

THEORETICAL STUDY OF PRESSURE BROADENING OF POTASSIUM RESONANCE LINES BY HELIUM ATOMS

H. BOUTARFA¹, K. ALIOUA^{2,1} and F. BOUHADJAR¹

¹*Laboratoire de Physique des Rayonnements, Badji Mokhtar University, B.P. 12, 23000 Annaba, Algeria*

²*Souk-Ahras University Center, 41000 Souk-Ahras, Algeria*
E-mail: houta2000py@yahoo.fr

ABSTRACT: Pressure broadened line profiles of alkali-metal atoms are prominent in the spectra of brown dwarfs and may be a source of opacity in extrasolar giant planet atmospheres. Accurate calculations of these profiles are important in developing effective diagnostics of the temperatures, densities, albedos and composition of the atmospheres of these objects. Quantum mechanical calculations are performed of the absorption profiles of the potassium (4s-4p) resonance line under the influence of a helium perturbing gas. We use carefully constructed potential energy curves and transition dipole moments to compute the absorption coefficients at temperatures from 500 to 3000 K at wavelengths between 400 nm and 800 nm. Contributions from quasi-bound states are included. The resulting red and blue wing profiles agree well with previous theoretical calculations and with experimental measurements.

KEYWORDS: pressure broadening, resonance line, potassium, helium

MODELISATION ELECTROMAGNETIQUE EN 3D D'UNE TORCHE (TIA) POUR LE TRAITEMENT DE SURFACE

Nabil IKHLEF¹, Mohamed Rachid MEKIDECHE¹, Ammar TIBOUCHE¹ et Olivier LEROY²

¹Laboratoire d'Etudes et Modélisation en Electrotechnique, Université de Jijel, Algérie

²Laboratoire de Physique des Gaz et des Plasmas (LPGP), Université Paris Sud, France

E-mail: ikhlefnabil@yahoo.fr

RÉSUMÉ : Cet article décrit la modélisation numérique des phénomènes électromagnétiques (EM) au sein d'une torche à plasma à injection axiale (TIA) pour le traitement de surface. Ce type de plasma est obtenu à pression atmosphérique par une décharge micro-onde (2.45 GHz). A ce propos, nous avons présenté dans un premier lieu, la description mathématique du problème électromagnétique. Un modèle numérique basé sur la technique d'intégration finie tridimensionnel (3D) en coordonnées cartésiennes est utilisé. Quelques résultats de simulation sont présentés pour différentes grandeurs électromagnétiques et le transfert de puissance au sein de la structure.

MOTS-CLÉS : décharge micro-onde, torche (TIA) de traitement de surface, modélisation en trois dimensions, propagation des ondes

1. Equations de Maxwell

Les phénomènes de propagation électromagnétiques variables dans le temps et dans l'espace sont régis par les équations de Maxwell qui s'écrivent quelque soit le milieu considéré. Dans notre travail, on utilisé une technique des intégrales finies (FIT) pour résoudre les équations de Maxwell sous leur forme intégrale s'écrivent comme suit [1]:

$$\oint_{\partial V} \vec{D} \cdot d\vec{A} = \int_V \rho \cdot dV \quad (1)$$

$$\oint_{\partial A} \vec{E} \cdot d\vec{s} = - \int_A \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{A} \quad (2)$$

$$\oint_{\partial V} \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0 \quad (3)$$

$$\oint_{\partial A} \vec{H} \cdot d\vec{s} = \int_A \left(\frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{J} \right) \cdot d\vec{A} \quad (4)$$

Auxquelles on ajoute les lois du milieu et la loi d'Ohm :

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} \quad (5)$$

$$\vec{D} = \epsilon_0 \epsilon_r \vec{E} \quad (6)$$

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} + \vec{J}_s \quad (7)$$

\vec{B} : Induction magnétique [T],

\vec{H} : Champ magnétique [A/m],

ρ : Densité volumique de la charge électrique [C/m³],

\vec{D} : Déplacement électrique ou l'induction électrique [A.s/m²],

\vec{E} : Champ électrique [V/m],

μ : Perméabilité magnétique (dans le vide $\mu = \mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ [H/m]),

ε : Permittivité électrique (dans le vide $\varepsilon = \varepsilon_0 = 8.854410^{-12}$ [F/m]),

σ : Conductivité électrique

Une onde électromagnétique qui se propage parallèlement à un axe Oz est une onde progressive en coordonnées cartésiennes. Les champs, électrique et magnétique varient selon les deux équations :

$$\begin{aligned}\vec{E}(x, y, z) &= \vec{E}_0(x, y)e^{-\gamma z}e^{j\alpha x} \\ \vec{H}(x, y, z) &= \vec{H}_0(x, y)e^{-\gamma z}e^{j\alpha x}\end{aligned}\quad (8)$$

Où, $\gamma = \alpha + j\beta$ représente la constante de propagation d'onde, α étant le coefficient d'atténuation, $\beta = 2\pi/\lambda$ étant le nombre de d'onde du mode considéré λ et la longueur d'onde associée, qui permet de déterminer directement la vitesse de phase $V_\varphi = \omega/\beta$.

Il est commode de définir \vec{E}_0 par sa projection \vec{E}_T sur le plan xOy et par sa composante \vec{E}_z sur l'axe Oz de vecteur unitaire \vec{u}

$$\begin{aligned}\vec{E}_0 &= \vec{E}_T + E_z \vec{u} \\ \vec{H}_0 &= \vec{H}_T + H_z \vec{u}\end{aligned}\quad (9)$$

Cette onde électromagnétique obéit aux lois de Maxwell (1-4). Dans le cas où la composante $E_z = 0$. Elle est appelée onde TE (transverse électrique) ou onde H, et si l'onde pour laquelle $H_z = 0$. Elle est appelée onde TM (transverse magnétique) ou onde E.

La direction et l'intensité du flux moyen de puissance sont données par le vecteur de Poynting comme suit :

$$\vec{P} = \text{Re} \left[\frac{\vec{E} \times \vec{H}^*}{2} \right] \quad (10)$$

Où Re représente la partie réelle et l'astérisque indique le complexe conjugué.

2. Description d'une torche à plasma micro-onde (TIA)

Nous allons présenter ici une étude sur une structure similaire de la création du plasma (torche TIA conçue au laboratoire LPGP). Elle est composée de deux parties essentielles :

- Le tube de la décharge : dans lequel le plasma est créé.
- La structure d'excitation micro-onde de type surfa guide de 2.45GHZ de dimensions (en mm) 43×87 , adapté pour un mode fondamental TE₁₁ [2].

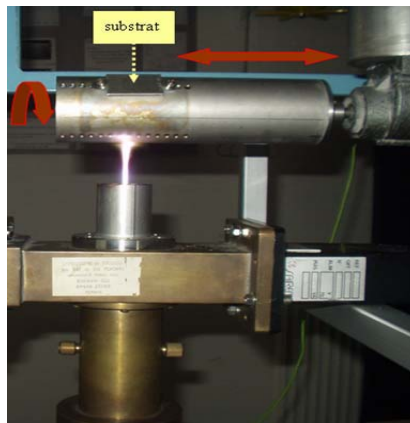


Figure 1 : Photographie de la torche (TIA) pour le traitement de surface

2. Résultats

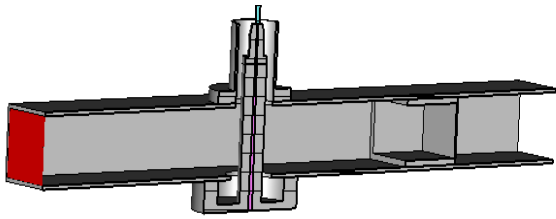


Figure 2 : Coupe verticale de la structure à modéliser en trois dimensions TIA

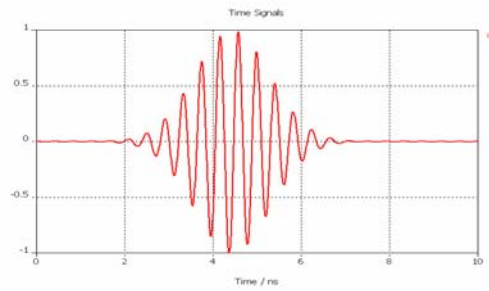


Figure 3 : Signal d'excitation injecté au sein de la structure via le port d'entrée

La figure 2 montre, une injection micro-onde à gauche (gaussienne, figure 3) et un court circuit ajustable (CC) à droite de la structure en présence de plasma [3]. Dans ce cas l'onde atteinte à nouveau le haut du coaxe après réflexion. Dans un premier temps, un modèle a été établi avec un court circuit de sa position initiale à 200 mm à droite du centre de guide d'onde. On constate sur la figure 4, l'évolution du signal récolté au niveau du port d'entrée est absolument nulle après un court temps.

L'onde électromagnétique est absorbée totalement par le plasma (pas d'onde réfléchi). Et l'énergie totale restante dans la structure est très basse (moins de -60Db, figure 5).

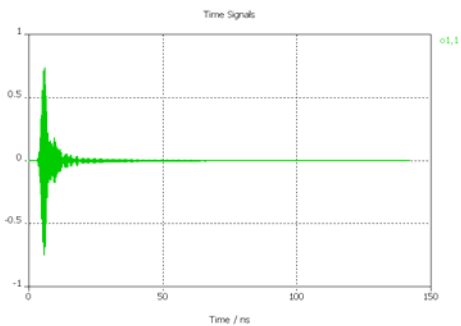


Figure 4 : Amortissement du signal récolté par le port d'entrée après propagation au sein de la structure avec plasma

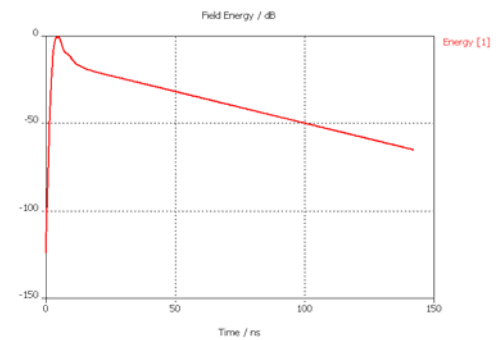


Figure 5 : Evolution au cours du temps de l'énergie totale restante au sein de la structure



Figure 6 : Coefficient de couplage en puissance C [%] sur une gamme de fréquence [2-3 GHz]

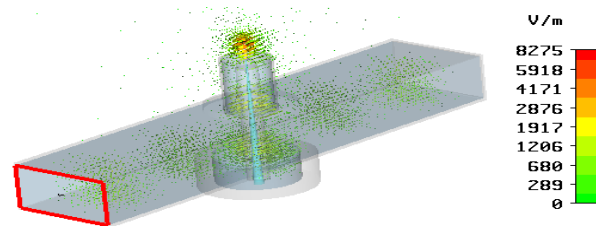


Figure 7: Répartition du champ électrique dans une torche TIA en présence du plasma autour de 2.45 GHz

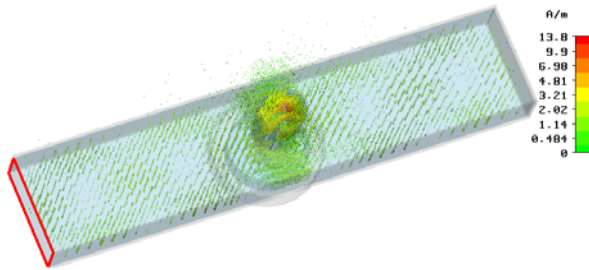


Figure 8 : Répartition du champ magnétique dans la structure en présence du plasma

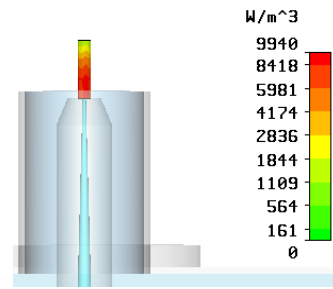


Figure 9 : Puissance absorbée par le plasma

Les figures (7-9) présentent, différentes répartitions des grandeurs électromagnétiques (champs électrique et magnétique et puissance absorbée) au sein de la structure en présence du plasma.

Sur la figure 9 qui représente la densité de puissance absorbée par le plasma montre, l'existence de deux régions différentes. Une région, concentration de la densité de puissance très importante à la sortie de la buse (le Dard), la seconde région, nettement plus réduite que la première se trouve localisé au dessous de la première jusqu'au bout (le Panache). Cette caractéristique des torches micro-ondes à injection axiale à pression atmosphérique. Elle a été déjà mise en évidence par d'autres auteurs [3] et [4]. Contrairement, le champ électrique est maximal au bout du plasma où la puissance dissipée est minimale à la sortie de la buse.

Références

- [1] T. Weiland, "A discretization method for the solution of Maxwell's equations for six-component fields," *Electronics and Communications AE "U*, **Vol. 31, No. 3**, 116–120, (1977).
- [2] JEONG J.Y., BABAYAN S.E., TU V.J., PARK J., HENINS I., HICKS R.F., SELWYN G.S. "Etching Materials with an atmospheric-pressure plasma jet". *Plasma Sources Sci. Technol.*, **vol 7**, pp. 282-285, (1998).
- [3] C. Tendero, "Torche plasma micro-onde à la pression atmosphérique : application au traitement de surfaces métalliques", Thèse de Doctorat, Université de Limoges, Faculté des Sciences et Techniques, France, (2005).
- [4] A. Ricard, L.st-Onge, H.Malvos, A.Gicquel, J.Hubert et M. Moisan, " Torche à plasma à excitation micro-onde : deux configurations complémentaires", *J.Phys. III*, **Vol. 5**, pp. 1269-1285, (1995).