

Un troisième modèle pour la lumière, le modèle corpusculaire

Introduction

Dans le chapitre précédent, nous avons vu comment le modèle ondulatoire permettait de comprendre la couleur de la lumière ou la couleur des objets éclairés. La théorie ondulatoire de la lumière qui date de la fin du XIXème siècle permettait, à l'époque d'unifier la mécanique, l'électromagnétisme et l'optique. Avec cette théorie, une onde monochromatique (c'est-à-dire) transportait de l'énergie avec une valeur qui pouvait prendre n'importe quelle valeur positive : pour augmenter cette valeur, il suffisait d'augmenter de cette onde monochromatique.

Max Karl Ernst Ludwig Plank, au tout début du XXème siècle, découvre, en travaillant sur des électrons à arracher à un métal en leur fournissant de l'énergie grâce à une onde lumineuse monochromatique, qu'en réalité, cette lumière ne peut transporter une énergie prenant n'importe quelle valeur. Les valeurs de l'énergie transportée par une lumière monochromatique donnée ne forment plus un de 0 à l'infini (en J) mais prennent que certaines valeurs dites Cette découverte a ébranlé toute la physique au début du XXème siècle. En 1905, Einstein, en reprenant les idées de Plank, énonce sa théorie sur les quanta de lumière. S'en suivront de nouvelles avancées dans l'étude de l'interaction entre matière et lumière. Le chapitre suivant vous fait découvrir ces nouvelles notions. Plank, pour ses travaux sur les quanta, a reçu le prix Nobel de physique en 1918 et Einstein en 1921.

I Les quanta de lumière d'Einstein

1) Principe

Toute lumière monochromatique transporte de l'énergie mais cette énergie ne peut prendre toutes les valeurs positives possibles. On dit en cela qu'elle est En effet, il faut envisager pour la lumière une nouvelle approche : on peut la modéliser par un flux de « corpuscules » (comme des petits grains de lumière), qui s'avèrent être des particules appelés sans masse et sans charge mais transportant tous, pour une lumière monochromatique de fréquence f, le « quanta » d'énergie de valeur :

$$E_{\text{photon}} = h \cdot f = h \cdot \nu$$

Unités dans le SI :

h est une constante universelle de la physique appelée
 et qui a pour valeur $h = 6,6260755 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$

Ainsi, tous les photons, **pour une lumière monochromatique** précise, transportent tous la énergie. Lorsqu'on augmente l'intensité d'une lumière monochromatique, on augmente en réalité le nombre de transportés mais donc, au final, l'énergie transportée par ces photons tous identiques ne peut prendre que les valeurs : (en mathématiques, il s'agit d'une suite.....) Toute valeur entre ces dernières est absolument **pour la lumière monochromatique** en question. L'énergie d'une lumière monochromatique n'est donc pas continue mais elle est bien

2) Autres formules à retrouver

Une lumière monochromatique correspond à une fréquence f donnée ou encore à une ou encore à une E_{photon} peut ainsi se mettre sous la forme

$$E_{\text{photon}} = h \cdot f = h \cdot \nu =$$

Un photon a une énergie de $E_{\text{photon}} = 3,00 \cdot 10^{-19} \text{ J}$. A quelle couleur correspond-il ?

3) Cas d'une lumière polychromatique

Concernant une lumière polychromatique caractérisée par plusieurs fréquences, on la modélise par un flux de photons dont les énergies se calculent en fonction des différentes fréquences. Ainsi si cette lumière possède trois fréquences f_1, f_2, f_3 , on la modélisera par un ensemble de photons répartis en « trois familles » dont les énergies valent respectivement

4) Dualité onde-corpuscule

La théorie corpusculaire permet d'expliquer les valeurs discrètes prises par l'énergie d'une onde électromagnétique monochromatique mais est en contradiction avec d'autres expériences : par exemple, lorsque deux faisceaux lumineux se croisent, avec uniquement cette vision corpusculaire de la matière, il y aurait modification de ces faisceaux après leur rencontre (deux corps qui se rencontrent se heurtent et changent de direction, comme deux boules de billard). Or c'est en total contradiction avec l'expérience. Il faut dans ce cas utiliser le modèle de la lumière pour bien la décrire (deux ondes se croisent sans se perturber comme par exemple les ondes à la surface de l'eau provenant de l'impact de deux cailloux tombés dans l'eau à deux endroits différents). Les deux théories sont complémentaires.

II Quantification des niveaux d'énergie dans la matière

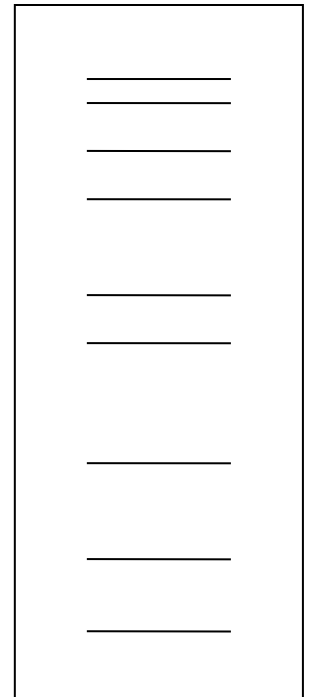
1) Principe

Les résultats de la quantification de l'énergie pour une onde monochromatique entraînent de nouvelles découvertes au niveau cette fois-ci de la matière. L'énergie de la matière est elle aussi quantifiée quand on regarde au niveau

L'énergie de tout système matériel microscopique ne peut prendre que certaines valeurs formant une suite Ces valeurs particulières sont appelées Ils sont représentés sur un : les niveaux les plus faibles en énergie sont en bas, les niveaux les plus élevés en énergie sont en haut.

Lorsque le système possède le niveau d'énergie le plus bas, il est dans son maximum de stabilité ; on dit qu'il se trouve dans son état fondamental. Le niveau correspondant est appelé

Dès qu'il possède un niveau d'énergie plus élevé, on dit qu'il est dans un état excité. Les autres niveaux sont donc appelés



2) Passage d'une valeur énergétique à une autre

Un système matériel peut passer d'un niveau d'énergie à un autre lors d'une Cette transition est symbolisée par une flèche sur le diagramme énergétique.

Il existe deux transitions possibles :

Soit le système gagne de l'énergie. Il passe d'un niveau d'énergie E_1 à un niveau d'énergie E_2 avec La flèche est alors dirigée de

Soit le système perd de l'énergie (il en cède). Il passe d'un niveau d'énergie E'_1 à un niveau d'énergie E'_2 avec La flèche est alors dirigée de

Conséquence immédiate fondamentale : de part l'existence de la quantification des états d'énergie du système microscopique, celui-ci ne peut échanger avec l'extérieur que de l'énergie avec des valeurs bien déterminées, cette énergie échangée étant ainsi elle aussi quantifiée : chaque valeur d'énergie échangée correspond en effet à une

3) Ordres de grandeur

Les énergies mises en jeu lors de ces transitions énergétiques sont faibles. On utilise peu le Joule comme unité mais plutôt l'électronvolt (eV) et ses multiples ou sous-multiples.

Rappel $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

Les transitions énergétiques **dans une molécule** lorsque celle-ci passe d'un niveau d'énergie à un autre (par exemple en changeant sa vitesse de rotation) sont de l'ordre de 10^{-2} eV .

Les transitions énergétiques **dans un atome** lorsque l'électron passe d'un niveau d'énergie à un autre (d'une couche à une autre) sont de l'ordre de 1 eV .

Les transitions énergétiques **dans un noyau** lorsque celui-ci passe d'un niveau d'énergie à un autre (lors d'une désexcitation avec émission de rayon γ , par exemple) sont de l'ordre du **MeV**.

III Conséquence : échange d'énergie entre lumière et matière, interprétation des spectres atomiques

1) Spectres atomiques d'émission

Imaginons un système matériel atome dans un état excité E_1 . Il peut passer vers un état d'énergie inférieure E_2 . Il perd/gagne (rayer la mention inutile) alors de l'énergie donc son énergie E_{atome} baisse/augmente ou encore sa variation d'énergie ΔE_{atome} est

$\Delta E_{\text{atome}} =$ _____

Mais cette énergie perdue, d'après le principe de ne disparaît pas, elle se retrouve sous une autre forme et en plus souvent chez un autre qui peut être un photon qui n'existait pas initialement et qui est créé

Lorsqu'un atome se désexcite (perte d'énergie du système matériel), simultanément, un photon est (gain d'énergie du système photon)

Le photon, lui, perd/gagne (rayer la mention inutile) de l'énergie (puisque au départ il n'existe pas) donc son énergie passe de (il n'existe pas encore) à E_{photon} (il est apparu)

$\Delta E_{\text{photon}} =$ _____

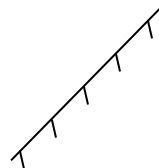
Mais l'énergie perdue par l'atome correspond exactement à l'énergie gagnée par le photon donc :

D'où

A chaque transition énergétique atomique correspond ainsi un photon avec une énergie donc une fréquence donc une ou encore une bien particulière.

Conséquence :

Etant donné que l'énergie de l'atome est quantifiée, seuls **certains photons et donc certaines radiations**, ayant une fréquence permettant le passage d'un niveau à un autre, **peuvent être émis** : les spectres d'émission sont des spectres dits De plus, ces raies d'émission apparaissent « » sur un fond



Allure des spectres d'émission :



2) Spectres atomiques d'absorption

Imaginons maintenant un atome dans un état d'énergie E_1 qui reçoit de l'énergie de l'extérieur. Il peut passer vers un état d'énergie E_2 . Il perd/gagne (rayer la mention inutile) alors de l'énergie donc son énergie E_{atome} baisse/augmente ou encore sa variation d'énergie ΔE_{atome} est

$\Delta E_{\text{atome}} =$ _____

Mais cette énergie gagnée, d'après le principe de n'..... pas toute seule, elle provient d'un autre système le plus souvent. Ce deuxième système peut être à nouveau un qui « passe par là » mais pas n'importe lequel !!

Lorsqu'un atome gagne en énergie, simultanément, un photon est (on ne peut absorber un $\frac{1}{2}$ photon) et donc

Le photon, lui, perd/gagne (rayer la mention inutile) de l'énergie (puisque à la fin il n'existe plus) donc son énergie passe de à

$\Delta E_{\text{photon}} =$ _____

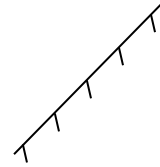
Mais l'énergie par l'atome correspond exactement à l'énergie par le photon donc :

D'où

A chaque transition énergétique atomique pour ce spectre correspond ainsi un photon avec une énergie donc une fréquence bien particulière : un seul type de photon est absorbé. Si l'énergie du photon ne correspond pas à l'expression précédente, alors ce photon

Conséquence :

Etant donné que l'énergie de l'atome est quantifiée, seuls **certains photons et donc certaines radiations**, ayant une fréquence permettant le passage d'un niveau à un autre, **peuvent être** : les spectres d'absorption sont des spectres dits Ces raies d'émission apparaissent sur un fond



Allure des spectres d'absorption en absorbance:



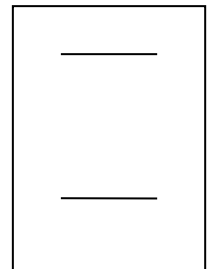
en transmittance :



3) Complémentarité des spectres d'émission et des spectres d'absorption

Un atome peut absorber une radiation qu'il est capable d'émettre (voir schéma). Il s'en suit qu'une raie du spectre d'absorption d'un atome correspond toujours à une raie est du spectre d'émission de cet atome (les deux raies étant à la même place dans le spectre). Le spectre d'absorption d'un atome est le complémentaire de son spectre d'émission.

Chaque atome ayant des états d'énergie qui lui sont particuliers, les spectres atomiques caractérisent les atomes, chaque spectre atomique est la signature de l'atome correspondant.



4) Exemple de l'atome d'hydrogène

Les niveaux d'énergies de l'atome d'hydrogène ont les énergies suivantes :

$$E_n = -13,6/n^2 \text{ eV} \quad \text{où } n \text{ est un nombre entier (} n=1 \text{ correspond au niveau fondamental).}$$

a) Placer les niveaux sur un diagramme énergétique gradué en eV (mettre les 6 premiers niveaux d'énergie).

b) Représenter par une flèche le passage du niveau 2 au niveau 5. Calculer la longueur d'onde correspondante.

Est-ce une absorption ou une émission ? La raie correspondante appartient à quel type de spectre ?

c) Représenter par une flèche le passage de l'état fondamental à l'état $n = +\infty$.

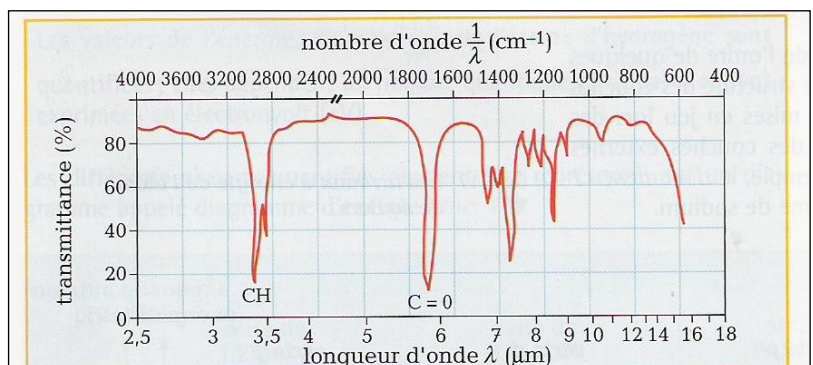
d) Représenter par des flèches vertes les transitions entre les niveaux 2, 3 et 4 vers le niveau 1. Calculer les longueurs d'onde correspondant aux radiations émises/absorbées (?). Ceci constitue la *série de Lyman*. De quel type d'ondes lumineuses s'agit-il ?

e) Représenter par des flèches rouges les transitions entre les niveaux 3, 4, 5 et 6 vers le niveau 2. Calculer les longueurs d'onde correspondant aux radiations émises/absorbées (?). Ceci constitue la *série de Balmer*. Les ondes lumineuses correspondantes sont-elles visibles ?

5) Spectres des molécules (voir aussi l'année prochaine)

Les paragraphes précédents 1) et 2)

peuvent correspondre à des molécules qui absorbent certaines radiations permettant à certaines de leurs liaisons de rentrer en vibration (une liaison peut correspondre, de façon très schématisée, à un système solide-ressort qui vibre autour d'une position d'équilibre) par exemple : spectre d'absorption de la molécule de méthanal.



Doc. 19 Le spectre d'absorption permet de caractériser la molécule. (La transmittance est le pourcentage d'intensité transmise.)