

IONISATION PENNING ET ASSOCIATIVE D'ATOMES A+
 PAR DES ATOMES MÉTASTABLES He (2¹S) et He (2³S)

A. PESNELLE, G. WATEL, C. MANUS

Service de Physique Atomique
 Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay
 BP N°2 - 91190 Gif-sur-Yvette
 (France)

Les sections efficaces d'ionisation Penning et associative ont été mesurées en fonction de la vitesse relative des particules, pour les systèmes He (2³S) + Ar et He (2¹S) + Ar, dans le domaine 0,03 - 0,40 eV (1200 - 4500 m/s).

Ces mesures sont effectuées dans une expérience de faisceaux croisés, (faisceau He²⁺ modulé, faisceau Ar continu) par la méthode de temps de vol. La composante He(2¹S) est, suivant les expériences, supprimée par pompage optique. Les ions Ar⁺ et He-Ar⁺ créés sont analysés en masse. Les ions et les atomes métastables sont détectés et comptés sur une unité de temps de vol. Leurs spectres de temps de vol sont exploités afin d'en extraire les diverses sections efficaces/1/.

Les rapports $\sigma_{IA} / \sigma_{IT}$ représentant le pourcentage d'ionisation associative, pour He (2³S) + Ar et He (2¹S) + Ar, sont représentés sur la figure 1. A la vitesse la plus faible mise en jeu dans l'expérience (1200 m/sec.) ils ne dépassent pas 20% et 40% respectivement. Dans le cas de He(2¹S), nos résultats sont en bon accord avec ceux de Chen et al. /2/. Le rapport $\sigma_{IT}(\text{He } 2^1\text{S}) / \sigma_{IT}(\text{He } 2^3\text{S})$ des sections efficaces d'ionisation totale $\sigma_{IT} = \sigma_{IA} + \sigma_{IP}$, est reproduit sur la figure 2. Il atteint des valeurs aussi élevées que 3,5 à 1300 m/s et décroît de façon monotone jusqu'à 0,5 à 4500 m/s. Ces valeurs sont en bon accord avec la valeur 2,2 donnée par Chen et al. /2/ à 65 meV (1850 m/s) et avec les très récents résultats de Illenberger et al. /3/. Les sections efficaces $\sigma_{IP}(v)$ et $\sigma_{IA}(v)$ sont tracées sur les figures 3 et 4. On observe une croissance monotone de $\sigma_{IP}(\text{He } 2^3\text{S})$ avec la vitesse dans tout le domaine étudié (1200-4500 m/s) alors que

σ_{IP} (He 2^1S) est presque constante pour $v > 2500$ m/s. Aucun résultat de mesure directe des sections efficaces d'ionisation Penning et associative en fonction de la vitesse n'est disponible dans la littérature; aucune comparaison ne peut donc être effectuée. Les sections efficaces d'ionisation totale $\sigma_{IT} = \sigma_{IA} + \sigma_{IP}$ sont représentées sur la figure 5. On observe un bon accord entre les pentes de la section efficace σ_{IT} (He 2^3S) obtenue dans l'expérience présente et de la section efficace de destruction des atomes He (2^3S) dans la postluminescence de décharges /4/.

Une interprétation théorique des sections efficaces $\sigma_{IA}(v)$ et $\sigma_{IP}(v)$ est effectuée pour le système He (2^3S) + Ar. Elle est fondée sur le modèle de Nakamura /5/, et ses hypothèses fondamentales sont : a) la collision satisfait les conditions d'application de l'approximation de Born-Oppenheimer, b) l'ionisation est considérée comme une transition de Franck-Condon entre les potentiels des voies He* + Ar et He + Ar⁺, c) la valeur de la fréquence de transition Γ est la conséquence du caractère résonant de l'état initial discret He* + Ar qui est noyé dans le continuum des états He + Ar⁺ + ϵ , d) l'état He* + Ar étant résonant, s'auto-ionise à la fin de sa durée de vie naturelle \hbar/Γ : la transition peut donc avoir lieu même si les deux particules sont au repos. La variation d'énergie cinétique n'est donc pas la cause de la transition : c'est l'hypothèse adiabatique. Deux électrons étant mis en jeu dans le processus, c'est l'interaction électrostatique entre ces deux électrons qui constitue la perturbation. Les calculs classique et semi-classique des sections efficaces $\sigma_{IT}(v)$, $\sigma_{IA}(v)$ et $\sigma_{IP}(v)$ conduisent à un bon accord entre sections efficaces théoriques et expérimentales (voir Figs. 4 et 5). Le potentiel de la voie d'entrée He(2^3S) + Ar choisi est celui d'Olson /6/. La forme exponentielle pour $\Gamma(R)$ semble la plus réaliste; $\Gamma(R)$ est choisi égal à $Ae^{-R/B}$. Les valeurs obtenues à partir de $\sigma_{IT}(v)$ sont $A = 4000$ u. a. et $B = 0,360$ u. a.

Des informations sur le potentiel $V^+(R)$ de la voie de sortie He+Ar⁺ sont déduites de $\sigma_{IA}(v)$ et $\sigma_{IP}(v)$. Les valeurs de $V^+(R)$ obtenues

décrivent l'intéressant domaine du puits de potentiel dont la profondeur est trouvée égale à 16,5 meV et le minimum situé à 5,8 u. a. (soit 10 Å) (voir figure 6). Ces valeurs sont en bon accord avec le puits de potentiel (18,3 meV - 5,7 u. a.) estimé à partir de la courbe de potentiel Ar + He⁺ obtenue par diffusion élastique différentielle /7/ et des valeurs relatives des polarisabilités α_{He} et α_{Ar} . Un bon accord est aussi observé avec le puits de potentiel (16,7 meV - 5,7 u. a.) estimé en additionnant l'interaction induite $-\alpha_{He}/2R^4$ au potentiel HeAr obtenu par diffusion élastique différentielle /8/.

REFERENCES

- /1/ A. PESNELLE, A. HOURDIN, G. WATEL and C. MANUS
J. Phys. B 6, L 326 (1973).
- /2/ A. PESNELLE, G. WATEL and C. MANUS
J. Chem. Phys. accepté pour publication.
- /2/ C.H. CHEN, H. HABERLAND and Y. LEE
J. Chem. Phys. 61, 3095 (1974).
- /3/ E. ILLENBERGER and A. NIEHAUS
Z. Physik B 20, 33 (1975).
- /4/ W. LINDINGER, A. L. SCHMELTEKOPF and F. C. FEHSENFELD
J. Chem. Phys. 61, 2890 (1974).
- /5/ H. NAKAMURA - J. Phys. Soc. Japan 31, 574 (1971).
- /6/ R. E. OLSON - Phys. Rev. A6, 1031 (1972).
- /7/ F. T. SMITH, R. P. MARCHI, W. A. ABERTH, D. C. LORENTS
and O. HEINZ - Phys. Rev. 161, 31 (1967).
- /8/ C. H. CHEN, P. E. SISKI and Y. T. LEE
J. Chem. Phys. 59, 601 (1973).

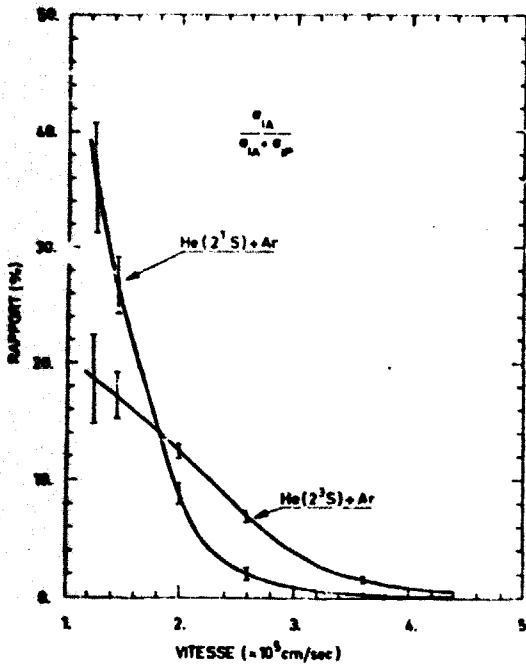


Figure 1

Rapport de la section efficace d'ionisation associative σ_{IA} à la section efficace d'ionisation totale σ_{IT} , pour He(2¹S) + Ar et He(2³S) + Ar.

— Courbe expérimentale (elle est composée d'environ 200 points; quelques barres d'erreur typiques sont données).

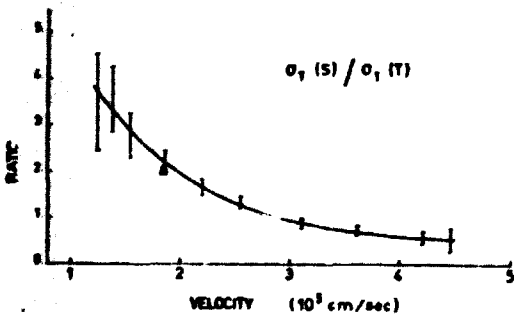


Figure 2

Rapport des sections efficaces totales $\sigma_{IT}(He(2^1S)) / \sigma_{IT}(He(2^3S))$

— Courbe expérimentale (comme sur la figure 1)

▲ point expérimental /2/.

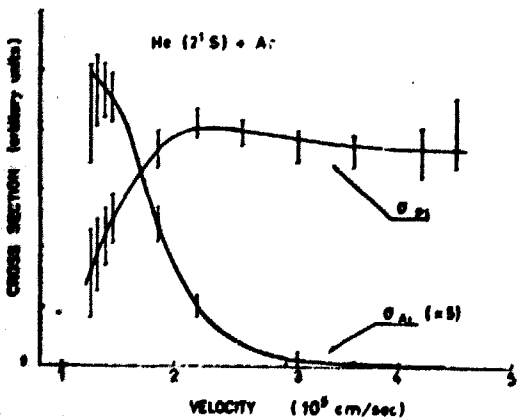


Figure 3

Sections efficaces d'ionisations Penning et associative pour He(2¹S) + Ar.

Courbe expérimentale (comme sur la figure 1).

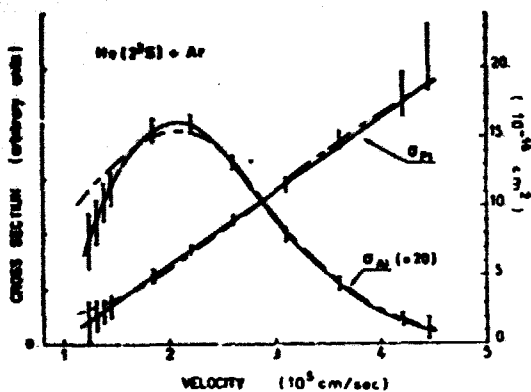


Figure 4

Sections efficaces d'ionisations Penning et associative pour He(2^3S) + Ar .

- Courbe expérimentale (comme sur la figure 1).
- - - Courbe théorique (Les résultats expérimentaux sont relatifs. Cependant une échelle de valeurs absolues, à droite de la figure, a été obtenue par les calculs théoriques.)

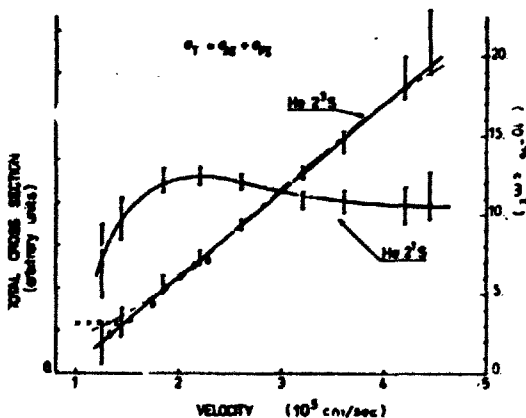


Figure 5

Sections efficaces d'ionisation totale pour He (2^1S)+Ar et He (2^3S) + Ar.

- Courbe expérimentale (comme sur la figure 1).
- ▲ points expérimentaux /4/.
- x points expérimentaux /9/.
- - - Courbe théorique (comme sur la figure 4).

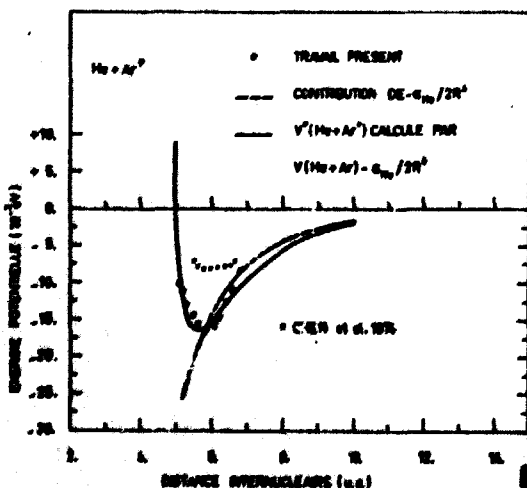


Figure 6

Potentiel d'interaction $V^+(He+Ar^+)$
 ... travail present; comparaison avec :

- $V^+(He+Ar^+)$ calculé avec $V(He+Ar) - \alpha He/2R^4$
- x x x $V^+(He+Ar^+)$ donné par Chen et al. /2/.