

Résumé du chapitre XIII

La nature quantique du rayonnement

- **Le rayonnement du corps noir**

Un **corps noir** est un corps qui absorbe tout le rayonnement qu'il reçoit.

Le **rayonnement du corps noir** est le rayonnement qui règne à l'intérieur d'une cavité à l'équilibre thermique. Il ne dépend que de la température de la cavité.

La **densité d'énergie monochromatique** u_ν (u_λ) est définie par

$$\begin{aligned} u_\nu d\nu &= \text{densité d'énergie de fréquence comprise entre } \nu \text{ et } \nu + d\nu \\ u_\lambda d\lambda &= \text{densité d'énergie de longueur d'onde comprise entre } \lambda \text{ et } \lambda + d\lambda \end{aligned}$$

Loi de Stefan-Boltzmann

L'énergie EM émise par unité de surface et par unité de temps par un corps noir à température T est donnée par

$$R = \sigma T^4 \quad \text{où} \quad \sigma = 5.682 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$$

On montre que la **densité d'énergie EM** $u(T)$ est reliée à R par $R = cu(T)/4$.

Loi de Wien

La longueur d'onde λ_m correspondant au maximum de u_λ est telle que

$$\lambda_m T = 2.898 \cdot 10^{-3} \text{ mK}$$

Loi de Planck

La variation de u_ν en fonction de ν ne peut pas être expliquée dans le cadre des concepts de la physique classique. En suivant les idées proposées par Planck, on peut trouver l'expression correcte pour la densité d'énergie monochromatique en faisant les hypothèses suivantes:

– les états d'énergie possibles d'un oscillateur harmonique sont quantifiés,

$$E_n = nh\nu \quad \text{où} \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

$$h = \text{constante de Planck} = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

– les échanges d'énergie entre l'onde EM et les oscillateurs harmoniques de la paroi de la cavité sont quantifiés et tels que $\Delta E = h\nu$

Loi de radiation de Planck

$$u_\nu = \frac{8\pi h}{c^3} \frac{\nu^3}{\exp\left(\frac{h\nu}{k_B T}\right) - 1}$$

$$u_\lambda = 8\pi h c \frac{\lambda^{-5}}{\exp\left(\frac{hc}{\lambda k_B T}\right) - 1}$$

- **Effet photoélectrique**

Une surface métallique irradiée par une onde EM de fréquence $\nu > \nu_{\text{seuil}}$ émet des électrons, c'est l'**effet photoélectrique**.

Pour expliquer l'effet photoélectrique, Einstein (1905) proposa que l'onde EM est formée de **photons**, dont l'énergie est localisée dans l'espace et dont la vitesse est égale à la vitesse de la lumière c . Un photon interagit avec un seul électron.

$E = h\nu$ est l'énergie d'un photon

Equation d'Einstein pour l'effet photoélectrique

$$h\nu = e\Phi + E_{\text{cin}}$$

$e\Phi$ = travail de sortie du métal E_{cin} = énergie cinétique des électrons

- **Effet Compton (1923)**

Compton constata que des rayons X de longueur d'onde λ diffractés par un solide ont une longueur d'onde λ' supérieure à λ . Cette expérience s'interprète en admettant qu'un photon de quantité de mouvement p entre en collision avec un électron au repos dans le solide. En écrivant que l'énergie relativiste et la quantité de mouvement sont conservées, on vérifie que

$$\lambda' - \lambda = \Delta\lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos\theta)$$

- **Le photon**

Les expériences ci-dessus ne peuvent être expliquées que si l'on considère une onde EM comme formée de photons de masse nulle, dont l'énergie et la quantité de mouvement sont reliées à la fréquence et à la longueur d'onde de l'onde EM par

$$E = h\nu \quad p = h/\lambda$$