

Introducción a la Cosmología

Guía 5: *Recombinación*

Problema 1: Asumiendo que la recombinación del hidrógeno es un proceso de equilibrio, estime la temperatura y el redshift a los que se produce. Observe que la temperatura de recombinación es muy inferior a la energía de ligadura del hidrógeno. ¿Por qué?

Problema 2: Las observaciones cosmológicas indican que el universo es espacialmente plano, que su ritmo actual de expansión es $H_0 \simeq 70$ (km/s)/Mpc y que actualmente está compuesto en un 70% de energía oscura (constante cosmológica) y en un 30% de materia no relativista, de la cual una sexta parte es materia ordinaria. Teniendo esto en cuenta, obtenga a qué redshifts corresponden las eras de dominio de la radiación, materia y constante cosmológica, y compruebe que la recombinación del hidrógeno se produce durante la era de dominio de la materia. Calcule también la edad del universo en la actualidad y en el instante de recombinación.

Problema 3: Teniendo en cuenta que el promedio térmico del producto de la sección eficaz del proceso $e + p \rightarrow H + \gamma$ por la velocidad de los electrones libres es

$$\langle \sigma v \rangle \simeq 13.6 \times 10^{-14} (T_{eV})^{-1/2} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1},$$

determine qué fracción de los electrones que quedaron libres después de la recombinación del helio permanecen libres al final de la recombinación del hidrógeno.

Problema 4: Teniendo en cuenta que la sección eficaz del scattering Thomson con electrones libres es

$$\sigma \simeq 6.65 \times 10^{-25} \text{ cm}^2,$$

obtenga la temperatura a partir de la cual la luz se propaga libremente sin interactuar con la materia.

Problema 5: Explique por qué la recombinación del hidrógeno no es exactamente un proceso de equilibrio, y por qué la hipótesis de equilibrio da lugar a una sobreestimación de la temperatura de recombinación.