



*Séance solennelle de l'Académie des sciences / 22 novembre 2011
Discours des nouveaux Membres sous la coupole de l'Institut de France*

Théorie quantique des champs et groupe de renormalisation

Jean Zinn-Justin

Ma spécialité, la physique théorique, est à la frontière entre la physique et les mathématiques, mais les problèmes auxquels je me suis intéressé ont toujours eu une motivation physique. Dans ce cadre, mon domaine d'expertise est fortement lié à la théorie quantique des champs et à un concept associé, le groupe de renormalisation.

La théorie quantique des champs est une généralisation relativiste et quantique de la mécanique et de l'électromagnétisme classiques. De plus la théorie quantique des champs est l'outil le plus puissant que les physiciens aient à leur disposition pour étudier le comportement de toute une classe de systèmes où des degrés de liberté en nombre très grand fluctuent et sont fortement couplés, les fluctuations pouvant être de nature quantique ou statistique. Bien sûr, la plupart des objets macroscopiques une fois décrits, par exemple, en termes d'atomes ont un grand nombre de degrés de liberté. Mais, en général, on observe un découplage des échelles et ces objets peuvent être décrits sans faire référence à leur structure microscopique. Le groupe de renormalisation a permis de comprendre que cela n'était pas toujours le cas et d'étudier ces situations nouvelles. La théorie quantique des champs devient alors un outil nécessaire.

J'ai contribué au développement du formalisme de la théorie quantique des champs ainsi qu'à ses applications dans deux domaines importants, la physique des interactions fondamentales entre particules à l'échelle microscopique et la théorie des transitions de phase macroscopiques. Je vais illustrer mon propos par deux exemples.

Au début des années 1970, un modèle de théorie quantique des champs a été proposé pour

décrire les interactions fondamentales entre particules, basé sur la structure mathématique de théorie de jauge non-abélienne et la notion de brisure spontanée de symétrie. Ce modèle depuis a été largement validé par l'expérience. Le boson de Higgs est la dernière particule prédite par ce modèle qui reste à découvrir et c'est un des objectifs majeurs du Large Hadron Collider au CERN. J'ai contribué à la première démonstration que des tels modèles étaient unitaires (c'est-à-dire conservaient les probabilités, une condition physique essentielle) et renormalisables, c'est-à-dire ne dépendaient que d'un nombre fini de paramètres et étaient donc fortement prédictifs. La démonstration la plus générale et la plus synthétique est basée sur une équation à la structure remarquable, auxquels mes collègues ont depuis donné mon nom

Dans les années 1970, le groupe de renormalisation a permis de comprendre comment les singularités des fonctions thermodynamiques à une transition de phase (comme liquide-vapeur, Hélium fluide à superfluide...). pouvaient être universelles et cependant différentes des prédictions de la théorie macroscopique du champ moyen, une théorie communément admise pendant des décennies. J'ai contribué à développer le cadre de théorie des champs où ce problème pouvait être analysé de façon détaillée et les méthodes mathématiques qui nous ont permis de calculer avec précision des quantités universelles comme les exposants critiques. Nos prédictions ont depuis survécu avec succès à une trentaine d'années de confrontation avec les résultats expérimentaux et les calculs numériques sur des systèmes modèle.

Enfin, dans ces travaux il a été nécessaire d'affronter des problèmes mathématiques assez divers comme : la compréhension générale et le calcul des intégrales de chemin ou de champs. En particulier, la généralisation de la méthode du col des intégrales ordinaires aux intégrales de champs a permis de comprendre la nature des séries divergentes apparaissant en théorie quantique des champs, de développer des méthodes originales de sommation de ces séries ou de perfectionner des méthodes déjà existantes pour les rendre plus efficaces. Enfin, j'ai aussi étudié les propriétés spectrales d'une classe de matrices aléatoires de grande taille.