

Den kosmologiske mikrobølge-baggrundsstråling CMBR

- fra borgeleo.dk

Den kosmologiske baggrundsstråling kan observeres med et radioteleskop, og det viser sig, at den kommer fra alle retninger med omtrent lige stor intensitet og energifordeling.

Strålingen er meget fint beskrevet som en temperaturstråling (teknisk: sort legeme stråling) der kan karakteriseres ved en (absolut) temperatur.

Temperaturen i den observerede mikrobølgebaggrundsstråling (CMBR) er

$$(1) \quad T_{\text{CMBR}} = 2,7279 \text{ K} \quad \text{Nuværende temperatur i CMBR}$$

Den bølgelængde λ_{top} hvor intensiteten er størst (i top), kan beregnes af sammenhængen

$$(2) \quad \lambda_{\text{top}} \cdot T = 2,90 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K} \quad \text{Wiens forskydningslov}$$

Opgave 1: Beregn den bølgelængde, hvor intensiteten i CMBR er størst

Opgave 2: Hvad var temperaturen i CMBR da afstandene i Universet var 100 gange mindre?

Tætheden af fotoner i denne baggrundsstråling overstiger langt antal fotoner fra andre kilder. Tætheden af fotoner afhænger af temperaturen i strålingen. Formlen er:

$$(3) \quad n_{\text{foton}} = \frac{N}{V} = 16\pi \cdot \zeta(3) \cdot \left(\frac{k_B \cdot T}{h \cdot c}\right)^3 \quad \text{Foton-tætheden i temperaturstråling}$$

hvor ζ er Riemanns zeta-funktion, og $\zeta(3) \approx 1,202$

Her er N er antallet af fotoner, V er rumfanget, c er lysets fart i det tomme rum, k_B er Boltzmanns konstant og h er Plancks konstant.

Opgave 3: Beregn fotontætheden i CMBR med den nuværende temperatur

Tætheden af fotoner (3) falder med Universets udvidelse, idet strålingens temperatur falder. Alligevel er antallet af fotoner i CMBR konstant. Dette belyses i den følgende opgave:

Opgave 4: Forestil dig, at temperaturen i CMBR halveres i forhold til i dag.

- Hvor mange gange mindre bliver fotontætheden ifølge (3)?
- Hvad er der sket med bølgelængderne af fotonerne i CMBR? Brug (2).
- Hvad er der sket med de store afstande i Universet – og derved V i (3)?
- Brug ovenstående til at begrunde, at N i (3) er uændret

Middelantallet af protoner og neutroner tilsammen er efter de seneste værdier af de kosmologiske parametre 4% af 5,5 protoner pr. kubikmeter

$$(4) \quad n_{\text{nukleon}} = 0,04 \cdot 5,5 \text{ m}^{-3} = 0,22 \text{ m}^{-3}$$

Opgave 5: Beregn antal fotoner pr. nukleon.

Atomkerner i Universet består pt. mest af protoner, idet det meste atomart stof er hydrogen. Ved høje temperaturer vil hydrogenatomer være ioniserede. Denne temperatur bestemmes bl.a. af ioniseringsenergien af hydrogenatomet:

$$(5) \quad E_{\text{ionisering, H-atom}} = 13,6 \text{ eV}$$

Fotonerne i temperaturstrålingen har en middelenergi givet ved:

$$(6) \quad E_{\text{foton, middel}} = 2,70 \cdot k_B \cdot T$$

Opgave 6: Beregn den temperatur, hvor $E_{\text{foton, middel}} = E_{\text{ionisering, H-atom}}$

I virkelighedens verden er ioniseringstemperaturen for H-atomerne i det tidlige Univers kun omkring 3000 K.

Opgave 7: Kan du finde en grund til, at den i opgave 6 beregnede temperatur er meget højere end 3000 K? Benyt det høje foton-nukleon-forhold i din argumentation.

Opgave 8: Beregn rødforskydningen for CMBR, når du ved, at den opstod ved ca. 3000 K.