

Préface

C'est avec le plus grand plaisir que j'écris cette préface pour le livre très attendu d'Yvan Castin sur la physique des gaz de bosons ultrafroids. Yvan a été mon élève au laboratoire Kastler Brossel à l'ENS et j'ai suivi ses travaux tout au long de sa brillante carrière. Le livre qu'il vient d'achever représente une synthèse de toutes les connaissances qu'il a accumulées sur un sujet d'une grande actualité et reflète en outre les percées dont il est lui-même l'auteur. Je suis convaincu qu'il sera une ressource précieuse pour tous les chercheurs et les chercheuses, aussi bien les expérimentateurs que les théoriciens, qui travaillent aujourd'hui sur et avec les condensats de Bose-Einstein dans une large fraction des laboratoires de physique atomique.

Depuis l'article fondateur d'Albert Einstein en 1925, qui généralisait une idée de Bose, les gaz quantiques dégénérés de bosons sont restés longtemps dans le domaine de la théorie. L'avènement des méthodes de refroidissement des atomes par laser dans les années 1980, qui a valu le prix Nobel 1997 à William Phillips, Steven Chu et moi, a renouvelé les champs de recherche dans la physique atomique du monde entier. À la suite d'un immense effort, une nouvelle révolution s'est produite en 1995 lorsque les premiers condensats de Bose-Einstein gazeux ont été réalisés en laboratoire, avec des atomes froids, dans le groupe d'Eric Cornell et de Carl Wieman au JILA, puis dans celui de Wolfgang Ketterle au MIT - tous trois également lauréats Nobel en 2001. De très nombreuses équipes se sont alors rapidement emparées de ces résultats spectaculaires. Ce nouvel état de la matière a la propriété surprenante d'être caractérisé par une fonction d'onde unique pour une fraction macroscopique des atomes du gaz. Il sert soit d'outil pour des applications importantes, soit d'objet d'études théoriques dans les configurations très diverses où des condensats peuvent être réalisés : condensation partielle, dimensionnalité réduite, gaz excité dans un piège ou dans une boîte de potentiel, etc.

Yvan Castin a lui-même contribué à l'enrichissement de la palette théorique relative à la dynamique des condensats, avec comme ligne directrice de ses recherches l'effet des modes non condensés et de la taille finie des échantillons. La fameuse équation de Schrödinger non linéaire de Gross-Pitayevski décrivant le mode du condensat ne suffisait plus à expliquer tous les phénomènes observés. Il a fallu développer de nouvelles théories. Notre laboratoire

est particulièrement reconnaissant à Yvan d'avoir apporté l'explication de la formation des tourbillons observés par l'équipe de Jean Dalibard lorsqu'une « cuillère » (laser!) agite le condensat, comme le montre l'image de couverture de ce livre : il s'agit en fait d'une preuve très tangible de la nature superfluide du milieu.

Ce livre est une revue en profondeur du sujet. Sans chercher à répondre à toutes les questions posées par chaque expérience particulière, il se place à un niveau conceptuel élevé qui lui permet d'aborder des problèmes encore largement ouverts, comme le temps de cohérence d'un condensat à température non nulle, ou la préparation d'états quantiques utiles en métrologie grâce à la compression de spin.

Merci et bravo à Yvan Castin d'avoir relevé le défi de transmettre son savoir, sous une forme aussi complète que pédagogique, aux jeunes générations qui sont en charge des progrès escomptés.

Paris, mai 2024

Claude Cohen-Tannoudji