

# Brève introduction à la Physique Quantique

## Deuxième partie: La Physique des Quanta

*Comme toute théorie scientifique, la Physique Quantique est d'abord une réponse à des questions précises. C'est son point de départ, sa justification première. Ces problèmes, que la physique ne parvenait pas à comprendre ni même à aborder, ont tous trait à la nature de la lumière et à son interaction avec la matière.*

On appelle **Physique des Quanta** les premiers développements de la Physique Quantique, centrés sur la découverte des photons et sur la compréhension qu'elle apporte à la relation entre matière et lumière.

La matière à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle était mal connue des physiciens. On admettait qu'elle était constituée d'atomes, mais ceux-ci restaient mystérieux. Si on connaissait leur taille, ou plutôt leur poids, on ignorait tout de leur forme. Joseph John Thomson venait de découvrir l'électron, un constituant de l'atome, chargé négativement, ce qui laissait entrevoir que la force électrique devait jouer un rôle dans la structure atomique.

La lumière par contre était alors bien comprise. James Maxwell avait découvert sa nature surprenante: c'est un phénomène électrique! Pour produire de la lumière, il suffit de faire osciller des objets chargés électriquement. C'est ce qui se passe dans le soleil. Réciproquement, la lumière met en vibration les objets chargés électriquement. C'est ce qui se passe dans notre œil.

La lumière avait beau être bien comprise, son interaction avec la matière ne l'était pas. En particulier, les trois phénomènes suivants résistaient à toute tentative d'explication.

*1<sup>er</sup> phénomène: la lumière émise par un objet chaud.* Tout objet chaud émet de la lumière, cela fait partie de l'expérience commune. Lord Rayleigh et J. Jeans ont tenté de déduire ce fait de la théorie de Maxwell et de la thermodynamique. Leur explication reproduisait bien les données expérimentales dans le domaine des infra-rouges. Par contre elle échouait totalement dans celui des ultra-violets, prédisant beaucoup trop d'émission de ces rayons.

*2<sup>e</sup> phénomène: l'effet photo-électrique.* Lorsqu'un métal est illuminé il peut émettre un courant électrique. Or, chose étrange, ce courant dépend de la couleur de la lumière incidente. Il se produit surtout pour des rayons ultra-violets.

*3<sup>e</sup> phénomène: les couleurs émises par des gaz lors de décharges électriques.* Lorsqu'un tube contenant de l'hydrogène, ou tout autre gaz, est traversé par des décharges électriques, une lumière est émise, qui n'est constituée que de certaines couleurs. La série de ces couleurs dépend du gaz contenu dans le tube. Ce phénomène se distingue du premier, dans lequel toutes les couleurs sont observées. Si le tube est chaud, les phénomènes 1 et 3 se superposent.

La Physique des Quanta va pouvoir expliquer ces trois phénomènes, jusque dans leurs détails, à l'aide d'une hypothèse habile mais injustifiable.

Avant de présenter cette hypothèse, remarquons que ces trois phénomènes ont en commun de faire intervenir la couleur de la lumière de façon cruciale. Or l'énergie, la grandeur physique qui gère le choix des phénomènes, est insensible à la couleur, du moins dans la conception de Maxwell. Dans cette vision, la lumière étant émise par des charges électriques oscillantes, son énergie dépend de la quantité de ces charges et de l'amplitude de leurs oscillations. La fréquence des oscillations, qui définit la couleur, n'intervient pas dans le calcul de l'énergie.

Pourtant à notre époque nous savons tous qu'il y a une relation entre la couleur et l'énergie d'une lumière, car nous savons que les rayons au-delà du violet, les ultra-violets, rayons X et rayons gamma de la radioactivité, sont dangereux. On les dit **pénétrants**. Comment faire intervenir la

couleur dans l'énergie sans altérer l'explication de Maxwell, qui est par ailleurs si efficace?

C'est cet exploit que permet l'hypothèse qui fonde la Physique des Quanta, et qui est due à Max Planck et à Einstein. La lumière, vue à l'échelle microscopique, s'avère granuleuse, formée d'un ensemble de minuscules grains, qu'on appela d'abord **quanta** (d'où le nom de Physique des Quanta) puis maintenant **photons**. C'est l'hypothèse atomique appliquée à la lumière! Pour que l'hypothèse fonctionne, il faut ajouter que les photons ont chacun une couleur précise, et que leur énergie est proportionnelle à leur fréquence. Ainsi les photons les plus pénétrants ont la plus grande énergie.

A grande échelle, la lumière est formée de si nombreux photons qu'elle semble continue (comme la matière d'ailleurs) et la conception de Maxwell est parfaitement valable. A l'échelle microscopique par contre, l'hypothèse des photons modifie radicalement la description des phénomènes. Ainsi, par exemple, les trois phénomènes ci-dessus peuvent se comprendre de la façon suivante.

*Explication du 1er phénomène: **la lumière émise par un objet chaud**.* Dans le domaine des infra-rouges les photons ont une énergie si faible qu'ils apparaissent en très grand nombre. On peut alors négliger l'hypothèse des photons, et on retrouve la loi de Rayleigh-Jeans. Par contre dans l'ultra-violet, les photons ont une grande énergie, et comme l'énergie totale de la lumière est définie par sa source, il n'y en pas assez pour les photons trop pénétrants, qui ne peuvent donc pas être émis.

*Explication du 2e phénomène: **l'effet photo-électrique**.* Lorsqu'un photon atteint un atome, un des ses électrons peut l'absorber et récupérer ainsi son énergie. Si cette énergie est suffisante, (c'est-à-dire si le photon était suffisamment pénétrant) l'électron peut alors quitter l'atome et produire un courant électrique.

*Explication du 3e phénomène: **les couleurs émises par des gaz lors de décharges électriques**.* Reprenons l'idée précédente, que ce sont les photons qui interagissent avec les électrons des atomes. Cette fois, les électrons émettent des photons (au lieu de les absorber), en perdant l'énergie correspondante. Comme seules certaines couleurs sont émises, c'est-à-dire certains photons, on en déduit que les électrons de l'atome ne peuvent perdre que certaines valeurs d'énergie. Il existe donc des niveaux d'énergie dans lesquels les électrons sont confinés. Cette image de l'atome en couches concentriques d'énergie fixée, dans lesquelles les électrons sont prisonniers, constitue le premier modèle de structure atomique qui tient compte des émissions lumineuses.

Historiquement, c'est à **Max Planck** que revient l'honneur du premier pas dans le monde quantique. C'est lui l'explorateur intrépide, le père fondateur de la Physique Quantique. Après une vingtaine d'années de travail acharné, il était convaincu que son hypothèse était la seule solution pour expliquer la lumière émise par un objet chaud. Elle corrigeait parfaitement la loi de Rayleigh-Jeans pour la rendre conforme aux expériences. Cependant il craignait une révolution scientifique. Il confia à son fils qu'il avait fait une découverte si extraordinaire qu'il n'osait pas la communiquer. L'exposé public eu lieu à la Société des Sciences de Berlin, en décembre 1900. Prudemment il affirma qu'il avait trouvé une astuce mathématique qui résolvait le problème, mais se garda d'en faire une découverte de physique.

C'est le pas que fit le jeune **Albert Einstein**, cinq ans plus tard. Non seulement il considéra l'hypothèse de Planck comme décrivant la réalité physique, mais encore il la dépassa en admettant que la lumière elle-même, à l'échelle atomique, était discontinue. Ceci lui permit d'expliquer en détail l'effet photo-électrique. Einstein est donc le père du photon.

Le danois **Niels Bohr** utilisa l'existence des photons pour présenter un modèle d'atome "en couches" qui rendait compte des couleurs émises. Bien que ce modèle comportait de nombreux défauts (l'existence des couches étant une construction ad hoc) il rencontra un vif succès auprès des physiciens et des chimistes, car il ouvrait une nouvelle porte à la science.

La physique des quanta ne se limite pas aux trois phénomènes présentés ici. De nombreux résultats lui sont redevables, dont l'exposé dépasse le cadre de cette introduction. Pour plus de détails, zappez sur **Lectures**.