



Examen du second semestre

Pays : Sénégal

Établissement : Université Iba Der Thiam de Thiès

UFR/Département : UFR Sciences et Technologies/Département Physique Chimie

Auteur (s) : Ibrahima Sakho

Niveau, filière : Licence 3, Physique Chimie LMD

Année académique : 2023-2024

Matière, semestres : Physique atomique et nucléaire, semestre 6

Email: ibrahima.sakho@univ-thies.sn

Wathsap: 78 786 47 72

Résumé de l'article

Concepts clés de l'épreuve

– Structure fine – raie de résonance de la 'atome d'hydrogène – raie Lyman alpha – systèmes hydrogénoïdes – nombre quantique total – formule relativiste de Dirac – pouvoir de résolution – expérience de Stern et Gerlach – distribution de Boltzmann – moment magnétique de spin – magnéton de Bohr – désintégration α .

Compétences évaluées

- Utiliser la formule relativiste de Dirac appliquée aux systèmes hydrogénoïdes;
- Interpréter la structure fine de la raie L_{α} de l'atome d'hydrogène
- Interpréter théoriquement l'intensité des tâches observées dans l'expérience de Stern et Gerlach
- Interpréter la structure fine des raies des particules α

Durée de l'épreuve : 3h

Ce document, publié par le CAFTANA, est mis gratuitement au service de la communauté universitaire

Exercice 1. (04 points)

On se propose d'étudier la structure fine de la raie de résonance ou raie Lyman alpha (L_{α}) de l'atome d'hydrogène. L'énergie des systèmes hydrogénoïdes dans le domaine faiblement relativiste est donnée par la formule de Dirac :

$$E_{nj} = -\frac{Z^2 \alpha^2 mc^2}{2n^2} - \frac{Z^4 \alpha^4 mc^2}{2n^3} \left(\frac{1}{j+1/2} - \frac{3}{4n} \right).$$

j : nombre quantique total ; α : constante de structure fine ; mc^2 : énergie au repos de l'électron.

1.1. Calculer en nm, la longueur d'onde de la raie de résonance L_{α} . **(1 pt)**

1.2. Montrer que la raie L_{α} présente une structure fine dont on précisera l'origine physique. Illustrer cette structure fine à l'aide d'un schéma (on fera figurer les notations spectroscopiques des états quantiques identifiés et les transitions électroniques correspondants aux raies de longueurs d'onde λ_1 et λ_2 en admettant que $\lambda_1 > \lambda_2$). **(1 pt)**

1.3. En utilisant la formule de Dirac, déterminer λ_1 et λ_2 . **(1 pt)**

1.4. On dispose d'un appareil spectroscopique de pouvoir de résolution 226 000. Cet appareil peut-il être utilisé pour séparer les deux raies de longueurs d'onde λ_1 et λ_2 ? **(1 pt)**

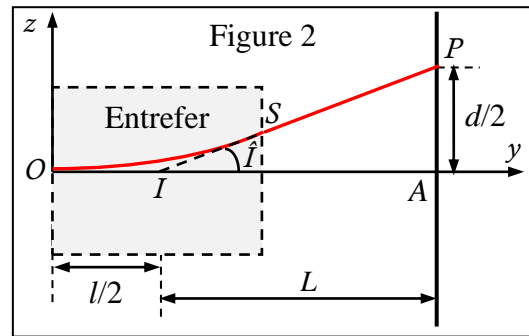
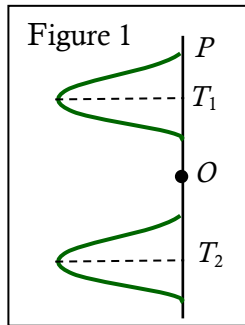
Données : $Ryd/hc = R_H$; $R_H = 109\,677\,58\,m^{-1}$.

Exercice 2. (11 points)

L'expérience de Stern et Gerlach réalisée en 1922 permet de montrer que les atomes possèdent des moments magnétiques quantifiés. Par vaporisation d'atomes d'argent dans un four, on obtient dans un vide poussé, un jet d'atomes neutres focalisé à l'aide d'un diaphragme sélectionnant les atomes dont la vitesse est dirigée suivant l'axe Oy . Ce jet traverse par la suite l'entrefer d'un électroaimant avant de se condenser sur une plaque réceptrice P . Le champ magnétique appliqué est fortement inhomogène et perpendiculaire à la direction Oy du jet atomique, chaque atome se trouvant dans l'état fondamental. On observe alors deux tâches symétriques par rapport à O (fig.1) et d'égales intensités.

On se propose de déterminer l'intensité des tâches dans l'expérience de Stern et de Gerlach. Le schéma simplifié du montage expérimental est indiqué sur la figure 2 ci-dessous :

- L : distance entre le centre de l'entrefer et la plaque P ;
- l : longueur du parcours des atomes dans l'entrefer ;
- d : distance séparant les deux tâches sur la plaque P .



On désigne par u la vitesse quadratique moyenne d'un atome d'argent de masse m dans l'espace champ magnétique d'intensité B ;

2.1. L'intensité f de la force magnétique agissant sur un atome d'argent est supposée constante dans l'espace champ magnétique.

2.1.1. Écrire l'équation de la trajectoire d'un atome d'argent dans l'entrefer. (1 pt)

2.1.2. Établir l'expression de f en fonction de m , u , d , l et L . (1 pt)

2.1.3. Exprimer le moment magnétique M . Faire l'application numérique. En déduire L'intensité f de la force magnétique. (2 pts)

2.1.4. Selon les prévisions de l'électrodynamique quantique, le moment magnétique de spin de l'électron $\mu_e = (1,001\ 159\ 652\ 209\ 1) \mu_B$, μ_B le magnéton de Bohr. Cette valeur théorique est-elle corroborée par le résultat expérimental **2.1.3** ? (1 pt)

2.2. Si N désigne le nombre total d'atomes d'argent du faisceau, le nombre N_i d'atomes donnant une tâche au point T_i obéit à la distribution statistique de Boltzmann :

$$N_i = a e^{-W_i / kT}$$

Avec : a est une constante et W_i représente l'énergie potentielle d'interaction du champ magnétique avec le moment magnétique de spin de l'atome pour un niveau i donné.

2.2.1. Exprimer W_1 et W_2 en fonction de μ_B et de l'intensité B du champ magnétique. (1 pt)

2.2.2. Démontrer alors les relations suivantes :

$$N_1 = N \times \frac{e^{+\varepsilon}}{e^{+\varepsilon} + e^{-\varepsilon}} ; N_2 = N \times \frac{e^{-\varepsilon}}{e^{+\varepsilon} + e^{-\varepsilon}} .$$

Dans ces expressions, ε est une quantité que l'on exprimera.

(02 pts)

2.2.3. La température T d'émission des atomes à partir du four est déduite de la théorie cinétique des gaz. On pose alors que l'énergie cinétique moyenne d'agitation thermique d'un atome d'argent est proportionnelle à la température T . Exprimer puis calculer T . (1 pt)

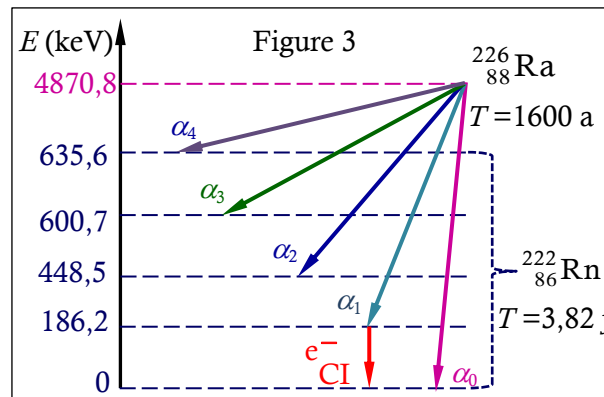
2.2.4. Calculer ε . Montrer alors que les deux tâches observées dans l'expérience de Stern et de Gerlach ont la même intensité aux erreurs expérimentales près. (2 pts)

Données:

- $B = 5 \text{ T}$; $u = 350 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; $L = 1,0 \text{ m}$; $l = 10 \text{ cm}$; $d = 1,3 \text{ mm}$; $\mu_B = 9,27 \times 10^{-24} \text{ Am}^2$.
- gradient du champ magnétique : $dB/dz = 15 \text{ T} \cdot \text{m}^{-1}$; Nombre d'Avogadro : $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$;
- Masse molaire d'un atome d'argent : $M = 107,9 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Exercice 3. (06 points)

L'expérience montre que le spectre de raies des particules α présente une structure fine traduisant le fait que plusieurs photons gamma sont émis lors de la désintégration α . La figure 3 indique la structure fine observée dans le cas du radium 226.



3.1. Interpréter les différents modes de désintégration du ^{226}Ra observés. (2 pts)

3.2. Calculer en $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$, la vitesse de recul du ^{222}Rn dans le cas du mode α_0 . (1 pt)

3.3. Calculer en MeV, l'énergie cinétique de la particule α dans le cas du mode α_3 . (1 pt)

3.4. Calculer en pm, la longueur d'onde du photon gamma émis lors du mode α_4 . (1 pt)

SOLUTIONS DES EXERCICES : cliquer ici