

absolute magnitude in de G-band (een brede fotometrische band gecentreerd rond groen licht) t.o.v. de fotometrische kleur GBP-GRP waarbij GBP en GRP de blauwe respectievelijke rode schijnbare magnitudes zijn van GAIA. Het zijn de metingen van sterren in de omgeving van de Zon. Alleen sterren worden getoond binnen een bepaalde afstand tot de Zon en de specifieke afstand loopt op van links naar rechts.

- Wat stelt deze figuur voor?
- ϖ staat voor de gemeten parallax. Wat wordt daarmee uitgedrukt?
- Welke structuren kan je herkennen per panel?
- Wat kan je uit de vergelijking van deze figuren besluiten?

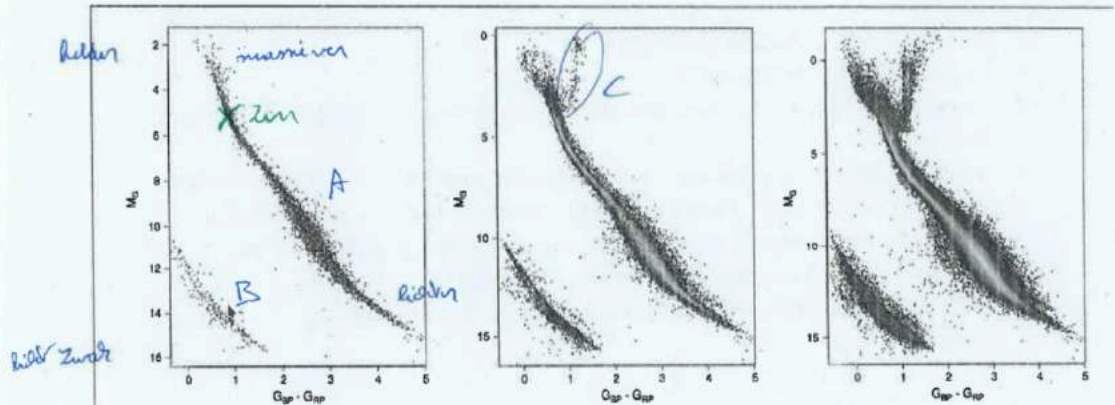


Fig. 6. Solar neighbourhood Gaia HRDs for a) $\varpi > 40$ mas (25 pc, 3,724 stars), b) $\varpi > 20$ mas (50 pc, 29,683 stars), and c) $\varpi > 10$ mas (100 pc, 212,728 stars).

antwoord:

Observationele versie van het HR diagram met als x-as de kleur (rood = kouder = rechts, blauw = warmer = links) en op de y-as de intrinsieke helderheid van het object. De absolute magn. is de magn. van het object zoals we zouden meten mocht het object op 10 pc staan. A hoofdreeks ; B witte dwergen ; C Rode Reuzen

Panels zijn volume gelimiteerde aantal objecten en dit voor verschillende volumes. De sterren met max. 25 pc, 50 pc en 100 pc afstand tot de zon.

26 JUNI 2022 NAAM:

- Rode Reuzen zijn zeldzaam in de onmiddellijke omgeving v.d zon
- WD zijn relatief frequent
- Hoofdrechts is uiteraard meest bezet omdat alle sterren het langst op HR blijven gedurende hun evolutie

100 pc is nog heel dicht bij de zon. Afstand tot centrum van melkweg is 8,5 kpc

⇒ Zon heeft absolute magn van ± 4.7 . Op HR diagramma's zie je dat K, M dwergen volledig dominant zijn in de onmiddellijke omgeving. Heel weinig massieve sterren in dit volume. Veel WD in dit volume ⇒ oude populatie sterren

→ parallax: schijnbare beweging van een object aan de hemel door de beweging van de aarde (of van GAIA) rond de zon. Een ster op 1 pc heeft een parallax van 1". De parallax is de hoek die de ellips beschrijft, de schijnbare ellips aan de hemel. $\frac{1}{\text{parallax}}$ in $\frac{1}{\text{boogsec}}$ is de afstand van het object in pc

Korte vraagjes:

a) De zonneconstante staat in het formularium. Formuleer nauwkeurig wat deze uitdrukt en bepaal via de zonneconstante, de effectieve temperatuur van de Zon.

antwoord:

Haarheid energie die door een eenheidsopp gaat per sec en door het opp. Berekent op de richtingswij naar de zon en dit op 1 AU (dus zonder atmosfeer op de aarde)

$$\frac{4\pi R_{\odot}^2 \sigma T_c^4}{4\pi d^2} = \text{zonneconst} \left[\frac{\text{Watt}}{\text{m}^2} \right]$$

$$T_c^4 = \frac{d^2}{R_{\odot}^2} \sigma \text{ zonneconst} \\ = 5777 \text{ K}$$

b) We hebben het concept 'bewoonbare zone' rond een ster ingevoerd. Leg kort uit wat daarmee wordt bedoeld. Van welke parameters is die afhankelijk?

antwoord:

Zone rond een ster waar, onder de juiste omstandigheden, vloeibaar water mogelijk is op een planeet in die zone. De aanwezigheid van vloeibaar water wordt gezien als een nodige maar geen voldoende voorwaarde voor het ontwikkelen van biologisch leven.

L , T_{eff} (en dus ook R) zijn de belangrijkste parameters

c) Jupiter is 320 keer de massa van de Aarde. De afstand tussen Jupiter en de Zon is 5.2 AU. Hoe snel draait Jupiter rond de Zon? En hoe snel draait de Zon rond het massacentrum van het Zon-Jupiter systeem?

antwoord:

$$\frac{a^3}{P^2} = 1 \quad \text{indien } a \text{ in AU en } P \text{ in aardse jaren} \Rightarrow P_J = 11.8 \text{ jr}$$

$$\frac{\pi \cdot 5.2 \text{ AU}}{11.8 \text{ jr}} = 13.2 \text{ km/sec} \quad \text{is Kepleriaanse } v \text{ van } J.$$

$$\frac{M_{\odot}}{M_J} = \frac{a_J}{a_{\odot}} \Rightarrow v_{\text{Zon}} \approx 12 \text{ m/sec}$$

28 Juni 2022 NAAM.....

Vraag 3

Is een spectraallijn van een niet beschreven optisch dunne gaswolk in emissie of in absorptie? Wat zal er te zien zijn indien de bron optisch dik wordt op de golflengte van de lijn, maar optisch dun in het continuum? Verklaar je antwoorden. Gebruik de oplossing van de transfertvergelijking voor een homogene laag in je verklaring.

antwoord:

Homogene laag wil zeggen S_ν const.

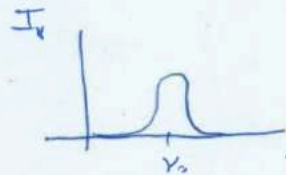
$$I_\nu(z_\nu) = I_\nu(0) e^{-\tau_\nu} + S_\nu (1 - e^{-\tau_\nu})$$

Geval 1 : - geen aanstraling

- optisch dun dus $e^{-\tau_\nu} \approx 1 - \tau_\nu$

$$I_\nu(z_\nu) = \tau_\nu S_\nu$$

We krijgen dus een emissielijn

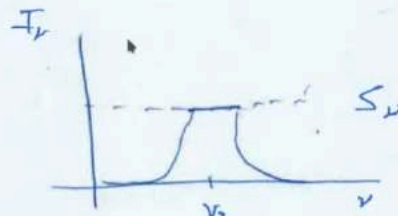


Geval 2 :

- geen aanstraling

$$\Rightarrow I_\nu(z_\nu) = S_\nu$$

- We krijgen de bronfunctie te zien op de ν waar de lijn optisch dik is



Vraag 4

Een radio bron wordt aan de hemel gezien als een kleine uniforme cirkelvormige bron met een hoekdiameter van 5×10^{-4} boogseconden. Wat is de maximale monochromatische flux uitgedrukt in $\text{Watt m}^{-2} \text{Hz}^{-1}$, waarbij je volgende veronderstellingen allemaal kan maken:

- dat je meet op een radiofrequentie van 10 GHz
- dat het een thermische bron is
- dat de temperatuur van de bron 10^{12}K is

antwoord:

- Thermische straling $\Rightarrow B_\nu(T) = I_\nu$
- Flux op aarde: $S_\nu = B_\nu(T) \cdot \Delta\Omega$
stralend op in sr $\times$ specifieke intensiteit
- $\Delta\Omega = \pi \left(\frac{\theta}{2} \right)^2$ met $\theta = 5 \cdot 10^{-4}$ boogsec

$$= \pi \left(\frac{5 \cdot 10^{-4} \pi}{60 \cdot 60 \cdot 2 \cdot 180} \right)^2 = 4.6 \cdot 10^{-18} \text{ m}^2$$
- $B_\nu(T) = \frac{2 A \nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1} = \frac{2 A \nu^3}{c^2 \frac{h\nu}{kT}}$

$$= \frac{2 \nu^2 T k}{c^2} = 3.1 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Watt}}{\text{m}^2 \text{Hz m}}$$
- wat we meten:

$$\frac{2 \nu^2 T k}{c^2} \frac{\pi}{4} \theta_d^2 = 1.4 \cdot 10^{-25} \text{ Watt m}^{-2} \text{Hz}^{-1}$$

$$= 14 \text{ Jy}$$

28 Juni 2022 NAAM.....

Vraag 5

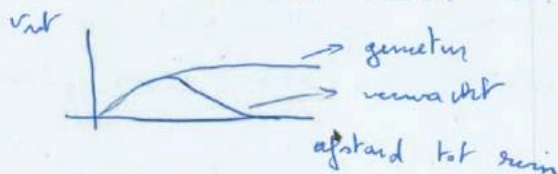
De zoektocht naar wat donkere materie eigenlijk is, is een van de grote uitdagingen van de sterrenkunde en ook van de theoretische fysica. Geef drie onafhankelijke indicaties, voortkomend uit specifieke waarnemingen, die erop wijzen dat donkere materie inderdaad zou moeten bestaan. Bespreek zowel de specifieke waarnemingen, als hun interpretatie. Argumenteer waarom de aanwezigheid van donkere materie nodig is om deze waarnemingen te kunnen verklaren.

antwoord:

Zie Curvus

1) Rotatiecurves van spiraalstelsels.

Indien de massa van lichtgevende sterven de massa zou domineren, verwacht je een Kepleriaanse snelheids-
wet $v \sim \frac{1}{\sqrt{R}}$ van zodra je voorbij het
lichtgevende deel van melkwegstelsel rijdt. De rotatie
is v de afstand tot de kern van melkwegstelsel
is echter vlak tot ver buiten het lichtgevende deel



oplossing: ~~donkere~~ donkere materie in de halo

- 2) Viriaal massa van clusters van melkwegstelsels
- In een gravitationeel relaxed systeem geldt het viriaal theorema dat uitdrukt dat $2 \times$ de gemiddelde kinetische energie gelijk is aan de gemiddelde gravitationele potentiële energie

28 Juni 2022 NAAM.....

De viriaal massa van het cluster (gerekend door de kinetische energie K meten van leden van cluster door de radiale snelheden v meten van de leden) is veel groter dan de massa afgeschat door de som van de lichtgevende delen van melkwegstelsels.

- 3) X stralen van intercluster gas.

Intercluster gas is thermisch zo warm dat het thermische X-stralen produceert. De thermische emissie piekt in het X-stralen gebied en het moet dus wel het zijn (Wet van Wien)

De potentiaal is wel groot $\leftarrow$ veel groter dan de massa afgeschat aan de som van de lichtstralen van alle melkwegstelsels samen.

Alternatieven :

- Stabiliteit van spiraalstelsels.
schijven zijn niet homogeen qua massa-verdeling
- anisotropie van achtergrondstraling

28 JUNI 2022 NAAM:

Vraag 6

In het formularium staat ook de formule voor de kritische dichtheid van het Heelal.

- leg de gebruikte symbolen uit
- waarom werd deze kritische dichtheid zo gedefinieerd?
- wat is de fysische betekenis van deze kritische dichtheid?

We hebben ook de dichtheidsparameter Ω ingevoerd

- Wat drukt die uit?
- Wat drukt volgende formule uit en waarom hebben we die ingevoerd? :

$$\Omega_M + \Omega_\Lambda = 1$$

verklaring:

zie cursus

$$\star \text{ Friedmann - Lemaitre vgl } \frac{\dot{A}^2}{A^2} + \frac{\Omega_c}{A^2} = \frac{8\pi G \rho}{3}$$

$$\text{Indien } \rho_c = \frac{3H^2}{8\pi G} \text{ is } \Omega_c = 0 \quad H = \frac{\dot{A}}{A}$$

Indien de dichtheid van het heelal de kritische dichtheid is, zal $\Omega_c = 0$ en het heelal is vlak. De kritische dichtheid is tijdsafhankelijk.

$\rho > \rho_c$: gesloten heelal ; $\rho < \rho_c$: open heelal

$$* \quad \Omega = \frac{\rho}{\rho_c}$$

de dichtheid parameter ρ component ρ_c deelt
is een dimensieloos getal dat de
verhouding uitdrukt van de dich-
theid ρ component tot de
kritische dichtheid.

28 Juni 2022 NAAM.....

Ω_M is de dichtheidparameter van materie
wat zowel donkere materie is als
baryonische materie,

Ω_Λ is de dichtheidparameter van donkere energie

$\Omega_M + \Omega_\Lambda = 1$ is dat het heelal gesloten is

door de combinatie van materie en
donkere energie met in het standaard-
model $0.3 = \Omega_M$

$$0.7 = \Omega_\Lambda$$

10 of 12 ExamenJuni2022_Oplossing.pdf 195.22%

Reden van invoeren:

• conceptuele paradoxen zoals het vlakheidsprobleem geven aan dat het heelal vlak is. Dit werd onafhankelijk bevestigd door de CMB anisotropie analyse. Het standaard Λ CDM model geeft dus $\Omega_m + \Omega_\Lambda = 1$

11 of 12 ExamenJuni2022_Oplossing.pdf 195.22%

28 JUNI 2022 NAAM:

Vraag 7

Bij de beschrijving van een ster als zelfgraviterend systeem in evenwicht, hebben we een aantal behoudswetten gebruikt om tot een gekoppeld stelsel van een gewone en vier differentiaalvergelijkingen te komen. Twee van die differentiaalvergelijkingen staan hier weergegeven:

$$\Delta \Phi(r) = 4\pi G \rho(r)$$

$$\nabla \Phi(r) + \frac{1}{\rho(r)} \nabla P(r) = 0$$

- leg de gebruikte symbolen uit
- leg de betekenis uit van deze vergelijkingen
- bespreek de aannames die werden gebruikt om tot die vergelijkingen te komen

antwoord:

Zie cursus

Δ Laplace operator

∇ gradient operator

$\phi(r)$ gravitationele potentiaal

$\rho(r)$ dichtheid die geldt op straal r v.a. centrum v.d. ster

$P(r)$ druk " " " " " " " v.d. ster

1) Vgt van Poisson. Sferisch symmetrisch

In een sferisch symmetrische massa verdeling is de gravitatiepotentiaal enkel bepaald door de massa binnen de bol die bepaald is door dat punt.

2) Hydrostatische evenwicht.

De gravitatiekracht wordt exact gecompenseerd door de drukgradient

28 Juni 2022 NAAM.....

3) Aannames:

- sferisch symmetrisch
- behoud van massa
- stabiel.