

La dualité onde — corpuscule

1 La physique au début du 20^{ième} siècle, les questions

1.1 Qu'est-ce que la lumière ?

Pour Newton (1642-1727).

La lumière est formée de corpuscules de différentes couleurs.

Cette vision permet de décrire :

- Les lois de l'optique géométrique,
- La dispersion de la lumière par un prisme (couleurs de l'arc-en-ciel).

Pour Huyghens (1629-1695), Young (1773-1829) et Fresnel (1788-1827).

La lumière est une onde

Cette vision permet de décrire :

- Les lois de l'optique géométrique,
- la dispersion de la lumière par un prisme (couleurs de l'arc-en-ciel),
- La diffraction de la lumière,

On parle de diffraction lorsque la lumière, après avoir rencontré une ouverture ou un obstacle, peut se retrouver dans des zones de l'espace non prévues par l'optique géométrique.

- Les interférences lumineuses,

On parle d'interférences lumineuses lorsque deux faisceaux de lumière se superposent dans l'espace. Dans certaines circonstances, ils ne se renforcent pas forcément, ils s'annulent.

- L'effet doppler,

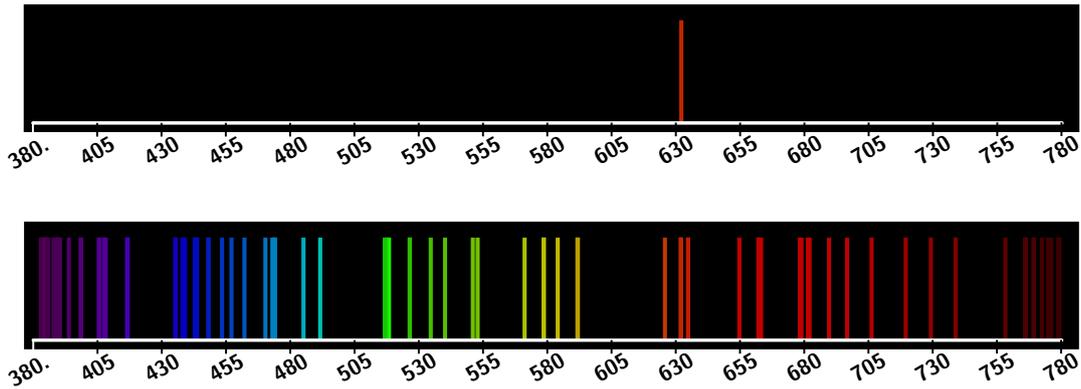
La fréquence perçue d'une onde émise par une source en mouvement n'est pas égale à la fréquence de l'onde émise.

De plus, Maxwell (1831-1879). Inscrit le comportement de la lumière dans un cadre théorique plus large : ondes électromagnétiques.

1.2 Quelle est l'origine des spectres de raies ?

- Bunsen (1811-1899) - Kirchhoff (1824-1887)

Le résultat de l'analyse de la lumière absorbée ou émise par des vapeurs atomiques est un *spectre de raies caractéristique de l'atome*.

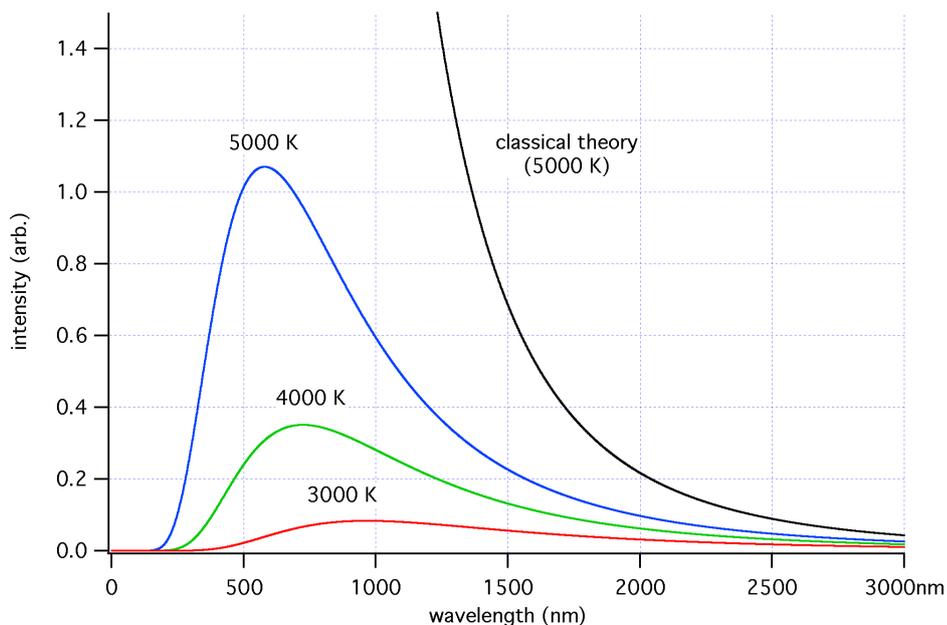


- Découverte du rubidium (présence d'une intense raie rouge) et du césium (présence d'une raie bleu),
- Découverte de l'hélium : dans le Soleil (1868), sur Terre (1895).

1.3 Pourquoi le rayonnement du corps noir (ou rayonnement thermique) possède-t-il ce comportement aux petites longueurs d'onde ?

- Kirchhoff - 1859

Le rayonnement du corps noir possède un spectre continu et caractéristique qui ne dépend que de sa température.



1.4 Comment expliquer l'effet photoélectrique ?

- Hertz (1857-1894)

La découverte et l'étude du phénomène photoélectrique a réservé aux physiciens une très grande surprise. Ce phénomène consiste en ceci qu'un morceau de matière exposé à l'action

d'une radiation de longueur d'onde suffisamment courte projette souvent autour de lui des électrons en mouvement rapide. La caractéristique essentielle du phénomène est que l'énergie des électrons expulsés est uniquement fonction de la fréquence de la radiation incidente et ne dépend nullement de son intensité. Seul le nombre des électrons dépend de l'intensité incidente. Ces lois empiriques simples rendaient très pénible l'interprétation théorique du mécanisme élémentaire aboutissant à la libération des électrons photoélectriques, des photo-électrons comme on dit aujourd'hui. La théorie ondulatoire de la lumière qui paraissait vers 1900 reposer sur des bases inébranlables conduit à considérer l'énergie radiante comme répartie uniformément dans l'onde lumineuse. Un électron frappé par une onde lumineuse reçoit donc l'énergie radiante d'une façon continue et la quantité d'énergie qu'il reçoit ainsi par seconde est proportionnelle à l'intensité de l'onde incidente et ne dépend nullement de la longueur d'onde. Les lois de l'effet photoélectrique paraissaient donc bien difficiles à expliquer.

Physique nouvelle et quanta, Louis de Broglie, Flammarion (1933)

2 Des quanta aux photons et à la dualité onde-corpuscule

2.1 Catastrophe ultraviolette

- La théorie classique ne permet pas de retrouver le spectre du corps noir pour les grandes fréquences (petites longueurs d'onde).
- Planck (1858-1947) – 1900 : À partir des données expérimentales, par modélisation, détermine l'expression de la fonction mathématique qui permet de retrouver le spectre de rayonnement du corps noir,

Les échanges d'énergie entre la matière et la lumière se font par « paquets non dissociables » appelés quanta.

2.2 Einstein (1879-1955) - Effet photoélectrique - 1905

Ce ne sont pas les échanges d'énergie entre la lumière et la matière qui sont quantifiés, c'est l'énergie que transporte la lumière qui l'est.

2.3 Effet Compton - 1923

Un photon possède une quantité de mouvement.

2.4 Le photon

- Se déplace à la célérité c de la lumière, quel que soit le référentiel par rapport auquel son mouvement est décrit.
- Ne possède ni masse, ni charge électrique.
- Possède une énergie E_r proportionnelle à sa fréquence ν :

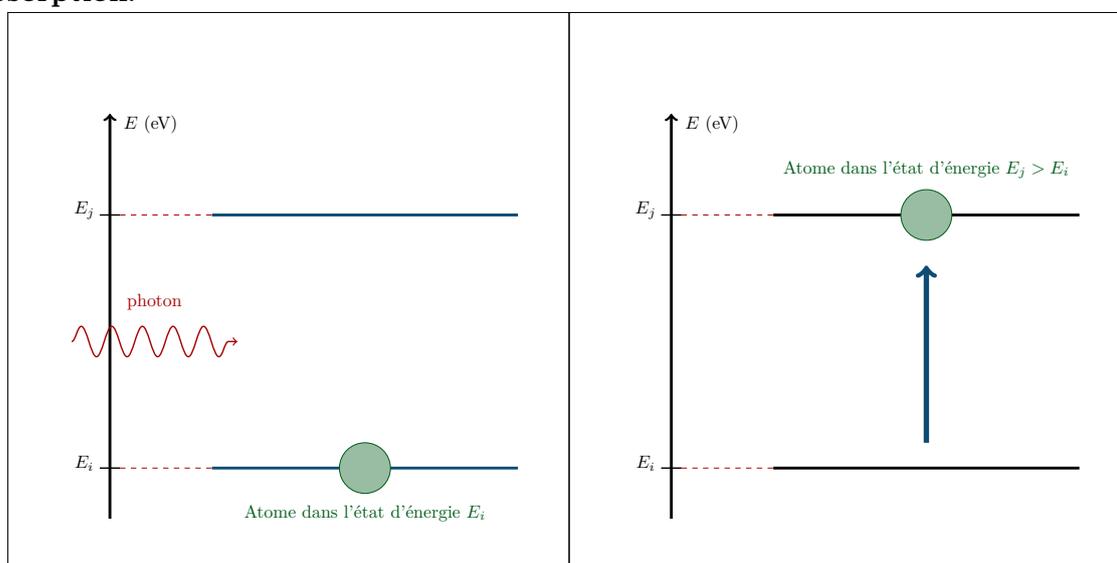
$$E_r = h \nu$$

où h est la constante de Planck.

$$h = 6,62607015 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

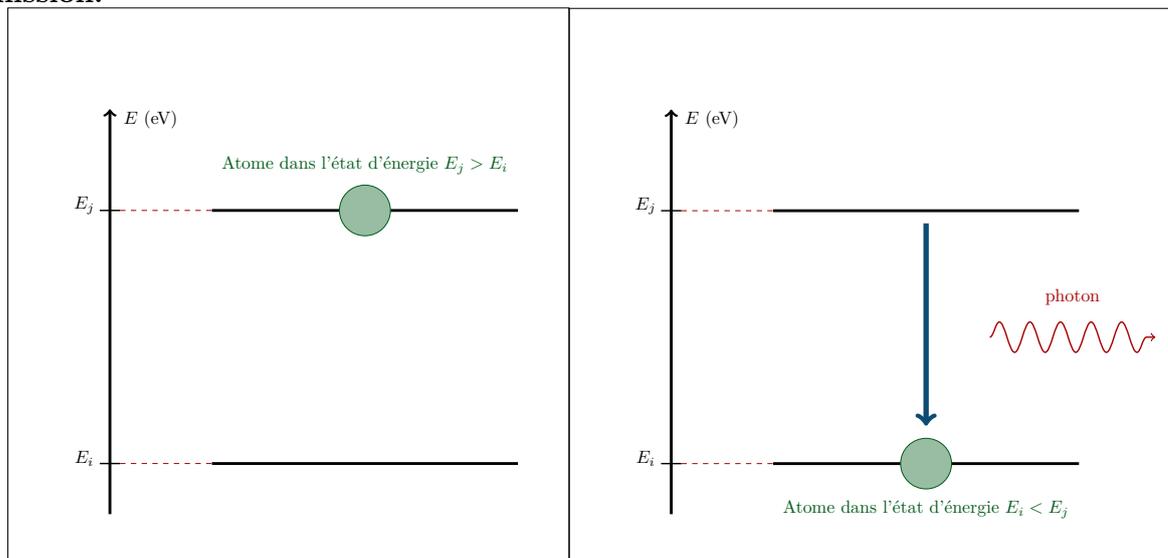
- Peut être détruit (phénomène d'absorption de la lumière) ou créé (phénomène d'émission de la lumière) :

Absorption.



La transition a lieu si, pour $E_r = h \nu$ et $\Delta E = E_j - E_i$, $E_r = \Delta E$.

Émission.



L'énergie du photon créé vaut

$$E_r = |\Delta E| = |E_i - E_j|$$

2.5 Dualité onde-corpuscule

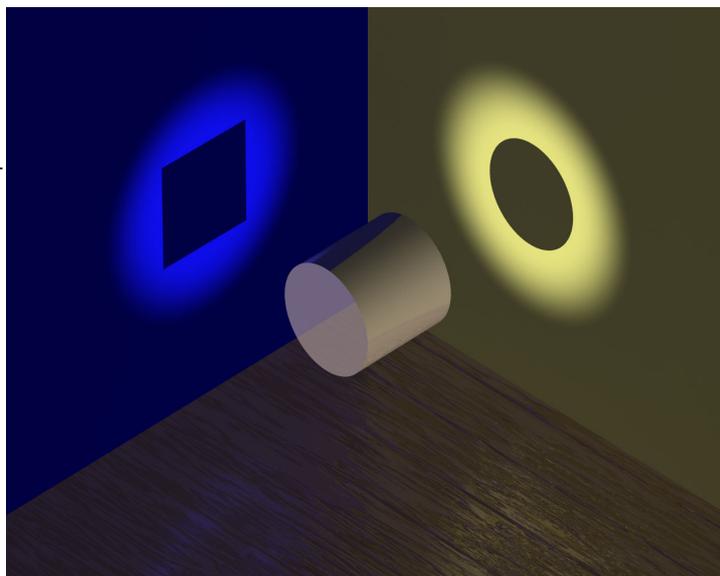
Principe selon lequel *tous les objets physiques peuvent présenter parfois des propriétés d'ondes et parfois des propriétés de corpuscules et de particules.*

La manifestation de ces propriétés ne dépend pas seulement de l'objet étudié isolément, mais aussi de tout l'appareillage de mesure utilisé.

Métaphore du cylindre.

Un cylindre n'est ni un disque, ni un parallélépipède rectangle. Cependant selon l'angle sous lequel on l'observe les projections donnent un disque ou un parallélépipède rectangle. De la même manière, « onde » et « corpuscule » sont des manières de voir les choses et non les choses en elles-mêmes.

Il est inexact de dire que la lumière est à la fois une onde et un corpuscule, elle n'est ni l'un, ni l'autre.

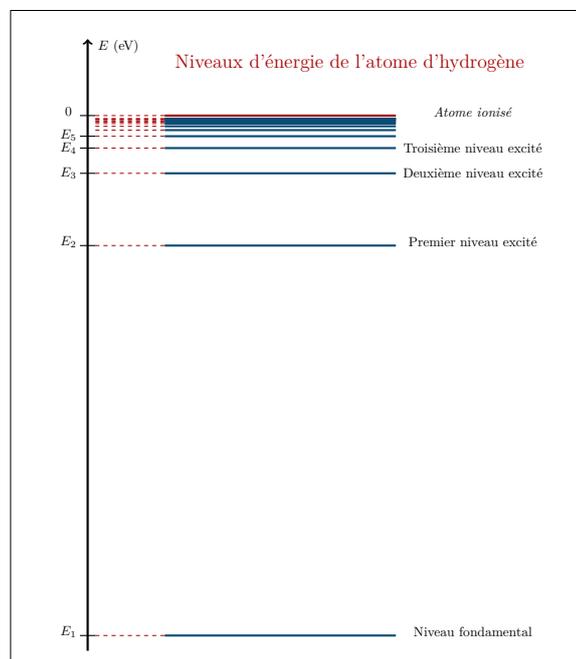


3 Le monde à l'échelle microscopique

3.1 Niveaux d'énergie des atomes

L'énergie d'un atome est quantifiée : l'ensemble des valeurs des énergies possibles est infini mais discret.

Les niveaux d'énergies représentés sont ceux qui modélisent l'interaction entre l'électron et le noyau.



3.2 Niveaux d'énergie des molécules

L'énergie d'une molécule est quantifiée : l'ensemble des valeurs des énergies possibles est infini mais discret.

3.3 Généralisation

L'énergie de toutes les entités, à l'échelle microscopique est quantifiée.