UNIVERSITE PAUL SABATIER TOULOUSE III

EMPCH1M1
SCIENCES PHYSIQUES ET CHIMIQUES FONDAMENTALES
EM8PCEA2E1

Année 2015/2016

EXAMEN DE PHYSIQUE ATOMIQUE ET SUBATOMIQUE

LUNDI 18 avril 2016 - Durée 1h30

TOUT DOCUMENT ET APPAREIL ELECTRONIQUE INTERDIT

PARTIE A – ATOME A PLUSIEURS ELECTRONS : LE CALCIUM (Z=20)

1) Faire le diagramme de Klechkowski pour le calcium et donner sa configuration électronique dans l'état fondamental et dans son premier état excité.

2) Seuls les électrons externes seront considérés. Définir le couplage LS et donner le terme spectroscopique associé aux deux électrons externes du Calcium dans la configuration fondamentale.

3) Le couplage LS modifie-t-il la position du niveau d'énergie des électrons externes ? Justifier.

4) L'énergie de première ionisation du calcium est de 6.113 eV ; dans un modèle d'écrantage quelle charge effective est vue par les électrons *s* de la couche externe ? quelle est la constante d'écran associée ?

5) Quelle est alors l'énergie approximative de la configuration fondamentale si l'on suppose que les deux électrons 1*s* ne s'écrantent pas l'un l'autre ?

6) Sachant que la charge effective vue par l'électron externe *s* du calcium est d'environs de 2,68 et que la constante d'écran d'un électron *ns* sur un électron *nd* est de 0,35, quelle est l'énergie de la première configuration excitée ?

7) Quelle est alors la longueur d'onde en *nm* que doit absorber l'atome de calcium dans sa configuration excitée pour être ionisé. Est-ce de l'UV ou de l'infrarouge ?

8) Ecrire pour la première configuration excitée du Calcium les 4 termes spectroscopiques associés en couplage *LS*.

9) Le hamiltonien du couplage LS s'écrit H = A* L_{tot} . S_{tot}. Ecrire l'expression de $\langle L_{tot},S_{tot}, J_{tot}|H_{LS}| L_{tot},S_{tot}, J_{tot}\rangle$ et faire le schéma de niveau du calcium en couplage *LS*. Y-a-t-il levée de dégénérescence (justifier) ? A combien d'états quantiques $|J\ m_j\rangle$ cela correspond-t-il ?

PARTIE B – LE CALCIUM EXITE DANS UN CHAMP MAGNETIQUE

On considère un atome de calcium excité dans la configuration $[Ar]4s4p$ plongé dans un champ magnétique $\boldsymbol{B} = B_0\,\mathbf{e_z}$. Le Hamiltonien Zeeman s'écrit $H_z = -kB_0(L_z + 2S_z)$

1) Sachant qu'il y a obligatoirement un électron dans la $4s$ et un dans la $4p$, combien y-a-t-il de sous-configurations possibles en tenant compte des projections de spin et de moment angulaire des deux électrons ?

2) Ecrire les états $\{|S_{tot}, m_s\ L_{tot}, m_l>\}$ associés. Est-ce compatible avec la question précédente ?

3) On applique le champ magnétique, justifier brièvement la forme du hamiltonien Zeeman. A quoi correspond le facteur 2 devant S_z ?

4) Le Hamiltonien Zeeman est-il diagonale dans la base $\{|S_{tot}, m_s\ L_{tot}, m_l>\}$? Justifier en donnant l'expression littérale des éléments de matrice associés, puis calculer le déplacement énergétique de chaque niveau $\{|S_{tot}, m_s\ L_{tot}, m_l>\}$ sous l'effet du champ magnétique.

5) Faire un schéma de niveau montrant l'écart énergétique entre les états Zeeman et l'état fondamental de la configuration $[Ar]4s4p$. Pour chaque niveau préciser la dégénérescence.

6) Les états propres de l'hamiltonien spin-orbit $|LSJ>$ calculés dans la partie *A-9* sont-ils vecteurs propres de du Hamiltonien Zeeman (justifier) ?

7) Réécrire le Hamiltonien spin-orbite de sorte à faire apparaitre les opérateurs de création : $S_+ = S_x + iS_y$; $L_+ = L_x + iL_y$ et annihilation $S_- = S_x - iS_y$ et $L_- = L_x - iL_y$ ainsi que le produit L_zS_z.

8) Le Hamiltonien LS agit-il sur les états ayant un spin total $S_{tot} = 0$ ou un moment total $L_{tot} = 0$? Pour cette raison, parmi les états propres trouvés à la question *B4* lesquels sont tels que $H_{LS}|S_{tot}\ m_s\ L_{tot}, m_l>$ non nuls ?

9) Sachant que :
$L_+{*}S_-|S\ m_s\ L\ m_l> = 0$ pour $m_s = -1$; $L_-{*}S_+|S\ m_s\ L\ m_l> = 0$ pour $m_s = 1$;
$S_+{*}L_-|S\ m_s\ L\ m_l> = 0$ pour $m_l = -1$; $S_-{*}L_+|S\ m_s\ L\ m_l> = 0$ pour $m_l=1$,et que
$L_zS_z|S\ m_s\ L\ m_l> =0$ pour $m_l = 0$ et / ou $m_s = 0$, déterminer les éléments de matrice non nuls associés à H_{LS} dans la base $|S_{tot}\ m_s\ L_{tot}, m_l>$

10) La matrice $H_{LS} + H_{Zeeman}$ est-elle diagonale dans cette base ? Que faut-t-il faire pour trouver les états propres de cette configuration à deux électrons (décrire la méthode mais ne pas faire le calcul) ?