

L.M.D. SCIENCES DE LA MATIÈRE

OPTION : PHYSIQUE DES GAZ ET DES PLASMAS



Influence des cascades radiatives sur les intensités des raies d'émission des ions à deux électrons dans des plasmas chauds peu denses

Présenté par :

M^{lle} SADAoui Khadidja

Encadré par :

M. K. INAL

Plan de l'exposé

- **Introduction**
- **Absorption et émission de la lumière**
- **Processus atomiques décrivant l'évolution du plasma**
- **Modèles d'équilibre dans les plasmas**
- **Intensité d'une raie d'émission**
- **Cascades radiatives**
- **Conclusion**

Introduction

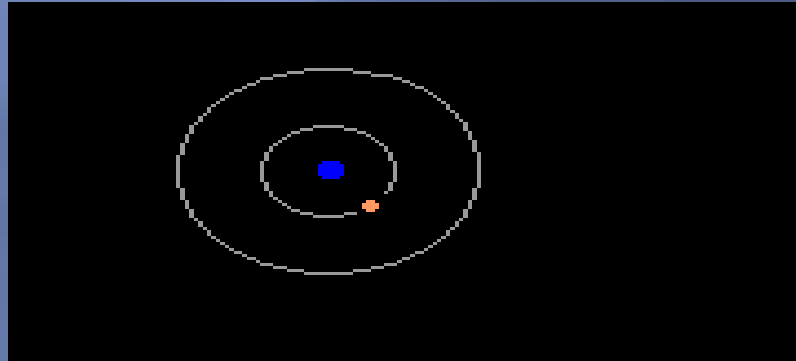
- Les raies associées aux transitions à partir des niveaux excités $1s2l$ vers le niveau fondamental $1s^2\ ^1S_0$ dans des ions hautement chargés à deux électrons (ions de la séquence isoélectronique de l'hélium) sont fréquemment observées dans les spectres d'émission X d'une large variété de plasmas chauds. Les quatre principales raies en émission (domaine des rayons X) de ces ions sont:

- ❖ **Raie interdite z** : c'est la raie due à la transition $1s2s\ ^3S_1 \rightarrow 1s^2\ ^1S_0$ qui est de type dipolaire magnétique relativiste. Elle est appelée raie interdite car elle correspond à une transition entre deux niveaux de même parité.
- ❖ **Raie interdite x** : la raie interdite désignée **x** est associée à la transition $1s2p\ ^3P_2 \rightarrow 1s^2\ ^1S_0$ qui est une transition quadrupolaire magnétique.

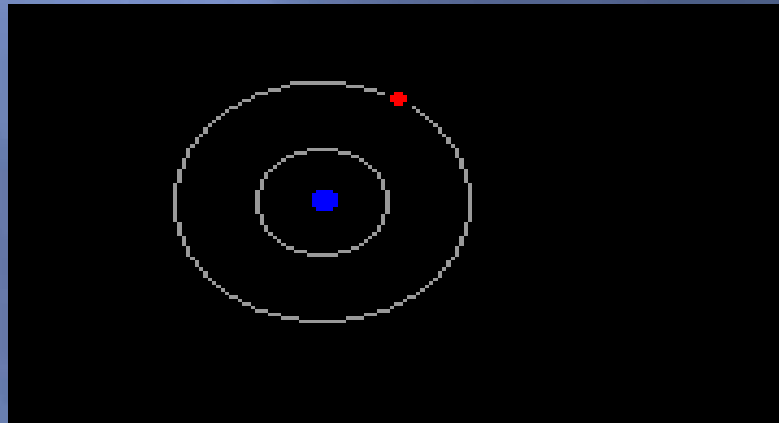
- ❖ **Raie d'intercombinaison γ** : la raie d'intercombinaison désignée γ correspond à la transition $1s2p\ ^3P_1 \rightarrow 1s^2\ ^1S_0$. Cette transition est de type dipolaire électrique en couplage intermédiaire grâce au mélange de son niveau supérieur $1s2p\ ^3P_1$ avec le niveau $1s2p\ ^1P_1$, qui est dû aux interactions de structure fine, notamment l'interaction spin-orbite.

- ❖ **Raie de résonance w** : la raie de résonance désignée w est émise par l'ion héliumoïde et correspond à la transition $1s2p \ ^1P_1 \rightarrow 1s^2 \ ^1S_0$ qui est de type dipolaire électrique.

- absorption

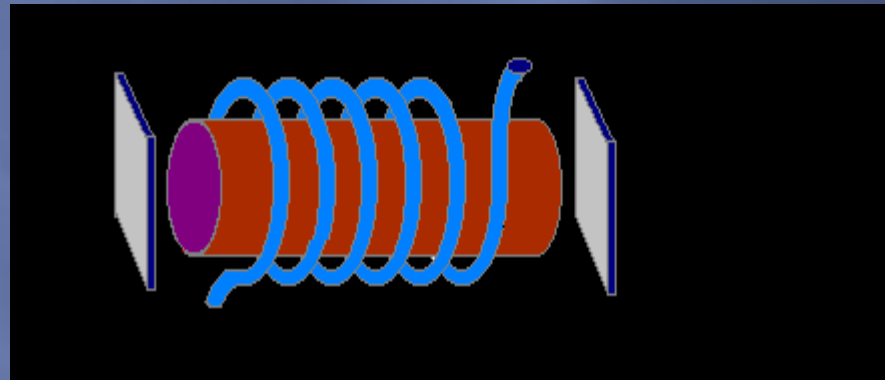


- Émission stimulée

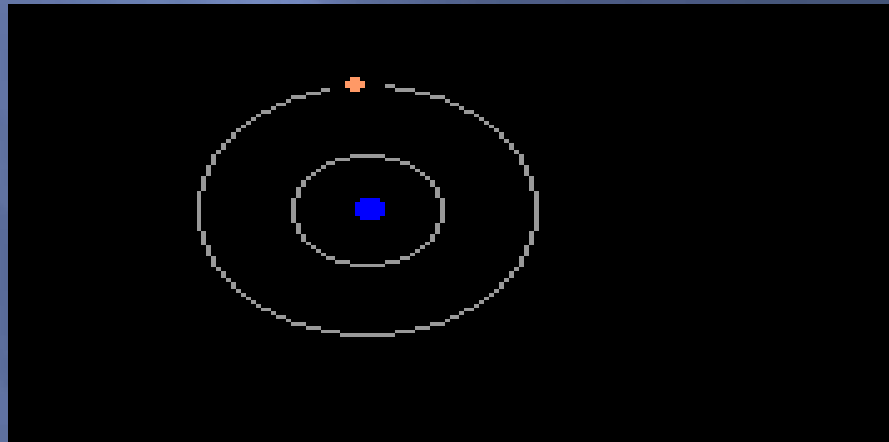


$$h\nu = E_m - E_n$$

- Les propriétés du photon induit sont remarquables : il est émis exactement dans la même direction que le photon incident et en phase avec lui .



- Émission spontanée



Processus atomiques décrivant l'évolution du plasma

- Cette partie énumère donc les différents processus intervenant dans le bilan détaillé peuplement/dépeuplement des niveaux. Si nous considérons un ion au sein d'un plasma, on peut supposer qu'il subira des interactions de nature diverse avec le milieu environnant.

Ces mécanismes responsables du changement d'état de l'ion, auront une origine collisionnelle et/ou radiative.

1. Processus collisionnels :

Les processus collisionnels rassemblent toutes les collisions, élastique ou non, entre ions et électrons ou même entre ions différents.

2. Processus radiatifs :

Les processus radiatifs les plus importants sont les suivants :

- Emission spontanée et photo excitation
- Emission stimulée
- Recombinaison radiative et photoionisation
- Recombinaison radiative stimulée

Modèles d'équilibre dans les plasmas

- E.T.C
- E.T.L
- M.C.R
- M.C

Équilibre thermodynamique complet (E.T.C):

- ❖ Le plasma peut atteindre un état d'équilibre thermodynamique complet en absence des gradients de température et de pression. On peut alors parler d'une température unique, le théorème de l'équipartition de l'énergie cinétique est vérifié. Il s'ajoute à cette condition un équilibre entre les phénomènes de création et de disparition comme l'ionisation et la recombinaison,

l'excitation et la désexcitation ou l'émission et l'absorption de photon. Autrement dit chaque processus est contrebalancé par son processus inverse donc tous les processus collisionnels et radiatifs sont micro-réversibles.

Equilibre thermodynamique local (E.T.L):

- ❖ Il présente des gradients de température et de concentration. Des phénomènes de transport de masse et d'énergie non réversibles ont lieu au sein de ces plasmas, et le rayonnement n'y est pas totalement réabsorbé. L'équilibre entre la matière et le rayonnement n'existe plus, c'est le champ électrique extérieur qui fournit l'énergie nécessaire au maintien du plasma. Localement, il y a alors micro-réversibilité

des processus dus aux collisions, le plasma est dit à l'état d'équilibre thermodynamique local.

Modèle collisionnel-radiatif (M.C.R)

- ❖ Il s'agit du modèle le plus général pour lequel le peuplement et le dépeuplement des niveaux est assuré par tous les processus collisionnels et radiatifs importants. On remarquera qu'à grande densité les processus collisionnels dominant et assurent la micro-réversibilité.

Alors, l'équilibre collisionnel radiatif tend vers
l'équilibre thermodynamique.

Modèle coronal (M.C):

- ❖ Le modèle coronal est un modèle simple dérivé de l'étude de la couronne solaire et applicable à certains plasmas stationnaires de densités faibles et de température électronique élevée.

Le modèle coronal décrivant l'état stationnaire d'un tel plasma se résume aux processus suivants :

ionisation par choc d'électrons, recombinaison radiative et diélectronique, excitation par choc d'électrons, désexcitation par émission spontanée.

Intensité d'une raie d'émission

- Dans le cas d'un milieu émetteur qui est optiquement mince, c'est-à-dire que tout photon émis quitte le milieu, l'intensité I_{ij} d'une raie émise par un ion lors d'une transition à partir d'un niveau i vers un niveau inférieur j s'exprime comme le produit :

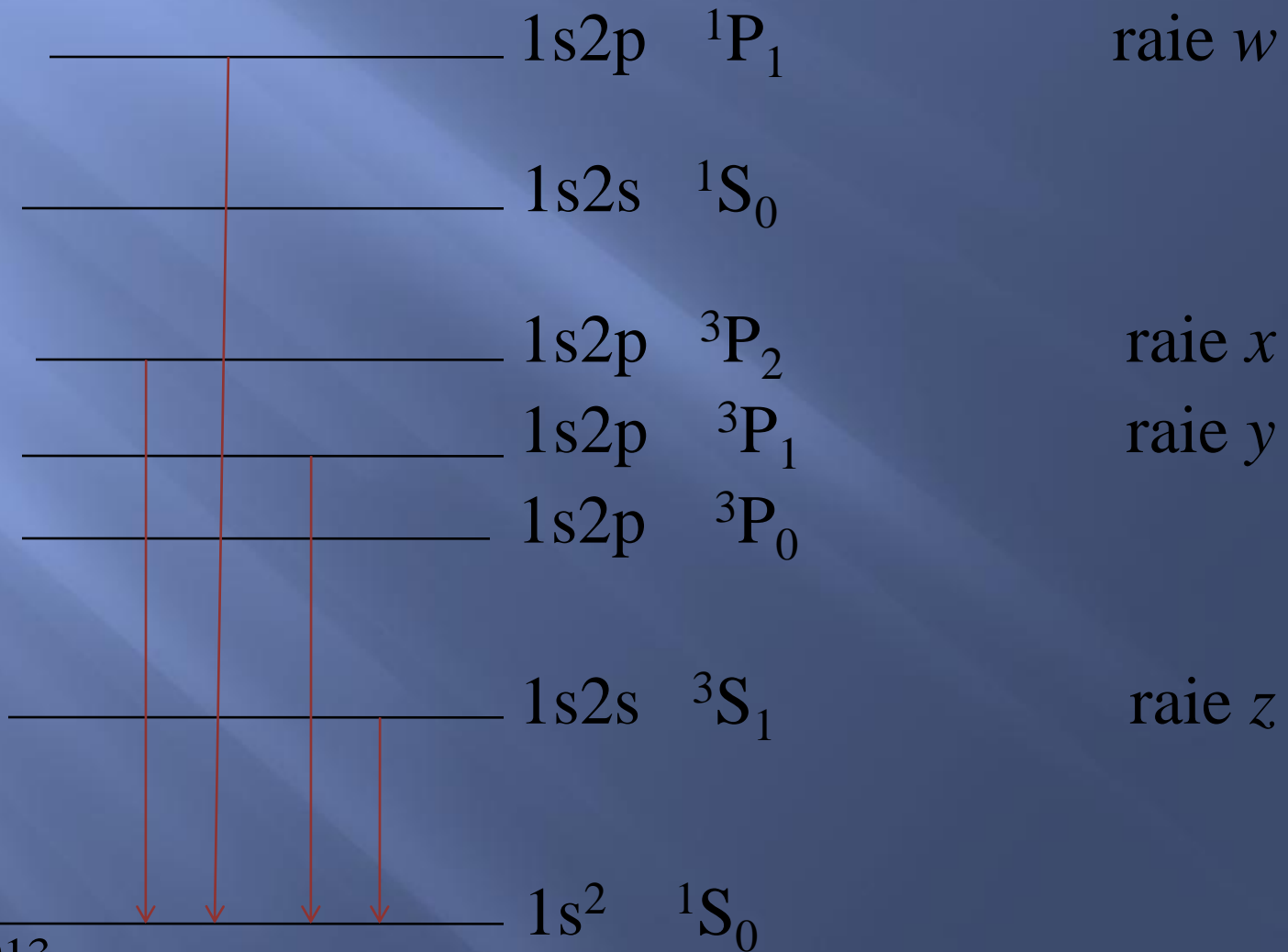
$$I_{ij} = N_i A_{ij} h\nu_{ij}$$

- Si on considère par exemple la raie z, on peut écrire son intensité sous la forme suivante :

$$I_z = N(2^3S_1) A(2^3S_1 \rightarrow 1^1S_0) h\nu_z$$

- Le calcul de l'intensité d'une raie nécessite la connaissance de la population de son niveau supérieur. Cette population ne peut être reliée aux paramètres du plasma contenant les ions émetteurs que par l'intermédiaire d'un modèle. Plusieurs modèles existent pour déterminer les populations des niveaux excités d'ions, et sont applicables selon le domaine de température et surtout de densité des électrons libres du plasma.

Cascades radiatives



- Un niveau excité peut être peuplé, outre par des excitations collisionnelles, par transitions radiatives spontanées à partir de niveaux d'énergies supérieures.
- Dans le cas qui nous intéresse, celui de plasmas de basses densités, les processus de désexcitation dus aux collisions sont négligeables et les processus d'excitation s'effectuent à partir seulement du niveau fondamental.

Figure 1 : rapport de l'intensité de la raie z en incluant et en ignorant la contribution des cascades radiatives en fonction de la température électronique entre 10^6 et 8×10^6 K.

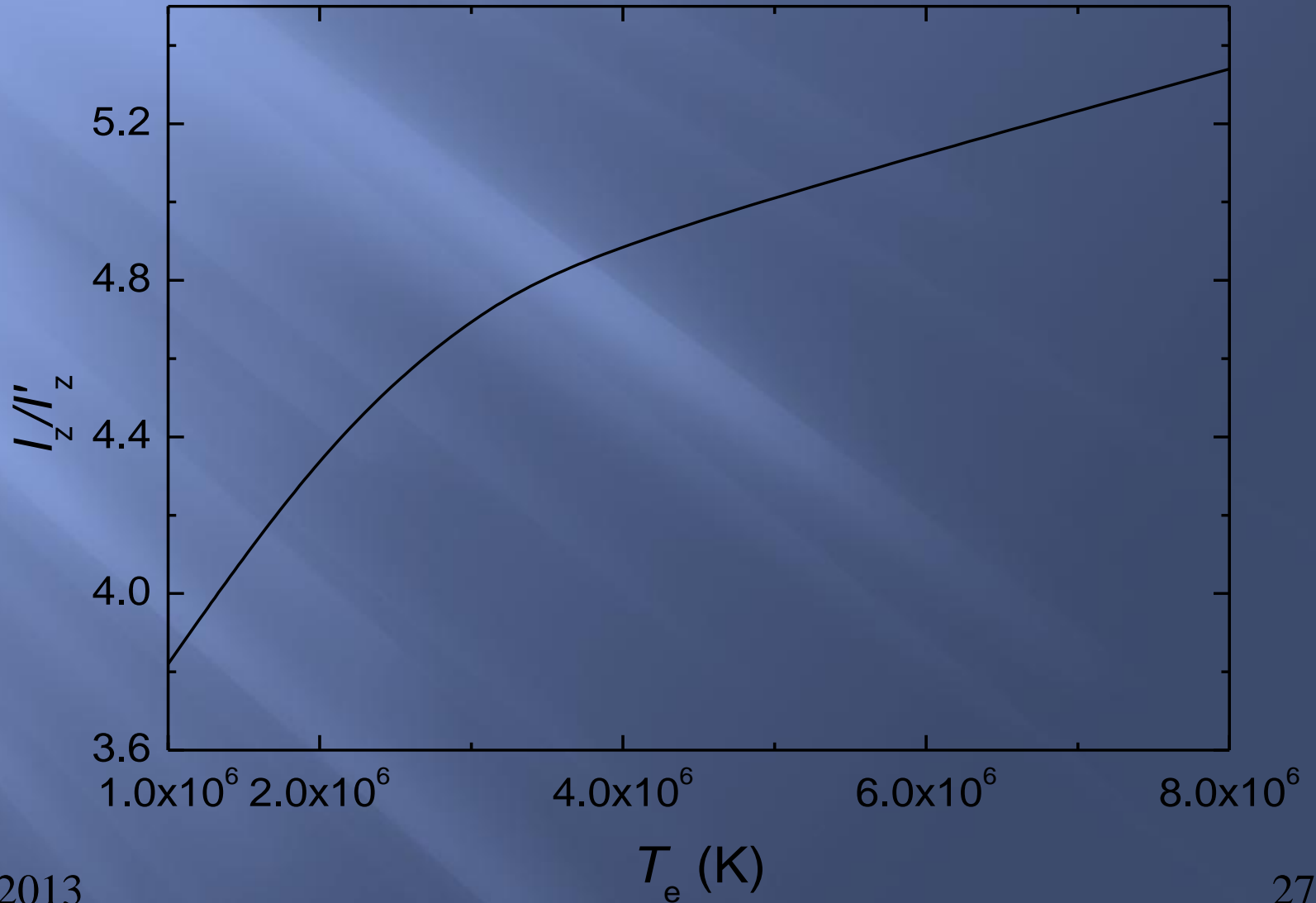


Figure 2 : rapport de l'intensité de la raie w en incluant et en ignorant la contribution des cascades radiatives en fonction de la température électronique entre 10^6 et 8×10^6 K.

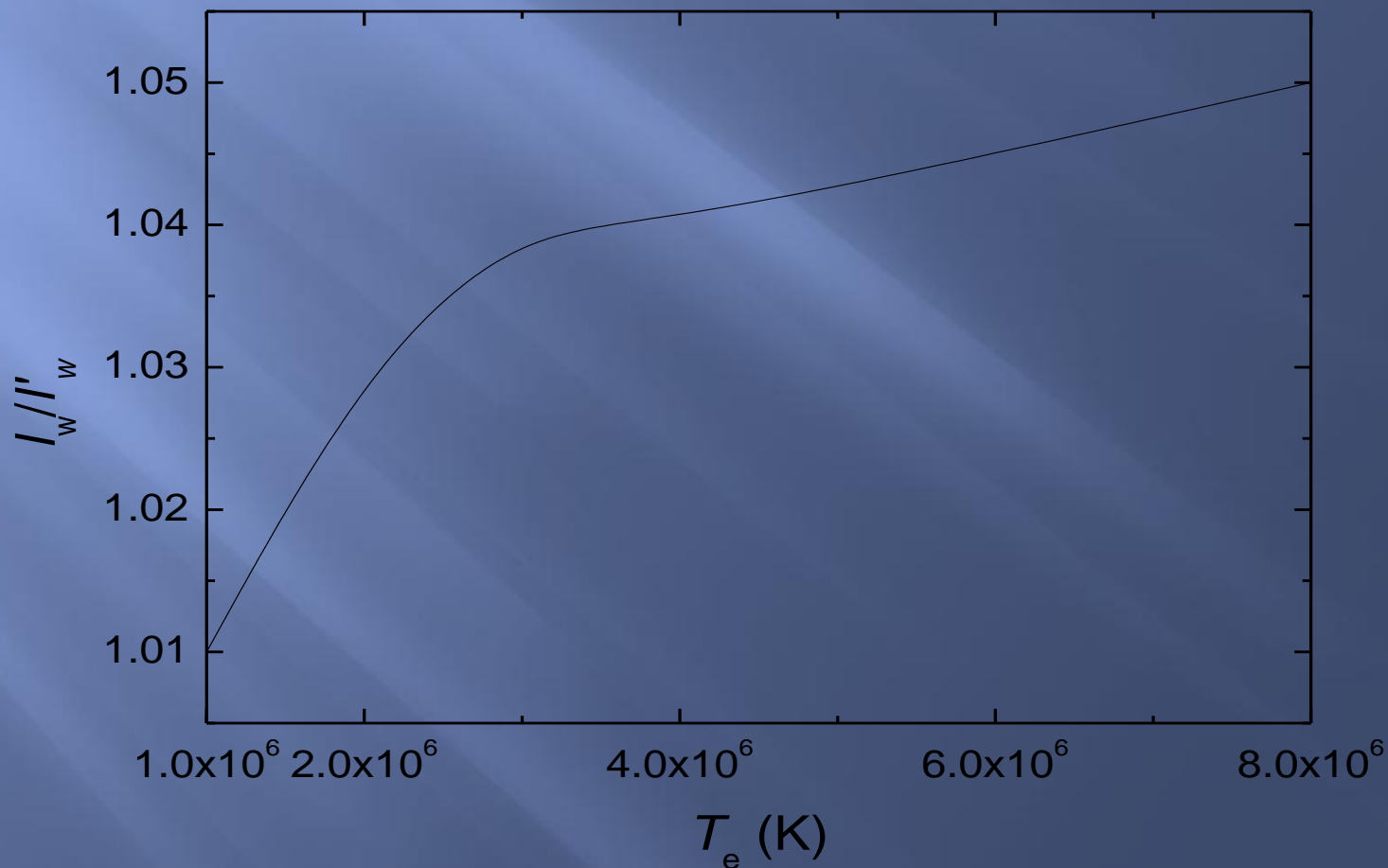
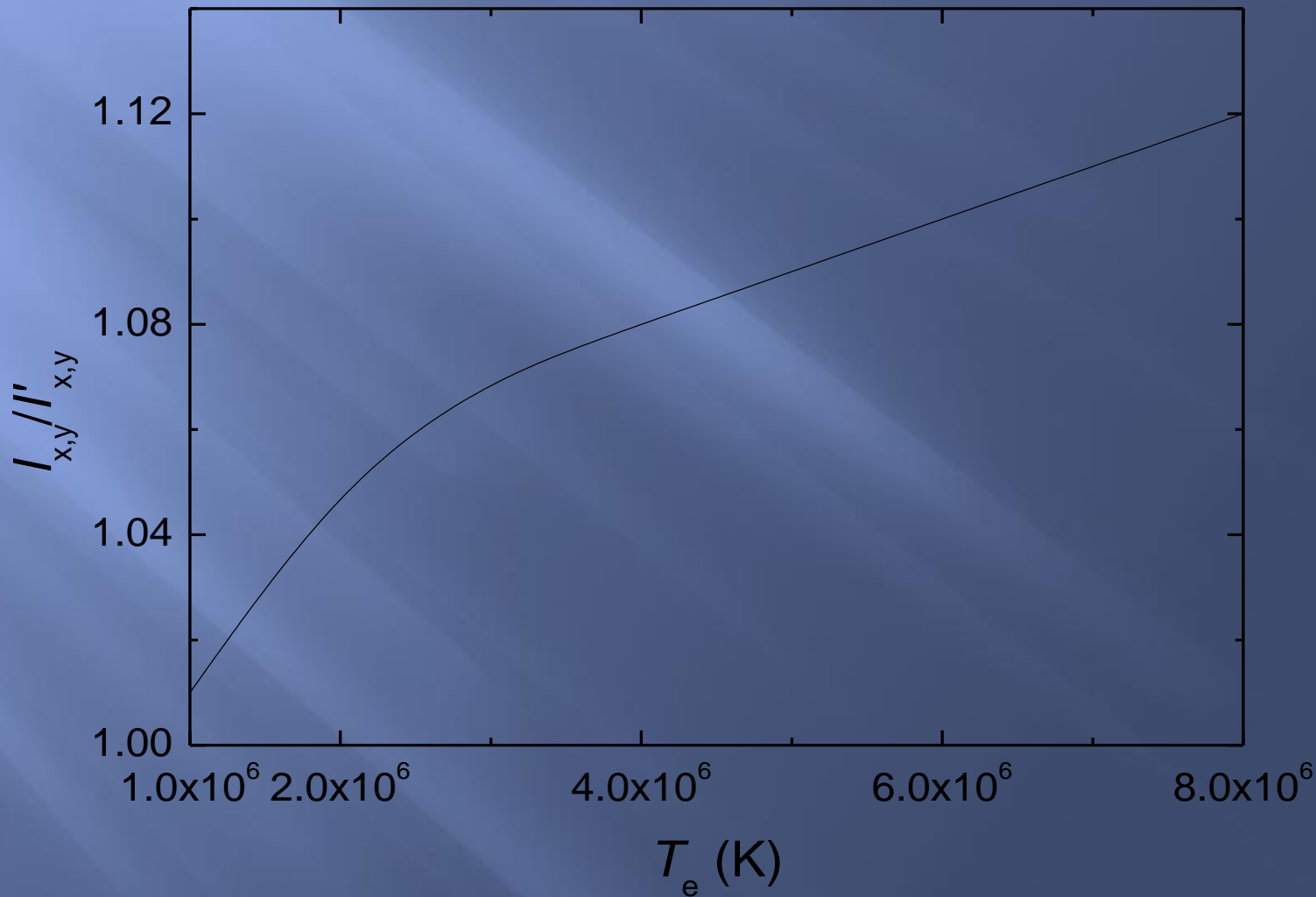


Figure 3 : rapport de l'intensité des raies (x,y) en incluant et en ignorant la contribution des cascades radiatives en fonction de la température électronique entre 10^6 et 8×10^6 K.



Conclusion

- Nous nous sommes intéressés, dans ce mémoire de Master, aux ions hautement chargés de la série iso-électronique de l'hélium (c'est-à-dire des ions ayant deux électrons), qui sont généralement parmi les plus abondants dans les plasmas chauds et ceci dans un large domaine de température du fait de leur structure électronique en couche fermée ($1s^2$)

Plus précisément, nous avons étudié le rôle joué par les cascades radiatives issues de niveaux supérieurs dans les intensités des trois raies w ($1s2p\ ^1P_1 \rightarrow 1s^2\ ^1S_0$), (x,y) ($1s2p\ ^3P_{2,1} \rightarrow 1s^2\ ^1S_0$), z ($1s2s\ ^3S_1 \rightarrow 1s^2\ ^1S_0$) émises par des ions héliumoides de néon Ne^{8+} .

- Raie z : les cascades radiatives font augmenter considérablement son intensité.
- Raies (x,y) : les cascades radiatives font augmenter leur intensité par moins de 12%.
- Raie w : les cascades radiatives sont négligeables.

A lit orange candle in a holder, surrounded by autumn leaves. The candle is lit, with a bright flame. The leaves are in various shades of green, yellow, and red. The background is black.

Merci pour votre attention