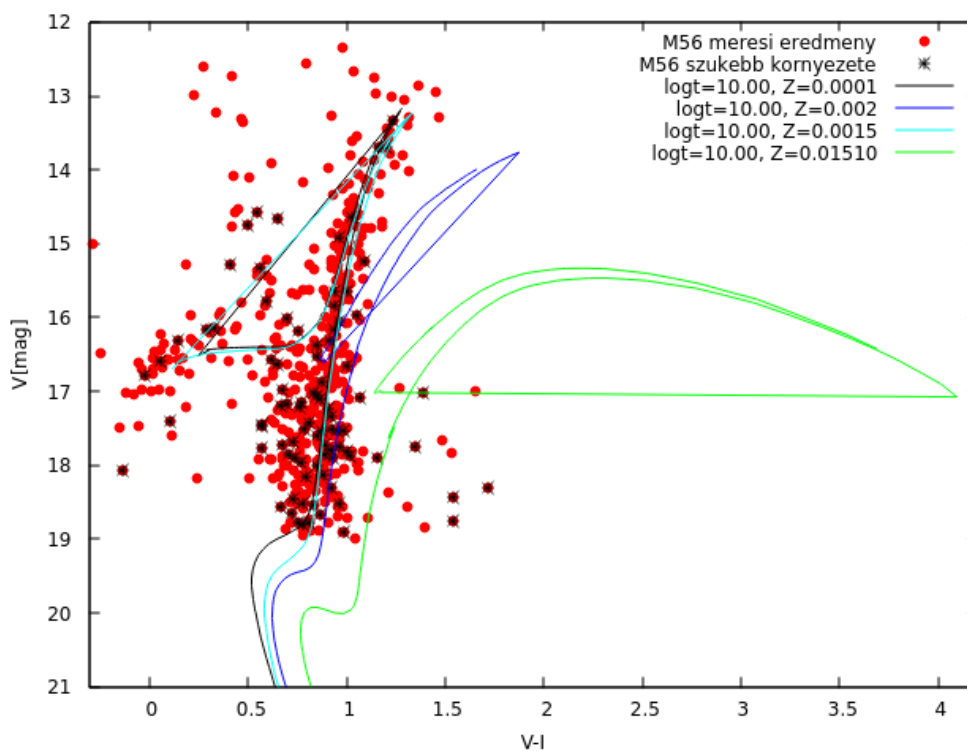
7. Eredmények

Miután meghatároztam a sztenderd fényességeket, kiválasztottam azt az elméleti modellt, amely az egyes eltolások után, a lehető legjobban illeszkedett a szín-fényesség-diagramhoz. Többszöri próbálkozás után elértem a kívánt eredményeket. A kritikus pontja az egésznek a sztenderd transzformáció. Ha sikerül jó referencia csillagokat kiválasztanunk, akkor számítani lehet a helyesebb eredményre. A sikeres illesztés után a számítások elvégeztével megkaphatjuk a gömbhalmazok távolságát és korát, azon felül, hogy az izokron jó illeszkedése már magában meghatározza a kort és a fémességet.

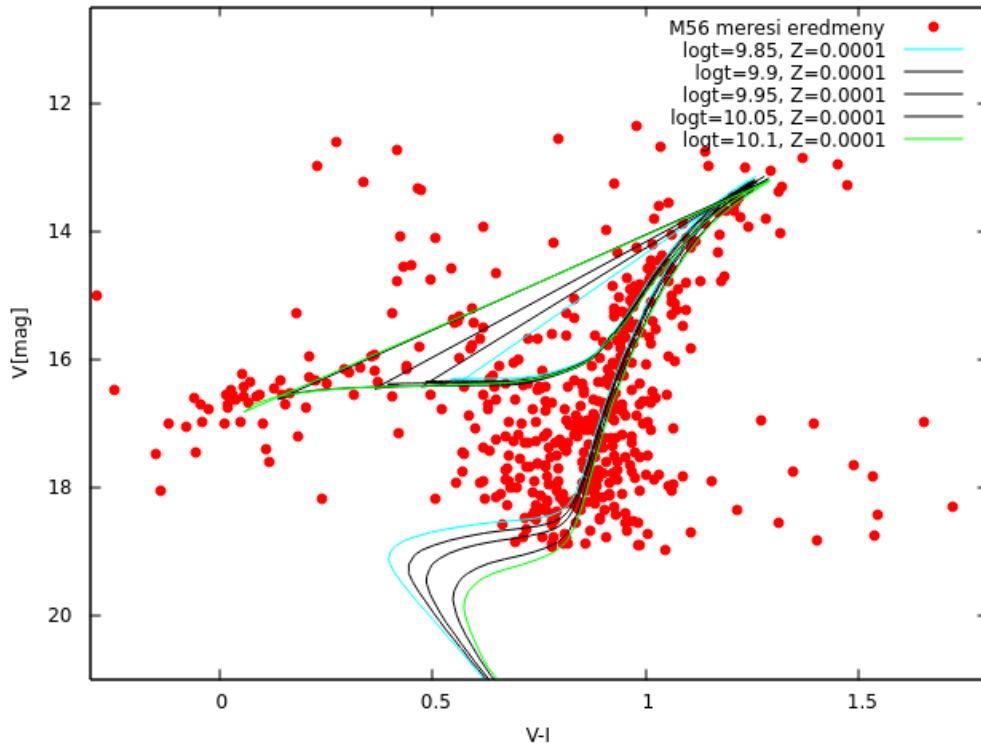
7.1. Hiba határok

Mielőtt feltüntetném a kapott eredményeket, szeretném ismertetni a hiba határokat, melyek gyakran teszik nem egyértelművé, hogy mely elméleti modellek alkalmasak az illesztésre és melyek nem. Az izokron kiválasztásánál két fontos paraméter alapján tudjuk lekérni az adatokat. Ezek szerint vagy egy adott kor és különböző fémességű csillagpopuláció az elméleti modellje alapján dolgozunk, vagy egy rögzített fémességű viszont különböző korú csillagpopulációk elméleti modellje alapján. Sajnos nem egyértelmű a választás, tehát alkalmaznunk kell mind a kettő módszert, hogy a lehető legjobb eredményt tudjuk elérni, és pontosabb határokat tudjuk szabni ezeknek az eredményeknek. Nem mindegy hogy egy gömbhalmaz életkora például 10 és 11 milliárd év közé tehető, vagy esetleg 9 és 12 milliárd év közé. Igyekeztem leszűkíteni ezeket a határokat. A 14. és a 15. ábrák ezekre egy-egy példával szolgálnak, hogy mennyire nem egyértelmű mely izokron a legjobb választás.[2]

Elsőként azt az esetet szemléltetem, amikor kiválasztjuk a megfelelő évet, és szeretnénk meghatározni mellette a legvalószínűbb fémesség értékét. Összehasonlításként feltüntettem a diagramon, hogy hogyan nézne ki az elméleti modell, ha a Nap fémességével (szoláris fémességgel) egyeznének meg a 10 milliárd éves csillagok fémessége. A Nap Z tömegszázaléka 0,0151 értékkel egyezik meg (14. ábra). [7]



14. ábra: M56 gömbhalmaz szín-fényesség-diagramja, adott korú és különböző fémességű izokronok illesztése

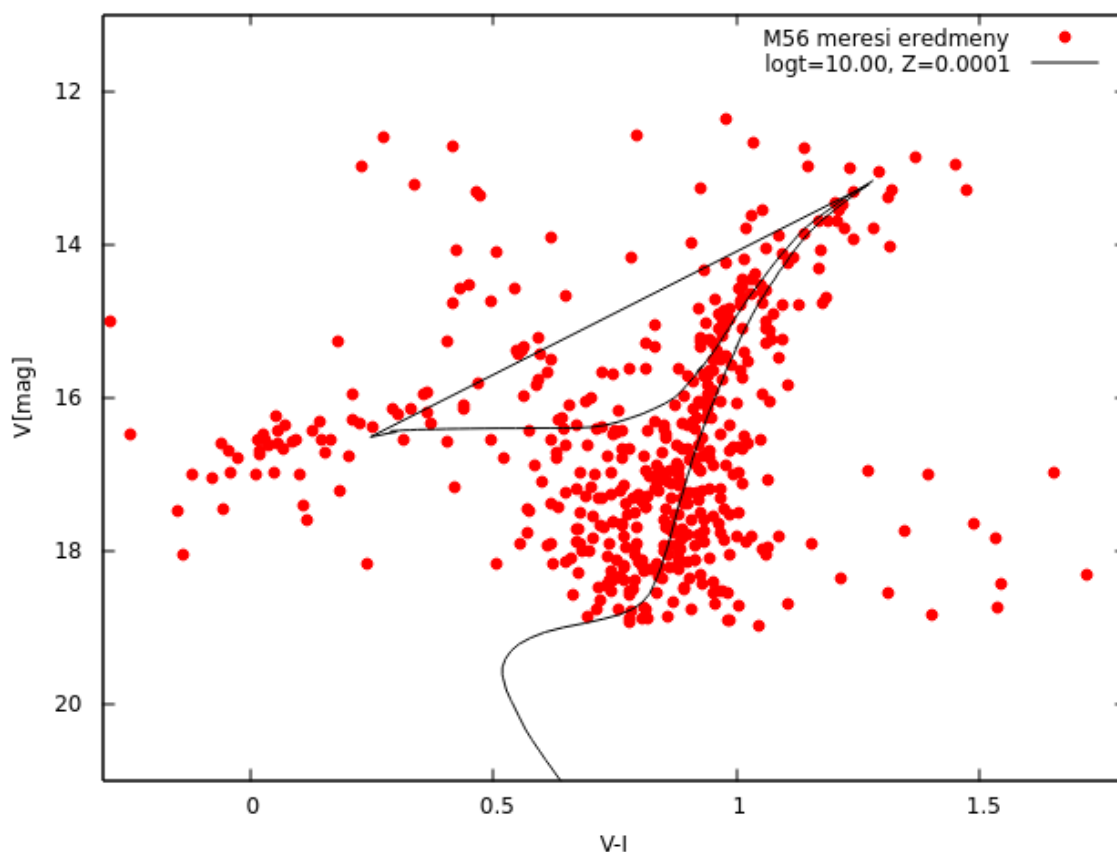


15. ábra: M56 gömbhalmaz szín-fényesség-diagramja, adott fémességű és különböző korú izokronok illesztése

A másik eset pedig, amikor már meghatároztuk egy gömbhalmaz fémességét, viszont még nem tudjuk, hogy milyen korú elméleti modell lesz a legmegfelelőbb számunkra. A következő ábrán erre mutatok példát, hogy mennyiben is térnek el egymástól a különböző korú, de egyforma fémtartalmú csillagok izokronjai (15. ábra). [7]

7.2. M56

Az M56 gömbhalmaz illesztésénél jó eredményt kaptam, igen jól illeszkedik az izokron a lemért csillagok által kirajzolt ábrához (16. ábra).



16. ábra: M56 gömbhalmaz szín-fényesség-diagramja és a rá legjobban illeszkedő izokron

A diagram elkészítése előtt a sztenderd értékeket kellett meghatároznom, ezt a következő képletekbe való behelyettesítésekkel értem el:

$$V = v - 0,040 \cdot (v-i) - 3,875 , \quad (14)$$

$$I = i + 0,031 \cdot (v-i) - 4,265 , \quad (15)$$

ahol, a nagy betűvel jelzett értékek a sztenderd és a kis betűvel jelzett értékek az instrumentális fényességeknek felelnek meg.

A megfelelő izokron kiválasztása után és az eltolásokat végrehajtva, megkapjuk azt az eredményt, amit vártunk. A diagramon eléggé szembetűnő dolog az, hogy az elfordulási pontot nem láthatjuk, kivéve amely az elméleti modell alapján kirajzolódik előttünk. Ezt egyszerűen azzal tudom magyarázni, hogy a piszkés-tetői Schmidt-távcső által általam mért leghalványabb objektumok határa 18-19 magnitúdó, ami azt jelenti, hogy azokat a csillagokat amelyek még ezektől is halványabbak, nem tudjuk észlelni. Ez a kiértékelésünkénél és az eredmények meghatározásánál megnehezíti a dolgunkat, de ahhoz hogy jobb eredményt tudjunk elérni, úrtávcsövekre van szükség, mivel azokat nem befolyásolja a Föld légköre.

Az eltolások, valamint a számítások alapján a következő eredményekre jutottam:

Objektum	E(V-I) [mag]	V-M _v [mag]	d [kpc]	[Fe/H]	t _{izokrón} [milliárd év]	t _{számított} [milliárd év]
M56	0,04±0,02	15,7±0,2	12,854 ± 0,38	-2,103 ± 0,09	10 +/- 0,2	10,73

1. táblázat: Az M56 gömbhalmaz vörösödése, távolságmodulusa, távolsága, fémessége, illesztéssel meghatározott kora és összehasonlításként kiszámított kora (3)

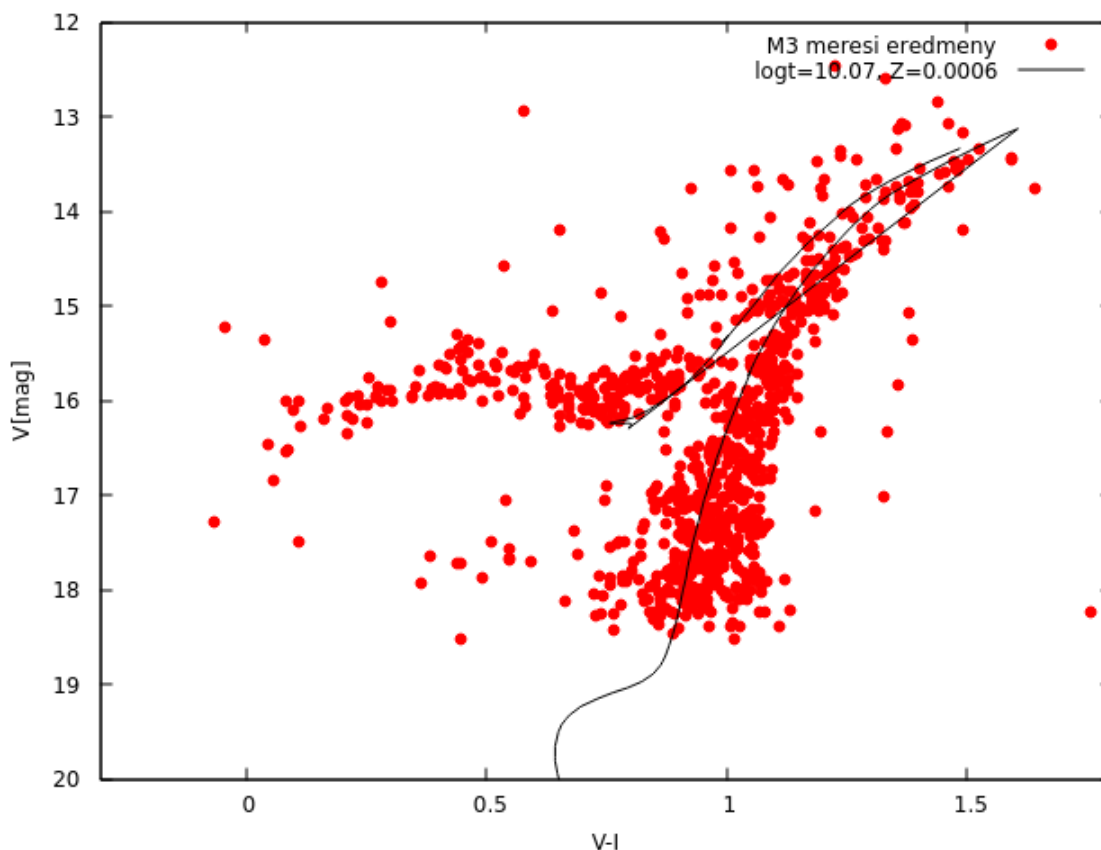
A mért és irodalmi értékek közötti eltérés [18]:

	d [kpc]	[Fe/H]	t _{izokrón} [milliárd év]
Mért érték	12,854±0,38	-2,103±0,09	10 +/- 0,2
Irodalmi érték	10,1	-1,94	10,023
Eltérés [%]	21,4	7,7	0,22

2. táblázat: Az eltérések %-ban kifejezve

7.3. M3

Az M3 gömbhalmaznál ugyanúgy jártam el, mint az előző objektumnál, a következő eredményekre jutottam:



17. ábra: M3 gömbhalmaz szín-fényesség-diagramja és a rá legjobban illeszkedő izokrón

A sztenderd értékek kiszámításához a következő egyenleteket és a hozzájuk tartozó transzformációs értékeket használtam:

$$V = v - 0,040 \cdot (v-i) - 5,796 \quad (16)$$

$$I = i + 0,031 \cdot (v-i) - 4,316 \quad (17)$$

ahol, a nagy betűvel jelzett értékek a sztenderd és a kis betűvel jelzett értékek az instrumentális fényességeknek felelnek meg.

Az eltolások, valamint a számítások alapján a következő eredményekre jutottam:

Objektum	E(V-I) [mag]	V-M _V [mag]	d [kpc]	[Fe/H]	t _{izokrón} [milliárd év]	t _{számított} [milliárd év]
M3	0,08 ±0,005	15,7±0,0 5	12,724 ± 0,29	-1,378	11,7 +/-0,3	11,75

3. táblázat: Az M3 gömbhalmaz extincitása, távolságmodulusa, távolsága, fémessége, illesztéssel meghatározott kora és összehasonlításként kiszámított kora (3)

A mért és irodalmi értékek közötti eltérés [12]:

	d [kpc]	[Fe/H]	T _{izokrón} [milliárd év]
Mért érték	12,724±029	-1,378	11,7 +/-0,3
Irodalmi érték	12	-1,43	11,4
Eltérés [%]	5,7	3,6	2,56

4. táblázat: Az eltérések %-ban kifejezve

7.4. M53

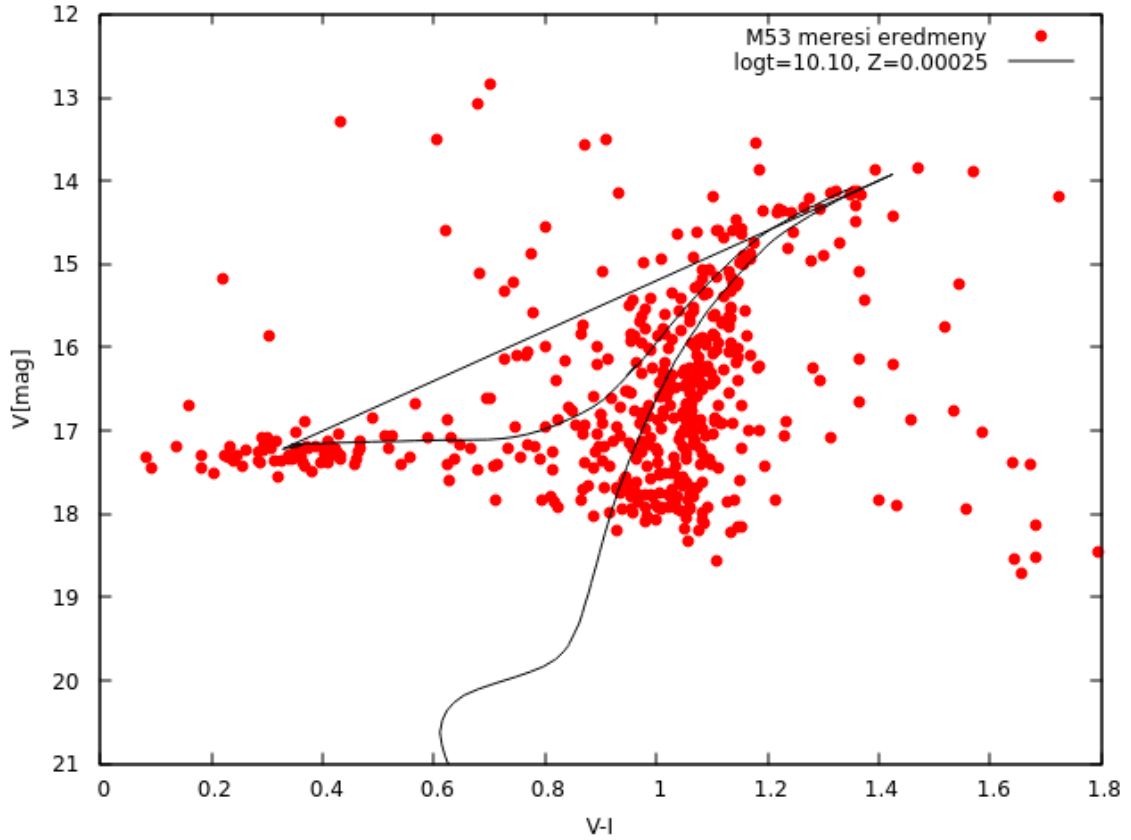
Az M53 gömbhalmaznál nehezebb dolgom volt a PSF-fotometria során, mivel még a korrigált képeken is nagyon észrevehető volt a légkör rossz állapota. Ez megnehezítette a transzformációt, viszont sikerült a megfelelő PSF csillagokat kiválasztanom és ez után megoldódott a probléma.

A sztenderd értékek kiszámításához a következő egyenleteket és a hozzájuk tartozó transzformációs értékeket használtam:

$$V = v - 0,040 \cdot (v-i) - 3,639 \quad (18)$$

$$I = i + 0,031 \cdot (v-i) - 5,523 \quad (19)$$

ahol, a nagy betűvel jelzett értékek a sztenderd és a kis betűvel jelzett értékek az instrumentális fényességeknek felelnek meg.



18. ábra: M53 gömbhalmaz szín-fényesség-diagramja és a rá legjobban illeszkedő izokron

Az eltolások, valamint a számítások alapján a következő eredményekre jutottam:

Objektum	$E(V-I)$ [mag]	$V-M_V$ [mag]	d [kpc]	$[Fe/H]$	$t_{\text{izokrón}}$ [milliárd év]	$t_{\text{számított}}$ [milliárd év]
M53	0,06 $\pm 0,025$	16,65 $\pm 0,15$	20,113 $\pm 0,15$	-1,794	12,6 +/- 0,29	12,30

5. táblázat: Az M53 gömbhalmaz extincitása, távolságmodulusa, távolsága, fémessége, illesztéssel meghatározott kora és összehasonlításként kiszámított kora (3)

A mért és irodalmi értékek közötti eltérés [10]:

	d [kpc]	$[Fe/H]$	$t_{\text{izokrón}}$ [milliárd év]
Mért érték	20,113 \pm 0,15	-1,794	12,6 +/- 0,29e9
Irodalmi érték	18,793	-1,86	11,6 +/- 1,25
Eltérés [%]	6,5	3,54	7,8

6. táblázat: Az eltérések %-ban kifejezve

8. Összefoglalás

A szakdolgozat és az azt megelőző gyakorlatok során mélyebb betekintést nyertem a feladatokhoz szükséges programokba, valamint a távcsőkezelés részleteibe. A képfeldolgozás során több ilyen programra is szükség volt. A Gnuplot segítségével készítettem el a diagramokat, valamint illesztettem az izokronokat, az IRAF-nak köszönhetően elvégezhettem a PSF-fotometriát. Az új gyakorlati tudás szerzése mellett az elméleti tudásom is bővült. Céljaim között szerepel további gömbhalmazok életkorának és fizikai tulajdonságainak a meghatározása, valamint a jövőben a gömbhalmazok spektroszkópiai vizsgálata.

9. Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni elsősorban témavezetőmnek Dr. Vinkó Józsefnek az útmutatását valamint azt, hogy az esetleges felmerülő problémákban mindig segítséget nyújtott. Ezen felül még szeretném megköszönni hogy lehetőséget biztosított arra, hogy megtanulhassam a Konkoly Thege Miklós Csillagászati Kutató Intézet Pizskés-tetői Observatórium Schmidt-távcsövének a használatát.

Hálás vagyok Dr. Székely Péternek, a szakdolgozat során használt programok használatának a megtanításáért, valamint hálás vagyok a Konkoly Thege Miklós Csillagászati Kutató Intézet Pizskés-tetői Observatóriumának hogy használhattam a távcsövüket.

9. Felhasznált irodalom

- [1] **Gáspár András**: "Az NGC 2126 nyílthalmaz fotometriai vizsgálata" 2002 TDK-dolgozat, Szegedi Tudományegyetem
- [2] **Kaspar von, B., Mario, M., Kristin, C., Alex, A., Denise, H.K.** et al. 2002, AJ, 124, 4
- [3] **Ordasi András**: "Gömbhalmazok életkorának becslése csillagpopuláció-modellek illesztésével" 2012, diplomamunka, Szegedi Tudományegyetem
- [4] **Dr. Székely Péter**: "Csillagászati laboratórium jegyzetek", Szegedi Tudományegyetem (http://titan.physx.u-szeged.hu/~pierre/csill_labor_2/csilllabor2.html)
- [5] **Derekas Alíz**: "A Tejútrendszer spirális szerkezete" 2002, szakdolgozat, Szegedi Tudományegyetem
- [6] **Simon Attila**: "Exoholdak fedési exobolygók körül" 2012, PhD értekezés, Szegedi Tudományegyetem
- [7] **Bressan, A.** et al. 2012, MNRAS 427, 127 (<http://stev.oapd.inaf.it/cgi-bin/cmd>)
- [8] **Lawrence, M. K., Brian, C.** et al. 2003, Science, 299, 65-69
- [9] **Raul, J.** et al. 1998, Proc. Natl. Acad. Sci., 95, 1
- [10] **Mamajek, E., Soderblom, D.R., Wyse, R.F.G.** (eds), 2009, Proceedings of the International Astronomical Union Symposium no. 258. Cambridge, UK: Cambridge University Press
- [11] **Chaboyer, B., Demarque, P., Kerman, P.J., Krauss, M.** et al. 1996, Science, 271, 957
- [12] **Peterson, C.J.** et al. 1987, PASP, 99, 1153-1160
- [13] **Jordi** et al. 2006 A&A 460, 339
- [14] <http://konkoly.hu/>
- [15] <http://elte.prompt.hu/sites/default/files/tananyagok/ATEjutrendszerSzerkezete/>
- [16] http://astro.u-szeged.hu/oktatas/csillagaszat/7_Csillagfejlodes/
- [17] <http://www.gothard.hu/astronomy/astroteaching/astrophysics/stars/hrd/hrd.php>
- [18] **Khamidullina, D. A., Sharina, M. E., Shimansky, V. V., Davoust E.** et al. 2014, Ast. Bu., 69, 409-426
- [19] **Eggen, O.J., Lynden-Bell, D., Sandage, A.R.** et al. 1962, AJ, 136, 748
- [20] **Renzini, A.** et al. 1996, AJ, 465, L23
- [21] **Searle, L., Zinn, R.J.** et al. 1978, AJ, 225, 357

11. Függelék

11.1. PSF-fotometria során beállított értékek az IRAF-ben

11.1.1. M56 fotometriája

Daofind:

datapar: fwhmpsf → 2,3 (V szűrős képeket használva)
 → 2,6 (I szűrős képeket használva)
sigma → 5,12 (V szűrős képeket használva)
 → 6,78 (I szűrős képeket használva)
datamin → 0 , datamax → 40000
readnoi → 15, gain → 2
exposur → exptime
finpar: tresho → 10

Phot:

centerp: calgori → centroid, cbox → 10
fitskyp: salgori → mode, annulus → 7 (pixelben)
 dannulus → 4 (pixel)
photpar: apertur → 4 (pixelben)

Pstselect:

maxnpsf → 100
daopars: function → auto, varorde → 2, nclean → 2,
 psfrad → 10, fitrad → 4, sannulu → 7,
 wsannulu → 4 (pixel)

Psf:

pstfile → default, matchby → yes,
interac → yes (az els? futtatásnál)

11.1.3. M53 fotometriája

Daofind:

datapar: fwhmpsf → 3,19 (V szűrős képeket használva)
→ 3,09 (I szűrős képeket használva)
sigma → 12,4 (V szűrős képeket használva)
→ 13,1 (I szűrős képeket használva)
datamin → 0 , datamax → 40000
readnoi → 15, gain → 2
exposur → exptime
finpar: tresho → 10

Phot:

centerp: calgori → centroid, cbox → 10
fitskyp: salgori → mode, annulus → 8 (pixelben)
dannulus → 4 (pixel)
photpar: apertur → 4 (pixelben)

Pstxselect:

maxnpsf → 80
daopars: function → auto, varorde → 2, nclean → 2,
psfrad → 10, fitrad → 4, sannulu → 8,
wsannulu → 4 (pixel)

Psf:

pstfile → default, matchby → yes,
interac → yes (az els? futtatásnál)

11.1.4. Diff.c programrész

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <math.h>
int main ()
{
int i=0, k=0, a=0, b=0;
double x1[100000], y1[100000], mag1[100000], merr1;
double x2[100000], y2[100000], mag2[100000], merr2;
double dif, diff=2.0;
FILE * bigfile;
FILE * smallfile;
if ((bigfile = fopen( "V.dat" , "rt"))== NULL)
{
fprintf (stderr, "Unsuccesfull file opening! \n");
exit (-1);
}
else;
if ((smallfile = fopen( "I.dat" , "rt"))== NULL)
{
fprintf (stderr, "Unsuccesfull file opening! \n");
exit (-1);
}
else;
do
{
fscanf (bigfile, "%lf %lf %lf %lf", &x1[i], &y1[i],
&mag1[i], &merr1);
i++;
}
while (!feof(bigfile));
```

```

fclose (bigfile);

do
    {
        fscanf (smallfile, "%lf %lf %lf %lf", &x2[k], &y2[k],
&mag2[k], &merr2);
        k++;
    }
while (!feof(smallfile));
fclose (smallfile);
for (a=0; a<k-1; a++)
    {
        for (b=0; b<i; b++)
            {
                dif=sqrt(pow ((x1[b]-x2[a]),2) + (pow ((y1[b]-
y2[a]),2)));
                /* printf ("%lf \n", dif); */
                if ( dif < diff)
                    {
                        printf (" %G %G %G %G %G %G \n", x1[b], y1[b], x2[a],
y2[a], mag1[b], mag2[a]);
                    }
            }
    }
}

```

12. Nyilatkozat

Alulírott Gyurita Árpád BSc szakos hallgató (ETR azonosító: GYAVAAT.SZE) a Gömbhalmazok életkorának becslése csillagfejlődési modellek alapján című szakdolgozat szerzője fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem, hogy dolgozatom önálló munkám eredménye, saját szellemi termékem, abban a hivatkozások és idézések általános szabályait következetesen alkalmaztam, mások által írt részeket a megfelelő idézés nélkül nem használtam fel.

Szeged, 2017.....

.....

Gyurita Árpád