

Série N°3 de TD de Physique Atomique II

EXERCICE

On s'intéresse au rapport de l'émissivité de la raie de résonance w ($1s2p \ ^1P_1 \rightarrow 1s^2 \ ^1S_0$) sur celle de la raie d'intercombinaison y ($1s2p \ ^3P_1 \rightarrow 1s^2 \ ^1S_0$) émises d'un plasma chaud et dense par des ions héliumoides de silicium Si^{12+} . On admet que les populations des niveaux supérieurs des deux raies peuvent être déterminées dans un modèle collisionnel-radiatif à 7 niveaux incluant le niveau fondamental $1s^2 \ ^1S_0$ (niveau noté 0) et les 6 niveaux excités $1s2s \ ^3S_1$, $1s2p \ ^3P_0$, 3P_1 , 3P_2 , $1s2s \ ^1S_0$ et $1s2p \ ^1P_1$ (niveaux notés 1, 2, 3, 4, 5 et 6, respectivement). La densité des électrons N_e du plasma considéré est $N_e = 2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$. On suppose que la distribution d'énergie des électrons libres du plasma est celle de Maxwell à la température $T_e = 8,2 \times 10^6 \text{ K}$. On donne les :

- énergies des niveaux excités (exprimés en unité d'eV) par rapport au niveau fondamental 0 :

$$E_1 = 1838,43 \quad E_2 = 1852,83 \quad E_3 = 1853,37 \quad E_4 = 1854,44 \quad E_5 = 1854,97 \quad E_6 = 1866,97$$

- probabilités de transition radiative à partir des 6 niveaux excités :

$$A_{10} = 3,60 \times 10^5 \text{ s}^{-1} \text{ (M1)}, \quad A_{21} = 1,52 \times 10^8 \text{ s}^{-1} \text{ (E1)}, \quad A_{30} = 1,57 \times 10^{11} \text{ s}^{-1} \text{ (E1)}, \quad A_{31} = 1,59 \times 10^8 \text{ s}^{-1} \text{ (E1)}$$

$$A_{40} = 3,87 \times 10^7 \text{ s}^{-1} \text{ (M2)}, \quad A_{41} = 1,92 \times 10^8 \text{ s}^{-1} \text{ (E1)}, \quad A_{50} = 8,68 \times 10^7 \text{ s}^{-1} \text{ (2E1)}, \quad A_{60} = 3,75 \times 10^{13} \text{ s}^{-1} \text{ (E1)}$$

- coefficients de taux d'excitation collisionnelle à la température $T_e = 8,2 \times 10^6 \text{ K}$ à partir du :

♦ niveau fondamental 0 : $C_{01} = 2,61 \times 10^{-13} \text{ cm}^3/\text{s}$ $C_{02} = 1,31 \times 10^{-13} \text{ cm}^3/\text{s}$ $C_{03} = 4,01 \times 10^{-13} \text{ cm}^3/\text{s}$
 $C_{04} = 6,53 \times 10^{-13} \text{ cm}^3/\text{s}$ $C_{05} = 6,42 \times 10^{-13} \text{ cm}^3/\text{s}$ $C_{06} = 2,67 \times 10^{-12} \text{ cm}^3/\text{s}$

♦ niveau 1 : $C_{12} = 4,30 \times 10^{-10} \text{ cm}^3/\text{s}$ $C_{13} = 1,28 \times 10^{-9} \text{ cm}^3/\text{s}$ $C_{14} = 2,09 \times 10^{-9} \text{ cm}^3/\text{s}$

♦ niveau 5 : $C_{56} = 4,05 \times 10^{-9} \text{ cm}^3/\text{s}$

1°) Calculer, en cm^3/s , les coefficients de taux de désexcitation collisionnelle C_{21} , C_{31} et C_{41} à partir des niveaux 2, 3 et 4, respectivement, vers le niveau 1 à la température $T_e = 8,2 \times 10^6 \text{ K}$.

On donne la valeur de la constante de Boltzmann : $k = 8,617 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$.

2°) Même question que la précédente mais pour le coefficient de taux C_{65} à partir du niveau 6 vers 5.

3°) Montrer qu'à la densité $N_e = 2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ du plasma considéré, le dépeuplement s'effectue (i) principalement par collisions pour les niveaux 1, 2, 4 et 5, (ii) principalement par émission spontanée pour le niveau 6, (iii) de manière mixte pour le niveau 3.

4°) Ecrire les équations de régime permanent relatives aux populations N_i des niveaux excités i ($i = 1$ à 6) dans le cadre du modèle collisionnel-radiatif à 7 niveaux et en tenant compte du mode de dépeuplement de chacun des niveaux excités mentionné dans la question 3°).

5°) Etablir les expressions des rapports de populations N_3/N_0 et N_6/N_0 en fonction de la densité N_e des électrons et des paramètres atomiques A_{ij} et C_{ij} appropriés.

6°) Calculer numériquement le rapport d'émissivité ϵ_w/ϵ_y des raies w et y . Comparer le résultat obtenu à celui correspondant à la limite des très basses densités.