

# Ouverture vers la physique quantique

---

- **Constante de Planck** :  $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$  et  $\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,05 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ .

## I - Dualité onde-corpuscule

- **Quantification des échanges d'énergie** : lumière et matière échangent l'énergie par multiples entiers de  $\varepsilon = h\nu$ .  
 ~> effet photo-électrique : seul un rayonnement de fréquence élevé peut arracher des électrons au métal.
- **Nature corpusculaire de la lumière** : certaines expériences ne peuvent être interprétées qu'en décrivant la lumière comme un flux de particules élémentaires, les photons.  
 ~> expérience de Kimble, Dagenais et Mandel : avec une source de photons uniques, il n'y a jamais aucun événement de détection simultanée dans les deux voies de sortie d'une lame semi-réfléchissante.
- **Dualité onde-corpuscule pour la lumière** :
  - ▷ les photons présentent un comportement de type particule dans leur détection, mais la probabilité de les détecter en un point est régie par des lois ondulatoires ;
  - ▷ ni un modèle totalement ondulatoire, ni un modèle totalement corpusculaire ne suffisent à décrire la lumière, qui présente une nature mixte.
 ~> expérience d'interférences de photons uniques : chaque photon est détecté en un point de l'écran, mais pour un grand nombre de détections on retrouve une figure d'interférences.
- **Propriétés du photon** : liées à celles de l'onde, c'est le même objet physique.
  - ▷ se propage à la célérité de la lumière ;
  - ▷ masse rigoureusement nulle ;
  - ▷ possède une énergie  $\varepsilon = h\nu = \hbar\omega$  (fréquence et pulsation de l'onde) ;
  - ▷ possède une quantité de mouvement  $\vec{p} = \hbar\vec{k}$  (vecteur d'onde de l'onde).
- **Dualité onde-corpuscule pour la matière** :
  - ▷ des interférences de particules uniques sont observables avec des électrons, des neutrons, etc.
  - ▷ onde de matière = onde associée à une particule ;
  - ▷ se propage à vitesse  $\vec{v}$  de la particule ;
  - ▷ possède un vecteur d'onde  $\vec{k} = \vec{p}/\hbar$  et une longueur d'onde  $\lambda = h/p$ .
- **Influence d'un observateur** : si l'on cherche à savoir par quelle fente la particule est passée, les interférences disparaissent : la mesure détruit l'état quantique.  
 ~> plus de fente à traverser entre la détection et l'écran, donc plus d'interférences.

## II - Introduction au formalisme de la mécanique ondulatoire

- **Fonction d'onde**  $\psi(M, t)$   $\rightsquigarrow$  remplace la notion de trajectoire.
  - ▷  $dP = |\psi(M, t)|^2 dV$  est la probabilité qu'une mesure réalisée à l'instant  $t$  détecte la particule dans un volume  $dV$  centré sur le point  $M$ .
  - ▷ normalisation :  $\iiint |\psi(M, t)|^2 dV = 1$  (la particule se trouve quelque part);
  - ▷ unité :  $[dP] = 1$  donc  $[\psi] = \text{m}^{-3/2}$ .
- **Interprétation d'une expérience d'interférences de particules uniques** : l'état quantique est une superposition :

$$\psi = \frac{1}{\sqrt{2}}(\psi_1 + \psi_2) \quad \text{d'où} \quad |\psi|^2 \neq \frac{1}{2}|\psi_1|^2 + \frac{1}{2}|\psi_2|^2.$$

- **Inégalité d'Heisenberg** :
  - ▷ L'indétermination quantique  $\Delta x$  sur la position et  $\Delta p_x$  sur la quantité de mouvement d'une particule évoluant à une dimension sont reliées par

$$\Delta x \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2}.$$

- ▷ Ces indéterminations sont intrinsèques, sans aucun lien avec la précision de l'appareil de mesure.
- ▷ *Égalité à la limite quantique* : pour une particule quantique,

$$\Delta r \times \Delta p \sim \hbar$$

où  $\Delta r$  est la taille caractéristique de la zone accessible à la particule et  $\Delta p \sim p = mv$  lorsque la particule peut se déplacer dans toutes les directions.

## III - Description semi-classique de l'atome d'hydrogène

- **Modèle de Bohr** :
  - ▷ Hypothèses :
    - électron en orbite circulaire autour du proton;
    - quantification du moment cinétique pour les seules orbites possibles,  $L_z = n\hbar$  ( $n \in \mathbb{N}$ );
    - l'électron n'émet ou n'absorbe de lumière que lors de transitions entre niveaux.
  - ▷ Interprétation ondulatoire de la quantification : l'onde de matière associée à l'électron interfère constructivement avec elle-même au bout d'un tour,  $2\pi r_n = n\lambda$ .
- **Quantification des orbites et de l'énergie** :
  - ▷ rayon des orbites :  $r_n = n^2 a_0$  avec  $a_0 = 53 \text{ pm}$  le rayon de Bohr;
  - ▷ énergie de l'électron :  $E_n = -\frac{E_1}{n^2}$  avec  $E_1 = 13,6 \text{ eV}$  l'énergie d'ionisation.