

## 5. Übung zu: Kosmologie und frühes Universum

(Abgabe: Mi., 25.6.2003)

### Aufgabe 1: Reionisation des Intergalaktischen Mediums

$H$  und  $He$  im Intergalaktischen Medium (IGM) sind ionisiert. Theorie und Beobachtungen deuten darauf hin, dass die Reionisation bei Rotverschiebungen von  $z = 7$  bzw.  $z = 3$  abgeschlossen gewesen sein soll. In dieser Aufgabe soll abgeschätzt werden, ob dies durch die energetischen Photonen von Sternen alleine möglich war und wenn ja, mit welchen Einschränkungen.

**Aufgabe a:** Angenommen, die gesamte Energie der Fusion von  $H$  zu  $He$  würde für die Ionisierung von  $H$  zur Verfügung stehen. Wenn die Ionisation bis heute stattfinden sollte, welcher Anteil von  $H$  müßte dazu fusioniert werden? Nehmen Sie an, daß sich derzeit 5% der baryonischen Materie in Sternen befindet und 5% davon an der Fusion teilnimmt (und die baryonische Materie nur aus  $H$ -Atomen besteht; dies soll generell im Folgenden gelten). Gälte dieses Ergebnis auch für  $z = 7$  (Weltalter 6% vom heutigen Alter (13.8 Gyr)), wenn man eine konstante Sternentstehungsrate annimmt?

**Aufgabe b:** Im realistischeren Fall gibt es eine Mindestenergie für Photonen um  $H$  zu ionisieren. Reicht dann die durch Fusion erzeugte Energie in den folgenden Fällen aus, um vollständig zu ionisieren? Gehen Sie von einer konstanten Sternentstehungsrate aus.

Fall 1: Alle Fusion finde bis  $z = 7$  in sonnenähnlichen Sternen statt, deren Leuchtkraft  $L_{\odot} = 4 \cdot 10^{33}$  erg/s und Temperatur 6000 K beträgt und die für das ganze damalige Alter des Universums leuchteten. Die Masse der Sonne ist  $M_{\odot} = 2 \cdot 10^{33}$  g. Welche Photonen können  $H$  ionisieren (und gibt es eine geeignete Näherung bei der Berechnung)? Wieviele solcher Photonen werden im Mittel pro Stern über das Alter des Kosmos emittiert? Wieviele  $H$  Atome müssen pro Sonnenmasse ionisiert werden? Reicht die Anzahl der produzierten Photonen zur vollständigen Ionisation von  $H$  aus?

Fall 2: Wir nehmen jetzt an, dass 10% der Sterne als massereiche Sterne gebildet werden, d.h. in O-Sternen, deren Verhältnis von Leuchtkraft zu Masse sich wie  $L/M \propto M^{2.5}$  skaliert, die eine Masse von  $20 M_{\odot}$  haben und eine Temperatur von  $T \sim 30000$  K. Allerdings haben diese nur eine Lebensdauer von 6 Millionen Jahren. Können die massereiche Sterne das  $H$  vollständig ionisieren?

Fall 3: Wie Fall 2, aber wie sieht es mit  $He$  aus? Nehmen Sie ein Verhältnis  $N_{He} / N_H = 0.08$  an. (Was ist die Ionisationsenergie von  $He$ ?)

Fall 4: Wie Fall 3, aber bis  $z = 3$ , also eine im Vergleich etwa dreifach längere Strahlungsdauer?

Fall 5: Wie hoch müßte die Temperatur einer hypothetischen 'Super-O-Stern' Population sein, die bis  $z = 3$   $He$  vollständig ionisiert?

Was folgt aus diesen Abschätzungen in Konfrontation mit den empirischen Ergebnissen aus der Einleitung? In dieser Aufgabe haben wir Rekombination völlig außer acht gelassen. Wie ändert sich das Ergebnis qualitativ?