

Série N°4 de TD de Physique Atomique II

EXERCICE

On cherche à diagnostiquer la densité des électrons N_e d'une région de la couronne solaire en se basant sur le rapport des émissivités des raies interdite z ($1s2s \ ^3S_1 \rightarrow 1s^2 \ ^1S_0$) et d'intercombinaison y ($1s2p \ ^3P_1 \rightarrow 1s^2 \ ^1S_0$) émises de cette région par des ions héliumoïdes d'oxygène O^{6+} . On admet que les populations des niveaux supérieurs des deux raies peuvent être déterminées dans un modèle collisionnel-radiatif à 5 niveaux incluant le niveau fondamental $1s^2 \ ^1S_0$ (niveau noté 0) et les 4 niveaux triplets $1s2s \ ^3S_1$, $1s2p \ ^3P_0$, 3P_1 et 3P_2 (niveaux notés 1, 2, 3 et 4, respectivement). Dans les conditions de densité de la couronne solaire, les 3 niveaux 2, 3 et 4 peuvent être peuplés par excitation collisionnelle à partir tant du niveau fondamental 0 que du niveau métastable 1. Ce dernier se désexcite par émission spontanée vers le niveau fondamental avec la probabilité $A_{10} = 1,05 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$. Par ailleurs, les niveaux 2 et 4 se désexcitent par émission spontanée vers 1 avec les probabilités $A_{21} = 7,90 \times 10^7 \text{ s}^{-1}$ et $A_{41} = 8,15 \times 10^7 \text{ s}^{-1}$, alors que le niveau 3 se désexcite par émission spontanée vers 0 avec la probabilité $A_{30} = 5,50 \times 10^8 \text{ s}^{-1}$ et vers 1 avec la probabilité $A_{31} = 7,92 \times 10^7 \text{ s}^{-1}$. La probabilité de transition radiative A_{40} (quadrupolaire magnétique) peut être négligée devant A_{41} . On suppose que la distribution d'énergie des électrons libres du plasma émissif est celle de Maxwell à la température $T = 1,5 \times 10^6 \text{ K}$. On donne les coefficients de taux d'excitation collisionnelle à cette température à partir du

◆ niveau fondamental :

$$C_{01} = 3,47 \times 10^{-13} \text{ cm}^3/\text{s} \quad C_{02} = 1,91 \times 10^{-13} \text{ cm}^3/\text{s} \quad C_{03} = 5,73 \times 10^{-13} \text{ cm}^3/\text{s} \quad C_{04} = 9,53 \times 10^{-13} \text{ cm}^3/\text{s},$$

◆ niveau métastable :

$$C_{12} = 2,54 \times 10^{-9} \text{ cm}^3/\text{s} \quad C_{13} = 7,61 \times 10^{-9} \text{ cm}^3/\text{s} \quad C_{14} = 1,26 \times 10^{-8} \text{ cm}^3/\text{s}.$$

On donne également les énergies de transition : $\Delta E_{01} = 561,1 \text{ eV}$, $\Delta E_{02} = 568,6 \text{ eV}$ et $\Delta E_{03} = 568,7 \text{ eV}$, ainsi que la valeur de la constante de Boltzmann : $k = 8,617 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$.

1°) Ecrire les équations de régime permanent relatives aux populations N_1 , N_2 , N_3 et N_4 des niveaux 1, 2, 3 et 4 dans le cadre du modèle collisionnel-radiatif à 5 niveaux.

2°) Etablir les expressions des rapports de populations N_1/N_0 et N_3/N_0 en fonction de la densité N_e des électrons et des paramètres atomiques A_{ij} et C_{ij} appropriés.

3°) Calculer le rapport d'émissivité ϵ_z/ϵ_y des raies z et y dans la limite des très basses densités.

4°) A partir des observations, le rapport d'émissivité ϵ_z/ϵ_y est mesuré égal à 0,94. Déterminer la densité N_e de la région de la couronne solaire.