

Inleveropgave 5

Jullie hebben ongeveer twee weken voor deze inleveropdracht. De deadline is **17 november 15:14 uur**.

In de praktijk ben je voor het doen van onderzoek in de sterrenkunde vaak veel aan het programmeren om data te verwerken, te analyseren, en te visualiseren. Deze opdracht is hier een goede eerste oefening voor. Je maakt deze opdracht, op vraag 5.1.1b na, volledig in Python. Je levert in:

- Je pythonscript. Het is aan te raden, maar niet verplicht, om de gegeven template *huiswerk5_opdracht.py* te gebruiken. Zorg er in ieder geval voor dat je code goed leesbaar is door comments en docstrings te gebruiken, en dat het zonder errors runt.
- De print output van je code. Doe dit door de print output van je code te kopiëren en te plakken in een tekstbestand. Sla dit op als *output.txt*.
- Je Hertzsprung-Russel diagram. Sla je figuur op als *hr-diagram.png* (zoals in de template is gegeven).
- Een pdf met antwoorden op vraag a t/m d.

Alle benodigde constanten en eenheden zijn te vinden in de bijlages. De benodigde bolometrische magnitude van de zon is gegeven in *huiswerk5_opdracht.py*.

5.1 Sterren in een Hertzsprung-Russel diagram

Voor deze opdracht ga je aan de slag met gegeven synthetische data van hoofdreeks sterren, reuzen en superreuzen op afstanden van ongeveer 5pc tot 2000pc. Deze data is opgeslagen in *sterren.txt*. De kolommen zijn respectievelijk de temperatuur in Kelvin, de absolute bolometrische magnitude, de klasse, en de afstand in parsec. Om het makkelijker te maken is er een script, genaamd *huiswerk5_opdracht.py* met functies en docstrings meegegeven. Het is niet verplicht om hier gebruik van te maken; het is slechts bedoeld als hulpmiddel om de code overzichtelijk te maken. In functie *read()* worden ook de kolommen van *sterren.txt* al voor je ingelezen als lijsten. De gegeven lege functies gaan er vanuit

dat je lijsten gebruikt, maar je bent vrij om het op een andere manier te doen (bijvoorbeeld met numpy arrays).

De opdracht bestaat uit 3 delen: voor het eerste deel moet je rekenen met de data, voor het tweede deel moet je de sterren plotten in een HR-diagram, en voor het derde deel moet je elementen toevoegen aan je HR-diagram. Voor de eerste twee delen samen kun je al een 10 halen. Met 5.1.3 kun je twee extra bonuspunten scoren, waardoor het mogelijk is om in totaal 12/10 punten te halen voor deze inleveropgave.

5.1.1 Eigenschappen van sterren

Voor dit deel van de opgave moet je rekenen met de gegeven data. Het is de bedoeling dat je dit in python doet (op opgave b na).

- Wat is vanaf aarde gezien de helderste ster, en wat is vanaf aarde gezien de zwakste ster? Geef van beide sterren de gegeven informatie: de absolute magnitude, de temperatuur, de klasse en de afstand.
- Wat zijn de spectrale klassen van deze sterren?
- Geef van beide sterren de massa in M_{\odot} .
- Hoeveel langer leeft de zwakste ster dan de helderste ster voordat de brandstof op is?

5.1.2 HR-diagram plotten

Voor het tweede deel van de opgave moet je de sterren plotten in een HR-diagram. Gebruik hiervoor `plt.plot` of `plt.scatter`. Op de x-as plot je de temperatuur in Kelvin, en op de y-as plot je de lichtkracht in L_{\odot} . Let bij het maken van het figuur op de volgende punten:

- Plot de sterren als individuele punten, niet met een lijn ertussen.
- Gebruik voor zowel de x-as als de y-as een logaritmische schaal.
- De x-as moet geïnverteerd zijn, zodat de hoogste temperatuur links staat en de laagste temperatuur rechts.
- Geef duidelijk aan wat de hoofdreeks sterren, reuzen en superreuzen zijn. Je mag dit doen door de klassen verschillende kleuren en/of verschillende markers te geven. Geef dit aan in een legenda.
- De x-as en y-as moeten een duidelijk label hebben (met eenheid).
- Sla het figuur op als `hr-diagram.png`.

5.1.3 Bonus: HR-diagram++

Het is in sterrenkunde onderzoek belangrijk om je resultaten op een duidelijke en esthetische manier te kunnen presenteren. Om die reden kun je voor deze huiswerkopgave 2 extra punten scoren voor het beter weergeven van je resultaat. De eerste bonuspunt kun je behalen door in je HR-diagram lijnen van gelijke straal te tekenen, de tweede bonuspunt door de opmaak van je figuur te verbeteren. In je sterrenkundecarrière ga je nog heel veel figuren moeten plotten, dus goede figuren kunnen maken is een vaardigheid waar je ontzettend veel aan gaat hebben.

Gelijke stralen (1 punt)

Plot lijnen van gelijke stralen in je HR-diagram, zie bijvoorbeeld slide 26 of 36 uit hoorcollege 7.

- Teken lijnen van gelijke straal voor $\log\left(\frac{R}{R_{\odot}}\right) = -2, -1, \dots, 3$.
- Tip, kijk naar de documentatie van `np.arange` of `np.linspace` om een array voor temperaturen te maken.
- Om te voorkomen dat de assen van je figuur hierdoor veranderen kun je de limieten van je assen aangeven. Gebruik hiervoor de volgende limieten:
 - x-as: 2000K tot 40000K
 - y-as: $10^{-3}L_{\odot}$ tot 10^6L_{\odot}
- Om de lijnen te labelen kun je `plt.annotate` gebruiken. Aan deze functie kun je naast tekst en positie ook een rotatie meegeven zodat de tekst schuin onder of boven de lijn komt te staan, dit doe je met `rotation=xx` waarbij xx een getal in graden is.

Opmaak (1 punt)

Met matplotlib heb je heel veel vrijheid om je figuur precies zo te maken als je wil. Voor een mooier HR-diagram kun je de volgende dingen aanpassen:

- In een plot of scatterplot kun je de kleur meegeven met `c=`. Je kunt hierbij echter ook een array of lijst meegeven zodat de kleur van het datapunt afhankelijk is van je data. Geef de punten een kleur die schaalt met $\log(T)$ zodat je een mooie gradient krijgt. Alle HR-diagrammen in de collegeslides zijn hier voorbeelden van. Kies hiervoor een geschikte colormap, en geef deze mee als `cmap=`.
 - Voor de echte pro's: kijk wat er gebeurt als je `vmin` en `vmax` aanpast naar waarden in de buurt van de grenzen van het temperatuur bereik (bijvoorbeeld `np.log(60000)`).
- Als je de kleuren van je datapunten hebt aangepast, staat dit mooier tegen een zwarte achtergrond (zie collegeslides 35 en 36). Je moet hiervoor vijf kleuren wijzigen:

- De *facecolor* binnen de assen moet zwart zijn;
- De *facecolor* van je figuur (de ruimte buiten de assen) moet zwart zijn;
- De kleur van de assen (de *spines*) moet wit zijn;
- De kleur van de streepjes en de waardes van de assen (de *ticks*) moet wit zijn;
- De kleur van de labels van de assen moet wit zijn.

Als je eerder de lijnen van gelijke stralen hebt geplot, let er dan op dat je de kleur hiervan ook wijzigt (bijvoorbeeld naar grijs).

- Wellicht is het opgevallen dat de x-as wat weinig ticklabels heeft. Dit kun je zelf aanpassen (zie *plt.xticks*). Zet je x-tick labels op 40000, 20000, 10000, 5000 en 2500.

Constanten

Notatie	Beschrijving	Eenheid
$M_{B\odot}$	absolute B-band magnitude v.d. zon	5.48
M_{maan}	massa van de maan	$7.346 \times 10^{22} \text{kg}$
$M_{V\odot}$	absolute visuele magnitude v.d. zon	4.83
$m_{V\odot}$	schijnbare visuele magnitude v.d. zon	-26.75
R_{maan}	straal van de maan	$1.737 \times 10^6 \text{m}$
T_{\odot}	effectieve temperatuur v.d. zon	5778K
k	constante van Boltzmann	$1.381 \times 10^{-23} \text{J K}^{-1}$
c	lichtsnelheid	$2.998 \times 10^8 \text{m s}^{-1}$
e	elementaire lading	$1.602 \times 10^{-19} \text{C}$
ϵ_0	elektrische constante	$8.854 \times 10^{-12} \text{C}^2 \text{kg}^{-1} \text{s}^2$
G	gravitatieconstante	$6.674 \times 10^{-11} \text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}$
m_0	atomaire massa - eenheid	$1.661 \times 10^{-27} \text{kg}$
m_e	rustmassa van een elektron	$9.109 \times 10^{-31} \text{kg}$
m_p	rustmassa van een proton	$1.673 \times 10^{-27} \text{kg}$
N_A	constante van Avogadro	$6.022 \times 10^{23} \text{mol}^{-1}$
h	constante van Planck	$6.626 \times 10^{-34} \text{J Hz}^{-1}$
R	gasconstante	$8.314 \text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1}$
σ_{SB}	constante van Stefan - Boltzmann	$5.670 \times 10^{-8} \text{W m}^{-2} \text{K}^{-4}$
σ_e	Thomson dwarsdoorsnede v.e. elektron	$6.652 \times 10^{-29} \text{m}^2$
b	constante van Wien	$2.898 \times 10^{-3} \text{K m}$

Eenheden

Notatie	Beschrijving	Eenheid
	Ångström	10^{-10}m
'	boogminuut	$\frac{1}{60}^\circ$
"	boogseconde	$\frac{1}{3600}^\circ$
AU	astronomische eenheid	$1.496 \times 10^{11}\text{m}$
ρ	dichtheid	kg m^{-3}
eV	elektronvolt	$1.602 \times 10^{-19}\text{J}$
F	flux	$\text{J s}^{-1} \text{m}^{-2}$
Gyr	miljard jaar (gigayear)	$1 \times 10^9\text{jaar}$
L_\odot	lichtkracht van de zon	$3.828 \times 10^{26}\text{J s}^{-1}$
L	lichtkracht	J s^{-1}
mas	milliboogseconde (milliarcsecond)	$0.001''$
M_\oplus	massa van de aarde	$5.972 \times 10^{24}\text{kg}$
M_J	massa van Jupiter	$1.898 \times 10^{27}\text{kg}$
M_\odot	zonsmassa	$1.988 \times 10^{30}\text{kg}$
κ	opaciteit	$\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$
pc	parsec	$3.086 \times 10^{16}\text{m}$
I	intensiteit	$\text{J s}^{-1} \text{m}^{-2} \text{sr}^{-1}$
R_\oplus	straal van de aarde	$6.378 \times 10^6\text{m}$
R_J	straal van Jupiter	$7.149 \times 10^7\text{m}$
R_\odot	straal van de zon	$6.957 \times 10^8\text{m}$
F_λ	spectrale flux	$\text{J s}^{-1} \text{m}^{-3}$
F_ν	spectrale flux	$\text{J s}^{-1} \text{Hz}^{-1} \text{m}^{-2}$
I_λ	specifieke intensiteit	$\text{J s}^{-1} \text{m}^{-3} \text{sr}^{-1}$
I_ν	specifieke intensiteit	$\text{J s}^{-1} \text{Hz}^{-1} \text{m}^{-2} \text{sr}^{-1}$