

0. Doel: energetische geschiedschrijving van het heelal:

Antwoord geven op de vraag: is het heelal altijd zo geweest als het "nu" is, en zo nee, hoe was het dan "vroeger" en hoe zal het er in de toekomst uit zien.

Traditioneel: het heelal mag en kan niet veranderen; dit resultaat werd bereikt uitgaande van bepaalde filosofiese en godsdienstige overwegingen en het feit dat de ruimte, de sterren, buiten de zon, planeten maan en aarde, niet leek te veranderen.

Bedenk welke veranderingen dit beeld onderging na de ontdekking van:

- sterbewegingen → *→ vaste sterren w 24*
- theorie van verbranding in sterren - *geen lampjes*
- ontploffende sterren, en stervorming

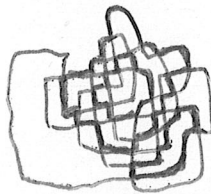
*gravitatieonevenwicht
zonneneutraliteit*

- wet van Hubble voor de verwijderingssnelheid van sterrenstelsels

Het uiteindelijk resultaat is een uitdijend heelal. Dit is alleen nog maar een mechanische beschrijving, maar hoe zijn de fysiese parameters in de loop der tijden veranderd? Dus, temperatuur, dichtheid, energiedichtheid en over welke afstanden moet je het gemiddelde nemen, m.a.w. over welke afstanden is het heelal homogeen? De waargenomen "achtergrondstraling" geeft een handvat voor het antwoord.

1. Gegevens: - wet van Hubble $\vec{v} = H\vec{r}$; $H = 100 \text{ Km sec}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ *alleen op sterke grote schaal*

- waarnemingen van de intensiteit van de algemene achtergrondstraling in het cm gebied, zie figuur.
- anisotropie in die straling: minder dan 0.005 K voor diverse bundelbreedten van de radioteleskopen
- alle natuurkonstanten ! Wat betekent konstant?



2. Aard van de straling

- 2.1. Voor een goed inzicht in de invloed van die straling heeft het zin om te kijken naar de totale energie in deze straling. De straling komt van alle kanten, wat is ongeveer de totale energiedichtheid van deze straling?

Vergelijk dit met:

$$E = 3 \cdot 10^{-13} \text{ erg/cm}^3$$

gemiddelde dichtheid in het heelal, ook in ev cm^{-3}

en met een paar energiedichtheden, die waarschijnlijk alleen slaan op ons eigen melkwegstelsel:

kosmische stralingsenergie dichtheid:

$$E_{\text{cos}} = 9 \text{ eV}^2 = 8 \cdot 10^{-10} \frac{\text{erg}}{\text{cm}^3}$$

energie in sterlicht in de melkweg

energie dichtheid in massabewegingen in de melkweg

energie dichtheid van magneetvelden in de melkweg

Welke componenten zijn belangrijk? Daar zul je dus bij de beschrijving van je heelal model wel rekening mee moeten houden.

2.2. Verdeling over het spectrum

In de loop van het kollege zijn verschillende stralingsmechanismen aan bod geweest, zoals lijnemissie, continue emissie, diverse vormen van radiostraling, en begrippen als thermiese en niet-thermiese straling (deze laatste zeggen uiteraard niets over het mechanisme, maar wel iets over de verdeling van de straling over het spectrum). Probeer aan de hand van de waarnemingen

te vinden waaronder je deze straling kunt vangen.

is evenredig met
- λ^{-2}

we vinden
 $\sim \lambda^{-4}$

iets

zwarte straling

- 3.1 Probeer een schatting te maken over de afstand die deze straling af kan leggen zonder erg geabsorbeerd te worden. Vergelijk dit met de afstand van de verst waargenomen astronomische objecten. Konklusie?

- 3.2 Wat voor redenen zijn er aan te voeren voor het alom (dus ook buiten het melkwegstelsel) aanwezig zijn van deze straling?

↳ isotropie

4. Dit was eigenlijk alleen om vertrouwd te raken met deze waarneming die een hele omwenteling in de kosmologie teweeg heeft gebracht, omdat ze naast de wet van Hubble een van de weinige experimentele gegevens is die we hebben over het heelal.

Om nu een geschiedenis te maken van het heelal gebruik makend van deze gegevens is theorie nodig en een aantal veronderstellingen. Bij die geschiedenis bedoelen we dus het verloop van de belangrijkste componenten met de tijd. Bedenk zelf een paar van die veronderstellingen en/of maak een keuze uit de onderstaande:

- gegevens over de expansie van het heelal
- volgens het Copernische principe is het aardse leven geen uitzondering
- het heelal is homogeen
- verband tussen heelal-straal en de roodverschuiving
- idem en materiedichtheid
- idem en stalingsdichtheid
- materie gedraagt zich als een 1-atomig gas bij expansie
- wet van Planck en van Stefan-Boltzmann
- pas bij ionisatie (zo'n 3000 K) treedt duidelijke koppeling op tussen materie en straling
- melkwegstelsels vormen zich op elk moment ergens in het heelal
- de grootte van sterrenstelsels
- huidige materiedichtheid
- stralingsverlies van sterren
- kernfysika onbekend voor dichtheden groter $10^{15} \text{ g cm}^{-3}$
- kwantummechanika onbekend voor kromme ruimte
- het grootste deel van de massa is opgeslagen in dubbelsterren
- behoud van energie

Maak nu een geschiedenis van het heelal door terug te rekenen vanaf nu. Het gaat hierbij om de materiedichtheid, de temperatuur van de materie en de energiedichtheid van de straling.

Literatuur:

Sciama D.W., Modern Cosmology, Cambridge 1971, Ch 12 - 16

Albada G. v., Sterrenkunde Deel IV hfs. 5: Kosmologie ed. C. de Jager

$$\begin{aligned}
 c &= 3 \cdot 10^{10} \text{ cm/s} \\
 k &= 1.4 \times 10^{-16} \text{ erg/graad} \\
 h &= 6.6 \times 10^{-27} \text{ erg s} \\
 m_p &= 1.7 \times 10^{-24} \text{ g} \\
 m_e &= 9.1 \times 10^{-28} \text{ g}
 \end{aligned}$$

$$\text{stralingsdichtheidsconstante } \frac{4\sigma}{c} = 7,6 \cdot 10^{-15} \text{ erg cm}^{-3} \text{ graad}^{-4}$$

$$\text{Comptongolflengte } \frac{h}{m_e c} = 2,4 \cdot 10^{-10} \text{ cm}$$

$$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-12} \text{ erg}$$

$$\text{wet van Planck: } B(\lambda, T) = 1.19 \times 10^{-5} \lambda^{-5} (\exp(\frac{hc}{\lambda kT}) - 1)^{-1} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

$$\text{verdunde straling: } B^*(\lambda, T) = \alpha B(\lambda, T) \quad \alpha = \text{verdunningsfaktor}$$

$$\text{Stefan Boltzmann: energiedichtheid } u(T) = 7.6 \times 10^{-15} T^4 \text{ erg cm}^{-3} \text{ graad}^{-4}$$

$$\text{gaswet: } T_{\text{gas}} \sim p/\rho, \quad p \sim \rho^\gamma \quad (\text{ideaal gas: } \gamma = 5/3)$$

$$\text{definitie roodverschuiving: } z = \frac{\lambda_{\text{obs}} - \lambda_{\text{emit}}}{\lambda_{\text{emit}}}$$

$$1 \text{ pc} = 3.1 \times 10^{18} \text{ cm}$$

$$H = 100 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1} = \frac{1}{R} \frac{dR}{dt} \text{ (nu)}$$

$$M_\odot = 2 \times 10^{33} \text{ g}$$

$$\text{massa sterrenstelsel} = 1.2 \times 10^{11} M_\odot$$

$$\text{aantal stelsels per groep stelsels} \sim 130$$

$$\text{aantal groepen per ruimte eenheid} \sim 10^{-3} \text{ Mpc}^{-3}$$

$$\text{sterlichtstraling: } 0.7 \times 10^{-12} \text{ erg cm}^{-3}$$

$$\text{turbulente gasbeweging in het melkwegstelsel} = 0.5 \times 10^{-12} \text{ erg cm}^{-3}$$

$$\text{rotatie energie in melkweg: } 1300 \times 10^{-12} \text{ erg cm}^{-3}$$

$$\text{kosmiese straling: } 10^{-12} \text{ erg cm}^{-3}$$

$$\text{magnetiese veldenergie: } 0.04 - 4 \times 10^{-12} \text{ erg cm}^{-3}$$

$$\text{stralingsenergie opties in intergalaktiese ruimte: } 10^{-14} \text{ erg cm}^{-3}$$

$$\text{afstand van de verste qso: } z < 3$$

$$\text{absorptiecoëffisjient voor radiostraling in het i.g. medium (nu!)}$$

$$\kappa = 2 \cdot 10^{-23} \lambda^2 N_e N_i T^{-3/2}$$

$$T \text{ in het i.g. medium} \sim 1000^\circ ?$$

$$N_e \sim N_i \sim 10^{-6} \text{ cm}^{-3} ?$$