Examen 2019: Physique Atomique et Moléculaire

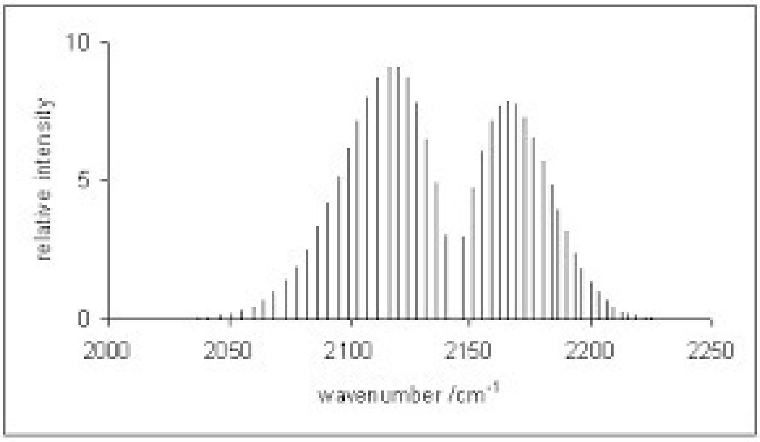
Vendredi 10 janvier 2020

-- TOUT DOCUMENT ET OBJET CONNECTÉ INTERDIT
LES DONNEES NUMERIQUES SONT EN FIN DE TEXTE –

---

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

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



2. Spectre d'émission du lithium et approximation de Rydberg

Dans l'état fondamental, l'atome de lithium peut être décrit avec deux électrons dans l'état 1*s* et un électron dans l'état 2*s*. Plutôt que d'utiliser un coefficient d'écran de charge, comme le fait l'approximation de Slater selon $E_n = E_1(Z\text{-}\zeta)^2 \ / \ n^2$, Rydberg a plutôt proposé d'utiliser une dépendance en énergie de la forme $E_n = - hcR_H \ / \ (n+a)^2$ avec a = -0,4 pour un sous-niveau *s* et a = -0,04 pour un sous-niveau *p*.

1. Calculer les longueurs d'onde des quatre premières raies et de la raie limite de la série "principale" de *Li* (pour les transitions entre les niveaux *np* et le niveau 2*s*. En déduire l'énergie d'ionisation de Li.
2. Calculer l'énergie d'ionisation du lithium dans l'approximation de Slater, avec un coefficient d'écran ζ = 0,3 pour décrire l'interaction entre les deux électrons 1*s*, et un coefficient d'écran ζ = 0,85 pour décrire l'interaction entre les électrons 1*s* et l'électron 2*s*.
3. Comparer les valeurs obtenues dans les deux approximations, et commenter par rapport à la valeur expérimentale de 5,39 eV. Peut-on en conclure que l'un des modèles est "meilleur" que l'autre ?

3. Effet Zeeman sur la raie Lyman α de l'ion hydrogénoïde Mg^{11+}

On s'intéresse à l'ion hydrogénoïde de magnésium ($Z = 12$) et, en particulier, à la raie Lyman α.

1. Sachant que cette raie correspond à une transition des états ($n = 2$, $l = 1$) vers l'état fondamental du système, calculer son énergie et sa longueur d'onde dans le modèle le plus simple (atome de Bohr ou approximation d'ordre zéro en mécanique quantique).
2. Expérimentalement, on observe un doublet dont les composantes sont séparées de 6×10^{-4} nm.
   a. L'existence de ce doublet est attribuée à une 'structure fine' des niveaux d'énergie. Expliquer.
   b. En supposant que, dans le cadre de cette étude, le Hamiltonien de structure fine se ramène au seul terme de couplage spin-orbite, calculer l'amplitude $a\hbar^2$ de ce couplage. On rappelle que le Hamiltonien de couplage spin-orbite s'écrit: $\hat{H}_{SO} = a_{(l,s)}.\hat{l}.\hat{s}$.
3. On applique maintenant à l'ion hydrogénoïde Mg^{11+} un champ magnétique statique dirigé selon l'axe Oz.
   a. Sachant que les énergies mises en jeu par l'application du champ B sont de l'ordre de $\mu_B B$ avec u_B le magnéton de Bohr électronique, calculer ce champ tel que son effet soit de l'ordre de grandeur de celui de la structure fine étudiée en 2b-

      On se place dans l'hypothèse où les corrections énergétiques dues à l'effet Zeeman sont petites devant la structure fine (situation dite de 'champ faible'). Pour étudier le système, on peut alors conserver les états de la base utilisée pour décrire la structure fine.

   b. Dans ce cas le Hamiltonien Zeeman peut s'exprimer en fonction de $\hat{j}_z$ selon l'expression $\hat{H}_{Zee} = g_j \frac{\mu_B B}{\hbar} \hat{j}_z \quad avec \quad g_j = 1 + \frac{j(j+1) + s(s+1) - l(l+1)}{2\, j(j+1)}$. Établir l'expression de la correction énergétique à appliquer sur les niveaux de structure fine.
   c. Calculer, dans ces conditions, la structure de la raie Lyman α. Faire un schéma des niveaux d'énergie en précisant les états associés et indiquer les transitions permises.

      Règles de sélection à appliquer: $\Delta l = \pm 1$, $\Delta j = 0, \pm 1$ et $\Delta m_j = 0, \pm 1$.

Données numériques :

Constante de Rydberg $R_H = 1{,}097.10^7$ m^{-1} ;
Constante de Planck $h = 6{,}62618 \times 10^{-34}$ J s ;
Charge de l'électron $-e = -1{,}602189 \times 10^{-19}$ C ;
Célérité de la lumière dans le vide $c = 2{,}99792458 \times 10^8$ ms^{-1} ;
Magnéton de Bohr $\mu_B = 9{,}27 \times 10^{-24}$ JT^{-1}

TSVP