CHAMPS QUANTIQUES

IP

La **théorie quantique des champs** est l'application de la mécanique quantique aux champs. Elle fournit un cadre largement utilisé en physique des particules et en physique de la matière condensée. En particulier, la théorie quantique du champ électromagnétique, connue sous le nom d'électrodynamique quantique est une des théories ayant eu le plus de succès. Les bases de la théorie quantique des champs furent développées entre 1935 et 1955, principalement par Paul Dirac, Wolfgang Pauli, Sin-Itiro Tomonaga, Julian Schwinger, Richard Feynman, et Freeman Dyson.

La façon dont la théorie des champs fut introduite à partir des particules élémentaires par Dirac est connue pour des raisons historiques sous l'appellation de deuxième quantification.

Les champs ne sont pas liés à la dualité onde-corpuscule. Les particules élémentaires possèdent déjà cette dualité dans l'acception du terme de la mécanique classique. Ce que l'on entend par champ est un concept qui permet la création ou l'annihilation de particules en tout point de l'espace. Comme tout système quantique, un champ quantique a un hamiltonien et obéit à l'équation de Schrödinger :

En théorie des champs, le formalisme **lagrangien** est plus facile à utiliser que son équivalent l'hamiltonien.

$$H|\psi(t)\rangle = i\hbar\frac{\partial}{\partial t}|\psi(t)\rangle$$

Avec la seconde quantification, **l'indiscernabilité des particules** s'exprime en termes de *nombre d'occupation*. Supposons que $N = 3$, avec une particule dans l'état φ_1 et deux dans l'état φ_2. la façon d'écrire la fonction d'onde est:

$$\frac{1}{\sqrt{3}}[\Phi_1(r_1)\Phi_2(r_2)\Phi_2(r_3) + \Phi_2(r_1)\Phi_1(r_2)\Phi_2(r_3) + \Phi_2(r_1)\Phi_2(r_2)\Phi_1(r_3)]$$

La seconde forme quantifiée est beaucoup plus simple :

$$|1,2,0,0\ \dots\rangle$$

Quoique la différence soit minime, la deuxième permet d'exprimer facilement des opérateurs **création** et **annihilation**, qui rajoutent ou enlève des particules à l'état.

Ces opérateurs création et annihilation sont très similaires à ceux définis dans **l'oscillateur harmonique quantique**, qui en mécanique quantique crée ou détruit des quanta d'énergie. Ces opérateurs créent et font disparaître des particules dans un état quantique donné.

Par exemple, l'opérateur a_2 a l'effet suivant :

(Le facteur √2 normalise la fonction d'onde.)

$$a_2|1,2,0,0,\dots\rangle \equiv |1,1,0,0,\dots\rangle\sqrt{2}$$
$$a_2|1,1,0,0,\dots\rangle \equiv |1,0,0,0,\dots\rangle\sqrt{2}$$
$$a_2|1,0,0,0,\dots\rangle \equiv 0$$

Enfin, il faut introduire « les opérateurs de champ » de création ou d'annihilation d'une particule en un point de l'espace. De même que pour une seule particule la fonction d'onde s'exprime avec son moment cinétique, de même les opérateurs de champ peuvent s'exprimer à l'aide des transformées de Fourier.

Par exemple :

$$\Phi(r) \equiv \sum_i e^{ik_i \cdot r} a_i$$

qu'il ne faut pas confondre avec une fonction d'onde, c'est l'opérateur de champ d'annihilation de boson.

Les Hamiltoniens, en physique des particules, sont écrits :

$$\mathrm{H} \equiv \sum_k E_k a_k^\dagger a_k$$

comme une somme d'opérateurs création et annihilation de champ. Cela exprime un champ de bosons libre où E_k est l'énergie cinétique. Cet Hamiltonien est utilisé pour décrire des **phonons**.