STME : mention PHYSIQUE
M1 Parcours Sciences Physiques et Chimiques
EM8PCEA2E2 – Année 2014-2015

EXAMEN TERMINAL DE PHYSIQUE ATOMIQUE ET SUBATOMIQUE

mai 2015 - Durée 1h30
TOUT DOCUMENT INTERDIT – PARTIES INDEPENDANT

Les parties A et B sont indépendantes

A – l'azote *N* (10 pts)

A1) Donner la configuration électronique (*nl*) de l'azote neutre dans l'état fondamental.
Les constantes d'écran individuelles σ_l des électrons *s* ou *p* sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

Electron d'origine	Contribution des autres électrons				
	n-2, *n*-3 …	*n*-1	n		*n*+1, *n*+2 …
	s, p	*s, p*	*s*	*p*	*s, p*
s	1	0,85	0.35	0.35	0
p	1	0.85	0.35	0.35	0

A2) En utilisant le tableau ci-dessus, déterminer les charges Z_2^* et Z_1^* effectives vues par un électron de la couche $n = 2$ et $n = 1$ respectivement pour l'azote neutre. Même question pour N^+ ; on notera Z^{2+*} et Z_1^{+*} les deux valeurs correspondantes.

A3) Calculer l'énergie de l'état fondamental de l'azote neutre et de l'ion N^+. Détailler le calcul et faire l'application numérique approchée au demi-eV prés. En déduire l'énergie d'ionisation et la comparer au 14,53 eV mesurés expérimentalement.

A4) En déduire la longueur d'onde (en nm) du photon qu'il faut utiliser pour ioniser l'azote. De quel type de rayonnement agit-il ?

A5) En couplage *LS* quels sont les termes spectroscopiques et la base $|LSJ>$ associés à N^+. Donner la base des états $|LSJ>$ associé.

A6) Déterminer les écarts en énergie δE_J par rapport à H_0 de chaque état du triplet P de l'azote N^+ lié à l'interaction spin-orbite (on notera A_{2p} la valeur de la partie radiale identique pour le triplet et on rappelle que $J^2|LSJ>=J(J+1)\hbar^2|LSJ>$). Faire un diagramme d'énergie.

A7) Le couplage *LS* modifie-t-il la position des singulets ${}^1S$ et ${}^1D$ de N^+. Faire un diagramme des niveaux $|LSJ>$ dans N^+.

B – Transition dipolaire électrique

B1 - traitement quantique de l'interaction (6pts)

Le Hamiltonien d'interaction dipolaire électrique entre atome d'hydrogène et un photon de polarisation z s'écrit :

$$W_{DE} = -\frac{eE_0}{m\omega}\hat{P}_z \sin(\varpi t)$$

Où e et m sont la charge et la masse de l'électron, E_0 l'amplitude du champ électrique associé au photon suivant la direction z, et ω la pulsation propre du photon incident.

Rappel : $\varepsilon = hc / \lambda = \hbar\omega$; $\hat{P}_z = -i\hbar\frac{\partial}{\partial z}$

1. Ecrire le Hamiltonien (représentation opérateur) H_0 de l'électron dans le champ coulombien du proton.
2. Soit $|n, l, m_l>$ un état propre de H_0 quel est en fonction du nombre quantique n l'énergie de cet état ; on donnera l'expression la constante en fonction de la constante de structure fine.
3. Donner la valeur du commutateur $[\hat{z}, \hat{P}_z] = \hat{z}\hat{P}_z - \hat{P}_z\hat{z}$; détailler le calcul.

On considère les états électroniques initiaux et finaux notés $| i >$ et $| f >$ associée à l'absorption par l'électron d'un photon et tels que $\hat{H}_0|i> = \varepsilon_i|i>$ et $\hat{H}_0|f> = \varepsilon_f|f>$.

4. Quelle est la pulsation ω' du photon émis ou absorbé lors de la transition $| i > \rightarrow | f >$

On pourra montrer que $< i \mid \hat{z} \mid f > = \frac{-i}{m\omega'} < i \mid \hat{P}_z \mid f >$

5. En déduire l'expression de $< i \mid W_{DE} \mid f >$ en fonction de $< i \mid \hat{z} \mid f >$ de ω' et de E_0.

B2 - Application (4pts)

Soit les états propres d'un atome d'hydrogène définis par les fonctions d'ondes suivantes :

$$\psi(ns) = R_{nl}(r)\frac{1}{\sqrt{4\pi}} \rightarrow |n\ 0\ 0> \text{ et } \qquad \psi(np0) = R_{nl}(r)\sqrt{\frac{3}{4\pi}}\cos(\theta) \rightarrow |n\ 1\ 0>$$

En calculant **explicitement** la valeur de $< n\, l\, 0 \mid W_{DE} \mid n'l\, 0 >$, montrer que les transitions ($ns \rightarrow n's$) et ($np \rightarrow n'p$) sont interdites i.e $< n\, l\, 0 \mid W_{DE} \mid n'l\, 0 > = 0$ et que les transitions ($ns \rightarrow n'p$) sont autorisées i.e que $< n\, l\, 0 \mid W_{DE} \mid n'l'0 > \neq 0$. On remarquera pour cela que $z = r\cos(\theta)$ et on notera $A_{nn'}$ le résultat de l'intégrale radiale.