

Physique Quantique L3 - Contrôle 1

Remarque importante : L'usage de tout appareil électronique est interdit. Le temps de l'épreuve est de 2h. Il est conseillé de lire attentivement tout l'énoncé avant de commencer à rédiger.

1 Question de cours et de culture générale

1.1 Quelques quantités importantes :

Donner la valeur (à défaut l'ordre de grandeur) et l'unité dans le système international des quantités physiques suivantes :

1. c vitesse de la lumière dans le vide
2. \mathcal{R} constante des gaz parfaits
3. \mathcal{N} nombre d'Avogadro
4. k_B constante de Boltzman
5. ϵ_0 permittivité diélectrique du vide
6. \mathcal{G} constante de gravitation universelle
7. m_e masse de l'électron
8. m_p masse du proton
9. e charge électrique élémentaire
10. R_H constante de Rydberg
11. α_0 constante de structure fine
12. t_H âge de l'Univers
13. t_P temps de Planck
14. R_T rayon de la Terre
15. D_s ordre de grandeur de la taille du système solaire

1.2 Expérience historique

Décrire le protocole schématisé de l'expérience exhibant l'effet photo-électrique. Décrire les résultats expérimentaux observés. Donner l'interprétation historique. Décrire un procédé qui permet de **mesurer** le rapport h/e .

1.3 Réflexion sur quelques ordres de grandeurs

1. Rappeler la valeur de E_0 , énergie de première ionisation de l'Hydrogène.
2. On considère une mole d'Hydrogène simple (H) gazeux. Rappeler l'ordre de grandeur du volume qu'occupe ce système à la température et la pression standard de l'atmosphère ($T \sim 300\text{K}$ et $P \sim 10^5 \text{ Pa}$) si l'on considère qu'il se comporte comme un gaz parfait. Donner alors un ordre de grandeur qu'occuperait un atome de H dans ces conditions.
3. Exprimer l'ordre de grandeur de l'énergie E_i , qu'il faudrait fournir à ce système pour l'ioniser complètement, en fonction de E_0 et \mathcal{N} . En donner l'ordre de grandeur. Comparer E_i à une quantité d'énergie macroscopique quotidienne (chauffage, réfrigérateur, fabrication de glaçons, ...). Conclure

2 Spectrométrie

2.1 Quelques rappels sur le corps noir et son utilisation

On rappelle l'expression de la densité spectrale d'énergie interne d'un corps noir (quantité d'énergie interne par unité de volume et de fréquence) donnée par la relation Planck :

$$u_\nu(T, \nu) = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \frac{1}{\exp(\frac{h\nu}{k_B T}) - 1}$$

1. Rappeler la relation entre la longueur d'onde et la fréquence.

2. **Montrer** que l'expression de la relation de Planck peut se donner en fonction de la longueur d'onde λ sous la forme :

$$u_\lambda(T, \lambda) = \frac{K\lambda^{-5}}{\exp\left(\frac{hc}{\lambda k_B T}\right) - 1}$$

où K est une constante que l'on exprimera.

3. Représenter graphiquement de façon schématique $u_\lambda(T, \lambda)$ en fonction de λ pour deux températures différentes. Y a-t-il un point particulier sur cette courbe.
4. Démontrer sommairement (une explication de la méthode sera suffisante) la loi de Wien et l'énoncer.
5. En donnant un exemple simple, expliquer comment on peut utiliser cette loi pour déterminer la température d'un corps inaccessible (une étoile par exemple, ou un autre corps chauffé).

2.2 Quelques raies de quelques éléments

2.2.1 l'Hydrogène

On rappelle que les niveaux d'énergie E_n de l'électron dans l'atome d'Hydrogène sont décrits par la relation :

$$E_n = -\frac{E_0}{n^2}, \text{ avec } E_0 \sim 14 \text{ eV}$$

L'hydrogène, par sa simplicité structurale et son abondance dans l'Univers, a été historiquement beaucoup étudié. Ses raies d'émission ont été classées en séries synthétisées dans le tableau ??.

Nom de la série	Transitions	Nomenclature traditionnelle
Lyman	$n \geq 2 \rightarrow n = 1$	$Ly_\alpha, Ly_\beta, Ly_\gamma, \dots$
Balmer	$n \geq 3 \rightarrow n = 2$	$H_\alpha, H_\beta, H_\gamma, \dots$
Ritz-Paschen	$n \geq 4 \rightarrow n = 3$	—
Brackett	$n \geq 5 \rightarrow n = 4$	—
Pfund	$n \geq 6 \rightarrow n = 5$	—
Humphreys	$n \geq 7 \rightarrow n = 5$	—

TAB. 1 – Nomenclature des séries des raies de l'Hydrogène

1. Etablir les expressions des longueurs d'onde minimales et maximales pour les deux séries Balmer et Lyman en fonction de E_0, h, c .
2. Donner une évaluation numérique de ces quatre longueurs d'onde.
3. Quelle série se retrouve dans le domaine visible ?
4. De quelle couleur apparaissent les nuages d'Hydrogène ?

2.2.2 Le Sodium

L'énergie de première ionisation du sodium est $E_1 \sim 6 \text{ eV}$. Son spectre d'émission possède un doublet (2 raies d'émission très proches en longueur d'onde) dans le visible aux longueurs d'onde $\lambda_1 = 5890 \text{ nm}$ et $\lambda_2 = 5896 \text{ nm}$. Les intensités de ces deux raies sont quasiment identiques. On appelle $\delta\lambda$ la différence $\lambda_2 - \lambda_1$.

1. Exprimer la différence d'énergie δE_D de rayonnement correspondant à la différence entre ces deux longueurs d'onde du doublet, en fonction de $h, c, \delta\lambda$ et de λ_1 (on supposera que $\lambda_1\lambda_2 \sim \lambda_1^2$). Donner sa valeur numérique avec un chiffre significatif.

On suppose maintenant que l'on peut transposer le modèle du niveau d'énergie de l'électron de l'atome d'Hydrogène à celui du Sodium.

2. Proposer une expression pour l'énergie $E_n(Na)$ du niveau n pour l'atome de sodium en fonction de E_1 et n .
3. En supposant que la différence δE_D est provoquée par une transition d'un niveau n_0 à un niveau $n_0 + 1$, exprimer n_0 en fonction de δE_D et E_1 . Donner une estimation de sa valeur numérique.
4. Sachant que l'atome de Sodium possède 11 électrons répartis sur les 3 premiers niveaux énergétiques lorsqu'il est au repos (2 électrons au niveau $n = 1$, 8 au niveau $n = 2$, et 1 au niveau $n = 3$), la valeur de n_0 trouvée à la question précédente vous semble-t-elle plausible ? Dans quel état se trouverait alors l'atome de Sodium ?
5. Vous connaissez une règle empirique de chimie de remplissage des niveaux d'énergie des couches électroniques. Donner son nom.
6. Par quelques arguments pertinents, expliquer pourquoi l'approche naïve proposée (prendre modèle sur l'atome d'Hydrogène) ne peut pas fonctionner, on pourra illustrer le propos en invoquant le principe d'exclusion de Pauli.