



Stjärn(hoparnas) Krig

En Åldersbestämning av den Öppna Stjärnhopen NGC 188
samt en Undersökning av Klotformiga och Öppna Stjärnhopars
Formationsepoker

Evelina Andersson



Kurs: Gymnasiearbete 100p
Naturvetenskapsprogrammet
17 februari 2023
Läsår: 2022/2023

Handledare: Jens Bjelvenmark; Pia Engström; Peter Linde; Tomas Diez
Medlaborant: Gustav Holmér

Abstract

Star clusters, both globular and open, provide astronomers with countless valuable insights into the life and death of stars, as well as the chronology of the universe. Globular clusters are usually older, with ages near that of the universe, whereas open clusters are typically younger. In this study, the age of the open cluster NGC 188 is examined, by using CCD photometry and creating a colour-magnitude diagram, in order to determine whether globular and open clusters have developed during different time periods, or if their formation periods overlap. A total of 274 stars in NGC 188 were studied and included in the colour-magnitude diagram, which produced a distinguishable main sequence, giant branch and turn off point that were used to approximate an age of 7,5 billion years. This result matched several earlier studies and when compared to the age of the young globular cluster Segue 3, which is 3,2 billion years old, the possibility of globular and open clusters having overlapping formation periods was determined to be very likely, although further research is needed.

Innehållsförteckning

1	Introduktion	2
1.1	Bakgrund	2
1.1.1	Klotformiga och öppna stjärnhopar	2
1.1.2	Hertzsprung-Russell-diagram	3
1.1.3	Genomförande	5
1.2	Syfte och frågeställningar	6
2	Material och Metod	6
2.1	Observation	6
2.2	Analys	8
3	Resultat	10
4	Diskussion	15
4.1	Åldersbestämning	15
4.2	Epoker för formation av stjärnhopar	16
4.3	Metodvalets inverkan	16
4.4	Slutsats	17
5	Tillkännagivanden	17
6	Referenser	19

1 Introduktion

1.1 Bakgrund

Stjärnhopar besitter särskilda, väsentliga egenskaper som bidrar med mycket viktig och relevant information vid studier av stjärnor. Framför allt kan antagandet göras att alla stjärnor i en hop bildades vid ungefär samma tidpunkt av samma interstellära gasmoln, vilket medför att de bör vara homogena i sina egenskaper och sin kemiska uppbyggnad. Detta innebär även att den enda signifikanta skillnaden mellan stjärnor i en hop är deras massa, men andra uppmätta egenskaper hos en stjärna kan förväntas vara lika hos övriga stjärnor i hopen. Däremot bildas stjärnorna vid faktiska olika tidpunkter, men jämfört med deras ålder är spridningen i formationstider obetydlig. Det finns även en spridning i avstånd från jorden, men den är oftast mycket mindre än medelavståndet från jorden till hopen, vilket betyder att även den kan ignoreras och antagandet kan göras att alla stjärnor befinner sig på samma avstånd från jorden. Med grund i dessa antaganden kan man bland annat beräkna en stjärnhops ålder samt avstånd från jorden (Palma, u. å.).

1.1.1 Klotformiga och öppna stjärnhopar

Stjärnhopar finns i två distinkta varianter, klotformiga och öppna stjärnhopar. Klotformiga stjärnhopar består av stora mängder stjärnor som är tätt ansamlade (Gregersen, 2014), vilket ger upphov till en mycket stark gravitationskraft som ger dem dess reguljära, sfäriska form. Gravitationen resulterar i en hög stabilitet och de kan därför bli flera miljarder år gamla (European Space Agency, u. å.-a). De är bland de äldsta objekten i universum, och därmed några av de första som bildades, med åldrar på 11-16 miljarder år, vilket stöds av faktumet att klotformiga stjärnhopar tenderar att innehålla avsevärt mindre mängder tunga ämnen än övriga stjärnor i Vintergatans skiva (Gregersen, 2014).

Segue 3 är en av de yngsta klotformiga stjärnhoparna som observerats hittills, med en ålder på 3,2 miljarder år. Den hittades i samband med Sloan Digital Sky Survey 2010 och identifierades som en stjärnhop i Vintergatan, i stjärnbilden Pegasus (Ortolani, Bica & Barbuy, 2013).

Öppna stjärnhopar innehåller däremot tiotals till tusentals stjärnor, vilka ofta är asymmetriskt placerade (Ferne, 2018). De är mycket mindre än och innehåller mer utspridda stjärnor än klotformiga stjärnhopar samt har observerats ha åldrar med stort spann. Deras öppna och diffusa struktur gör dem instabila och stjärnorna i dessa hopar kan därför skingras efter ett par miljo-

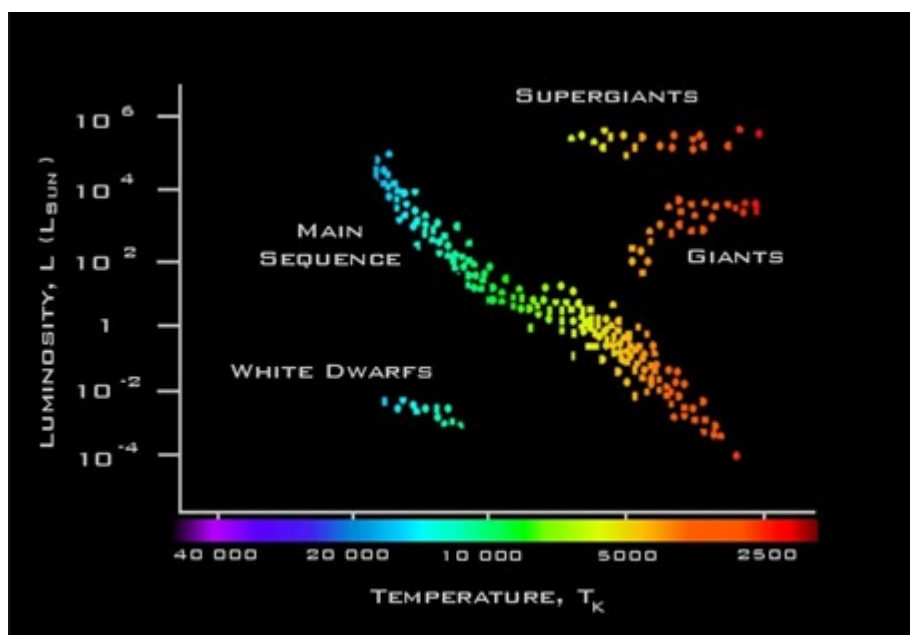
ner år. Öppna stjärnhopar förekommer därmed i spiralgalaxer och irreguljära galaxer, där stjärnor nybildas, men inte i elliptiska galaxer som inte bildar stjärnor; i dem har eventuella öppna stjärnhopar redan skingrats. I Vintergatan återfinns öppna stjärnhopar i och mellan spiralarmarna (European Space Agency, u. å.-b).

NGC 188 är en mycket gammal öppen stjärnhop och åldersbestämdes 1961 till 14–16 miljarder år (Sandage, 1961). Sedan dess har dess ålder i vidare studier beräknats till $6,5 + 1,5/-0,5$ miljarder år (Demarque, Green & Guenther, 1992), 6,8 miljarder år (VandenBerg & Stetson, 2004) samt $6,2 \pm 0,2$ miljarder år. NGC 188 har länge varit en central del av kontroversen kring huruvida de äldsta öppna hoparna bildades relativt snart efter epoken för klotformiga hopars bildning, eller om det fanns en signifikant tidslucka däremellan (Meibom m. fl., 2009). Det ska däremot påpekas att den öppna stjärnhopen Collinder 261 verkar ha en ännu högre ålder än NGC 188, på ungefär 8,9 miljarder år (Ferne, 2018). Den ligger dock alltid under horisonten för observation i Sverige och kan därför inte studeras här (Stellarium, u. å.).

1.1.2 Hertzsprung-Russell-diagram

Hertzsprung-Russell-Diagram, eller HR-diagram, konstruerades av Ejnar Hertzsprung 1911 för stjärnor i stjärnhopar. Ett antal år senare utvecklade Henry Norris Russell, oberoende, samma princip fast för stjärnor i solens närmaste omgivning. I HR-diagrammen återfinns stjärnornas absoluta magnitud eller luminositet på y-axeln och deras spektraltyp eller annat mått på yttemperaturen på x-axeln (Gustafsson, u. å.).

Majoriteten av stjärnorna finns koncentrerade längst en diagonal sträcka i HR-diagrammet, vilken kallas huvudserien. Vissa stjärnor, med stora radier, ligger i diagrammets övre högra del och bildar en gren vid namn jättegrenen. De ljusstarkaste stjärnorna ligger över jättegrenen på superjättegrenen. De mycket ljussvaga vita dvärgstjärnorna ligger på ett band under huvudserien (Gustafsson, u. å.) (fig.1).



Figur 1. Generiskt Hertzsprung-Russell-diagram där huvudserien (main sequence), jättegrenen (giants) och superjättegrenen (supergiants) framgår tydligt (University of Leicester, u. å.).

Diagram för gamla stjärnhopar visar utöver huvudserien och jättegrenen också en horisontalgren, som sträcker sig från jättegrenen och tvärs över HR-diagrammet mot huvudserien. För gamla stjärnhopar saknas den övre delen av huvudserien; den slutar under horisontalgrenen och viker av mot jättegrenen vid en så kallad turn off point. Vissa stjärnor, blue stragglers, kan dock förekomma ovanför denna punkt (Gustafsson, u. å.).

Stjärnorna som ligger på huvudserien är sådana där väte omvandlas till helium i dess kärna. Detta pågår under den största delen av en stjärnas livstid och därför ligger de flesta stjärnor på huvudserien. I jättegrenen har stjärnorna förbrukat sitt väte i kärnan och väteförbränningen sker i stället i ett skal omkring den. Detsamma gäller för superjättar, där enda skillnaden är att de är mycket mer massiva. När helium börjar omvandlas till kol och syre i kärnan förflyttas stjärnor som är fattiga på tyngre ämnen till horisontalgrenen och så småningom tillbaka till jättegrenen (Gustafsson, u. å.).

Genom att jämföra stjärnorna i en stjärnhops lägen i HR-diagrammet med teoretiska modeller, isokroner, för stjärnornas utveckling kan stjärnhopens ålder bestämmas genom att identifiera läget för turn off point (Gustafsson,

u. å.). Alternativt; om det kan identifieras exakt vilken typ av stjärna som i nuläget övergår från huvudserien till jättegrenen och om man teoretiskt vet hur lång tid det tar för stjärnor av den typen att förbruka allt sitt väte kan man uppskatta åldern av den stjärnan, och i förlängningen hela stjärnhopen (Palma, u. å.).

1.1.3 Genomförande

För gamla stjärnhopar, som NGC 188 är, används vanligtvis en variant av det klassiska HR-diagrammet, där spektraltyp byts ut mot färgindex, och absolut magnitud byts ut mot apparent magnitud. Resultatet blir ett färgmagnituddiagram (Gustafsson, u. å.).

Genom att mäta intensiteten för en stjärna kan apparent magnitud beräknas genom följande formel:

$$m = -2,5 \lg I + k \quad (1)$$

Där m är apparent magnitud, I är intensitet och k är en konstant som varierar beroende på vilket filter som stjärnorna observeras genom, i det här fallet blått (B-filter) och grönt (G-filter). Även magnituden varierar med filtret (Linde, Pers. komm, 6 januari 2023).

Färgindexet beräknas genom följande:

$$B - G = m_B - m_G \quad (2)$$

Där m_B är magnituden genom B-filtret och m_G är magnituden genom G-filtret (Linde, Pers. komm, 6 januari 2023).

För att identifiera vilken typ av stjärna, dess spektraltyp, som i nuläget lämnar huvudserien behöver stjärnans färgindex konverteras till yttemperatur genom formeln nedan:

$$T = 4600 \left(\frac{1}{0,92(B - G) + 1,7} + \frac{1}{0,92(B - G) + 0,62} \right) \quad (3)$$

Där T är temperaturen i Kelvin och $B - G$ är färgindexet (Ballesteros, 2012).

Bildanalysen av NGC 188 genom B- respektive G-filter kräver ett antal kalibreringsbilder; bias-bilder, dark-bilder och flat-bilder (Linde, Pers. komm, 6 januari 2023).

Bias-bilder tas utan att tillföra ljus till CCD-kameran och med en exponeringstid mycket nära noll sekunder. De ger information om grundnivån hos CCD-kameran samt det utläsningsbruset som uppkommer, och används således för att kunna definiera dessa och minimera bruset i objektbilderna på NGC 188 (Upptäck Universum, 2022).

Dark-bilderna är exponerade med samma exponeringstid som objektbilderna, men utan att CCD-kameran tillförs ljus. Dessa bilder innehåller så kallade hot pixels, pixlar med väldigt hög intensitet, och annat termiskt brus. Bilderna används därför för att identifiera dessa och eliminera dem i objektbilderna (Upptäck Universum, 2022).

Flat-bilder tas med mycket lång exponeringstid och är därför kraftigt exponerade mot en jämnt belyst yta. De ska vara så exponerade som möjligt utan att bli saturerade. Flat-bilderna korrigerar den vinjetteffekt som uppstår i objektbilderna eftersom teleskopet inte fördelar ljuset jämnt över kamerans sensor (Upptäck Universum, 2022).

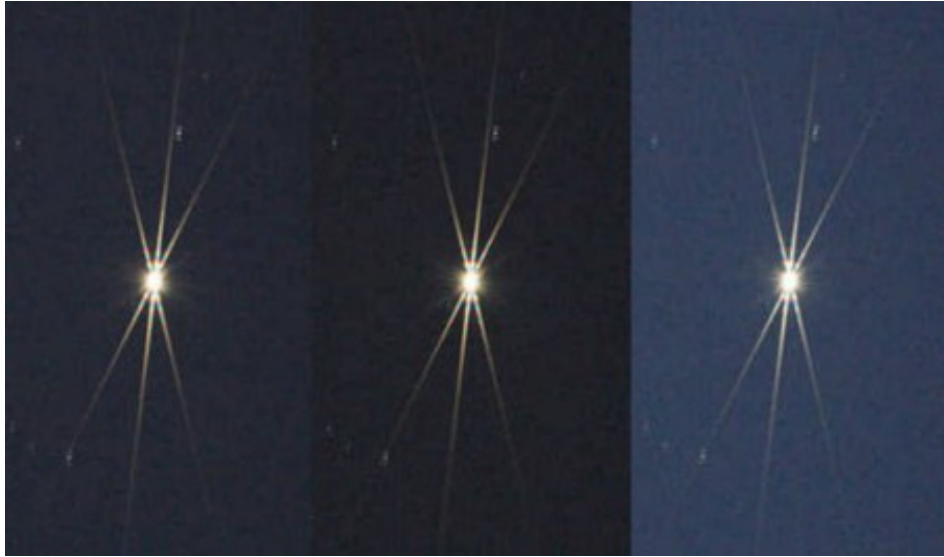
1.2 Syfte och frågeställningar

Syftet med studien är att åldersbestämma den öppna stjärnhopen NGC 188 samt att undersöka om formationer av klotformiga och öppna stjärnhopar har skett i epoker skilda från varandra, eller om epokerna överlappar. När NGC 188 väl åldersbestämts måste resultatet även jämföras med tidigare studier för att verifiera att åldern är någorlunda korrekt uppmätt. Utifrån dessa syften blir frågeställningarna följande: Vad är den öppna stjärnhopen NGC 188:s ålder? Hur väl stämmer den beräknade åldern överens med tidigare studier av samma karaktär? Har formationen av klotformiga respektive öppna stjärnhopar skett under epoker skilda från varandra?

2 Material och Metod

2.1 Observation

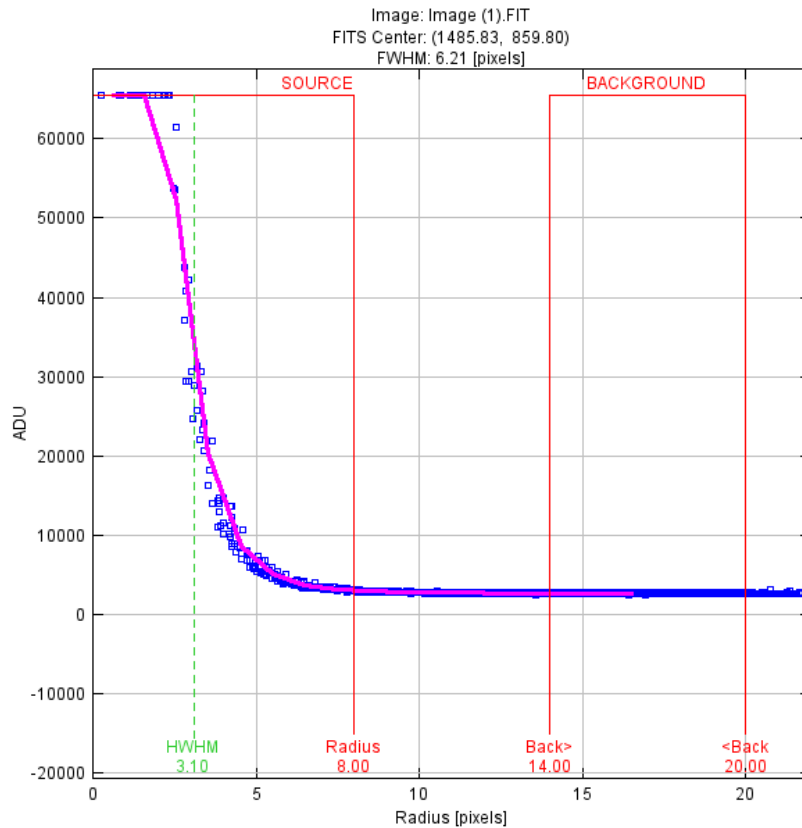
Tycho Brahe-observatoriets teleskop, av modellen Celestron 14 OTA (Tycho Brahe-observatoriet, 2022), anslöts till programmet Stellarium genom en virtuell serieport. En sökning på NGC 188 i Stellarium gjordes och teleskopet riktades följaktligen mot stjärnhopen. Därefter placerades en bahtinovmask på teleskopet och en bild exponerades på en mycket ljusstark stjärna. Det uppstod då ett diffraktionsmönster likt det i fig. 2, vilket tydde på att teleskopet var korrekt fokuserat.



Figur 2. Det diffraktionsmönster som en bahtinovmask ger upphov till då teleskopet är korrekt fokuserat (L'Aide Mémoire Informatisé du petit Luc, 2020).

Därefter kylades CCD-kameran, av modellen SBIG ST-8300 (Tycho Brahe-observatoriet, 2022), till -30°C , för att minimera så kallad dark current i dark-bilderna. Det gröna filtret placerades sedan framför kameran och en kontrollbild med exponeringstiden 30s togs på NGC 188. Genom att analysera bildens ljusstarkaste stjärnas seeing profile i AstroImageJ drogs slutsatsen att bilden var överexponerad, och stjärnan saturerad, eftersom flera av dess pixlar hade ett så kallat source count på mer än 65 000, vilket är gränsvärdet i programmet (Linde, Pers. komm, 27 januari 2023) (fig. 3). Exponeringstiden minskades då till 20s för att minska source count och tio objektbilder genom G-filtret togs med denna exponeringstid.

Filtret ändrades sedan till det blå och kontrollbilder med 40s respektive 30s exponeringstid togs, vilka båda visades vara överexponerade efter samma analys i AstroImageJ som för det gröna filtret. Den ljusstarkaste stjärnan gav i båda instanserna upphov till liknande seeing profiles som i fig. 3. Tio objektbilder genom B-filtret togs därmed med exponeringstiden 20s.



Figur 3. Seeing profile av den ljusstarkaste stjärnan i G-filter-kontrollbilden med exponeringstiden 30s. I bildens övre vänstra hörn syns att flera av stjärnans pixlar har ett source count på 65 000, vilket innebär att stjärnan är överexponerad och saturerad.

Därpå togs tio dark-bilder med samma exponeringstid som samtliga objekt-bilder, det vill säga 20s, samt tio bias-bilder med exponeringstiden 0,1s. Fem flat-bilder genom respektive filter togs dagen därpå av ansvariga på Tycho Brahe-observatoriet och distribuerades samma dag på grund av utrustningskomplikationer under observationskvällen.

2.2 Analys

Samtliga bias-bilder staplades i AstroImageJ ovanpå varandra till en master-bias med medelvärdet av alla enskilda bilders intensitet. Samma princip upprepades med dark-bilderna, och resulterade i en master-dark, varefter master-bias subtraherades från master-dark med hjälp av en kalkylator i programmet. Från varje flat-bild för det blå filtret subtraherades sedan master-bias.

Därefter staplades alla resulterande blå flat-bilder till en master-blue-flat genom att summera dem. Denna bild normaliserades i AstroImageJ i syfte att varje pixelvärde skulle ligga så nära 1,0 som möjligt. Processen upprepades för flat-bilderna genom det gröna filtret för att skapa en master-green-flat.

Från objektbilderna som använt det blå filtret subtraherades först master-bias och sedan master-dark. Därefter dividerades resultatet med master-blue-flat. Samma process upprepades med objektbilderna som använt det gröna filtret och med master-green-flat.

Därefter justerades, med hjälp av ett apertur-verktyg i AstroImageJ, de bearbetade B-filter-bilderna och de bearbetade G-filterbilderna var för sig så att samma stjärna hade samma bildkoordinat i alla bilder genom respektive filter. Slutligen staplades alla B-filterbilder respektive alla G-filterbilder på varandra. I fig. 4 syns en av de fullständigt bearbetade B-filterbilderna av NGC 188.



Figur 4. En helt bearbetad bild av NGC 188 tagen genom B-filtret.

Kända B-magnituder (som motsvarar magnituder genom B-filtret) och V-magnituder (som motsvarar magnituder genom G-filtret) hämtades därefter för nio av hopens stjärnor från databasen Aladin. Intensiteten mättes sedan med hjälp av multiaperturfotometri för dessa nio referensstjärnor samt 265 andra utvalda stjärnor, så kallade target-stjärnor, i varje bearbetad bild, både

genom B-filtret och G-filtret, i AstroImageJ. Referensstjärnornas intensitet för respektive filter användes tillsammans med deras kända magnituder för samma filter i ekvation 1 för att beräkna nio värden per filter på konstanten k , och därefter för att beräkna ett medelvärde för k för varje filter. Konstanternas medelvärden användes därpå i ekvation 1 för att bestämma B- respektive G-magnituderna hos samtliga stjärnor med hjälp av deras uppmätta intensitet genom respektive filter. Därefter beräknades alla stjärnors färgindex genom att subtrahera G-magnituden från B-magnituden.

Stjärnornas G-magnitud avsattes slutligen mot deras färgindex i ett färgmagnituddiagram.

3 Resultat

Sammanlagt mättes intensiteten för 274 stjärnor. De nio referensstjärnornas (comparison stars) uppmätta B- respektive G-intensitet användes i ekvation 1 för att beräkna korresponderande värden på konstanten k .

Detta resulterade i de k -värden som framgår ur tabell 1 respektive tabell 2. Ett medelvärde för vardera konstant beräknades också, vilket även det framgår ur förutnämnda tabeller.

Tabell 1. Det beräknade värdet på konstanten k för mätningarna genom B-filtret för varje referensstjärna (comparison star), samt ett medelvärde för konstanten.

Referensstjärna ID	Värde för k genom B-filter
C1	8,952273
C2	9,373884
C3	7,535777
C4	9,186921
C5	9,790895
C6	10,50244
C7	8,769237
C8	10,06232
C9	8,416897
	Medelvärde: 9,176739

Tabell 2. Det beräknade värdet på konstanten k för mätningarna genom G-filtret för varje referensstjärna (comparison star), samt ett medelvärde för konstanten.

Referensstjärna ID	Värde för k genom G-filter
C1	8,188105
C2	8,037988
C3	6,52829
C4	9,109522
C5	9,541841
C6	10,343
C7	8,391307
C8	8,975741
C9	7,446385
	Medelvärde: 8,506909

För att uppskatta exaktheten av konstanternas medelvärden beräknades referensstjärnornas B- och G-magnituder genom att använda respektive uppmätta intensitet samt konstantmedelvärde i ekvation 1. Därefter beräknades avvikelsen mellan den beräknade magnituden och den kända magnituden, vilket åskådliggörs i tabell 3 samt tabell 4.

Tabell 3. Samtliga referensstjärnors (comparison stars) kända B-magnitud, beräknad B-magnitud med hjälp av konstanten k samt den beräknade magnitudens avvikelse från den verkliga.

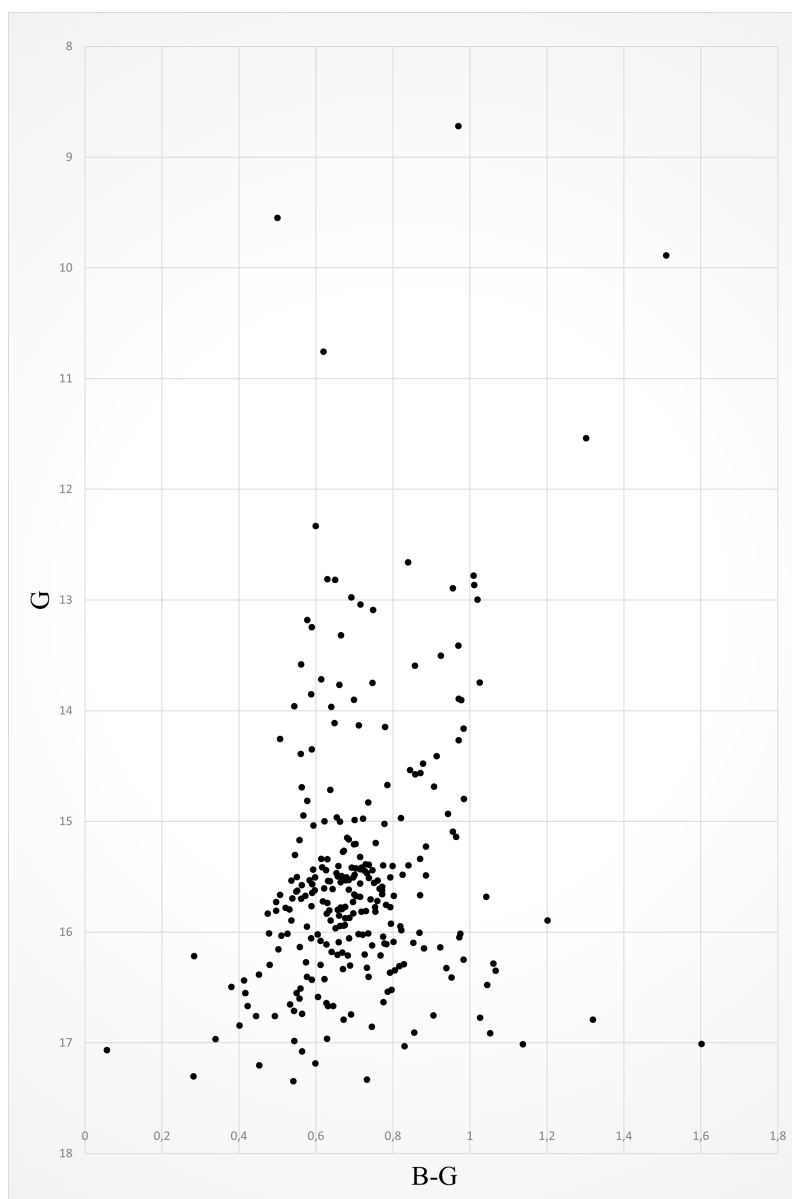
Referensstjärna	Känd B-magnitud	Beräknad B-magnitud	Avvikelse (%)
C1	10,05	10,27447	2,233
C2	9,69	9,492855	2,035
C3	11,4	13,04096	14,39
C4	11,38	11,36982	0,089
C5	12,935	12,32084	4,748
C6	13,761	12,4353	9,634
C7	13,469	13,8765	3,025
C8	13,79	12,90442	6,422
C9	12,843	13,60284	5,916

Tabell 4. Samtliga referensstjärnors (comparison stars) kända V-magnitud, beräknad G-magnitud med hjälp av konstanten k samt den beräknade magnitudens avvikelse från den verkliga.

Referensstjärna	Känd V-magnitud	Beräknad G-magnitud	Avvikelse (%)
C1	9,55	9,868804	3,338
C2	8,72	9,188921	5,378
C3	9,89	11,86862	20,01
C4	10,76	10,15739	5,600
C5	12,335	11,30007	8,390
C6	13,183	11,34691	13,93
C7	12,819	12,9346	0,902
C8	12,78	12,31117	3,668
C9	11,541	12,60152	9,189

I tabell 3 syns stora avvikelser för referensstjärna C3 och C6, på 14,39% respektive 9,634%. Även ur tabell 4 avläses stora avvikelser för samma stjärnor; i detta fall 20,01% respektive 13,93%.

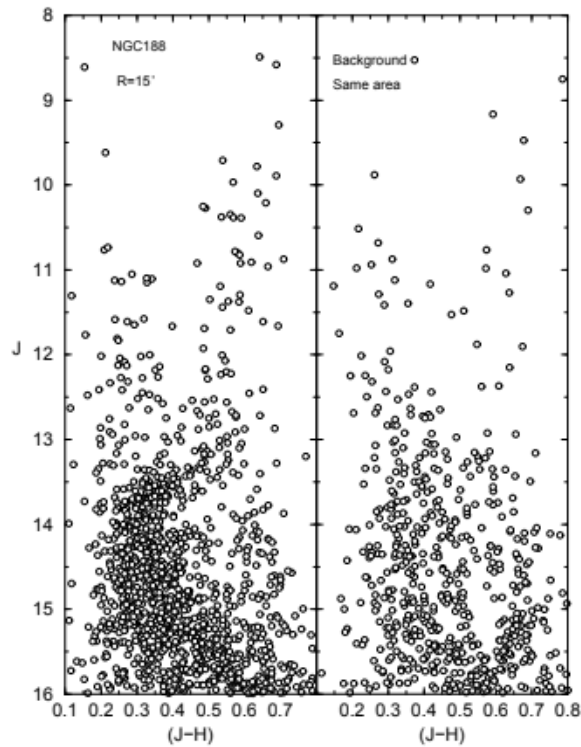
Konstantmedelvärdet i tabell 1 användes tillsammans med uppmätta B-intensiteter för target-stjärnorna i ekvation 1 för att beräkna deras B-magnitud. Likaså användes konstantmedelvärdet i tabell 2 således tillsammans med uppmätta G-intensiteter för att beräkna target-stjärnornas G-magnitud. Samtliga stjärnors färgindex beräknades därefter i ekvation 2, där targetstjärnornas beräknade magnituder användes medan referensstjärnornas kända magnituder från databasen Aladin användes. När stjärnornas G-magnitud slutligen avsattes mot deras färgindex blev resultatet ett Hertzsprung-Russell-diagram, färg-magnituddiagram, med totalt 274 mätpunkter (fig. 5).



Figur 5. 274 undersökta stjärnors G -magnitud avsatt mot deras färgindex ($B-G$) i ett färgmagnituddiagram för NGC 188. I diagrammet sträcker sig huvudserien från nedre högra hörnet diagonalt mot mitten av mätpunkterna. Då $B - G \approx 0,65$ och $G \approx 15,5$ viker huvudserien av i jättegrenen och bildar turn off point.

I diagrammet kan de olika grenarna som bör ingå tydligt identifieras. Från diagrammets nedre högra hörn börjar huvudserien och sträcker sig sedan diagonalt upp åt vänster, där den snabbt tar slut och övergår i jättegrenen vid turn

off point. Även om diagrammet uppvisar en något diffus form på grund av diverse förgrunds- och bakgrundsstjärnor, stämmer nämnda stjärnors spridning väl överens med en tidigare mätning av för- och bakgrundsstjärnor på den area av stjärnhimlen som NGC 188 upptar (Bonatto, Bica & Santos Jr, 2005) (fig. 6), och det är därmed möjligt att urskilja både huvudserien, jättegrenen och turn off point utan stora problem.



Figur 6. Färg-magnituddiagram för NGC 188, inklusive för- och bakgrundsstjärnor, (till vänster,) samt färg-magnituddiagram för ett annat fält av stjärnhimlen av samma area (till höger) (Bonatto m. fl., 2005)

Läget för turn off point kan uppskattas till $B-G \approx 0,65$, och $G \approx 15,5$, vilket innebär att stjärnan som just nu lämnar huvudserien har en yttemperatur på ca 5800K, enligt ekvation 3. Därmed är stjärnan av spektraltypen G, som har yttemperaturer på 5200K - 6000K (Wikipedia, 2023).

G-stjärnor börjar lämna huvudserien efter ungefär 5 miljarder år, och har alla lämnat den efter cirka 10 miljarder år (Palma, u. å.). G-stjärnan i det här fallet har en temperatur som ligger ungefär i mitten av G-stjärnornas spann,

och det kan därmed rimligt antas att det innebär att hälften av G-stjärnorna har lämnat huvudserien och att stjärnan som lämnar huvudserien i nuläget har en ålder som ligger ungefär mitt emellan 5 och 10 miljarder år, alltså cirka 7,5 miljarder år.

4 Diskussion

4.1 Åldersbestämning

I fig. 5 presenterades ett färg-magnituddiagram för NGC 188, med turn off point då $B - G \approx 0,65$, som användes för att uppskatta dess ålder till 7,5 miljarder år. Denna åldersbestämning stämmer väl överens med tidigare uppmätta åldrar på $6,5 + 1,5/-0,5$ miljarder år (Demarque m. fl., 1992) och 6,8 miljarder år (VandenBerg & Stetson, 2004); från studier som använt metoden och färgsystemet som försökt emuleras i denna studie. På grund av det begränsade och improviserade tillvägagångssättet är resultatet i denna studie en mycket grov uppskattning av NGC 188:s ålder, men det är, jämfört med de tidigare nämnda studierna, en mycket bra uppskattning med tanke på de medel som fanns att tillgå. I de förutnämnda studiernas färg-magnituddiagram kan man även se att turn off point befinner sig på ungefär samma position som den gör även i denna studie; vid $B - V \approx 0,65$ (Demarque m. fl., 1992) och $B - V \approx 0,6$ (VandenBerg & Stetson, 2004), där B-V motsvaras av B-G i denna studie. Meibom m.fl. (2009) uppskattar däremot åldern till $6,2 \pm 0,2$ miljarder år, vilket avviker mer från denna studie än övriga åldersbestämningar, men de använder även färgsystemet I-V istället för B-V, vilket först och främst medför att en jämförelse med deras färg-magnituddiagrams turn off point inte kan genomföras. Det innebär också att åldern på 7,5 miljarder år inte bör jämföras med denna studie i för hög grad, eftersom ett då redan modifierat färgsystem, B-G, skulle jämföras med ett annat färgsystem, I-V, som avviker från det färgsystem B-G försöker efterlikna; B-V.

Det ska även påpekas att traditionella studier av stjärnhopars ålder använder isokroner, teoretiska modeller av en stjärnas utveckling, som jämförelse med huvudserien, jättegrenen och turn off point för att fastslå en ålder. Den metoden ligger dessvärre bortom detta arbete, vilket resulterar i att åldersbestämningen blir, som tidigare påpekat, mycket grov. Däremot verkar detta inte ha varit ett avsevärt stort problem eftersom åldersbestämningen stämde väl överens med tidigare, mer gedigna studier.

4.2 Epoker för formation av stjärnhopar

NGC 188:s ålder har bestämts till 14–16 miljarder år (Sandage, 1961), $6,5 + 1,5/-0,5$ miljarder år (Demarque m. fl., 1992), 6,8 miljarder år (VandenBerg & Stetson, 2004), $6,2 \pm 0,2$ miljarder år (Meibom m. fl., 2009) och nu 7,5 miljarder år. De fyra sistnämnda anger alla en ålder liknande varandras, och det är därmed rimligt att anta att den väl korresponderar med NGC 188:s verkliga ålder. Detta antagande medför även att den öppna stjärnhopen NGC 188 har en betydligt högre ålder än den yngsta hittills upptäckta klotformiga stjärnhopen, Segue 3, vars ålder beräknas vara 3,2 miljarder år (Ortolani m. fl., 2013). Det hade därför också varit rimligt att anta att formationerna av klotformiga och öppna stjärnhopar har skett parallellt, i alla fall under det senaste skedet av universums historia. Det bör även, förslagsvis, vara svårt att bevisa motsatsen, eftersom mycket gamla öppna stjärnhopar med stor sannolikhet kan ha existerat, men skingrats så pass mycket att det idag inte går att observera bevis av deras existens.

4.3 Metodvalets inverkan

Metoden en modifierad version av ett annars vedertaget tillvägagångssätt som används i majoriteten av studierna citerade i detta arbete. Förändringar av den gjordes med avseende på de begränsade resurser som stod till studiens och Astronomiska Sällskapet Tycho Brahes förfogande, och resulterade bland annat i att G-filtrer användes i stället för V-filtrer, som traditionellt sett nyttjas i studier av denna karaktär. G- och V-filtrer är mycket lika varandra men inte identiska, vilket skapade en diskrepans mellan de kända V-magnituder som användes för att beräkna konstanten och de uppmätta G-intensiteterna som användes för att beräkna G-magnituder för resterande stjärnor. Olikheten mellan filtren orsakade följaktligen en felaktighet och inexacthet vid beräkningen av konstanten k i ekvation 1, vilket sedan gav upphov till inkorrekt beräknade magnituder.

Det ska även noteras att referensstjärna C3 i tabell 3 uppvisar en avvikelse mellan sin verkliga magnitud och sin beräknade magnitud på 14,39%, och i tabell 4 en avvikelse på 20,01%. Stora avvikelser gäller även för referensstjärna C6 som i tabell 3 respektive 4 visar en avvikelse på 9,634% respektive 13,93%. Dessa mycket stora avvikelser tyder antingen på att intensiteten är inkorrekt uppmätt (detta bör däremot även visa avtryck, som inte syns, hos resterande referensstjärnor, och givet att C3 och C6 är förhållandevis ljusstarka stjärnor är detta därmed osannolikt), eller på att deras kända magnituder inte är korrekt hämtade från databasen. Om felaktiga magnituder

använts för att beräkna konstanterna bör detta även påverka dess medelvärde och i förlängningen även de beräknade magnituderna för återstoden av de 265 stjärnorna. Det skulle därav påverka hela färg-magnituddiagrammet. Jämförelse av diagrammet med andra studier tyder däremot på att detta inte inverkar på ett avsevärt sätt, men det är möjligt att ett än tydligare färg-magnituddiagram hade kunnat framställas om referensstjärnorna uppvisade mindre avvikelser.

4.4 Slutsats

Sammanfattningsvis uppskattas NGC 188:s ålder till 7,5 miljarder år, vilket stämmer relativt väl överens med tidigare studier, särskilt med denna studies begränsade resurser i åtanke. Färg-magnituddiagrammet som framställdes liknar på många sätt färg-magnituddiagrammen i tidigare studier, vilket stärker slutsatsen att åldern är korrekt uppmätt. Vidare konstateras att det är sannolikt att klotformiga och öppna stjärnhopar har bildats parallellt, genom att jämföra NGC 188:s ålder med den klotformiga stjärnhopen Segue 3:s ålder. Dessa slutsatser dras baserat på en modifierad och improviserad metod, som annars är ett vedertaget tillvägagångssätt för studier av denna karaktär, och det är därmed viktigt att ta hänsyn till att färgsystemet som användes kan ha skapat diskrepanser som kan ha påverkat det slutgiltiga resultatet. Det fanns även stora avvikelser inom referensstjärnornas magnituder, som även det kan ha haft en negativ och felaktig inverkan på färg-magnituddiagrammet i fig. 5.

Slutligen är det viktigt att notera att denna studie inte är komplett material för att dra precisa slutsatser om frågeställningarna, utan vidare och mer gedigen forskning är nödvändig. Det krävs bland annat fler studier beträffande Segue 3:s ålder, för att bekräfta den, samt ytterligare undersökning av fler gamla öppna stjärnhopar och fler unga klotformiga stjärnhopar, för att kunna dra en nyanserad slutsats som är sann för merparten av alla stjärnhopar, och inte bara de som nämnts här.

5 Tillkännagivanden

Tack till Peter Linde och Tomas Diez vid Tycho Brahe-observatoriet, som möjliggjorde observationen av NGC 188 genom uthyrning av Astronomiska Sällskapet Tycho Brahes fjärrstyrda teleskop, samt genom att bistå med kunskap och goda råd under hela arbetets gång. Tack även till Gustav Holmér, som varit en värdefull medarbetare. Slutligen, tack till Jens Bjelvenmark

och Pia Engström, mina handledare, som har stöttat mig på alla sätt och tålmodigt svarat på min ändlösa repertoar av frågor.

6 Referenser

- Ballesteros, F. J. (2012). New insights into black bodies. *The Letters Journal Exploring the Frontiers of Physics*, 97, 1-6.
- Bonatto, C., Bica, E. & Santos Jr, J. F. C. (2005). Spatial dependence of 2MASS luminosity and mass functions in the old open cluster NGC 188. *Astronomy and Astrophysics*, 433, 917-929.
- Demarque, P., Green, E. M. & Guenther, D. B. (1992). Solar calibration and the ages of the old disk clusters M67, NGC 188, and NGC 6791. *The Astronomical Journal*, 103, 151–162.
- European Space Agency. (u. å.-a). *Globular cluster*. Hämtad den 25 november 2022, från esahubble.org/wordbank/globular-cluster/
- European Space Agency. (u. å.-b). *Open cluster*. Hämtad den 8 september 2022, från esahubble.org/wordbank/open-cluster/
- Fernie, J. D. (2018, 2/11). *Star cluster*. Hämtad den 8 september 2022, från [britannica.com/science/star-cluster](https://www.britannica.com/science/star-cluster)
- Gregersen, E. (2014, 5/11). *Globular cluster*. Hämtad den 25 augusti 2022, från [britannica.com/science/globular-cluster](https://www.britannica.com/science/globular-cluster)
- Gustafsson, B. (u. å.). *HR-diagram*. Hämtad den 19 december 2022, från [ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/hr-diagram](https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/hr-diagram)
- L'Aide Mémoire Informatisé du petit Luc. (2020, 28/09). *Astrophotographie*. Hämtad den 29 januari 2023, från wiki.lucmasson.info/doku.php?id=astrophotographie
- Meibom, S., Grundahl, F., Clausen, J. V., Frandsen, S., Pigulski, A., Narwid, A., ... Lefever, K. (2009). Age and distance for the old open cluster NGC 188 from the eclipsing binary member 12*. *The Astronomical Journal*, 137, 5086–5098.
- Ortolani, S., Bica, E. & Barbuy, B. (2013). Segue 3: the youngest globular cluster in the outer halo. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 433, 1966–1969.
- Palma, C. (u. å.). *Measuring the age of a star cluster*. Hämtad den 8 september 2022, från e-education.psu.edu/astro801/content/17_p6.html

Sandage, A. (1961). The ages of M67, NGC 188, M3, M5, and M13 according to Hoyle's 1959 models.

Stellarium. (u. å.). *Stellarium Web*. Hämtad den 5 januari 2023, från stellarium-web.org/

Tycho Brahe-observatoriet. (2022, 14/04). *Användarmanual till Tycho Brahe-observatoriets fjärrstyrda teleskop*. Hämtad den 30 januari 2023, från tbobs.se/images/docs/TBO_Manual-2022.pdf

University of Leicester. (u. å.). *School of physics and astronomy*. Hämtad den 4 januari 2023, från le.ac.uk/physics

Upptäck Universum. (2022, 21/04). *AstroImageJ A*. Hämtad den 5 januari 2023, från youtu.be/qq56NyLkjQ

VandenBerg, D. A. & Stetson, P. B. (2004). On the old open clusters M67 and NGC 188: Convective core overshooting, color-temperature relations, distances, and ages. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 116, 997–1011.

Wikipedia. (2023, 13/2). *Stellar classification*. Hämtad den 13 februari 2023, från en.wikipedia.org/wiki/Stellar_classification