

Comment est émise la lumière ? (1)

Raies d'émission et niveaux atomiques.

La notion moderne de lumière et d'émission lumineuse a mis du temps à se définir, à partir de constatations expérimentales.

Les phénomènes de la nature composite de la lumière blanche ont été vraiment mis en évidence par la décomposition et la *recomposition* de la lumière blanche dans le prisme, par Newton. S'ensuivirent des expériences de diffractions et diffusions tout au long du 18^{ème} siècle où les opinions ont oscillé entre caractère ondulatoire et corpusculaire. Au cours du 19^{ème} ont été constaté les raies en émission de différents métaux et composés, chauffés dans une flamme, puis Faunhoffer observe des raies noires dans les spectres des étoiles. On associe des raies d'émission, puis celles d'absorption, à la caractérisation d'éléments bien spécifiques. A la fin du 19^{ème} le caractère quantique apparaît, un photon transporte une certaine quantité d'énergie proportionnelle à sa longueur d'onde et les atomes émettent seulement sur des longueurs d'ondes bien précises, c'est l'époque de Planck et Einstein.

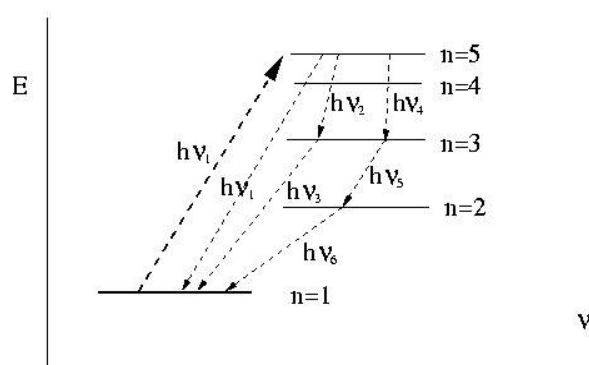
Parallèlement la physique qui commence à être celle des particules élémentaires découvre les constituants fondamentaux de la matière, les protons et les électrons (Rutherford) et commence à interpréter la constitution des atomes sur un modèle planétaire.

C'est de cette émergence de la théorie et des modèles atomiques que date vraiment la compréhension de l'émission de lumière, pourquoi elle est discontinue et pourquoi des fréquences sont caractéristiques des éléments, c'est le modèle d'atome de Bohr.

Dans les années 1920-30 l'équation de Schrödinger donnera sa forme définitive à la physique dite atomique et aux mouvements des électrons autour du noyau qui expliquera les différents niveaux d'énergie des électrons et par la même les spectres de raies observés expérimentalement.

La compréhension actuelle de l'émission de lumière peut donc se résumer ainsi.

Les électrons en mouvement autour du noyau et soumis aux forces électromagnétiques créés par les charges positives(protons du noyau) et négatives(électrons) se stabilisent sur des niveaux d'énergie stables et bien déterminés, quantifiés. Si, à la suite d'une perturbation où ils absorbent de l'énergie, ils changent de niveau d'énergie ils retomberont sur leur état initial en émettant une radiation électromagnétique(photon) d'énergie, donc de longueur d'onde, égale à la différence entre les deux niveaux selon la formule : $h\nu = E_i - E_f$



Si cette différence d'énergie correspond à la longueur d'onde d'un photon lumineux, l'émission sera « visible » mais de nombreux écarts entre niveaux sont dans d'autres gammes de fréquences. En outre si la perturbation initiale a fait sauter un électron très loin de son état d'équilibre il peut retomber sur celui-ci par paliers successifs et donc émettre plusieurs photons correspondant à ces différences entre paliers successifs.

L'**absorption**, qui produit les raies noires dans un spectre procède du même phénomène : un photon dont l'énergie est égale à un saut possible entre deux niveaux d'un atome, sera absorbé par l'électron qui changera de niveau. Ensuite cet électron va retomber sur son niveau initial en restituant le photon mais celui-ci aura perdu sa direction initiale dans le processus et sera éliminé du faisceau.

Il existe plusieurs moyens de déplacer les électrons, la chaleur est le principal dans les étoiles mais les chocs de particules ionisantes, les irradiations par des particules très énergiques sont aussi fréquentes dans la nature et dans les objets astronomiques.

Enfin les atomes sont un cas type de systèmes de charges électriques en mouvement mais les molécules le sont aussi. Les différents noyaux présents y sont soumis à des vibrations, des rotations, elles aussi quantifiées et les sauts entre états quantiques différents vont également émettre des photons qui seront caractéristiques de ces molécules et vont permettre leur identification dans des corps astronomiques lointains.

Les niveaux atomiques.

Pour commencer par une représentation simple de l'atome on part du modèle d'atome de Bohr.

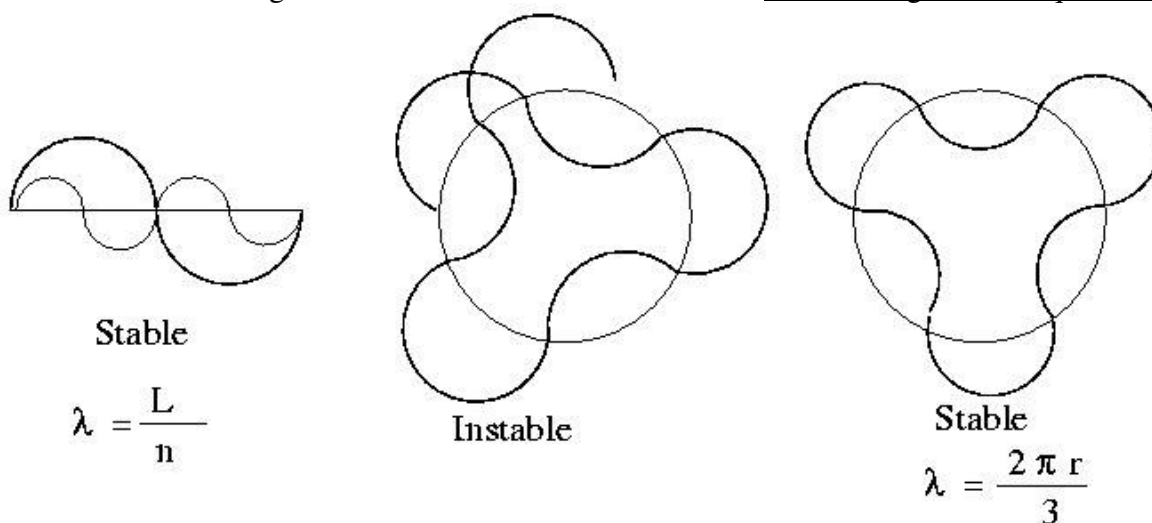
Le système imaginé par Bohr est calqué sur le système planétaire, les électrons tournent autour du noyau sur des orbites circulaires, maintenus par l'équilibre entre la force électromagnétique d'attraction et la force centrifuge. L'analogie avec la force gravitationnelle est évidente sauf que dans un système planétaire toutes les orbites sont permises.

Dans l'atome les rayons des orbites sont fixes, c'est une conséquence de la nature ondulatoire de la particule : si l'électron est une onde il se maintient sur sa trajectoire seulement si la circonférence du cercle orbital est égale à un nombre entier de longueurs d'onde, sinon cette onde se détruit elle-même par interférence destructive, d'où la relation : $2\pi r = n\lambda$, n est un entier positif.

On peut substituer λ par $\frac{h}{mv}$ donc $mv r = n \frac{h}{2\pi} = n\hbar$ ($\hbar$ est appelée constante de

Planck)

mvr est le moment angulaire de l'électron. En conclusion le moment angulaire est quantifié.



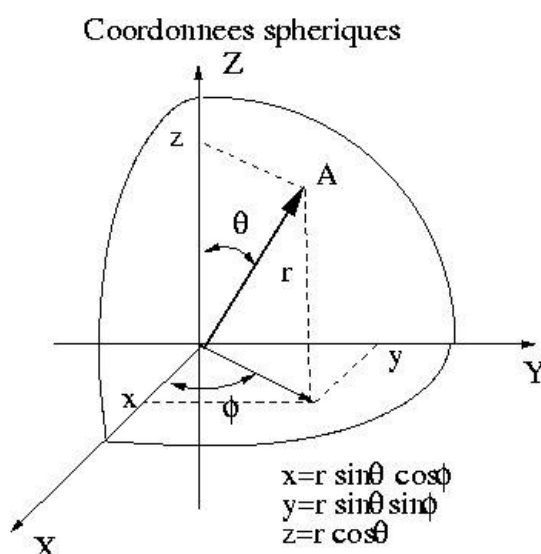
Si les niveaux d'énergie sont quantifiés les sauts entre différents niveaux le sont aussi et les différences d'énergies émises sous forme de photons le sont également.

Pratiquement on a résolu le système d'une orbite plane, mais ceci est une simplification qui n'a pas de justification, l'électron peut se déplacer dans tout l'espace autour du noyau en gardant la même distance donc la même énergie.

La résolution du système dans l'espace n'est venue qu'avec Schrödinger et la fameuse équation du même nom.

Si l'on regarde seulement les solutions de l'équation de Schrödinger dans le cas de potentiel électrique, $V = \frac{eE}{r}$ dit coulombien, on voit que les déplacements des électrons dépendent

maintenant de trois nombres que l'on nomme **n, l et m** qui ne prennent que des valeurs entières et correspondent à des répartitions dans l'espace et non plus sur une orbite.



On utilise le plus souvent pour caractériser la position d'un point dans l'espace non pas un système de coordonnées cartésiennes : x, y, z mais des coordonnées sphériques, où la position est déterminée par le rayon et deux angles. La correspondance est alors :

n est lié au rayon moyen, donc à l'énergie de la particule. C'est le **nombre quantique principal**.

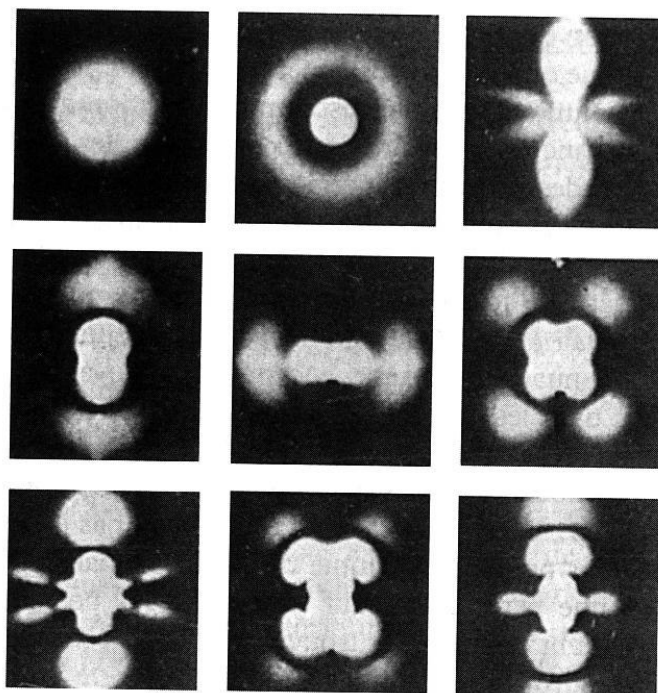
l est associé à l'angle azimutal donc au moment angulaire, mais cette fois le moment angulaire est un peu différent, son expression est $L = h\sqrt{l(l+1)}$ donc non entière, mais sa projection L_z selon un axe Z reste entière selon la règle de quantification $L_z = l \frac{h}{2\pi} = l\hbar$ où l prend toutes les valeurs entières entre 0 et n-1. l est le **nombre quantique orbital**.

m associé à l'angle zénithal, varie de -l à +l mais il n'est important que si l'atome est plongé dans un champ magnétique externe. On le nomme **nombre quantique magnétique**.

On ne peut plus parler d'orbite où se déplacerait l'électron mais de différents domaines de l'espace où il « séjourne » avec une certaine probabilité, cette probabilité est liée à ce qu'on

nomme sa *fonction d'onde* et l'ensemble de ses positions possibles est son *orbitale*, évidemment définie par les valeurs de n et l . Ces orbitales sont très loin d'être sphériques, quelques exemples le montrent. Ces orbitales permettent d'expliquer les facilités de liaison chimiques qui ne sont pas autre chose que la mise en commun d'électrons entre atomes qui se lient ainsi (des atomes crochus d'une certaine façon).

Quelques représentations d'orbitales



Configurations de l'onde de l'électron dans l'atome.