ETUDE DES ATOMES METASTABLES DE L'HELIUM ET DU NEON PRESENTS DANS LES DECHARGES LUMINESCENTES

A. Ricard

Laboratoire de Physique des Milieux Ionisés - Université Paul Sabatier - 31 - Toulouse.

Résumé - Nous avons mis au point une méthode de mesure des atomes métastables de l'hélium et du néon par absorption optique. Les résultats obtenus, complétés par la mesure des concentrations d'électrons (méthode de la cavité hyperfréquence), nous ont permis de déterminer divers coefficients (en $\text{cm}^3\text{sec}^{-1}$) d'excitation et de destruction des atomes métastables par collisions électroniques.

Abstract - We have investigated metastable helium and neon atoms by means of optical absorption. This results, supplemented by a H.F. cavity measurements of the electrons densities, have been used to determine some of the rate coefficients for the excitation and destruction of metastable atoms by electronic collisions.

Nous étudions le comportement des atomes métastables de l'hélium et du néon présents dans des décharges luminescentes à l'état stationnaire. Parmi les divers processus de création et de destruction des atomes métastables, nous considérons plus particulièrement l'influence des collisions électroniques. La population N_M d'un niveau métastable unique s'exprime en fonction des paramètres courant I et pression p de la décharge suivant la relation

$$[1] : N_M = \frac{K_1 I}{K_{2/p} + (K_3 + K_4 I)p} \quad (1)$$

où les coefficients K_i caractérisent les processus suivants : $i = 1$, excitation par collisions électroniques ; $i = 2$, diffusion vers les parois ; $i = 3$, destruction par collisions atomiques ; $i = 4$, destruction par collisions électroniques.

Nous mesurons la densité volumique des atomes métastables à l'aide d'un dispositif à absorption optique. Cette méthode, qui consiste à mesurer le coefficient d'absorption A_L de raies appropriées issues d'une source spectrale de référence, ne peut être utilisée que si nous connaissons le rapport :

$$\alpha = \frac{\text{largeur à mi-hauteur de la raie incidente}}{\text{largeur à mi-hauteur de la raie d'absorption}} [2]$$

Nous proposons de déterminer α en enregistrant, à l'aide d'un spectromètre interférentiel Fabry-Pérot, les profils de raies spectrales incidentes et ceux des raies spectrales émises par le milieu absorbant. Si nous pouvons mesurer directement la

largeur à mi-hauteur d'une raie incidente, il n'en est pas de même pour la raie d'absorption. Les profils de ces raies ont pour la plupart une forme gaussienne, ce qui caractérise un élargissement par effet Doppler provoqué par la température des atomes neutres. Aussi, proposons-nous une méthode [1] qui consiste à déterminer les largeurs des raies d'absorption en mesurant la température des atomes neutres du milieu absorbant. A cette fin, nous mesurons l'élargissement d'une raie choisie, émise par le milieu absorbant d'épaisseur L ; cette raie est auto-absorbée (largeur $\delta\sigma_{1/2}^{\text{aut}}$). Ensuite, nous éliminons l'effet de l'auto-absorption en mesurant le coefficient d'absorption A_L de cette raie, suivant la même épaisseur L du milieu absorbant. La température T_0 des atomes neutres est alors déterminée à l'aide de courbes théoriques :

$T_0 = f(\delta\sigma_{1/2}^{\text{aut}}; A_L)$. Nous avons, à l'aide de cette méthode, déterminé des températures qui varient, selon la nature du gaz, les valeurs des paramètres courant-pression de la décharge et le diamètre du tube, de $T_0 = 300 \text{ }^\circ\text{K}$ à $T_0 = 1.800 \text{ }^\circ\text{K}$ (gaz utilisés hélium et néon, courant I et pression p tels que $2 \leq I \leq 100 \text{ mA}$, $0,3 \leq p \leq 10 \text{ Torr}$ et diamètre de tube : $\varnothing = 15,8$ et $4,2 \text{ mm}$). Nous représentons sur la figure 1 les résultats obtenus avec l'hélium dans un tube à décharge de $4,2 \text{ mm}$ de diamètre.

Figure 1 - Variation de la température des atomes neutres de l'hélium en fonction du courant et pour différentes pressions de la décharge (température T_0 en °K, courant I en mA et pression p en Torr).

Nous avons constaté que, dans le cas des décharges d'hélium, la température des atomes neutres était indépendante de la pression dans le domaine $1 \leq p \leq 5$ Torr, quel que soit le diamètre du tube à décharge utilisé (15,8 et 4,2 mm).

La connaissance de l'élargissement à mi-hauteur des raies issues de la source de référence et de la température des atomes neutres de la décharge (donc de l'élargissement de la raie d'absorption) permet de déterminer le rapport α . Enfin, nous déduisons des mesures de α et du coefficient d'absorption A_L , les concentrations des atomes métastables.

Nous avons représenté les résultats obtenus sous forme de réseaux d'abaques : concentrations d'atomes métastables N^* en fonction du courant I et de la pression p , de façon à en donner une interprétation à partir de relations théoriques du type (1), appropriées à chacun des gaz (hélium ou néon) étudiés. Sur la figure 2, nous avons reporté les résultats obtenus avec l'hélium dans un tube à décharge de 4,2 mm de diamètre. Les courbes $N^* = f(p)$ à I constant passent par un maximum pour une pression p_m et p_m diminue lorsque I augmente.

Figure 2 - Variation des concentrations des atomes métastables 2^1S de l'hélium en fonction de la pression, à courant I constant (tube ϕ 4,2 mm, longueur du milieu absorbant $L = 5$ cm, concentration N^* en cm^{-3} , p en Torr et I en mA).

Ce résultat était prévisible puisque l'on peut déduire de la relation (1) :

$$p_m = \left(\frac{K_2}{K_3 + K_4 I} \right)^{1/2} \quad (2)$$

Aux faibles pressions, la diffusion des atomes métastables est le terme de perte prépondérant

$(K_2/p > (K_3 + K_4 I) p)$. Comme ce terme est connu, nous pouvons déterminer, à partir des réseaux d'abaques $N^* = f(p, I)$ et de relations du type

$N_M = K_1 I p / K_2$, le coefficient K_1 . Nous avons, de plus, mesuré à l'aide d'une cavité hyperfréquence la variation de la densité électronique n_e en fonction des paramètres I et p . La connaissance de K_1 et de n_e permet de déterminer le coefficient d'excitation $C^M(N_O n_e C^M = K_1 I)$ des atomes métastables par collisions électroniques. Nous trouvons :

1) Hélium - niveaux métastables 2^3S et 2^1S -

tube $\phi = 4,2$ mm, $p = 1$ Torr ($pR = 0,21$ Torr.cm,

$T_e = 7,5$ eV) : $C^{2^3S} = 3,5 \times 10^{-10} \text{ cm}^3 \text{ sec}^{-1}$ et

$$C_{2^1S} = 1,6 \times 10^{-10} \text{ cm}^3 \text{ sec}^{-1}.$$

2) Néon - niveaux métastables et pseudo-métastables

$3P_2$, $3P_1$ et $3P_0$ - tube $\varnothing = 4,2$ mm, $p = 0,3$ Torr

($pR = 0,06$ Torr.cm, $T_e \approx 9$ eV) :

$$C_{3P_2} = 3,5 \times 10^{-10} \text{ cm}^3 \text{ sec}^{-1},$$

$$C_{3P_1} = 3,6 \times 10^{-10} \text{ cm}^3 \text{ sec}^{-1} \text{ et}$$

$$C_{3P_0} = 8,3 \times 10^{-11} \text{ cm}^3 \text{ sec}^{-1}.$$

La variation de la pression des maximums p_m avec le courant de décharge nous a permis d'évaluer, dans le cas du tube de 4,2 mm de diamètre, le coefficient K_4 et par là, le coefficient de destruction C_M ($n_e C_M = K_4 I_p$) des atomes métastables par collisions électroniques. Nous trouvons :

$$1) \text{ Hélium : } C_{2^3S} = 1,8 \times 10^{-6} \text{ cm}^3 \text{ sec}^{-1} \text{ et}$$

$$C_{2^1S} = 3,4 \times 10^{-6} \text{ cm}^3 \text{ sec}^{-1}.$$

$$2) \text{ Néon : } C_{3P_2} = 3,1 \times 10^{-7} \text{ cm}^3 \text{ sec}^{-1}.$$

Ces coefficients d'excitation et de destruction par collisions électroniques sont déterminés avec une incertitude relative maximale de l'ordre de 60 % ; les valeurs trouvées sont en bon accord avec celles qui sont calculées dans [3], pour l'hélium et dans le cas d'une distribution maxwellienne des vitesses électroniques.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] A.G.G. MITCHELL et M.W. ZEMANSKY. Resonance radiation and excited atoms (1934).
[2] A. RICARD. Thèse d'état - Toulouse (1971).

- [3] H.W. DRAWIN. Rapport EUR-CEA-FC-383, révisé 1967. Association Euratom-CEA-Fontenay-aux-Roses (1966).