

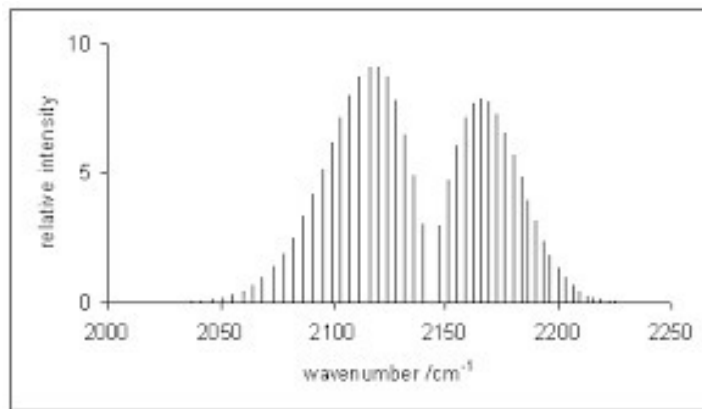
Examen 2021: Physique Atomique et Moléculaire

Jeudi 6 janvier 2022

-- TOUT DOCUMENT ET OBJET CONNECTÉ EST INTERDIT --

1. Question de cours- spectroscopie ro-vibrationnelle de la molécule CO

- Expliquer à l'aide d'un schéma énergétique l'allure du spectre donné ci-dessous.
- Quelle quantité peut être estimée à partir de la séparation des raies ? Donner l'expression littérale correspondante.
- Expliquer la faible différence de séparation des raies autour de 2050 cm^{-1} et autour de 2200 cm^{-1} .
- Expliquer comment un tel spectre peut être utilisé pour estimer la température de l'échantillon, et donner l'expression littérale correspondante.



2. Effet Stark en champ fort sur le niveau $n = 2$ de l'atome H

On se propose d'étudier la modification des niveaux d'énergie d'un atome d'Hydrogène en interaction avec un champ électrique extérieur, supposé uniforme selon l'axe Oz, et dont le Hamiltonien, donné par $W_S = e\mathcal{E}_0z$, est petit devant le Hamiltonien H_0 de l'atome non perturbé, de vecteur et valeur propres respectifs $|n, l, m\rangle$ et E_n . On considère que le champ externe est d'amplitude suffisante pour que la structure fine du niveau $n = 2$ puisse être négligée devant la contribution Stark.

- Justifier que l'on puisse négliger le spin de l'électron.
- Calculer le commutateur $[z, L_z]$ puis $[W_S, L_z]$, et commenter quant au couplage induit par W_S entre états appartenant à différents espaces propres de L_z .
- Après avoir exprimé le Hamiltonien W_S dans un système de coordonnées adapté, calculer les éléments de matrice non-nuls $\langle n, l, m | W_S | n', l', m' \rangle$ pour le niveau $n = 2$. On rappelle une intégrale radiale $\int_0^\infty R_{2s}(r) r^3 R_{2p}(r) dr = 3\sqrt{3}a_0$, ainsi que les harmoniques sphériques $Y_0^0(\theta, \varphi) = \frac{1}{\sqrt{4\pi}}$ et $Y_1^0(\theta, \varphi) = \sqrt{\frac{3}{4\pi}} \cos \theta$.
- En se limitant au 1^{er} ordre de la théorie des perturbations pour un système dégénéré, en déduire états propres et valeurs propres du niveau $n = 2$ qui tient compte de la perturbation Stark.

(T.S.V.P)

3. Effet Zeeman de structure fine sur le niveau $n = 2$ de l'atome H

On place un atome H dans un champ magnétique extérieur uniforme \vec{B}_0 colinéaire à l'axe Oz . Le Hamiltonien Zeeman linéaire est donné par $W_Z = -\vec{B}_0 \cdot (\vec{\mu}_L + \vec{\mu}_S + \vec{\mu}_I)$, où $\vec{\mu}_L = \frac{-q}{2m_e} \vec{L}$, $\vec{\mu}_S = \frac{-q}{2m_e} g_e \vec{S}$ et $\vec{\mu}_I = \frac{q}{2M_p} g_p \vec{I}$ sont respectivement les moments magnétiques dipolaires orbitaux, de spin électronique et de spin nucléaire, avec la charge $q > 0$ du proton, les masses m_e et M_p de l'électron et du proton et les facteurs de Landé $g_e = 2$ de l'électron et $g_p = 5,585$ du proton. En outre on posera les pulsations $\omega_0 = \frac{q}{2m_e} B_0$ et $\omega_n = \frac{-q}{2M_p} B_0$.

- Exprimer W_Z en fonction de ω , ω_h et des composantes de \vec{L} , \vec{S} et \vec{I} . Peut-on simplifier ce Hamiltonien et si oui, sur quel critère ?
- Lorsque le champ magnétique est suffisamment faible, on peut utiliser les états propres $|n, l, s, j, m_j\rangle$ issus du Hamiltonien de structure fine pour calculer l'action du Hamiltonien Zeeman. Le théorème de Wigner-Eckart appliqué à un opérateur vectoriel \vec{A} quelconque, ici un moment cinétique \vec{L} ou \vec{S} , est donné par :

$$\vec{A} = \frac{\langle n, l, s, j, m_j | \vec{A} \cdot \vec{J} | n, l, s, j, m_j \rangle}{\hbar^2 j(j+1)} \vec{J}.$$

Etant rappelées les valeurs des commutateurs $[J_x, A_x] = 0$, $[J_x, A_y] = i \hbar A_z$ et $[J_x, A_z] = -i \hbar A_y$, montrer que W_Z peut se réécrire comme :

$$W_Z = \frac{\omega_0}{2j(j+1)} (Cj(j+1) + s(s+1) - l(l+1)) J_z,$$

avec une constante C dont on précisera la valeur.

- Calculer les corrections sur les états $|n = 2, l, s, j, m_j\rangle$.

4. Spectre de l'atome de *Germanium* ($Z = 32$)

- Donner la configuration électronique de l'état fondamental de l'atome de *Germanium*. Comme exception de la règle de Klechkowski, la sous-couche $3d$ est remplie avant la sous-couche $4s$.
- Déterminer les termes spectroscopiques (multiplets) de la configuration fondamentale, avec les J associés.
- On considère l'excitation électronique du *Germanium* à partir de sa configuration fondamentale et qui correspond à la transition d'un électron $4p$ vers une sous-couche $5s$. Ecrire cette configuration excitée.
- Déterminer les termes spectroscopiques associés à cette configuration ainsi que les niveaux J .
- En supposant que les orbitales de cœur englobent toutes les sous-couches internes jusqu'à la $4s^2$ incluse, et que la charge effective 'vue' par l'électron $5s$ est $Z_{5s}^* = 3,34$ et celle par un électron $4p$, $Z_{4p}^* = 3,44$, calculer l'énergie du photon issu de la transition dipolaire $4p5s \rightarrow 4p^2$ dans le cadre des particules dites indépendantes. S'agit-il d'un photon visible, UV, X ou infrarouge ?
- Sachant que cette transition s'effectue entre les multiplets recensés précédemment, combien de raies comporte-t-elle ? Les règles de sélection sont rappelées : $\Delta S = 0$, $\Delta J = 0 \pm 1$ avec la transition $0 \rightarrow 0$ interdite.