

SPECTRE OPTIQUE DES IONS FORTEMENT CHARGÉS D'UN PLASMA Mg PRODUIT PAR LASER

El-Habib GUEDDA

Institut des Sciences et Technologie, Centre Universitaire d'El-Oued

E-mail : elh_guedda@yahoo.fr

RÉSUMÉ : Les méthodes spectroscopiques utilisées dans le diagnostic des plasmas donnent accès à plusieurs paramètres essentiels tels que la température et la densité. Vu la complexité des raies dans le spectre optique des plasmas, ces dernières sont rarement utilisées. Les données atomiques liées présentent aussi des désaccords entre les différentes bases des données existantes. Nous présentons le modèle mathématique et la méthode de simulation utilisée pour générer le spectre optique d'un plasma Mg produit par laser. Nous discutons la méthode basée sur l'algorithme génétique pour estimer la distribution des états de charge.

MOTS-CLÉS : spectroscopie de plasma, plasma produit par laser, données atomiques, spectre optique

1. Introduction

La spectroscopie des plasmas nous permet de déterminer plusieurs paramètres importants pour les plasmas tels que les températures et les densités ionique et électronique, la distribution des états de charge à partir de laquelle le transport des impuretés peut être déduit, ...etc. Les détails sur les méthodes spectroscopiques utilisées peuvent être trouvées aux références [1-5]. Dans les plasmas chauds produits par laser, les rayons x provenant des états simplement ou doublement excités sont utilisées pour les diagnostics où les transitions optiques sont rarement employées. Nous présentons le modèle utilisé pour extraire le spectre optique d'un plasma Mg produit par laser et les méthodes d'analyse.

2. Simulation du spectre optique

Nous avons procédé à une simulation du spectre optique en utilisant l'intensité de raie suivant :

$$I(\omega) = \sum_{k=1}^{Z_n} f_k \sum_{i,j \in k}^N g_j A_{ji} \Phi_{ji}(\omega, \omega_{ji} - \Delta_k) F_{ji} \quad (1)$$

où :

g_j est le poids statistique du niveau le plus haut.

A_{ji} est la probabilité de transition entre les deux niveaux i et j .

Φ_{ji} est le profil de raie.

F_{ji} est une fonction d'excitation.

f_k est une fraction ionique.

Δ_k est un déplacement de la raie.

La fonction d'excitation utilisée prend la forme :

$$F_{ji} = \frac{1}{g_i} \exp(-\Delta E_{ji} / kT) \quad (2)$$

où :

ΔE_{ji} représente la différence d'énergie entre les deux niveaux i et j .

T est la température du plasma.

Les données atomiques ont été générées à partir du programme FAC [6]. Ce dernier est basé sur une interaction de configuration relativiste. Les taux de transition radiative sont calculés dans une approximation multi pôle simple avec des rangs arbitraires.

3. Résultats et discussion

Les différentes raies issues des différents ions de la séquence isoélectronique du Mg ont été obtenues après avoir élaborer un programme de simulation suivant les équations (1) et (2) et on utilisant les données atomiques du programme FAC. Les figures (1-4) montrent quelques spectres des ions Mg dans la gamme optique. Nous avons obtenu tous les spectres des différents ions de Mg. Le spectre total du Mg peut être généré par la combinaison de tous ces spectres. Les indexations des pics sont très complexes car toutes les raies sont très proches. Les données atomiques concernant les positions des raies se différent aussi d'une référence à une autre.

3. 1. Indexation des raies

On procédera à une indexation des raies en se référant aux longueurs d'onde et intensités de la simulation par le code FAC et faisant une comparaison avec les raies existantes dans les bases des données atomiques. Notre simulation donne une raie de longueur d'onde $\lambda = 2296,56 \text{ \AA}$ pour le Mg héliumoïde cette raie peut être affectée à une transition $1s9d-1s8p$ de longueur d'onde $2308,67 \text{ \AA}$ d'après la référence [7]. D'une autre part la raie de longueur d'onde $2877,9 \text{ \AA}$ de Mg^{+1} peut désigner la transition $4s-3p$ de longueur d'onde $2928,63 \text{ \AA}$ d'après la référence [8]. Le Mg^{+2} présente une raie de longueur d'onde $2009,77 \text{ \AA}$ qui peut être affectée à une transition $3d-4f$ alors que la référence [9] donne pour cette transition une longueur d'onde $2008,77 \text{ \AA}$.

3. 2. Algorithme génétique

L'utilisation de l'algorithme génétique permet d'avoir un spectre final de simulation par optimisation avec le spectre expérimental.

Nous avons appliqué le programme PIKAIA [10] à une fonction d'ajustement (fitness) f tel que $f = 1/\chi^2$ et tel que :

$$\chi^2(C_1, C_2, \dots, C_j) = \sum_{i=1}^N \left[\frac{\sum_j C_j * I(j) - I_{exp}}{\sigma_i} \right] \quad (3)$$

Où les coefficients C_j représentent les fractions ioniques. Le spectre de simulation est désigné par I , le spectre expérimental est désigné par I_{exp} . σ_i est une fonction d'erreur.

La somme sur j portent sur les différents états d'ionisation du Mg et la somme sur i désigne tous les points du spectre.

Cette méthode a été appliquée avec succès pour un spectre expérimental similaire (voir figure 5) de l'Aluminium [11]. Ceci offre la possibilité d'estimer les différentes fractions ioniques présentes dans le plasma.

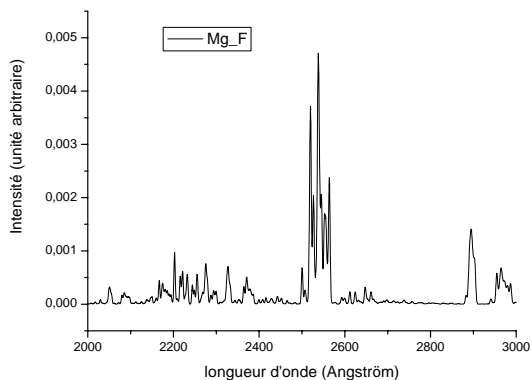


Figure 1 : Spectre de simulation du Mg^{+3}

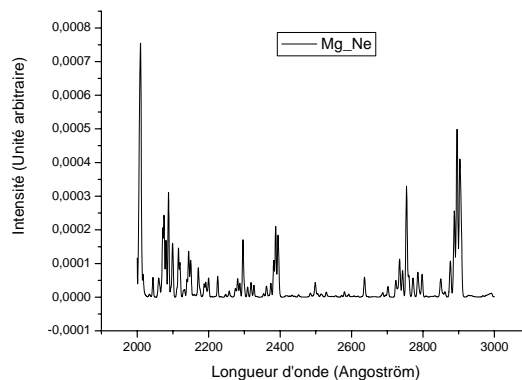


Figure 2 : Spectre de simulation du Mg^{+2}

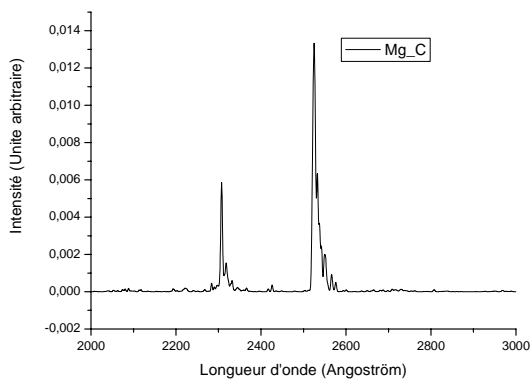


Figure 3 : Spectre de simulation du Mg^{+6}

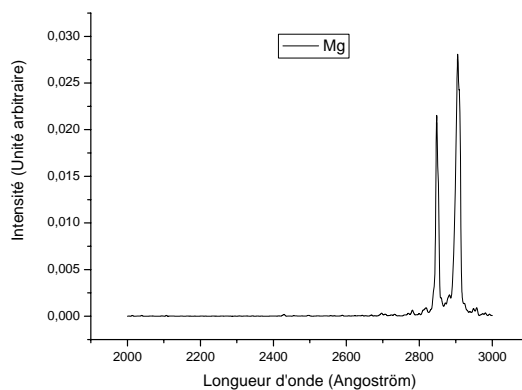


Figure 4 : Spectre de simulation du Mg

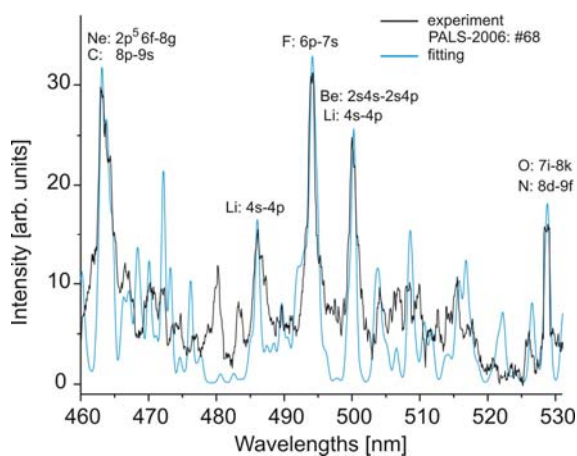


Figure 5 : Spectre expérimental (en noir) et le spectre de simulation (en bleu) d'un plasma d'Aluminium [11]

4. Conclusion

Nous avons pu générer par simulation les spectres du plasma Mg en utilisant les données atomiques du programme FAC. L'algorithme génétique nous a permis entre autre d'extraire les fractions ioniques. Nous disposons, ainsi, d'un programme très utile pour l'analyse et le diagnostic des plasmas dans des conditions très variées.

Références

- [1] H. R. Griem, *Plasma Spectroscopy*, McGraw-Hill Book Company, New York (1964).
- [2] V. A. Boiko et al., *J. Sov. Laser Research* **6**, 82 (1985).
- [3] H. R. Griem, *Phys. Fluids* **B 4**, 2346 (1992).
- [4] H. R. Griem, *Principles of Plasma Spectroscopy*, Cambridge University Press, New York (1997).
- [5] C. deMichelis and M. Mattioli, *Nuclear Fusion* **21**, 677 (1981).
- [6] M. F. Gu, FAC 1.0.7, <http://kipac-tree.stanford.edu/fac>
- [7] V. A. Boiko et al. , *Atomic spectroscopical constants M., Standarts*, 1-220, (1988).
- [8] A. R. Striganov et al. , *Tables of spectral lines for atoms and ions*, Moscow energoatomizdat (1982).
- [9] E. Andersson et al., *Phys. Scr.* **3**, 203-210 (1971).
- [10] P. Charbonneau, *Astrophys. J. Supp. Ser.*, **101**, 309-334(1995).
- [11] F. B. Rosmej, A. Delsérieys, E. H. Guedda, L. Godberg-Mouret, et al., *33rd EPS Conference on Plasma Phys. Rome, 19 - 23 June 2006 ECA* Vol.**30I**, P-5.034 (2006).