

Alders- og afstandsbestemmelse af stjerneho- be vha. HR-diagrammer *

Astronomi C & Fysik B

Jacob Debel

Introduktion

Sammen med dette dokument ligger der en regnearksfil (og to csv-filer, hvis man hellere vil bruge sådanne), som indeholder oplysninger om de to stjerneho-
be:

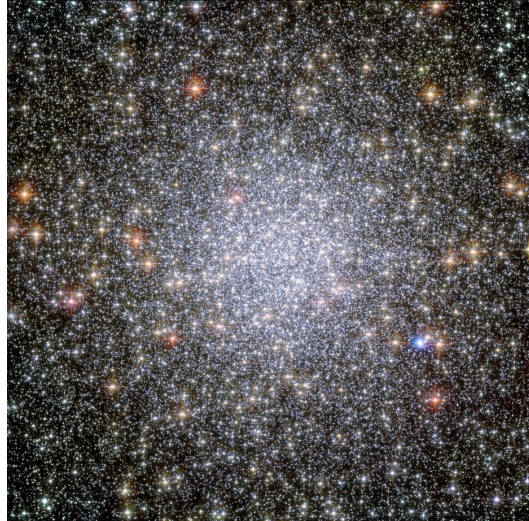
- Plejaderne/Syvstjernen (hedder Pleiades på engelsk), som er en *åben* (stjer-
ne)hob. Se figur 1.
- 47 Tuc (NGC 104), som er en *kuglehob*. Se figur 2.



Figur 1: Plejaderne også kaldet Syvstjernen på dansk. Et eksempel på en åben hob.

Datafilerne indeholder sammenhørende værdier af stjernernes *farveindeks* og visuel-
le/tilsyneladende størrelsesklasse for hver af hobene. Farveindeks er et begreb inden
for UBV-fotometri, som vil blive forklaret i det følgende afsnit.

*Opgaven er inspireret af en tilsvarende opgave af Martin Götz fra Frederikssund Gymnasium.



Figur 2: 47tuc, også kategoriseret som NGC 104. Et eksempel på en kuglehob.

UBV-fotometri og farveindeks

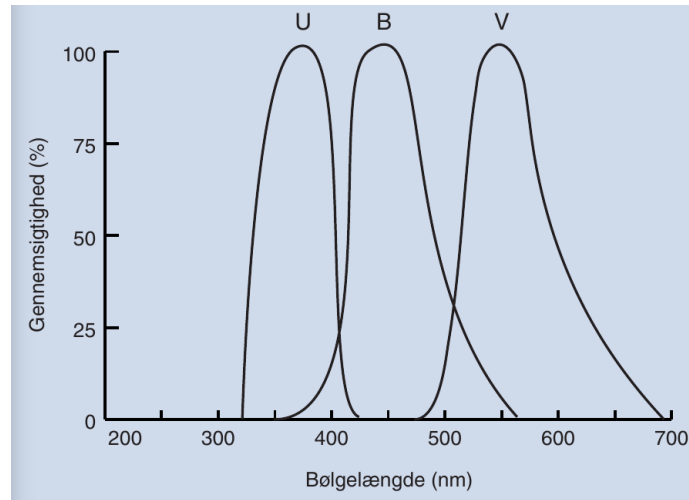
UBV-fotometri går i sin enkelthed ud på at observere himmellegemer gennem forskellige filtre, som kun slipper specifikke bølgelængder igennem. Solen vil f.eks. være væsentlig mere lysstærk i det synlige spektrum end i det infrarøde eller det ultraviolette. En stjernes overfladetemperatur hænger nøje sammen med denne forskel mellem lysstyrker i de forskellige bølgelængdeområder. Internationalt anvender man UBVRI-systemet, hvor filtrene er defineret som vist i tabel 1.

Tabel 1: Oversigt over de forskellige filters karakteristika i UBVRI-systemet.

Filter	Område	Effektiv bølgelængde [nm]	Båndbredde [nm]
U	Ultraviolet	365	70
B	Blåt	440	100
V	Visuelt	550	90
R	Rødt	640	150
I	Infrarødt	790	150

Det visuelle filter har en effektiv bølgelængde på 550 nm og båndbredde på 90 nm. Det betyder at filteret lukker alt lys igennem, som ligger i et 90 nm bredt område centreret omkring 550 nm. Sagt på en anden måde lukker filteret lys igennem mellem 505 nm og 595 nm. Gennemsigtigheden for U-, B- og V-filtrene kan ses på figur 3. Der findes også andre typer og systemer af filtre, men i det følgende holdes der fast i UBVRI-systemet og særligt B- og V-filtrene.

Bogstaverne U,B,V,R,I bruges som navne på filtrene, men endnu vigtigere bruges de også som betegnelse for de visuelle/tilsyneladende størrelsesklasser målt i de tilsvarende filtre, altså gælder det



Figur 3: Gennemsligtigheden af hhv. U-, B- og V-filtrene.

$$U = m_U$$

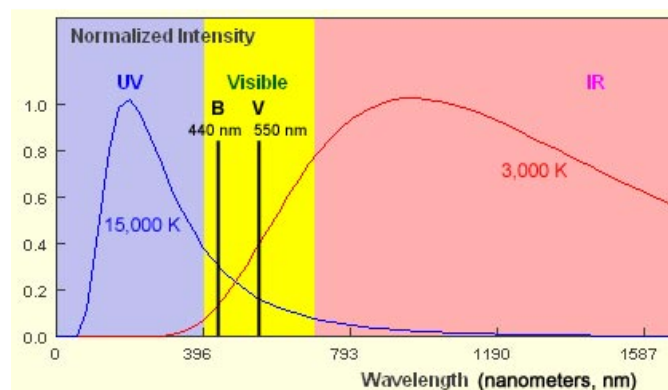
$$B = m_B$$

$$V = m_V$$

$$R = m_R$$

$$I = m_I$$

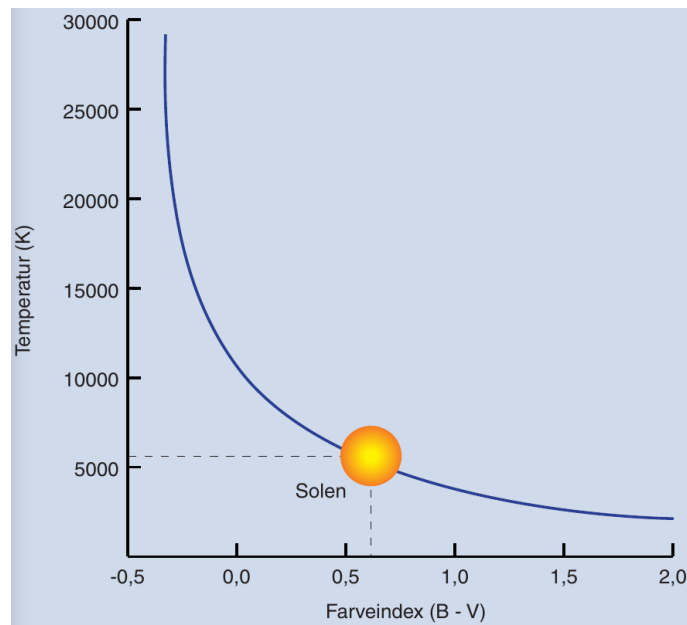
Farvefiltrene og de tilhørende visuelle størrelsesklasser anvendes ofte til at danne det, der kaldes **farveindekset**. Farveindekset for en stjerne er *forskellen* på de visuelle størrelsesklasser målt i forskellige filtre. Det mest anvendte farveindeks er **B-V**, som er forskellen i visuel størrelsesklasse mellem det blå filter og det visuelle filter. Farveindekset kaldes undertiden også blot for farven og talværdien er tæt knyttet til temperaturen.



Figur 4: Sammenligning af varm og kold stjerne i B og V filtret.

På figur 4 er der vist normaliserede planckkurver for henholdsvis en varm og en kold stjerne sammen med B- og V-filtrene. For den varme stjerne ses det, at

intensiteten mål i B-filteret er større end V-filteret. Dermed bliver B mindre end V¹. Generelt kan det siges, at farveindekset B-V er lavt for varme stjerner og højt for kolde stjerner. Sammenhængen mellem farveindeks B-V og temperatur kan ses på figur 5.



Figur 5: Sammenhæng mellem farveindeks B-V og temperatur.

Sammenhængen mellem farveindeks og temperaturen er kalibreret således stjerner med en overfladetemperatur på 10 000 K har et farveindeks B-V på 0. Man har blandt andet brugt stjernen Vega i lyren til at kalibrere efter. I tabel 2 er der opstillet sammenhørende værdier for temperatur og farveindeks for en række kendte stjerner.

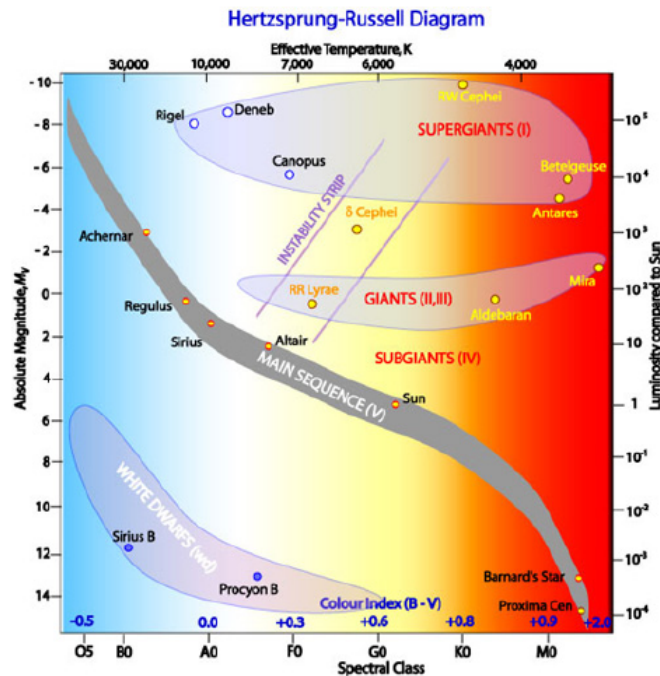
Tabel 2: Sammenhæng mellem temperatur og farveindeks for udvalgte kendte stjerner.

Stjerne	Farve	Temp [K]	B-V
Rigel	Blå	20000	-0.24
Vega, Sirius	Hvide	10000	0.00
Canopus	Hvidgul	7000	0.35
Solen, Alfa Centauri	Gule	6000	0.65
Aldebaran	Rød	4000	1.20
Betelgeuse	Rød	3000	1.70

¹Husk at høj intensitet/luminositet svarer til lav størrelsesklasse.

HR- og farve-størrelsesklassediagrammer

I har tidligere set, at der er mange måder at opstille et HR-diagram på, som det også kan ses på figur 6.



Figur 6: HR-diagrammets mange opbygninger.

Normalt har vi arbejdet med temperaturen på x-aksen og voksende mod venstre, mens luminositeten har været placeret på en logaritmisk inddelt y-akse. Når man observerer stjernehober er det oftest en bedre idé at opbygge sit HR-diagram med farveindekset, B-V, på x-aksen og voksende mod højre, mens den visuelle/tilsyneladende størrelsesklasse afsættes på y-aksen og voksende nedad. Oftest vælger man V, som den tilsyneladende størrelsesklasse. Grunden til, at man kan anvende den tilsyneladende størrelsesklasse i stedet for den absolutte, når man måler på hobe, er, at det antages at alle stjerner i hoben har samme afstand til Jorden. Et sådan HR-diagram kaldes et **farve-størrelsesklassediagram**. På engelsk hedder det et Color Magnitude Diagram, hvorfor diagramtypen oftes forkortes CMD. Grunden til at disse diagrammer er at foretrække, når der studeres stjernehober, er, at det er meget hurtigere og nemmere at måle intensiteten af en stjerne gennem to forskellige filtre og så trække dem fra hinanden, end det er at måle temperaturen eller finde spektralklassen gennem målingen af et spektrum. Ligeledes er det også meget nemmere blot at afsætte den allerede målte intensitet, V, på den lodrette akse, end at skulle måle den faktiske flux i enheden W/m og afsætte den.

Opgaver

1. Plot af data

Tegn et farve-størrelsesklassediagram (HR-diagram) for hver af de to stjerne-hobe.

I kan bruge regnearket, hvor der er en fane for hhv. Plejaderne og 47 Tuc, eller I kan anvende de to csv-filer.

Husk at vende retningen på y-aksen, da små størrelsesklasser betyder store luminositeter.

2. Aflæsning af hovedserie

Identificér hovedserien og eventuelle røde kæmpestjerner i begge HR-diagrammer.

3. Forklaring

Hvorfor mangler der toppen i HR-diagrammerne?

Overvej hvilken af stjernebobene der er ældst, og hvilken der må være yngst?

Tabel 3 viser en sammenhæng mellem spektraltype, farveindeks og levetid på hovedserien.

Tabel 3: Sammenhæng mellem spektraltype, farveindeks og levetid for stjerner på hovedserien.

Spektraltype	B-V	Levetid [år]
O	-0.4	$<10^6$
B	-0.2	$3 \cdot 10^7$
A	0.2	$4 \cdot 10^8$
F	0.5	$4 \cdot 10^9$
G	0.7	$1 \cdot 10^{10}$
K	1.0	$6 \cdot 10^{10}$
M	1.6	$>10^{11}$

Alternativt kan man anvende formel (1) til at bestemme en stjernes levetid ud fra farveindekset. Tiden er angivet i milliarder år.

$$t = 10.4 \cdot ((B - V) + 0.36)^{2.927} \quad (1)$$

4. Aflæsning af farveindeks og bestemmelse af alder.

For hver hob aflæs da farveindekset, hvor der brydes væk fra hovedserien.

Anvend tabel 3 eller formel 1 til at bestemme alderen af henholdsvis Plejaderne og 47 Tuc.

Ligning 2 viser endvidere en sammenhæng mellem farveindeks og absolut størrelsesklasse for stjerner beliggende på hovedserien.

$$M = 4.617 \cdot \ln((B - V) + 0.43) + 4.839 \quad (2)$$

5. Beregning af absolut størrelsesklasse.

Beregn den **absolutte** størrelsesklasse M , der hvor der brydes væk fra hovedserien for både Plejaderne og 47 Tuc. Anvend de samme farveindekser, som i opgave 4.

6. Aflæsning af tilsyneladende størrelsesklasse:

Aflæs den **tilsyneladende** størrelsesklasse m , der hvor der brydes væk fra hovedserien for de to stjerneho-

Med både den absolutte og den tilsyneladende størrelsesklasse i hus er det nu muligt at beregne **afstanden** fra Jorden til hver af de to stjerneho-

$$m - M = 5 \cdot \log \left(\frac{r}{10 \text{ pc}} \right) . \quad (3)$$

7. Afstandsberegning.

Beregn afstanden, r , fra Jorden til hver af stjerneho-

8. Den store finale.

Sammenlign jeres resultater for alder og afstand for hver af ho-

²I skal gerne selv være i stand til at udregne r i formlen, men hvis det glipper, så er den her $r = 10^{\frac{m-M}{5}} \cdot 10 \text{ pc} = 10^{0.2 \cdot (m-M)+1} \text{ pc}$.