Détermination des densités électroniques par cavité hyperfréquence et du taux de destruction des atomes métastables du néon

J. Muzart, André Ricard, J.-M. Rocard

► To cite this version:

J. Muzart, André Ricard, J.-M. Rocard. Détermination des densités électroniques par cavité hyperfréquence et du taux de destruction des atomes métastables du néon. *Revue de Physique Appliquée*, 1971, 6 (2), pp.233-235. 10.1051/rphysap:0197100602023300 . jpa-00243533

HAL Id: jpa-00243533

<https://hal.science/jpa-00243533>

Submitted on 1 Jan 1971

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

« DÉTERMINATION DES DENSITÉS ÉLECTRONIQUES PAR CAVITÉ HYPERFRÉQUENCE ET DU TAUX DE DESTRUCTION DES ATOMES MÉTASTABLES DU NÉON »

J. MUZART, A. RICARD et J.-M. ROCARD

Laboratoire de Physique des Milieux Ionisés, Faculté des Sciences de Toulouse

Résumé. — Des mesures simultanées de n_e (cavité résonnante) et de $Ne^*(^3P_{0,2})$ (absorption optique) en fonction de la pression et du courant d'une décharge lumineuse de Néon ont permis la détermination du taux de destruction des atomes métastables par collisions électroniques : $\langle \sigma_{rx} v \rangle = 1,4 \times 10^{-7} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$.

Abstract. — Simultaneous measurements of n_e (cavity method) and $Ne^*(^3P_{0,2})$ (optical absorption) as a function of p and I (pressure and current in a Neon glow discharge) have led to the determination of the metastable destruction rate by electronic collisions : $\langle \sigma_{rx} v \rangle = 1.4 \times 10^{-7} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$.

Introduction. — Nous avons construit un appareillage qui nous a permis de déterminer simultanément les concentrations des électrons et des atomes métastables du Néon dans la colonne positive d'une décharge de ce gaz et d'en déduire le taux de destruction $\langle \sigma_{rx} v \rangle$ de ces métastables par collisions électroniques. Pour éviter que ce taux de destruction ne soit principalement dû aux impuretés présentes dans la décharge, certaines précautions ont été prises pour que le système à vide soit aussi propre que possible. Le dispositif expérimental concernant la décharge proprement dite est constitué des éléments suivants : un système à vide étuvable (vide limite 10^{-7} torr), le tube à décharge en quartz de 8 mm de diamètre et de 20 cm de longueur, une alimentation stabilisée en tension.

Les densités électroniques sont mesurées à l'aide d'une cavité cylindrique résonnant sur le mode TE_{011} ($f_0 = 9\,125$ MHz sans plasma) ; la fréquence du klystron peut varier linéairement en fonction du temps (grâce à un micromoteur synchrone qui déplace la vis de réglage du klystron) et les déterminations des écarts de fréquence Δf de résonance (de la cavité avec et sans plasma) sont effectuées à l'aide d'un enregistreur double voie permettant d'obtenir simultanément les courbes de résonance de la cavité et de l'ondemètre quand la fréquence du klystron varie.

Compte tenu de la théorie des petites perturbations [1], [2], la densité électronique n_e et la fréquence de collision électron-neutre ν_1 sont données par les relations suivantes :

$$(\text{cm}^{-3}) n_e = 3,6 \times 10^4 \Delta f \cdot \left(1 + \frac{\nu_1^2}{\omega^2}\right), \quad (1)$$

et

$$(\text{s}^{-1}) \nu_1 = \frac{\pi f_0^2 \Delta(1/Q)}{\Delta f} \quad (2)$$

où Q est le coefficient de surtension de la cavité. Le dispositif de mesure par absorption optique des atomes métastables a été décrit dans une étude antérieure [3].

Résultats. — 1. DENSITÉS ÉLECTRONIQUES. — Compte tenu des relations (1) et (2), nous pouvons déterminer la densité électronique et la fréquence de collision dans la colonne positive d'une décharge lumineuse de Néon. Nous avons vérifié que pour des pressions inférieures à 5 torrs, la fréquence de collision était négligeable devant la fréquence de l'onde ($\nu_1^2 \ll \omega^2$) ; par contre, pour $p = 10$ torrs, nous avons trouvé expérimentalement les valeurs suivantes :

I (mA)	5	10	20
ν_1 (rad/s)	$1,5 \times 10^{10}$	$1,9 \times 10^{10}$	$2,3 \times 10^{10}$

dans ce cas, nous avons tenu compte du facteur de correction $(1 + \nu_1^2/\omega^2)$ pour la détermination de la densité électronique.

Nous avons rassemblé sur la figure 1 les résultats concernant les densités électroniques déterminées, à

FIG. 1.

l'aide de la méthode de la cavité, dans un tube de 8 mm de diamètre (a) en fonction du courant de décharge à pression constante et (b) en fonction de la pression à courant de décharge constant. Nous pouvons constater sur cette figure que les variations de n_e sont linéaires en fonction du courant de décharge (Fig. 1a) et en fonction de la pression (Fig. 1b); nous pouvons donc admettre [voir aussi (4)] que, dans ces conditions, la densité électronique n_e peut s'exprimer par la relation : $n_e = CIp$ [3] où C , coefficient de proportionnalité qui dépend du diamètre du tube et de la nature du gaz de la décharge, vaut :

$$C = 1,7 \times 10^9 \text{ cm}^{-3} \text{ mA}^{-1} \text{ torr}^{-1} \text{ [Néon, } \varnothing 8 \text{ mm]}.$$

Dans un tube de diamètre 4,2 mm et dans les mêmes domaines de pression et de courant de décharge, l'un des auteurs [5] a montré que la linéarité en fonction de la pression n'était plus vérifiée; ce résultat confirme celui trouvé par D. Piganeau [6] pour d'autres gaz, dans un tube de diamètre voisin.

2. DENSITÉS DES ATOMES MÉTASTABLES. — Les concentrations des atomes métastables $Ne^*(^3P_{0,2})$ et pseudo-métastables $Ne^*(^3P_1 - ^1P_1)$ présents dans la décharge luminescente du Néon pur ont été déterminés par la méthode de l'absorption optique [3] en fonction des paramètres I et p de la décharge. Rappelons ici, qu'il est important d'effectuer ces mesures de densités de métastables dans un bâti aussi propre que possible [7] de façon à rendre négligeable la destruction des métastables par les impuretés (dégazage des parois...). Les résultats expérimentaux obtenus sont présentés sous la forme d'abaques $Ne^* = f(p)$ pour diverses valeurs du courant de décharge : sur la figure 2a pour le niveau

FIG. 2.

3P_2 et sur la figure 2b pour le niveau 3P_0 . Des résultats analogues ont été obtenus en ce qui concerne les niveaux 3P_1 et 1P_1 [5]. Il est facile de constater sur les figures 2a et 2b que les courbes $Ne^* = f(p)$ passent par un maximum pour une pression donnée p_m et que cette pression diminue quand le courant de décharge augmente. Cette évolution est prévisible à l'aide d'une théorie qui tient compte des processus de formation et de destruction des métastables par collisions ato-

miques et électroniques. En effet, en régime stationnaire, la concentration des atomes métastables est donnée par la relation :

$$Ne^* = \frac{N_0 n_e < \sigma^M v >}{\frac{D_M}{pA^2} + N_0 < \sigma_0 > \bar{v} + n_e < \sigma_{rx} v >} \quad (4)$$

où N_0 et n_e sont les concentrations d'atomes neutres et d'électrons respectivement, $< \sigma^M v >$ le coefficient d'excitation électronique des métastables, D_M est le coefficient de diffusion des métastables, A est la longueur caractéristique de diffusion, $< \sigma_0 >$ la section efficace de collision atomique neutre-métastable et $< \sigma_{rx} v >$ le taux de destruction des métastables par collisions électroniques.

La relation (4) peut s'écrire, compte tenu de la relation (3) donnant n_e en fonction du courant et de la pression, sous la forme :

$$Ne^* = \frac{K_1 I}{\frac{K_2}{p} + K_3 p + K_4 Ip}, \quad (5)$$

où les coefficients K_1, K_2, K_3, K_4 sont des constantes que nous pouvons relier aux termes de création [numérateur de la relation (4)] et de destruction (dénominateur) des métastables. Si nous dérivons la relation (5) par rapport à p (à I constant) et que nous annulons cette dérivée, nous obtenons pour la pression p_m :

$$p_m = \left(\frac{K_2}{K_3 + K_4 I} \right)^{1/2}. \quad (6)$$

Les coefficients K_2 et K_3 , pour les divers niveaux métastables peuvent être calculés à partir de données publiées dans la littérature [8]; on trouve, pour les niveaux 3P_0 et 3P_2 :

$$(\text{s}^{-1} \text{ Torr}) \quad K_2^0 = 5,4 \times 10^3; \quad K_2^2 = 5,4 \times 10^3;$$

$$(\text{s} \cdot \text{Torr})^{-1} \quad K_3^0 = 3,6 \times 10^2; \quad K_3^2 = 1,2 \times 10^2.$$

La détermination expérimentale de p_m (à I donné) permet alors d'évaluer le coefficient K_4 et, par conséquent, le taux de destruction des métastables $< \sigma_{rx} v >$ par collisions électroniques puisque :

$$K_4 Ip = n_e < \sigma_{rx} v >. \quad (7)$$

Remarquons que, si $K_4 Ip \gg K_3 p + K_2/p$, la densité des métastables doit tendre vers $K_1/K_4 p$ [cf. relation (5)], c'est-à-dire doit être indépendante du courant I ; c'est bien ce que nous observons sur les figures 2a et 2b dans le domaine des fortes pressions tant que $I \leq 10$ mA; par contre, pour $I > 10$ mA, toujours dans le domaine des fortes pressions, la décroissance de Ne^* dépend du courant de décharge, ce qui montre que les coefficients K_1 et K_4 ne peuvent plus être considérés comme constants; la variation de ces coefficients est étudiée par l'un des auteurs [9]. En conséquence, nous avons déterminé les coefficients K_4 dans

le domaine des courants $I \leq 10$ mA et nous avons trouvé :

$$K_4^0 = K_4^2 = (2,4 \pm 0,1) \times 10^2 \quad (\text{s.mA.torr})^{-1}.$$

En ce qui concerne les niveaux pseudo-métastables 3P_1 et 1P_1 , la pression p_m reste sensiblement constante dans le même domaine de courant, ce qui entraîne que les coefficients K_4 relatifs à ces niveaux sont négligeables.

Des relations (3) et (7), il est possible de tirer la valeur du taux de destruction des métastables 3P_0 et 3P_2 :

$$\begin{aligned} \langle \sigma_{rx} v \rangle_{^3P_0} &= \langle \sigma_{rx} v \rangle_{^3P_2} = \\ &= \frac{K_4}{C} = 1,4 \times 10^{-7} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}, \end{aligned}$$

valeur voisine de celle calculée par Delpech [4].

Conclusion. — Par la méthode de la cavité (résonnant sur le mode TE 011) et grâce aux techniques de mesures employées (enregistrement continu, contrôle de la température des parois, ...), nous avons pu déterminer avec précision (au moins, en valeurs relatives) la densité électronique dans la colonne positive (8 mm de diamètre) d'une décharge lumineuse de Néon et nous avons pu vérifier que cette densité n_e était proportionnelle au courant et à la pression de la décharge (Fig. 1a et 1b). Les déterminations simultanées de n_e et de la concentration des atomes métastables en fonction de la pression et du courant de la décharge nous ont permis d'évaluer le taux de destruction des atomes métastables (3P_0 , 3P_2) du Néon par collisions électroniques. Des études sont en cours pour étendre ces mesures à des décharges de diamètre inférieur (4,2 mm) à l'aide d'une cavité résonnant sur un mode différent (TM 020).

Bibliographie

- [1] PAPOULAR (R.), BALAZARD (J.), Application des ondes hyperfréquences et infrarouges à l'étude des plasmas, Dunod, 1965.
- [2] AGDUR (B.), ENANDER (B.), *J. Appl. Phys.*, 1962, **33**, 2-575.
- [3] RICARD (A.), *J. Physique*, 1969, **30**, 556.
- [4] DELPECH (J. F.), Thèse d'état, Orsay, 1968.
- [5] MUZART (J.), Thèse de 3^e cycle, Toulouse 1970.
- [6] PIGANEAU (D.), Thèse de 3^e cycle, Bordeaux, 1968.
- [7] RICARD (A.), ROCARD (J.-M.), LAUTIER-GOMES (A. M.), *C. R. Acad. Sci.*, 1968, **267**, 511.
- [8] PHELPS (A. V.), *Phys. Rev.*, 1959, **114**, 4-1011.
- [9] RICARD (A.), Thèse d'état (à paraître).