

Úvod do fyziky hvězdných soustav

Bonusový příklad (4. duben 2008)

Zadání:

Hvězdy spektrální třídy O často vznikají v hvězdokupách, jako je třeba Trapéz v Orionu. Komplex mlhovin v Orionu je vzdálen 450 pc a jeho část, známá jako M42 má na obloze úhlový průměr jeden stupeň. Předpokládejte, že M42 je plynová koule složená z čistého vodíku s průměrnou koncentrací vodíkových atomů 200 cm^{-3} . Kolik stejných hvězd spektrálního typu O5 je potřeba na úplnou ionizaci mlhoviny M42? Porovnejte výsledek se skutečným počtem nejjasnějších hvězd hvězdokupy Trapéz.

Řešení:

Emisní mlhovina svítí především díky kaskádním rekombinacím ionizovaného vodíku. Proto je potřeba do oblasti každou sekundu dodat nejméně tolik ionizujících fotonů, kolik v ní nastane rekombinací. Počet rekombinací, k nimž dojde v objemové jednotce za 1 sekundu je úměrný součinu koncentrace elektronů a protonů. V případě téměř úplně ionizovaného vodíkového plynu pak bude úměrný koncentraci vodíkových atomů na druhou.

$$R = \alpha n_H^2$$

Při teplotách typických pro oblasti ionizovaného vodíku je konstanta úměrnosti rovna přibližně $3 \cdot 10^{-19} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Pro oblast M42 tedy platí, že:

$$R \cdot V_{M42} = N_{star} \cdot Q_{star}$$

kde Q_{star} je počet ionizujících fotonů v prostoru kolem jedné hvězdy. Ten je daný vztahem:

$$Q_{star} = 4\pi R_{star}^2 \int_0^{\lambda_L} \frac{2\pi c}{\lambda^4} \frac{d\lambda}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}$$

kde je horní hranice integrace rovna 91,2 nm. Pro zjednodušení budeme předpokládat, že se jedná o hvězdy hlavní posloupnosti, čili v případě spektrální třídy O5 jsou to hvězdy s efektivní teplotou zhruba 40 000 K a poloměrem přibližně 20 poloměrů Slunce. Počet ionizujících fotonů je tedy roven přibližně $4 \cdot 10^{49} \text{ s}^{-1}$.

Poloměr mlhoviny M42 určíme z její vzdálenosti a úhlového průměru vztahem:

$$R_{M42} = r[pc] \cdot d[arcsec] / 2 \cdot 1 AU = 1,2 \cdot 10^{17} m$$

Po zpočtení objemu a dosazení do rovnosti dostaneme N_{star} rovno přibližně 3, což je velice dobrý odhad, protože v hvězdokupě Trapéz jsou celkem 4 jasné hvězdy.

