



Annales Sup TANA

Vol. M2, No. 1, Avril 2025, pp. 1-3



Examen du second semestre

Pays : Sénégal

Établissement : Université Iba Der Thiam de Thiès

UFR/Département : UFR Sciences et Technologies/Département Physique Chimie

Auteur (s) : Ibrahima Sakho

Niveau, filière : Master 2, Physique Chimie et Applications (MPCA)

Année académique : 2023-2024

Matière, semestres : Photoionisation é physique des plasmas, semestre 4

Email: ibrahima.sakho@univ-thies.sn

Wathsap: 78 786 47 72

Résumé de l'article

Concepts clés de l'épreuve :

– défaut quantique – d'excitation Auger – énergie de résonance – méthodes *ab initio* de photoionisation – méthodes semi-empiriques de photoionisation – opacité des étoiles – photoionisation résonante – photoionisation directe – section efficace de photoionisation – Shake off rayonnement synchrotron – séries de Rydberg.

Compétences évaluées

- Expliquer l'opacité des étoiles ;
- Décrire les différents processus de photoionisation ;
- Justifier les notations spectroscopiques des états dans une série de Rydberg ;
- Déterminer les énergies de résonance à partir la variation typique de la section efficace de photoionisation ;
- Calculer les énergies de résonance et défaut quantique semi-empiriques d'une série de Rydberg

Durée de l'épreuve : 2h30

Ce document, publié par le CAFTANA, est mis gratuitement au service de la communauté universitaire

Exercice 1. (05 points)

On considère un plasma astrophysique contenant entre autre d'ions oxygène contribuant à l'opacité des étoiles.

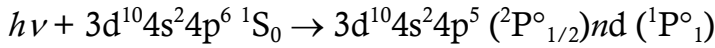
- 1.1. Par quel processus les ions oxygène contribuent-ils à l'opacité des étoiles. (1 pt)
- 1.2. En considérant le cas particulier de l'ion O^{3+} , illustrer à l'aide d'un schéma :
 - 1.2.1. Le processus de photoionisation directe. (1 pt)
 - 1.2.2. Le processus de photoionisation résonante. (1 pt)
 - 1.2.3. Le phénomène du Shake off. (1 pt)
 - 1.2.4. Le phénomène de la d'excitation Auger. (1 pt)

Exercice 2. (05 points)

On considère l'atome de rubidium Rb ($Z = 37$) observé le spectre des étoiles géantes dans la branche asymptotique (en anglais, *asymptotic giant branch* ou AGB. L'AGB est une région du diagramme de Hertzsprung-Russell occupée par des étoiles de masse faible à moyenne (de 0,6 à 10 masses solaires). Toutes les étoiles de ce type passent par cette période vers la fin de leur vie.

2.1. Écrire la configuration électronique du Rb. (0,5 pt)

2.2. On considère la photoexcitation de l'ion rubidium R I dont la configuration de l'état fondamental peut se mettre sous la forme : $3d^{10}4s^24p^6\ ^1S_0$. Expérimentalement, l'absorption d'un photon dans la gamme d'énergie 27 – 28,25 eV provoque la transition de Rydberg :



Justifier théoriquement les notations spectroscopiques ($^2P^{\circ}_{1/2}$) et ($^1P^{\circ}_1$) dans la série de Rydberg $3d^{10}4s^24p^5\ (^2P^{\circ}_{1/2})nd\ (^1P^{\circ}_1)$. (2 pts)

2.3. La figure 1 (voir page 3) montre les variations théoriques et expérimentales de la section efficace de photoionisation en fonction de l'énergie des photons absorbés. En exploitant le spectre de photoionisation indiqué sur cette figure :

2.3.1. Déterminer la valeur de l'énergie limite de la série observée. (0,25 pt)

2.3.2. Déterminer les différentes valeurs théoriques (DARC) des énergies de résonance de l'ion Rb^+ . Reproduire puis compléter le tableau 1 ci-dessous. (2,25 pts)

Tableau 1: Energie de résonance expérimentale (E_{DLP}) et théorique (E_{DARC}) de la série de Rydberg $4s^24p^5\ (^2P^{\circ}_{1/2})\ nd\ ^1P^{\circ}_1$ de l'ion Rb^+ convergeant vers le seuil Rb^{2+} ($3d^{10}4s^24p^5\ ^2P^{\circ}_{1/2}$).

n	8	9	10	11	12	13	14	15	16
E_{DLP} (eV)	27,30	27,50	27,63	27,74	27,82	27,89	27,95	-	-
E_{DARC} (eV)									

Exercice 3. (10 points)

On désire dans cette exercice, comparer les énergies de résonance mesurées et calculées de la série de Rydberg $4s^24p^5\ (^2P^{\circ}_{1/2})\ nd\ ^1P^{\circ}_1$ de l'ion Rb^+ considéré dans l'exercice 2, aux prédictions la méthode de la constante d'écran par unité de charge nucléaire (CEUCN). Dans le cadre de ce formalisme, l'énergie de resonance est donnée par l'expression (en Ryd):

$$E_n = E_{\infty} - \frac{Z^2}{n^2} \left\{ 1 - \frac{f_1(^1P^{\circ}_1)}{Z(n-1)} - \frac{f_2(^1P^{\circ}_1)}{Z} - \frac{f_1(^1P^{\circ}_1) \times (n-\mu)}{Z^2(n-\mu+2s+1)^2} \right\}^2.$$

Donnée: 1 Ryd = 13,60569 eV.

Les énergies de résonance et défauts quantiques mesurées par la technique du dual laser plasma (DPL) concernant la série de Rydberg $4s^24p^5\ (^2P^{\circ}_{1/2})\ nd\ ^1P^{\circ}_1$ de l'ion Rb I sont listées dans le tableau 2 ci-dessous (McLaughlin and Babb. 2019. MNRAS **486**, 245–250).

3.1. Déterminer le signe du défaut quantique δ . (2 pts)

3.2. Déterminer l'incertitude Δf_i en se référant à la figure 1. (2 pts)

3.3. Reproduire puis compléter le tableau 2. (6 pts)

Tableau 2. Energies de résonance E_n et défauts quantiques δ de la transition de Rydberg $4s^2 4p (^3P_2), 4p \rightarrow nd$ dans l'ion Rb^+ .

Énergie de résonance E_n (eV)				Défaut quantique δ		
Théorie				Théorie		
expérience				expérience		
n	CEUCN	DARC	DPL	CEUCN	DARC	DPL
8			27,30		0,24	0,20
9			27,50		0,33	0,21
10			27,63		0,32	0,26
11			27,74		0,32	0,17
12			27,82		0,32	0,09
13			27,89		0,32	− 0,16
14			27,95		0,32	− 0,64
15					0,32	
16					0,32	
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
...	...					
∞	28,204	28,204	28,204			

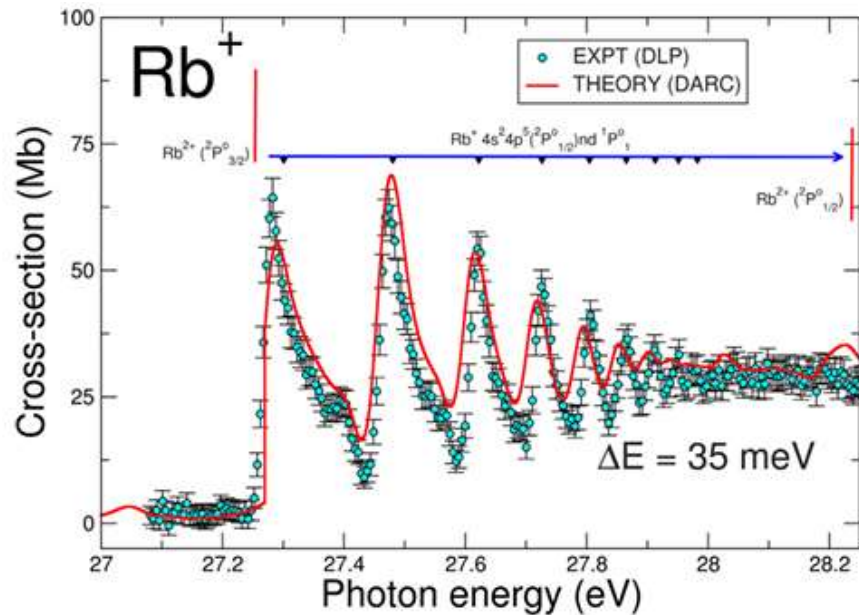


Figure 1. Variations théoriques (Dirac Atomic R-matrix Code) et expérimentales (dual laser plasma – DPL –) de la section efficace de photoionisation en fonction de l'énergie des photons absorbés par l'ion Rb^+ dans la bande d'énergie 27 – 28,25 eV (McLaughlin and Babb. 2019. MNRAS **486**, 245–250). La flèche en bleu indique la variation du nombre quantique principal n de 8 à 16.