

ANNUAIRE du **COLLÈGE DE FRANCE** 2018 - 2019

Résumé des cours et travaux

119^e
année



COLLÈGE
DE FRANCE
—1530—

ATOMES ET RAYONNEMENT

Jean DALIBARD

Membre de l'Institut (Académie des sciences),
professeur au Collège de France

Mots-clés : atome, rayonnement, gaz

ENSEIGNEMENT

Le cours n'a pas eu lieu.

RECHERCHE

La recherche de l'équipe de la chaire Atomes et rayonnement porte sur l'étude des gaz d'atomes refroidis à très basse température, en dessous du microkelvin. À ces températures, l'aspect ondulatoire du comportement des atomes devient dominant et des comportements collectifs originaux apparaissent quand les trains d'ondes associés aux différentes particules se recouvrent. L'intérêt principal des expériences menées sur les gaz quantiques réside dans l'excellent contrôle dont on dispose sur les différents paramètres du système : nature statistique des atomes (bosons ou fermions), force des interactions entre ces atomes (attractives ou répulsives), environnement du gaz (potentiel périodique, désordonné, ou en forme de boîte). Ce contrôle permet de réaliser au laboratoire des situations modèles qui avaient été proposées pour comprendre d'autres aspects de la matière quantique comme la supraconductivité, les étoiles à neutrons ou encore la matière nucléaire. On dispose ainsi d'un « simulateur » de laboratoire, qui peut répondre à des questions très générales sur ces situations modèles, questions souvent simples à formuler, mais dont la réponse ne peut pas être obtenue analytiquement ou avec les moyens de calculs actuels.

Nous nous sommes intéressés notamment au comportement d'un gaz d'atomes de sodium placé dans un champ magnétique modulé. Chaque atome porte un moment magnétique de spin et le comportement du gaz simule l'effet Josephson alternatif qui se produit entre deux supraconducteurs séparés par une jonction isolante. Nous avons mis en évidence l'existence d'états stationnaires non connus jusqu'ici, qui sont stabilisés par le forçage imposé par le champ magnétique et la dissipation intrinsèque au système. Nous avons également mis au point une nouvelle méthode d'imagerie permettant de compter les atomes un par un en fonction de leur état de spin ; cela nous a permis de produire et de caractériser des états fortement intriqués du gaz atomique, analogues à des états de photons générés en optique quantique par conversion paramétrique optique.

Sur notre montage portant sur l'atome de rubidium, nous avons étudié l'évolution d'un gaz bidimensionnel superfluide initialement uniforme quand il est soudainement soumis à un champ de forces dérivant d'un potentiel harmonique. Dans un premier temps, nous avons vérifié la propriété d'invariance d'échelle propre à ces gaz à deux dimensions ; nous avons montré qu'il était possible de relier deux « histoires » du système, correspondant à des tailles et des nombres de particules initialement différents, pourvu que les formes géométriques de départ soient homothétiques. Nous avons ensuite découvert un phénomène inattendu : il existe certaines formes initiales (triangle équilatéral et cercle) pour lesquelles l'évolution semble périodique. Ce phénomène, qui ne se produit pas pour d'autres formes simples (carré, hexagone), se vérifie par une résolution numérique de l'équation de Schrödinger non linéaire qui régit l'évolution du gaz. Nous n'avons pas (encore ?) trouvé d'explication simple à cette périodicité inattendue, qui semble révéler une symétrie cachée de ce système bidimensionnel.

Nous menons également des expériences sur un gaz froid d'atomes de dysprosium. Du fait de sa structure électronique, cette espèce atomique présente la particularité d'avoir un niveau fondamental avec un grand moment cinétique, $J = 8$, qui peut dans certaines conditions être considéré comme la représentation d'une assemblée de 16 particules de spins $\frac{1}{2}$. Nous avons utilisé cette représentation pour étudier expérimentalement le modèle de Lipkin-Meshkov-Glick, qui porte sur la transition de phase ferromagnétique entre spins interagissant avec un potentiel de portée infinie. Nous avons mesuré les propriétés thermodynamiques du système ainsi que sa réponse dynamique, et nous avons caractérisé le comportement critique du système autour du point de transition.

Nous disposons par ailleurs d'une expérience produisant des gaz d'ytterbium froids. L'atome d'ytterbium est intéressant sur le plan métrologique car il présente des transitions électroniques étroites, correspondant à des états électroniques de longue durée de vie (états métastables). En piégeant les atomes dans un réseau optique avec deux particules par site du réseau, nous avons étudié le comportement de paires d'atomes excitées par un laser. Nous avons notamment montré que la probabilité d'exciter simultanément les deux atomes situés sur le même site du réseau était beaucoup plus faible que le produit des probabilités individuelles, ce qui peut être compris comme un effet Zénon quantique : les collisions inélastiques survenant quand deux atomes proches sont excités peuvent être interprétées comme une mesure de cette double excitation, qui est alors inhibée si la mesure est faite avec un taux suffisamment élevé.

Enfin, notre collaboration avec des chercheurs de l'université de Cambridge (Royaume-Uni) s'est poursuivie, à la fois sur le plan théorique avec la publication

d'un long article de revue sur l'exploration de phases topologiques de la matière avec des gaz d'atomes froids, et sur le plan expérimental avec l'étude de la dynamique (en particulier la turbulence) de fluides bosoniques en interaction.

PUBLICATIONS

EIGEN C.J., GLIDDEN J.A.P., LOPES R., CORNELL E., SMITH R.P. et HADZIBABIC Z., « Universal prethermal dynamics of Bose gases quenched to unitarity », *Nature*, vol. 563, 2018, p. 221-224, <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0674-1>.

COOPER N.R., DALIBARD J. et SPIELMAN I.B., « Topological bands for ultracold atoms », *Reviews of Modern Physics*, vol. 91, n° 1, 2019, 015005, <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.91.015005>.

JIMENEZ-GARCIA K., INVERNIZZI A., EVRARD B., FRAPOLLI C. et DALIBARD J., GERBIER F., « Spontaneous formation and relaxation of spin domains in antiferromagnetic spin-1 quasi-Condensates », *Nature Communications*, vol. 10, 2019, art. 1422, <https://doi.org/10.1038/s41467-019-08505-6>.

EVARD B., QU A., JIMENEZ-GARCIA K., DALIBARD J. et GERBIER F., « Relaxation and hysteresis near Shapiro resonances in a driven spinor condensate », *Physical Review A*, vol. 100, n° 2, 2019, 023604, <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.100.023604>.

EVARD A., MAKHALOV V., CHALOPIN T., SIDORENKOV L.A., LOPES R., DALIBARD J. et NASCIBENE S., « Enhanced magnetic sensitivity with non-gaussian quantum fluctuations », *Physical Review Letters*, vol. 122, n° 17, 2019, 173601, <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.122.173601>.

MAKHALOV V., SATOOR T., EVRARD A., CHALOPIN T., LOPES R., NASCIBENE S., « Probing quantum criticality and symmetry breaking at the microscopic level », *Physical Review Letters*, vol. 123, 2019, 120601, <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.123.120601>.

GARRATT S.J., EIGEN C., ZHANG J., TURZAK P., LOPES R., SMITH R.P., HADZIBABIC Z. et NAVON N., « From single-particle excitations to sound waves in a box-trapped atomic Bose-Einstein condensate », *Physical Review A*, vol. 99, 2019, 021601, <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.104.049903>.

NAVON N., EIGEN C., ZHANG J., LOPES R., GAUNT A.L., FUJIMOTO K., TSUBOTA M., SMITH R.P. et HADZIBABIC Z., « Synthetic dissipation and cascade fluxes in a turbulent quantum gas », 2018, arXiv : 1807.07564.

BOUGANNE R., BOSCH AGUILERA M., GHERMAOUI A., BEUGNON J., et GERBIER F., « Anomalous momentum diffusion in a dissipative many-body system », 2019, arXiv : 1905.04808.

BARBIERO L., CHOMAZ L., NASCIBENE S. et GOLDMAN N., « Bose-Hubbard physics in synthetic dimensions from interaction trotterization », 2019, arXiv : 1907.10555.

