Etude spectroscopique de la collision d'échange de charge entre Ne 8+ et He

M. Druetta, M. Mayo, S. Bliman, S. Martin, D. Hitz, S. Dousson, J. Desesquelles

► To cite this version:

M. Druetta, M. Mayo, S. Bliman, S. Martin, D. Hitz, et al.. Etude spectroscopique de la collision d'échange de charge entre Ne 8+ et He. Journal de Physique Lettres, 1985, 46 (18), pp.869-873. 10.1051/jphyslet:019850046018086900 . jpa-00232911

HAL Id: jpa-00232911

<https://hal.science/jpa-00232911>

Submitted on 1 Jan 1985

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.

Classification

Physics Abstracts

52.20H — 32.30J

Etude spectroscopique de la collision d'échange de charge entre Ne^{8+} et He

M. Druetta, M. Mayo (*), S. Bliman (*), S. Martin, D. Hitz (*), S. Dousson (*) and J. Desesquelles

Laboratoire de Spectrométrie Ionique et Moléculaire (U.A. 171),
Université de Lyon I, Campus de la Doua, 69622 Villeurbanne, France

(Reçu le 20 mai 1985, révisé et accepté le 24 juillet 1985)

Résumé. — L'étude spectroscopique dans le domaine 150-900 Å de la collision d'échange de charge entre Ne^{8+} et He a été réalisée aux énergies de 48-64-80 keV. Les sections efficaces d'émission des transitions observées ont été mesurées. Les sections efficaces absolues d'excitation des niveaux $n = 4$, ainsi que la section totale d'échange d'un électron ont été déduites.

Abstract. — The charge exchange collision between Ne^{8+} and He has been studied by VUV spectroscopy. Emission cross sections of the observed transition have been measured. Absolute excitation cross sections and the total single electron capture cross section have been deduced.

L'étude des collisions d'échange de charge d'ions multi-chargés de basse énergie ($v < v_0$) revêt une importance croissante dans les problèmes d'astrophysique et de physique des plasmas. Les ions se trouvent portés dans des états excités; la capture se faisant préférentiellement sur une orbite dont le nombre quantique principal varie en fonction de la charge de l'ion incident q et du potentiel d'ionisation de l'atome cible. Dans cette lettre nous montrerons que l'observation de la collision $\text{Ne}^{8+} + \text{He} \rightarrow \text{Ne}^{7+}(nl) + \text{He}^+$ à des vitesses $0,2 v_0 < v < 0,5 v_0$ donne accès à la valeur dominante de n ainsi qu'à la distribution de capture sur les sous-états nl .

Le faisceau d'ions Ne^{8+} , d'intensité 0,6 μA , d'énergie 2 q -10 q keV où ici $q = 8$, est extrait de la source E.C.R. du Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble [1]. Les ions sont triés par un double sélecteur magnétique. Le faisceau est pulsé, le rapport cyclique étant en général choisi égal à 1/2, avec des impulsions de durée 50 ms.

Les ions multichargés interagissent avec une cible gazeuse d'hélium dans une enceinte d'expérience dont la pression, $P < 10^{-4}$ mbar, est maintenue constante. Un pompage énergétique assure à l'extérieur de l'enceinte une pression de l'ordre de 10^{-6} mbar. Un diaphragme de 8 mm de diamètre limite la section du faisceau. Après passage dans la cible, le faisceau est recueilli dans une cage de Faraday. Ce courant est intégré de façon que chaque mesure soit normalisée à un même nombre d'ions incidents.

La lumière émise pendant l'interaction est analysée, dans une direction faisant 25° avec la

(*) AGRIPPA, CENG SIG, Grenoble, France.

direction du faisceau d'ions, à l'aide d'un spectromètre à incidence rasante (82°) équipé d'un réseau 300 traits/mm blazé à 572 Å. La détection des photons est réalisée par un channeltron.

Le spectre a été observé dans la région spectrale 150-800 Å. Une portion du spectre obtenu est montrée sur la figure 1. Les raies les plus intenses appartiennent au spectre de Ne VIII obtenu par la capture d'un électron :

Les transitions présentes dans le domaine spectral observé sont du type 31-41' vues dans les 1^{er} et 2^e ordres, ainsi que la transition de résonance $2s^2 \text{S}-2p^2 \text{P}^0$ à 770-780 Å. Une raie moins intense à 633 Å est aussi enregistrée ; elle correspond aux transitions 4f-5g et 4d-5f, montrant ainsi que les niveaux $n = 5$ sont aussi peuplés, mais plus faiblement que les niveaux $n = 4$. La raie à 465 Å appartient au spectre de Ne VII. Il s'agit de la transition $2s^2 \text{S}-2s 2p \text{P}^0$. L'ion Ne^{6+} peut être obtenu soit par capture simultanée de 2 électrons, soit par un processus de double collision. La variation de l'intensité avec la pression de la raie à 465 Å (Fig. 2) montre en fait que c'est un mélange de ces deux processus qui est observé. En effet, l'étude de l'intensité de cette transition montre aux basses pressions de cible une variation quasi-linéaire, à laquelle se superpose une variation quadratique bien mise en évidence aux plus fortes pressions. Une telle variation a été observée pour des transitions de N^{3+} obtenues à partir de N^{5+} , mais avec l'hydrogène moléculaire comme gaz cible [2].

L'efficacité de détection en fonction de la longueur d'onde de l'ensemble spectromètre-détecteur a été déterminée en valeur relative dans le domaine spectral 150-1 000 Å et dans les 1^{er}, 2^e et 3^e ordres par la méthode du rapport de branchement de transitions issues d'un même niveau supérieur [11].

Les sections efficaces d'émission des transitions observées ont été mesurées de façon absolue. L'étalonnage est fait avec la transition $1s^2 \text{S}^1-1s 2p^1 \text{P}^0$ à 584 Å de He I obtenue par la collision $\text{He}^+ + \text{H}_2 \rightarrow \text{He} + \text{H}_2^+$. Cette méthode a été décrite dans un précédent article [3]. Ces mesures ont été réalisées à trois énergies : 48-64-80 keV, et les résultats sont reportés sur le tableau I. L'erreur peut être évaluée à 30 %.

Fig. 1. — Spectre partiel obtenu durant la collision $\text{Ne}^{8+} + \text{He} \rightarrow \text{Ne}^{7+*} + \text{He}^+$.

[Part of the Ne VIII spectrum obtained during the charge exchange collision $\text{Ne}^{8+} + \text{He} \rightarrow \text{Ne}^{7+*} + \text{He}^+$.]

Fig. 2. — Variation avec la pression de l'intensité de la transition λ 465 Å $2s^2\ ^1S$ - $2s\ 2p\ ^1P^0$ de Ne VII.
[Intensity variation with pressure of the Ne VII $2s^2\ ^1S$ - $2s\ 2p\ ^1P^0$ λ 465 Å.]

Tableau I. — Sections efficaces d'émission σ_{em} des transitions observées lors de la collision $\text{Ne}^{8+} + \text{He}$.

[Emission cross sections of the lines observed during the $\text{Ne}^{8+} + \text{He}$ collision.]

λ (Å)	Identification	$\sigma_{\text{émission}} (10^{-16} \text{ cm}^2)$		
		80 keV	64 keV	48 keV
260	$3s\ ^2S$ - $4p\ ^2P^0$ Ne VIII	0,84	1,1	1,1
282	$3p\ ^2P^0$ - $4d\ ^2D$	0,95	0,82	0,58
292	$3d\ ^2D$ - $4f\ ^2F^0$	4,3	4,0	4,3
299	$3p\ ^2P^0$ - $4s\ ^2S$	1,7	1,5	1,7
634	4-5	0,34	0,52	0,29
770	$2s\ ^2S_{1/2}$ - $2p\ ^2P^0_{3/2}$	4,9	4,7	3,5
780	$2s\ ^2S_{1/2}$ - $2p\ ^2P^0_{1/2}$	2,8	2,5	2,0
465	$2s^2\ ^1S$ - $2s\ 2p\ ^1P^0$ Ne VII	0,43	0,67	0,63

Erreur $\sim 30\ \%$.

La section efficace d'excitation des niveaux $n = 4$ est alors déduite de la section efficace d'émission en utilisant les probabilités de transitions calculées par Lindgard et Nielsen [4] dans la formule :

$$\sigma_{4l} = \sigma_{em}(4\ l \rightarrow 3\ l') \frac{\sum_{n'l'} A_{4l \rightarrow n'l'}}{A_{4l \rightarrow 3l'}}.$$

Nous avons négligé dans ce calcul la population des niveaux $n = 5$ qui est faible. Les valeurs obtenues (Tableau II) sont un peu plus grandes que celles obtenues par Bonnet *et al.* [5] en spectroscopie.

Cette différence peut s'expliquer par différents calibrages absolus. Il faut remarquer toutefois la différence sensible de la population relative du niveau 4p. La faible variation de la section

Tableau II. — *Sections efficaces d'excitation $\sigma_{\text{ex}}(nl)$ des niveaux $n = 4$ (10^{-16} cm^2) de Ne VIII.*
[Excitation cross sections of the $n = 4$ levels of Ne VIII.]

$E \text{ keV}$	σ_{4s}	σ_{4p}	σ_{4d}	σ_{4f}
80	4,2 (3)	4,0 (2)	4,0 (3)	4,3
64	3,7	5,5	3,5	4,0
48	4,2 (4)	5,5 (1,9)	2,5 (1,9)	4,3

Erreur $\sim 30 \%$.
Valeurs entre parenthèses Réf. [5].

efficace en fonction des moments angulaires de capture est remarquable. De même la variation avec la vitesse n'est pas significative dans le domaine limité de vitesse (0,3-0,5 au).
Ce résultat diffère de ceux obtenus pour des collisions faisant intervenir d'autres ions [12] et des distributions prévues par différents modèles [13] où la variation en fonction des moments angulaires de capture est plus prononcée. Les calculs récents de Harel [14] sont en bon accord avec nos résultats expérimentaux.
Des mesures des sections efficaces d'émission des transitions 2s-2p à 770-780 Å, nous pouvons déduire une évaluation des sections efficaces d'excitation des niveaux 3s et 3d. En effet, la section efficace d'émission de cette transition peut s'écrire en tenant compte des cascades venant des niveaux $n = 3$ et 4 (le niveau $n = 5$ étant toujours négligé par simplification) :

$$\sigma_{\text{em}}(2s-2p) = \sigma_{\text{ex}}(3s) + \sigma_{\text{ex}}(3d) + \frac{18}{30} \sigma_{\text{ex}}(4s) + \frac{10.5}{50} \sigma_{\text{ex}}(4p) + \frac{91}{119} \sigma_{\text{ex}}(4d) + \sigma_{\text{ex}}(4f).$$

Nous n'avons pas tenu compte de l'excitation directe du niveau 2p et du peuplement par autoionisation sur ce même niveau. Il est possible de tirer de cette relation $\sigma_{\text{ex}}(3s) + \sigma_{\text{ex}}(3d)$ mais cette valeur sera entachée d'une grande incertitude compte tenu des barres d'erreurs sur les sections efficaces d'excitation des niveaux $n = 4$ et sur la section efficace d'émission de la transition 2s-2p. Aux trois énergies de nos mesures la solution de l'équation précédente est négative, ce qui permet de supposer que les sections efficaces d'excitation des niveaux $n = 3$ sont faibles vis à vis de celles des niveaux $n = 4$. Par conséquence il en est de même de l'excitation directe et du peuplement par autoionisation du niveau 2p.

Tableau III. — *Section efficace totale $\sum \sigma_{nl}$ de la collision $\text{Ne}^{8+} + \text{He} \rightarrow \text{Ne}^{7+*} + \text{He}^+$.*
[Total one electron cross section.]

Cette expérience	$\sum_l \sigma_{nl}$ Autres résultats			$\sigma_{q \rightarrow q-1}$		
16,5 $\pm$ 5	18 $\pm$ 6	1,8 keV	Réf. [10]	28,0 $\pm$ 5,6	12 keV	Réf. [6]
(48-64-80 keV)	10 $\pm$ 4	48-64-80 keV	Réf. [5]	30,6 $\pm$ 6,1	16,1 keV	Réf. [6]
	20 $\pm$ 4	12 keV	Réf. [8]	33,9 $\pm$ 6,8	18,2 keV	Réf. [6]
	26,0	Calcul 12 keV	Réf. [9]	20 $\pm$ 4	4 keV	Réf. [8]
				16,5 $\pm$ 4	4 keV	Réf. [8]
				26	12 keV	Réf. [7]

Ces considérations (faibles sections efficaces d'excitation des niveaux $n = 3$ et 5) permettent de dire que la capture se fait sélectivement sur les niveaux $n = 4$. Ce résultat est en accord avec les mesures de Iwai *et al.* [6], Tawara *et al.* [7], Justiniano *et al.* [8], Bonnet *et al.* [5], Schmeissner *et al.* [10] et par les calculs sur le modèle Landau-Zener de Kimura *et al.* [9].

La section efficace totale d'excitation peut alors être évaluée à partir de la relation :

$$\sum_l \sigma_{nl} = \sum_l \sigma_{\text{ex}}(nl).$$

Compte tenu de la barre d'erreur et des faibles valeurs des sections efficaces d'excitation des niveaux $n = 3$ et 5 , ce résultat peut être obtenu simplement à partir des sections efficaces d'excitation des niveaux $n = 4$. La valeur reste constante quelle que soit notre énergie. Ce résultat est en très bon accord avec les mesures de Justiniano *et al.* [8] réalisées à plus basse énergie. L'accord est moins bon avec les autres résultats (Tableau III), il faut toutefois tenir compte de l'importante barre d'erreur.

Bibliographie

- [1] GELLER, R. et JACQOT, B., *Nucl. Instrum. Meth.* **184** (1981) 293.
- [2] COTTE, P. H., DRUETTA, M., MARTIN, S., DENIS, A., DESESQUELLES, J., HITZ, D. et DOUSSON, S., *Nucl. Instrum. Meth.*, sous presse.
- [3] DRUETTA, M., MAYO, M., COTTE, P. H., MARTIN, S., DOUSSON, S., HITZ, D. et TRAN CONG, K., *Phys. Lett. A* **108** (1985) 338.
- [4] LINDGARD, A. et NIELSEN, S. E., *At. Data Nucl. Data Tables* **19** (1977) 549.
- [5] BONNET, J. J., FLEURY, A., BONNEFOY, M., POLITIS, M. F., CHASSEVENT, M., BLIMAN, S., DOUSSON, S. et HITZ, D., *J. Phys. B* **18** (1985) L23.
- [6] IWAI, T., KANETTO, Y., KIMURA, M., KOBAYASHI, N., OHTANI, S., OKUNO, K., TAKAGI, S., TAWARA, H., et TSURUBUCHI, S., *Phys. Rev. A* **26** (1982) 105.
- [7] TAWARA, H., IWAI, T., KANEKO, Y., KIMURA, M., KOBAYASHI, N., MATSUMOTO, A., OHTANI, S., OKUNO, K., TAKAGI, S. et TSURUBUCHI, S., *Phys. Rev. A* **29** (1984) 1529.
- [8] JUSTINIANO, E., COCKE, C. L., GRAY, T. J., DUBOIS, R., CAN, C. et WAGGONER, W., *Phys. Rev. A* **29** (1984) 1088.
- [9] KIMURA, M., IWAI, T., KANEKO, Y., KOBAYASHI, N., MATSUMOTO, A., OHTANI, S., OKUNO, K., TAKAGI, S., TAWARA, H. et TSURUBUCHI, S., *J. Phys. Soc. Jpn* **53** (1984) 2224.
- [10] SCHMEISSNER, C., COCKE, C. L., MANN, R. et MEYERHOF, Q., *Phys. Rev. A* **30** (1984) 1661.
- [11] COTTE, P. H., Thèse de 3^e cycle, Lyon 1985.
- [12] DIJKAM, D., Thèse Utrecht 1985.
- [13] JANEV, R. K. et WINTER, H., *Phys. Rep.* **117** (1985) 265.
- [14] HAREL, C., Communication privée.