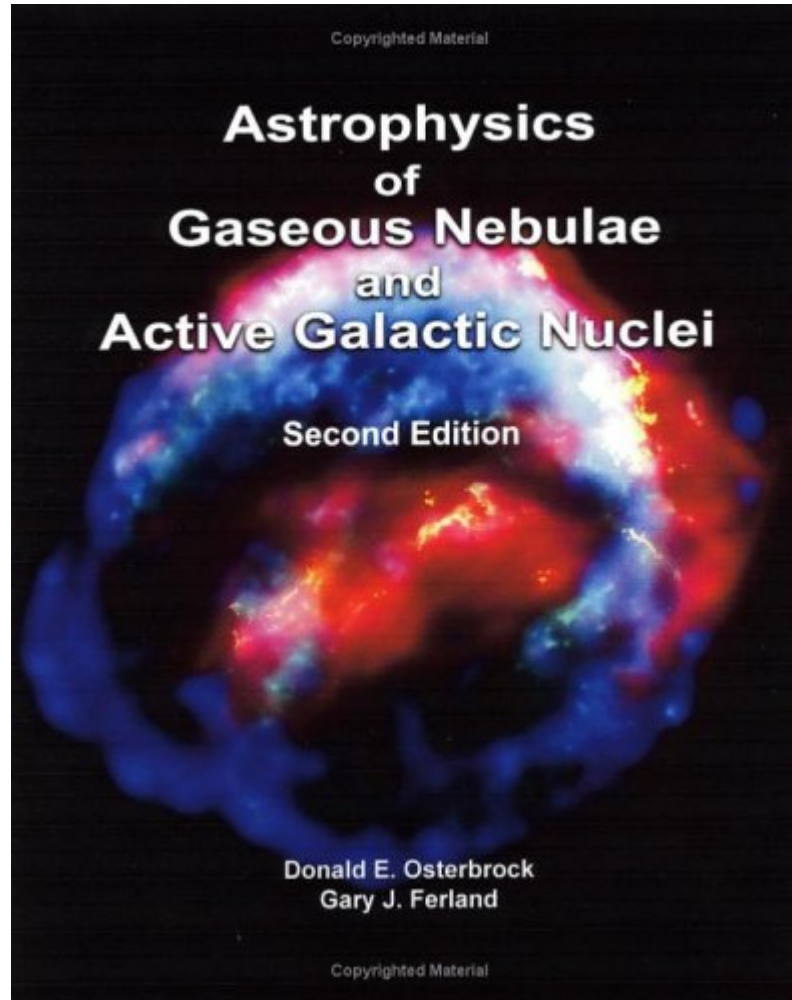


# Astrophysics of Gaseous Nebulae and Active Galactic Nuclei

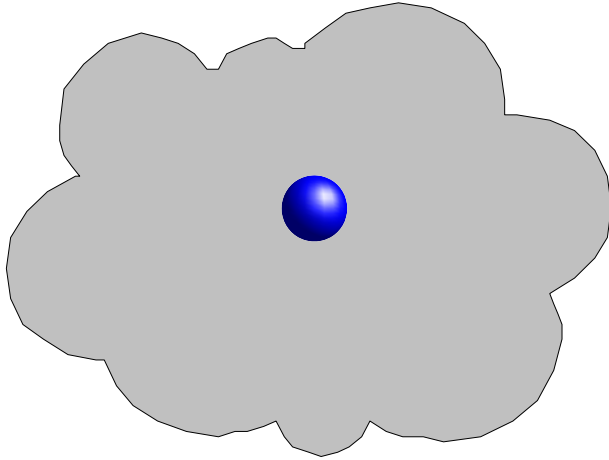


2006 / 6 / 9 (Fri.)  
Koizumi Osamu

# 2. Photoionization Equilibrium

hot single star の周りの pure H cloud を考える。

## 電離平衡方程式



$$\begin{aligned} n(\text{H}^0) \int_{\nu_0}^{\infty} \frac{4\pi J_{\nu}}{h\nu} a_{\nu}(\text{H}^0) d\nu \\ = n(\text{H}^0) \int_{\nu_0}^{\infty} \Phi_{\nu} a_{\nu}(\text{H}^0) d\nu \\ = n(\text{H}^0) \Gamma(\text{H}^0) \\ = n_e n_p \alpha(\text{H}^0, T) \end{aligned}$$

$J_{\nu}$  : ある点での平均の放射強度

$\Phi_{\nu}$  : 単位面積、単位時間、単位振動数あたりの入射光子数

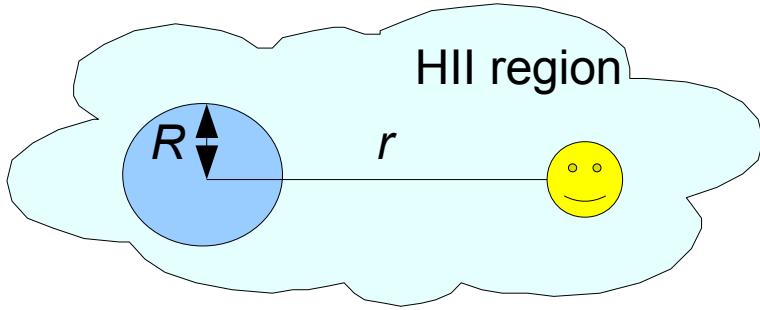
$a_{\nu}$  : エネルギー  $h\nu$  をもつ光子に対するHのイオン化断面積

$\alpha$  : 再結合係数

$$n(\text{H}^0) \Gamma(\text{H}^0) = n_e n_p \alpha(\text{H}^0, T)$$

# 2. Photoionization Equilibrium

第一次近似として、平均の強度  $J_\nu$  は逆二乗則に従って減少するとする。



$$4\pi J_\nu = \frac{R^2}{r^2} \pi F_\nu(0) = \frac{L_\nu}{4\pi r^2} \quad [\text{erg cm}^{-2} \text{s}^{-1} \text{Hz}^{-1}]$$

例として、 $1\text{cm}^3$  あたり 10 個の水素原子がある HII 領域のある点を考える。  
中心の星は O7.5型星で  $T^* = 39700 \text{ K}$  とする。  $r = 5 \text{ pc}$  とする。

$$Q(\text{H}^0) = \int_\nu^\infty \frac{L_\nu}{h\nu} d\nu \sim 1 \times 10^{49} \quad [\text{photons s}^{-1}]$$

$$a_\nu \sim 6 \times 10^{-18} \quad [\text{cm}^2]$$

$$\int_{\nu_0}^\infty \frac{4\pi J_\nu}{h\nu} a_\nu(\text{H}^0) d\nu = 1 \times 10^{-8} \stackrel{\text{def}}{=} \tau_{\text{ph}}^{-1} \quad [\text{s}^{-1}]$$

$$\alpha(\text{H}^0, T) \sim 4 \times 10^{-13} \quad [\text{cm}^3 \text{s}^{-1}]$$

$$\xi \sim 4 \times 10^{-4}$$

水素はほぼ完全に電離している。

# 2. Photoionization Equilibrium

紫外の光子が有限



無限の体積を電離させることはできない

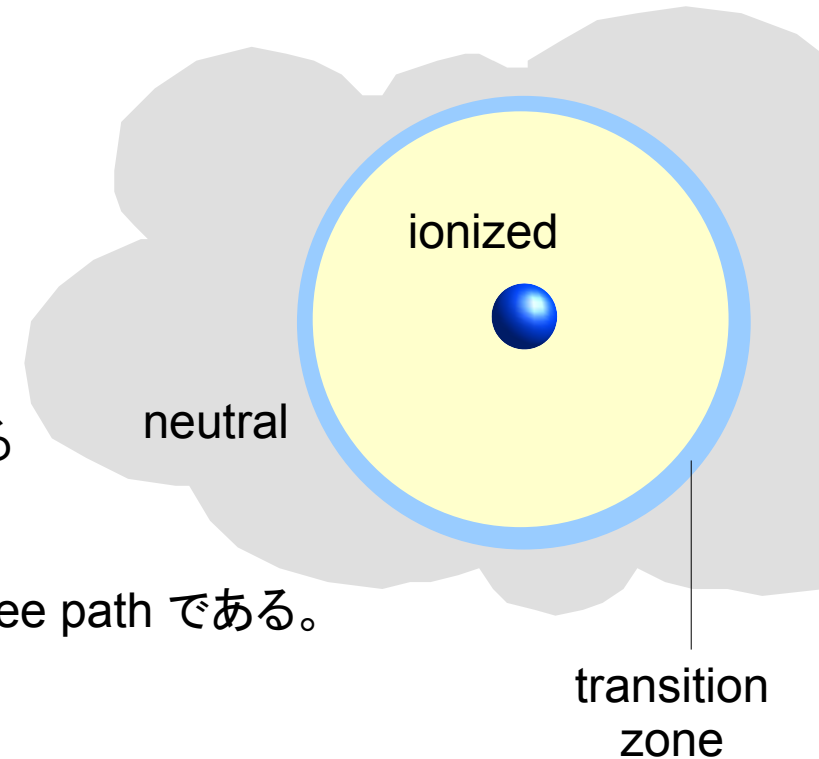


十分なガスがある場合、イオンと中性水素の境界領域がある

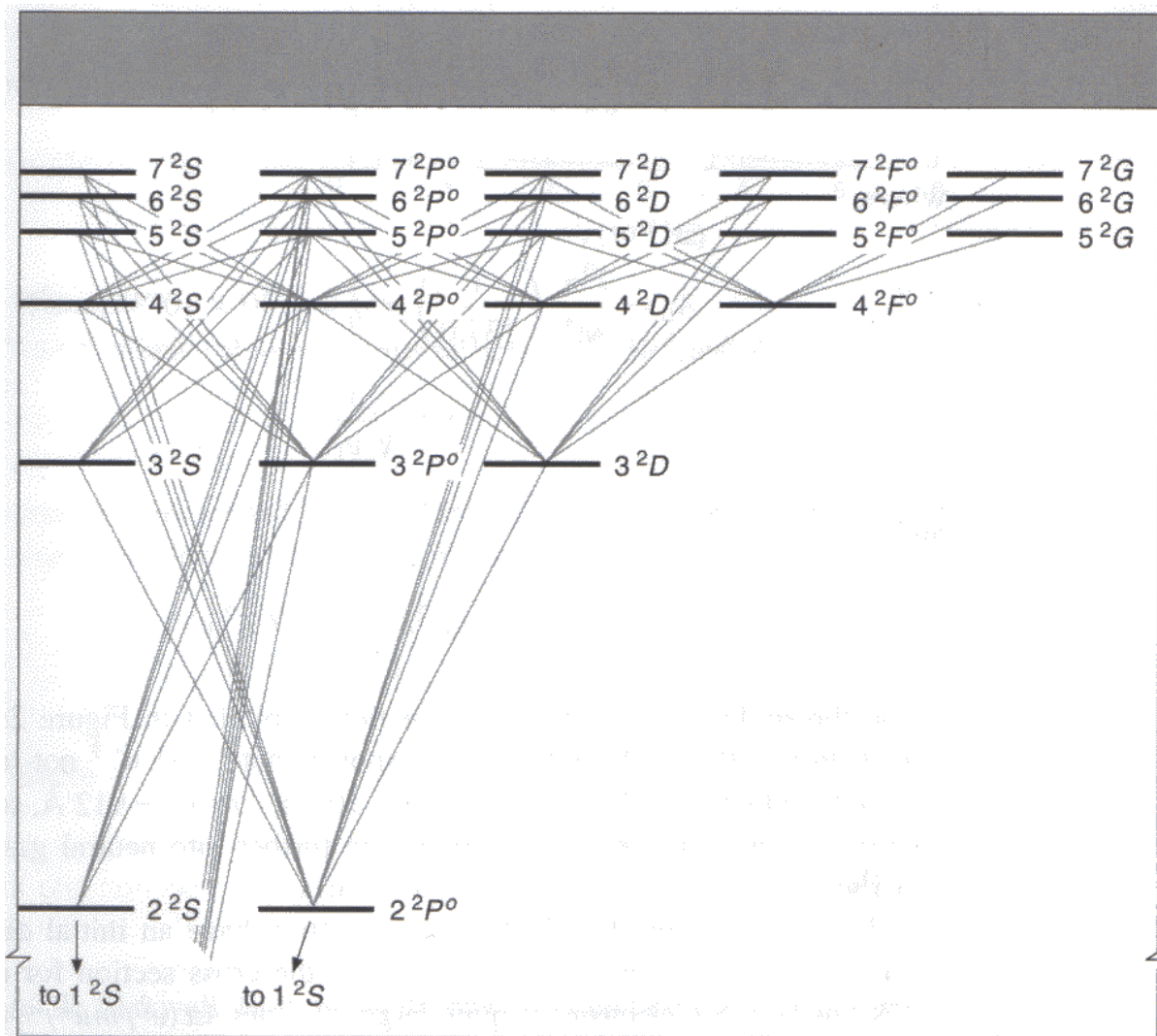
transition zone の厚さは、近似的に電離光子の mean free path である。  
 $\xi = 0.5$  とすると、その厚さは

$$d \sim \frac{1}{n(\text{H}^0)} \sim 0.1 \text{ pc}$$

これはイオン化した nebula の半径に比べて十分に小さい。

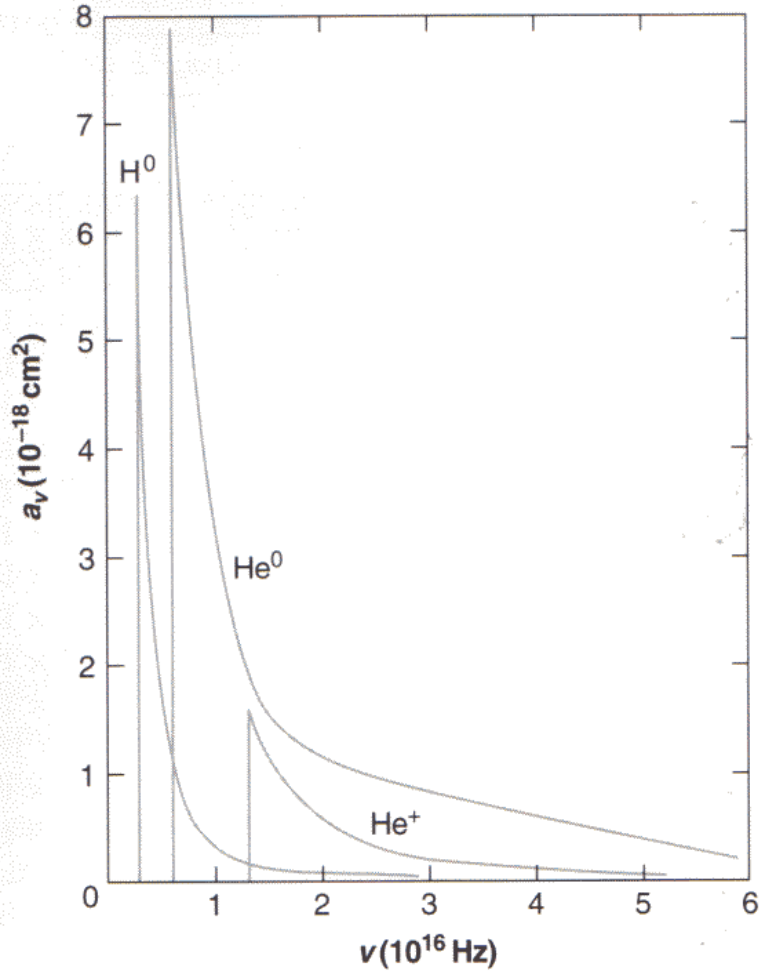


# 2. Photoionization Equilibrium



水素原子のエネルギー順位構造

# 2. Photoionization Equilibrium



光電離断面積 vs 振動数

# 2. Photoionization Equilibrium

Table 2.1

Recombination coefficients (in  $\text{cm}^3 \text{s}^{-1}$ )  $\alpha_n$   $^2L$  for H

	5,000 K	10,000 K	20,000 K
$\alpha_1$ $^2S$	$2.28 \times 10^{-13}$	$1.58 \times 10^{-13}$	$1.08 \times 10^{-13}$
$\alpha_2$ $^2S$	$3.37 \times 10^{-14}$	$2.34 \times 10^{-14}$	$1.60 \times 10^{-14}$
$\alpha_2$ $^2P^o$	$8.33 \times 10^{-14}$	$5.35 \times 10^{-14}$	$3.24 \times 10^{-14}$
$\alpha_3$ $^2S$	$1.13 \times 10^{-14}$	$7.81 \times 10^{-15}$	$5.29 \times 10^{-15}$
$\alpha_3$ $^2P^o$	$3.17 \times 10^{-14}$	$2.04 \times 10^{-14}$	$1.23 \times 10^{-14}$
$\alpha_3$ $^2D$	$3.43 \times 10^{-14}$	$1.73 \times 10^{-14}$	$9.49 \times 10^{-15}$
$\alpha_4$ $^2S$	$5.23 \times 10^{-15}$	$3.59 \times 10^{-15}$	$2.40 \times 10^{-15}$
$\alpha_4$ $^2P^o$	$1.51 \times 10^{-14}$	$9.66 \times 10^{-15}$	$5.81 \times 10^{-15}$
$\alpha_4$ $^2D$	$1.90 \times 10^{-14}$	$1.08 \times 10^{-14}$	$5.68 \times 10^{-15}$
$\alpha_4$ $^2F^o$	$1.09 \times 10^{-14}$	$5.54 \times 10^{-15}$	$2.56 \times 10^{-15}$
$\alpha_{10}$ $^2S$	$4.33 \times 10^{-16}$	$2.84 \times 10^{-16}$	$1.80 \times 10^{-16}$
$\alpha_{10}$ $^2G$	$2.02 \times 10^{-15}$	$9.28 \times 10^{-16}$	$3.91 \times 10^{-16}$
$\alpha_{10}$ $^2M$	$2.7 \times 10^{-17}$	$1.0 \times 10^{-17}$	$4.0 \times 10^{-18}$
$\alpha_A$	$6.82 \times 10^{-13}$	$4.18 \times 10^{-13}$	$2.51 \times 10^{-13}$
$\alpha_B$	$4.54 \times 10^{-13}$	$2.59 \times 10^{-13}$	$1.43 \times 10^{-13}$

再結合係数