

C4 ÉTATS ENERGETIQUES QUANTIFIES

1) LES INSUFFISANCES DE LA PHYSIQUE CLASSIQUE

En comparant le spectre d'émission du rayonnement thermique émis par les corps denses (Soleil, arc électrique, filament incandescent, ...) et celui de l'atome d'hydrogène, on constate que :

- Le spectre du rayonnement thermique (figure 1) est continu ce qui veut dire que toutes les longueurs d'onde y sont représentées.
- Le spectre d'émission de l'atome d'hydrogène (figure 2) est *discontinu*. On ne peut distinguer que quelques raies colorées auxquelles correspondent des longueurs d'ondes discrètes ou des photons d'énergies discrètes.

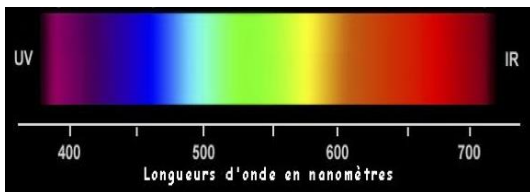


figure 1 : Spectre de rayonnements électromagnétiques visible émis par un corps dense

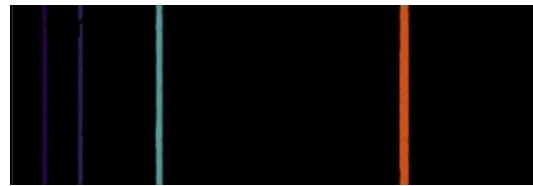


figure 2 : Spectre de rayonnements électromagnétiques visible émis par l'atome d'hydrogène

L'atome d'hydrogène émet donc des photons d'énergies discrètes $= h \cdot \frac{c}{\lambda}$. Or la physique classique est incapable d'expliquer l'unique présence de ces photons d'énergies discrètes ou de calculer leur énergie.

INTERPRETATION : MODELE QUANTIQUE DE L'ATOME

Pour expliquer l'existence des spectres discontinus Niels Bohr, en 1913, a développé un modèle atomique basé sur les hypothèses suivantes :

1. L'atome ne peut exister que dans certains états énergétiques bien définis (E_n avec $n =$ entier naturel). L'énergie de l'atome est quantifiée.
2. Les transitions d'un état vers un autre se font par sauts quantiques (« Quantensprünge ») et sont accompagnées de l'émission ou de l'absorption d'un photon d'énergie E :

$$E = |E_f - E_i| = h\nu \quad (1)$$

avec E_i énergie correspondant à l'état initial
 E_f énergie correspondant à l'état final
 ν fréquence du rayonnement émis ou absorbé

EXEMPLE : L'ATOME D'HYDROGENE

Dans le cas de l'atome d'hydrogène, les principaux états énergétiques peuvent être calculés à l'aide de la formule de quantification suivante (trouvée par Bohr en 1913):

$$E_n = \frac{E_1}{n^2} \quad (2)$$

avec n nombre quantique principal ($n \in \mathbb{N}^*$)
 $E_1 = -13,6 \text{ eV}$ énergie de l'état fondamental de l'atome
 E_n énergie de l'atome correspondant à l'état caractérisé par le nombre quantique n .

Dans le modèle des couches électroniques de Bohr (« Schalenmodell »), à chaque nombre quantique n correspond une couche électronique spéciale :

$n = 1 \Leftrightarrow$ couche K ; $n = 2 \Leftrightarrow$ couche L ; $n = 3 \Leftrightarrow$ couche M ; $n = 4 \Leftrightarrow$ couche N ; etc

La figure montre (figure 3) les niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène d'après (2). Le niveau de référence ($E = 0$) de l'énergie de l'atome est celui de l'électron libéré de l'attraction du noyau ($n \rightarrow \infty$).

La figure (figure 4) montre l'intensité du spectre visible (figure 5) en fonction de la longueur d'onde λ , correspondant aux premières transitions de la série Balmer. [Animation modèles de H.](#)

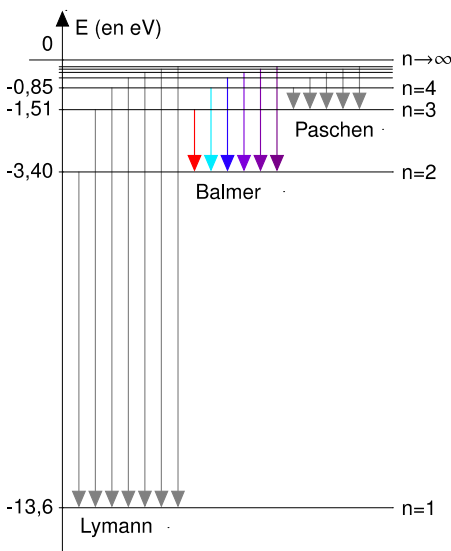


figure 3 : Niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène

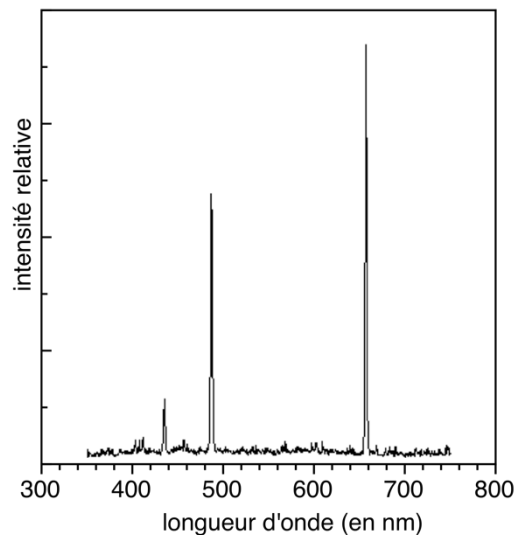


figure 4 : Mesure du spectre visible (série Balmer) de l'atome d'hydrogène

REMARQUE

- Si $E_f < E_i$, il y a émission d'un photon. Un spectre d'émission (figure 5) s'obtient en faisant traverser la lumière émise par une source à travers un spectroscopie. On obtient des raies colorées sur un fond noir.
- Si $E_f > E_i$, il y a absorption d'un photon. Un spectre d'absorption (figure 6) s'obtient en interposant sur la trajectoire de la lumière blanche une substance absorbante. On obtient des raies noires sur un fond arc-en-ciel.



figure 5 : Spectre d'émission de l'atome d'hydrogène



figure 6 : Spectre d'absorption de l'atome d'hydrogène

2) LA PHYSIQUE QUANTIQUE

La dualité onde-corpuscule de la matière et du rayonnement constitue la base de la physique quantique. La mécanique quantique, l'électrodynamique quantique et le modèle standard de la physique des particules sont en accord avec les résultats expérimentaux.

Les hypothèses citées au début du chapitre s'avèrent être des résultats de la théorie de la mécanique ondulatoire. À savoir :

- Pour tout système de particules confinées dans un espace limité, la mécanique ondulatoire prévoit un ensemble discret (discontinu) d'états d'énergies bien déterminées. Ce résultat s'applique notamment au noyau atomique.
- Les transitions entre les états d'énergie se font par absorption ou émission de photons. Ceci est également valable pour les transitions entre états énergétiques d'un noyau atomique ce qui permet d'expliquer le rayonnement γ traité au chapitre de la physique nucléaire.

EXEMPLE : LE NOYAU DE ${}^{60}_{28}\text{Ni}$

La figure (figure 7) montre les niveaux d'énergie du noyau de ${}^{60}_{28}\text{Ni}$, créé lors de la désintégration β^- du ${}^{60}_{27}\text{Co}$. Le niveau de référence ($E = 0$) de l'énergie du noyau est celui du niveau fondamental d'énergie minimale.

La figure (figure 8) montre la mesure du spectre correspondant.

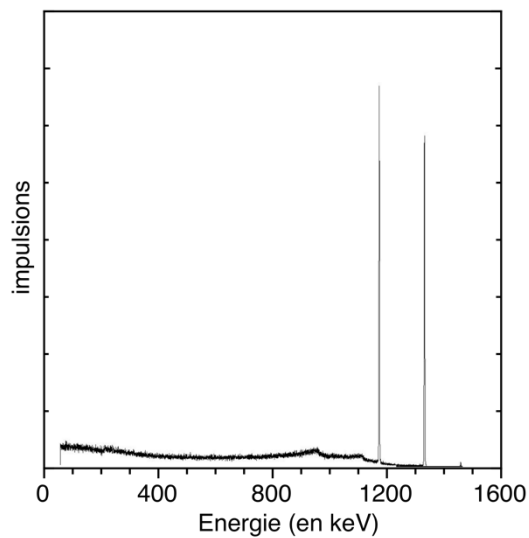
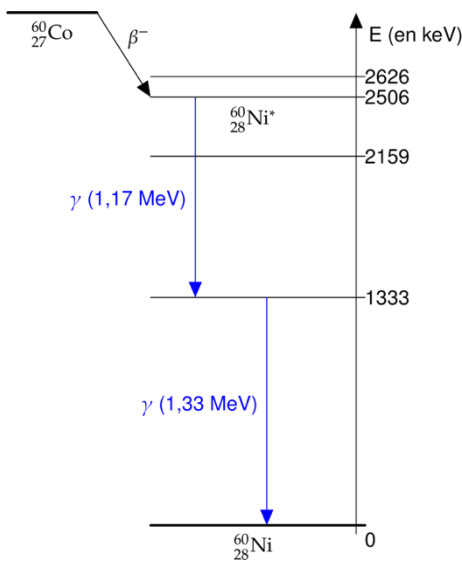


figure 7 : Niveaux d'énergie du noyau de ${}^{60}_{28}\text{Ni}$ (désintégration β^- du ${}^{60}_{27}\text{Co}$)

figure 8 : Mesures du rayonnement γ de la désintégration ${}^{60}_{27}\text{Co}$

Exercice C23 : Le laser Hélium-Néon (simplifié)

Le milieu laser d'un **laser hélium-néon** est un mélange gazeux d'hélium et de néon sous très faible pression. Lorsque le laser fonctionne, les atomes d'hélium sont excités par décharge électrique (voir figure). Ces atomes excités entrent en collision avec les atomes de néon dans leur état fondamental. Lors de cette collision il y a un transfert d'énergie des atomes d'hélium vers les atomes de néon qui se retrouvent dans un état excité E_2 d'énergie 20,66 eV. La radiation laser se fait lors de la transition de l'état E_2 vers E_1 :

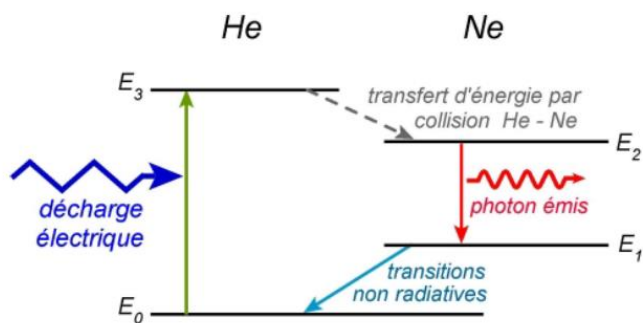


Schéma simplifié de fonctionnement du LASER He-Ne

Source : <http://www.maxicours.com/se/fiche/9/4/410449.html/ts>

- Au cours de cette transition des photons de longueur d'onde $\lambda = 632,8$ nm sont émis. Calculer l'énergie d'un photon émis ?
- En déduire l'énergie du niveau E_1 .
- Quelle est la couleur de la lumière émise par le laser He-Ne?
- La puissance d'un laser hélium néon utilisée habituellement au lycée pour des expériences d'optique est égale à 1 mW. Calculer le nombre de photons émis par seconde par ce laser.