

Übungen zur Vorlesung

Einführung in die Astronomie (WS2012/13)

Cornelis Dullemond, Ralf Klessen

Übungsblatt 9

18 Punkte

1. Anregung von Moleküllinien

Galaktische Molekülwolken bestehen fast vollständig aus molekularem Wasserstoff H_2 . Sie enthalten aber auch Spuren anderer Elemente. Da H_2 kein eigenes Dipolmoment besitzt, ist seine Emission extrem schwach und fast alles, was wir über die Struktur und Dynamik dieser Wolken wissen, haben wir aus der Untersuchung der Linienemission von Kohlenmonoxid erfahren. Diese Linien sind sehr intensiv, da CO das zweithäufigste Molekül ist und über ein großes Dipolmoment verfügt. Die Anregung erfolgt über Stöße mit H_2 -Molekülen.

- a) Wir nehmen an, die Geschwindigkeiten der H_2 -Moleküle folgen der Maxwell-Boltzmann Verteilungsfunktion. Berechnen Sie die minimale Temperatur die notwendig ist, um CO-Moleküle durch Stöße aus dem Grundzustand in die folgenden energetisch höher gelegenen Zustände anzuregen: (4 Punkte)
- * Rotationsniveau $J = 1$ ($\Delta E = 4.76 \times 10^{-4}$ eV)
 - * Vibrationszustand $n = 1$ ($\Delta E = 0.266$ eV)
 - * Elektronischer Anregungszustand $\text{B}^1\Sigma^+$ ($\Delta E = 10.5$ eV)
- b) Typische Temperaturen in Molekülwolken liegen bei 10 – 20 K. Berechnen Sie, welche Zustände angeregt werden können? (2 Punkte)

2. Strömgren-Sphäre

Um das Volumen von HII-Regionen um massereiche Sterne herum abzuschätzen, nehmen wir an, der Stern liege im Zentrum einer weit ausgedehnten, homogenen Wolke aus atomarem Wasserstoff.

- a) Leiten Sie einen Ausdruck für den Radius R_S der Strömgren-Sphäre her, indem Sie die Anzahl der ionisierenden Photonen pro Zeiteinheit mit der Anzahl der in der Sphäre stattfindenden Rekombinationsprozesse vergleichen. Verwenden Sie die Rekombinationsrate $\alpha = 3.1 \times 10^{-13} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$ und nehmen Sie an, innerhalb der HII-Region ist der Ionisationsgrad 100%. (3 Punkte)
- b) Berechnen Sie R_S für einen O5-Stern mit der Effektivtemperatur $T_{\text{eff}} = 54.000 \text{ K}$ und der Leuchtkraft $L = 2 \times 10^5 L_{\odot}$, der sich innerhalb einer Wolke der Dichte $n_{\text{H}} = 10^4 \text{ cm}^{-3}$ befindet. Nehmen Sie der Einfachheit halber an, der Stern habe ein rein thermisches Spektrum und alle Photonen werden im Maximum der Frequenzverteilung emittiert. (3 Punkte)

3. Zur Vertiefung: Wolke in Emission und Absorption

Wir wenden die Strahlungstransportgleichungen, die in der Vorlesung im Zusammenhang von Sternatmosphären eingeführt wurden, auf das interstellare Gas an. Wir betrachten dazu eine homogene Wolke aus atomarem Wasserstoffgas der physikalischen Temperatur von $T_K = 2.73$ K mit einer Emissivität j_ν oder Quellfunktion S_ν , die der thermischen Emission bei T_K entspricht.

Lösen Sie das Strahlungstransportproblem im Rayleigh-Jeans-Limit, d.h. im Grenzfall dass die Intensität I proportional zur Temperatur T des Strahlungsfeldes ist. Zur Erinnerung, die Planck-Funktion ist

$$B_\nu(T) = \frac{2h\nu^3/c^2}{\exp(h\nu/kT) - 1},$$

und die Strahlungstemperatur (Englisch *brightness temperature*) T_B bei der Frequenz ν ist definiert durch $I_\nu = B_\nu(T_B)$.

- a) Betrachten Sie den Fall, dass die kosmische Hintergrundstrahlung (Englisch: *cosmic microwave background: CMB*) bei 2.73 K die einzige Strahlungsquelle darstellt. Erscheint die Wolke vor dem Hintergrund des CMB in Emission oder Absorption? Oder ist sie nicht sichtbar? Begründen Sie Ihre Antwort. (2 Punkte)
- b) Nehmen Sie nun an, dass hinter der Wolke eine ausgedehnte Strahlungsquelle mit $T_B = 3$ K liegt. Welche Temperatur ΔT_L in Kelvin hat das Absorptionssignal der Wolke, wenn deren optische Tiefe $\tau = 1$ beträgt? (2 Punkte)
- c) Was beobachten Sie, wenn die kinetische (physikalische) Temperatur der Wolke bei $T_K = 3.5$ K liegt? (2 Punkte)