

CHAPITRE 1 : INTERACTION LUMIÈRE-MATIÈRE. SPECTROSCOPIE OPTIQUE DES SYSTÈMES HYDROGÉNOÏDES

Pré-requis de cours :

Définition d'une onde. Onde électromagnétique. Domaines spectraux de la lumière en fonction de la longueur d'onde.

Relations liant l'énergie d'un photon (E), la longueur d'onde (λ), la fréquence (ν) et le nombre d'onde (σ).

Interaction lumière-matière : spectroscopies résonantes. Relation de Bohr : condition de résonance pour l'absorption ou l'émission d'un photon par un atome. Seuil d'ionisation et condition d'ionisation.

Energies des niveaux de l'atome d'hydrogène et des ion hydrogénéoïdes en fonction du nombre quantique principal n .

Relation entre l'énergie (ou la longueur d'onde) d'un photon absorbé ou émis, et les indices (n_i, n_f) des niveaux inférieurs et supérieurs de l'atome ou ion impliqués.

Spectre d'émission, spectre d'absorption. Séries d'émission du spectre de l'atome d'hydrogène et des hydrogénéoïdes. Raies extrêmes d'une série d'émission.

Travail préparatoire (à faire impérativement sur les feuilles des travaux préparatoires) :

1. Calculer chacune de ces grandeurs en précisant leur unité dans le système international : énergie, longueur d'onde, fréquence, nombre d'onde, pour des photons d'énergie 0,2 eV, 2 eV et 100 eV (résultats à présenter sous forme de tableau). A quelle région du domaine spectral appartiennent-ils ?
2. Qu'appelle-t-on ion hydrogénéoïde ? Quels sont les quatre premiers ions hydrogénéoïdes de la classification périodique ?
3. Dans le spectre d'émission d'un atome ou ion, qu'appelle-t-on "série d'émission" ? Pour une série caractérisée par le nombre quantique n_i , précisez s'il s'agit du niveau de départ ou d'arrivée de l'atome émetteur.
4. Définir les deux "raies extrêmes" d'une série d'émission. Donnez les nombres quantiques des raies extrêmes d'une série d'émission caractérisée par le nombre quantique n_i .

1. L'ATOME D'HYDROGÈNE

1. Généralités

- a. Donner l'expression de l'énergie des états discrets de l'atome d'hydrogène. Que signifie « états discrets » ? Que représente n dans cette expression ?
- b. Représenter le diagramme d'énergie de l'atome d'hydrogène en indiquant l'état fondamental et les trois premiers états excités. Quelle est la variable portée verticalement et quelle est son unité ?
- c. Décrire le système lorsque son énergie vaut 0. Décrire le système lorsque son énergie vaut +3eV. Le système peut-il posséder une énergie de -5 eV ? Justifier.
- d. Nommer les deux processus correspondant à l'interaction entre un photon et un atome d'hydrogène initialement à l'état fondamental. Ecrire « l'équation » de ces deux réactions (on notera p le photon, H l'atome d'hydrogène à l'état fondamental, H^* l'atome d'hydrogène dans un état excité, H^+ l'hydrogène ionisé, e^- l'électron).
- e. Exprimer la différence d'énergie entre deux états discrets de l'atome d'hydrogène en fonction des nombres quantiques initial n_i et final n_f . On notera $\Delta E_{\text{atome}} = E_{\text{final}} - E_{\text{initial}}$. et on précisera son signe suivant le processus.

2. Excitation

- Calculer les énergies des photons ainsi que les longueurs d'onde des rayonnements associés permettant d'obtenir le premier et le second état excité (on supposera que l'atome d'hydrogène se trouve initialement dans son état fondamental). Dans quel domaine de longueur d'onde se situent ces photons ?
- Quel est le nom du processus ?
- Indiquer les états impliqués dans chaque transition.
- Quel est le signe de ΔE_{atome} ?
- Représenter ces transitions par une flèche dans le diagramme énergétique construit précédemment.

3. Emission

- Un atome d'hydrogène, initialement dans un état excité, se désexcite spontanément en émettant un photon. L'atome se retrouve alors dans un état moins excité, donc d'énergie inférieure. Quel est le nom du processus ?
- Quel est le signe ΔE_{atome} ?
- Calculer l'énergie des photons susceptibles d'être émis par l'atome d'hydrogène initialement dans l'état excité $n=3$.
- Représenter les transitions correspondantes par des flèches dans le diagramme énergétique.
- Expérimentalement, on constate qu'il existe trois photons d'énergies différentes. Expliquer le phénomène.

4. Ionisation

- Définir l'énergie d'ionisation d'un atome. Ecrire « l'équation » correspondant à l'ionisation d'un atome d'hydrogène. Calculer cette énergie d'ionisation.
- On expose un atome d'hydrogène (dans son état fondamental) à un flux de photons monochromatiques d'énergie 14,0 eV. Expliquer le terme *monochromatique*.
- Faire le bilan énergétique.
- En déduire l'énergie cinétique de l'électron.

2. IONS HYDROGÉNOÏDES

- Donner l'expression de l'énergie des états discrets d'un ion hydrogénoïde.
- Calculer l'énergie des quatre premiers états de ${}_{3}\text{Li}^{2+}$ (ion lithium) et dessiner le diagramme énergétique correspondant.
- Calculer les longueurs d'onde des raies émises lors de la désexcitation de l'ion Li^{2+} depuis son état excité $n = 3$ vers son état fondamental.

3. EFFET PHOTOÉLECTRIQUE

- Lorsqu'on envoie un rayonnement monochromatique de longueur d'onde 300 nm sur une surface de sodium métallique pur dans le vide, on observe l'éjection d'électrons d'énergie cinétique maximale de 2,1 eV. Quelle est, en eV, l'énergie d'ionisation du sodium métallique ?
- Quelle est la vitesse maximale des électrons éjectés ?
- Pour quelle longueur d'onde incidente leur vitesse sera-t-elle nulle ?
- Que se passe-t-il lorsque l'on irradie cette même surface avec un rayonnement de longueur d'onde 800 nm ?

IV. RAYONNEMENT DU CORPS NOIR.

Un corps noir... n'est pas noir ! C'est un corps en équilibre avec un rayonnement, absorbant et réémettant toutes les longueurs d'onde. Un four, ou le Soleil, sont des exemples de corps noirs.

La courbe de rayonnement du corps noir ne peut pas s'expliquer dans le cadre de la physique classique, et constitue une des observations ayant conduit à la première théorie des quantas au début du siècle.

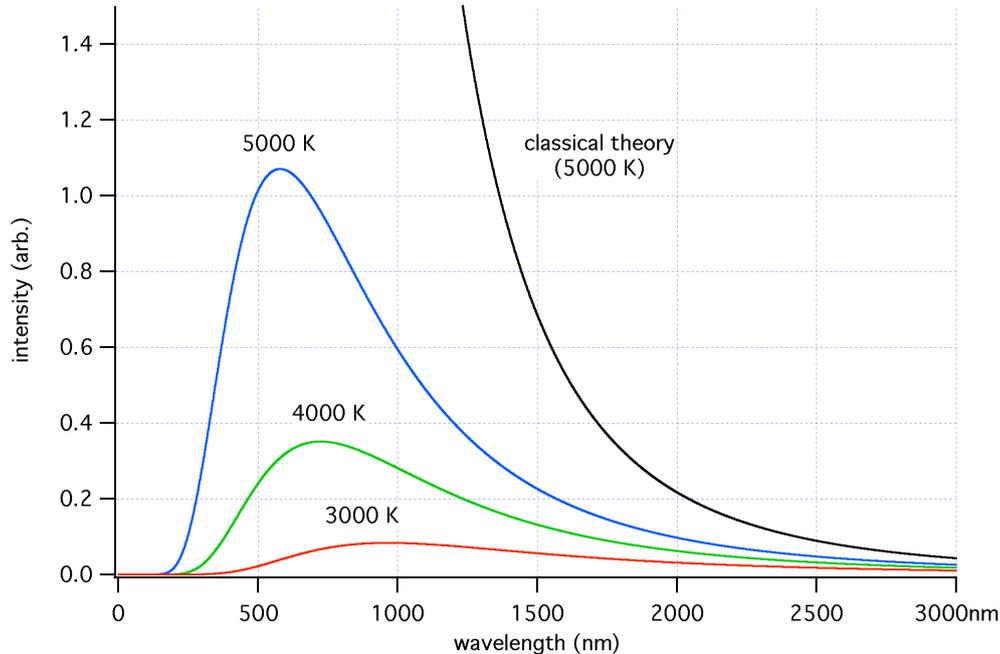


Illustration 1: densité d'énergie émise par un corps noir en fonction de la longueur d'onde, courbe qui dépend de la température à laquelle il est chauffé.

L'équation de la courbe est donnée par la formule de Planck :

$$\rho_T(\lambda) = \frac{8\pi hc}{\lambda^5 (e^{hc/\lambda kT} - 1)}$$

qui fut ensuite interprétée par Einstein : la quantité $h\nu = hc/\lambda$ qui apparaît est un quantum d'énergie échangé entre le corps et le rayonnement ; autrement dit, un *photon*.

La loi de Wien donne la position du maximum de la courbe : $\lambda_{\max} T = \text{constante} \approx 2900 \mu\text{m.K}$

Une application importante du spectre du corps noir est la détermination de la température des étoiles à partir de leur spectre d'émission.

1. Commenter la courbe du corps noir : position du maximum (λ_{\max} et intensité), influence de la température sur l'allure de la courbe, influence sur λ_{\max} .
2. Spectres des étoiles
 - a) A partir du spectre d'une étoile de type G2 ci-dessous (*Illustration 2*), modélisé par un spectre de corps noir, déterminer graphiquement la longueur d'onde λ_{\max} .
 - b) En déduire la température de surface de l'étoile.
 - c) Comment expliquer la présence de raies d'absorption dans la lumière de l'étoile ?
 - d) Cherchez sur le web le diagramme de Hertzsprung-Russell représentant l'évolution et la couleur des divers types spectraux d'étoiles. Quels sont ces types ? De quel type est le Soleil ?

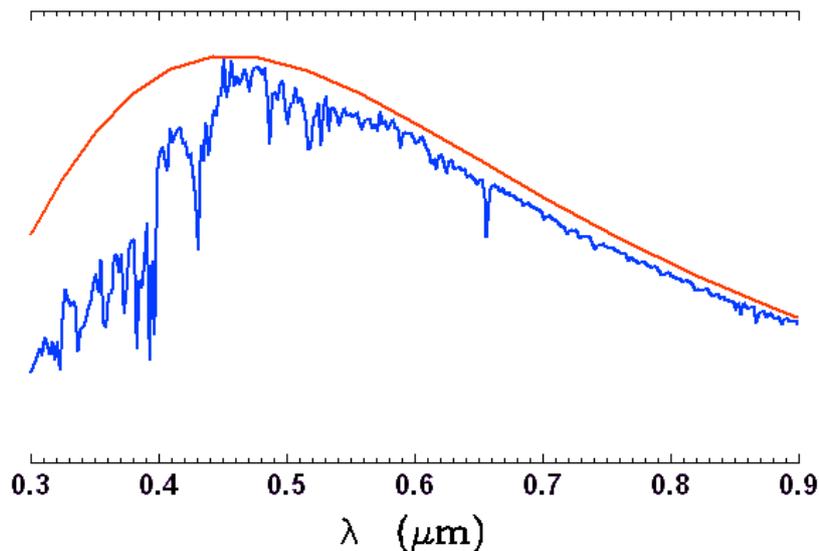


Illustration 2: Spectre d'une étoile de type G2, comparée au spectre d'un corps noir idéal de même température.

Source : Observatoire Paris-Meudon OBSPM.

http://media4.obspm.fr/public/FSU/pages_corps-noir/spectre-corps-noir-observer.html

3. Pour les objets du tableau suivant :

- a) Déterminer le domaine spectral du maximum d'émission.
- b) Calculer à l'aide de la loi de Wien, la température de chaque objet.

Objet (= corps noir)	λ_{\max}	Domaine spectral	Température (K)
Etoile type O	60 nm		
Soleil	0,5 μm		
Terre	10 μm		
Nuage moléculaire H ₂	0,15 mm		
Fond diffus cosmologique (rayonnement fossile)	1 mm		

4. CONTRÔLE CONTINU : FEUILLE WIMS SPECTROSCOPIE "CONTRÔLE CONTINU"

Vous devrez être capable de calculer les grandeurs caractéristiques d'un rayonnement électromagnétique.

Vous devrez être capable, pour l'atome H et les ions hydrogénoïdes, de :

- calculer l'énergie de n'importe quel niveau,
- calculer la longueur d'onde ou fréquence d'un photon absorbé ou émis, connaissant les niveaux d'énergie de l'atome ou ion impliqués dans la transition, et inversement,- trouver les raies extrêmes d'une série d'émission (nombres quantiques, énergie, longueur d'onde),
- trouver le nombre quantique caractéristique d'une série d'émission, connaissant certaines raies,
- déterminer l'énergie d'ionisation d'un atome ou ion à partir d'un niveau quelconque, et le cas échéant l'énergie cinétique et la vitesse de l'électron éjecté.

Durant la séance de contrôle continu³, vous devrez résoudre au moins un exercice de la feuille Spectroscopie "contrôle continu", avec enregistrement de note.

³date du contrôle continu WIMS spectro : sera donné par l'enseignante.