Loi de Planck

(1) L'<u>équation d'onde</u> du champ électromagnétique (onde classique)

est $\partial_t^2 \vec{E} - c^2 \Delta \vec{E} = 0$,

$$\Delta \vec{E} = \partial_{x_1}^2 \vec{E} + \partial_{x_2}^2 \vec{E} + \partial_{x_3}^2 \vec{E}$$

Si <u>onde plane</u> $\vec{E}(\vec{x}, t) = \vec{E}_0 \, e^{i(\omega t + \vec{k}.\vec{x})}$

cela donne $-\omega^2 + c^2 (k_1^2 + k_2^2 + k_3^2) = 0$

$\Longleftrightarrow \quad |\omega| = c \, |\vec{k}|$: "relation de dispersion"

Cela donne en fait la fonction <u>Hamiltonien</u> ou <u>énergie</u> : $\boxed{\omega(\vec{x}, \vec{k}) = c \, |\vec{k}|}$

sur l'<u>espace des phase</u> $(\vec{x}, \vec{k}) \in \mathbb{R}^3 \times \mathbb{R}^3$

(2) D'après la <u>quantification du champ électromagnétique</u>, un mode précédent de fréquence ω (ex : une onde plane polarisée)

est en fait décrit par des états quantiques $\varphi_{\omega,N}$, où $N \in \mathbb{N}$ est le <u>nombre de photons</u>.

L'<u>énergie</u> de l'état $\varphi_{\omega,N}$ est $E_{\omega,N} = \hbar\omega\left(N + \frac{1}{2}\right)$

ainsi ajouter un photon, augmente l'énergie de $\hbar\omega = h\nu$

. Le nombre $N \geqslant 0$ est arbitraire et caractérise l'état.

C'est la définition même des <u>Bosons</u>.

D'après la <u>loi de Boltzmann</u>,

l'état $\varphi_{\omega,N}$ apparaît avec la probabilité

$$P(\varphi_{\omega,N}) = \frac{1}{}$$