



Institut de physique

FICHE DE PRESENTATION

Intitulé du GDR : Gaz quantiques

Acronyme : GQ

Directeur : *Thomas Bourdel, Laboratoire Charles Fabry, UMR8501, Palaiseau, thomas.bourdel@institutoptique.fr*

Directeurs adjoints :

Mathilde Hugbart (Inphyni, Nice)

Anna Minguzzi (LPMMC, Grenoble)

Carlos Garrido Alzar (Syrte, Paris)

TEXTE SYNTHETIQUE DE PRESENTATION

La mission du GDR gaz quantiques est de réunir la communauté des gaz quantiques au sens large en incluant la communauté des fluides quantiques de lumière à celle des atomes ultrafroids. Ces domaines partagent l'étude du même type de problèmes souvent issus de la matière condensée mais avec une approche commune de simulation quantique avec des systèmes artificiels parfaitement contrôlés et caractérisés. Les avantages et les inconvénients expérimentaux des différents systèmes permettent une complémentarité entre les études et le domaine dans son ensemble est caractérisé par un lien théorie-expérience fort. Le GDR fera une part importante aux progrès techniques, à la fois expérimentaux et théoriques, offrant ainsi des espaces de discussion et de formation cruciaux pour rester à la pointe du domaine.

LISTE DES THEMATIQUES COUVERTES

- Métrologie
- Interférométrie atomique
- Gaz/Fluides quantiques
- Superfluidité
- Transport
- Topologie
- Corrélations quantiques
- Magnétisme quantique

- Dynamique hors équilibre

TAILLE DE LA COMMUNAUTE

-nombre de chercheurs et chercheuses : 220

-nombre de laboratoires participants : 28

PROSPECTIVES, THEMATIQUES EMERGENTES

Les gaz quantiques sont un sujet de recherche relativement ancien, avec l'obtention d'un condensat de Bose-Einstein en 1995. Depuis, le sujet a atteint un degré important de maturité et est en évolution constante avec, dans les années 2000 des résultats marquants sur la superfluidité des condensats, les condensats en dimension réduite ou la superfluidité fermionique. En parallèle, les horloges atomiques en fontaine permettent de mesurer le temps de façon inégalée.

Dans les dernières années, le degré de contrôle des systèmes d'atomes ultrafroids n'a cessé de progresser rapidement avec des **avancées technologiques importantes**. Ces avancées concernent aussi le monde industriel. On peut citer la société Lumibird pour les lasers, Thalès, l'ONERA et Muquans pour les senseurs atomiques (horloges, accéléromètres), Pasqal pour le calcul ou la simulation quantique. Dans les laboratoires académiques, ces avancées permettent d'aller vers des **mesures métrologiques** à des précisions toujours plus grandes. On peut par exemple citer les développements impressionnants des horloges optiques, mais aussi plus généralement de l'interférométrie atomique permettant par exemple la mesure de certaines constantes fondamentales ou des forces inertielles.

Ces avancées ont aussi permis de créer des expériences toujours plus complexes de façon contrôlée et les gaz ultra-froids sont devenus de véritables **simulateurs quantiques** modèles grâce à leur polyvalence. On peut maintenant se placer dans des situations expérimentales d'intérêt pour la matière condensée, dont la description précise est un défi à la fois pour la théorie et même pour les simulations numériques à cause des corrélations quantiques. On peut citer les avancées récentes dans les domaines des propriétés topologiques avec des liens par exemple avec la physique du graphène, du magnétisme quantique avec la réalisation de systèmes à symétrie SU(N) avec le degré de spin et la condensation d'atomes avec un fort dipôle magnétique (chrome, dysprosium), de la physique hors équilibre avec les mécanismes de type Kibble-Zurek, etc.

De façon concomitante, les dernières années ont vu l'émergence des **fluides quantiques de lumière**. Il s'agit de systèmes où les photons interagissent entre eux grâce à un milieu non-linéaire. On peut citer les photons se propageant dans une vapeur atomique, les photons se propageant dans un milieu photoréfractif ou les gaz de polaritons (qui sont des particules mi-exciton mi-photon dans des

microcavités semiconductrices planaires). De telles expériences ont par exemple permis de mettre en évidence la superfluidité. On peut même structurer le milieu pour modifier le potentiel sous-jacent et ainsi entre autres étudier des systèmes sur réseau ou les systèmes topologiques. Les systèmes ainsi créés sont finalement proches des systèmes de gaz quantiques ultrafroids et sont décrits par les mêmes outils théoriques, tout en ajoutant des ingrédients supplémentaires telle la dissipation qui est intrinsèque dans ces systèmes. Les liens entre ces deux communautés sont en train de se renforcer et il est naturel de les réunir dans un GDR commun.

Les actions du GDR

Les actions du GDR seront focalisées sur deux événements annuels : une réunion regroupant l'ensemble de la communauté et l'organisation d'une école prédoctorale de deux semaines aux Houches. L'objectif de la réunion annuelle sera de maintenir l'ambiance de coopération, d'entraide qui existe déjà dans la communauté et de favoriser l'émergence de nouvelles directions de recherche et/ou de collaborations. L'école prédoctorale des Houches dans le domaine des atomes froids est très reconnue y compris à l'international. Son champ thématique sera élargi aux fluides quantiques de lumière. Elle offre aux étudiants une solide formation de base et la création d'un réseau à l'international dès le début de leur thèse. Le GDR pourra aussi financer d'autres événements ponctuels (colloques scientifiques, réunions scientifiques entre étudiants, actions de vulgarisation scientifique,...).

- ENGLISH VERSION -

SYNTHETIC PRESENTATION

The GDR « quantum gases » gathers this community in a broad sense merging the communities interested in quantum fluids of light and in ultra-cold atoms. These research domains share the same type of scientific questions often originating from condensed-matter physics. They also share a common quantum simulation approach using well controlled and characterized artificial systems. Each experimental system brings complementary advantages. The whole domain is characterized by a strong link between theories and experiments. The GDR will permit discussions and training about both experimental and theoretical novel technics and will help maintaining the French community at the forefront of research.

TOPICS COVERED

(10 items maximum)

- Metrology
- Atom interferometry
- Quantum gases and fluids
- Superfluidity
- Transport
- Topology
- Quantum correlations
- Quantum magnetism
- Out-of-equilibrium dynamics

COMMUNITY SIZE

-number of researchers: 220

-number of laboratories involved: 28

PROSPECTS

Quantum gases are a relatively old subject, starting in 1995 with the observation of Bose-Einstein condensation. Since then, there have been constant progress. In the years 2000s, important results were obtained about superfluid properties,

condensates in reduced dimensions, or pair condensation of fermions. In parallel, fountain atomic clocks permit to measure time with an unprecedented precision.

In recent years, the degree of control of ultracold atomic ensemble have continued to progress with important technological advances, that have reached the industry. Several companies are involved : Lumibird for the lasers, Thalès, l'ONERA and Muquans for the atomic sensors (clocks, inertial sensors), Pascal for quantum simulation. In the academic laboratories, technological advances have boosted metrological measurements to even higher precision and accuracy. The best time keeping setups are now optical clocks and more generally atom interferometry allows the measurement of fundamental constants or inertial forces.

These advances permit to realize more complex systems in a yet controlled manner. Ultra-cold gases have thus become real model quantum simulators thanks to their versatility. It is now possible to study situations of interest for condensed-matter problems, whose description is challenging for theories and state of the art numerical simulations because of the presence of quantum correlations. We can cite recent results on topological properties with links to graphene physics, on quantum magnetism with the realization of systems with $SU(N)$ symmetry and the condensation of atoms with strong magnetic dipole interactions (chromium, dysprosium), or on out-of-equilibrium physics with the observation of Kibble-Zurek mechanism, ...

During the last years, quantum fluid of light appeared. In these systems, photons interact in a non-linear medium. Experimental platforms include atomic vapors, photorefractive materials, or polaritons (half-exciton, half photon particle in planar semi-conductor microcavities). Several experiments have for example shown superfluidity effects. One can also structure the medium leading to an underlying potential. It permits the study of periodic potentials or even simulate topological properties. These artificial systems of light display similar physics as atomic quantum gases and can be described with the same theoretical tools, although with additional twists such as the dissipation linked to absorption which is inherent to photonic systems. Links between the two communities are currently growing and it is natural to merge them into a common GDR to foster mutual fertilization.

GDR actions

We will focus on two main annual events: a general meeting and a two-week predoctoral school in Les Houches. The general meeting will aim at maintaining the cooperation and mutual help habit of the community and will favor the emergence of novel research directions and collaborations. The predoctoral school in Les Houches on ultracold atoms is a very recognized, even at the international level. Its themes will now include the fluids of light. It offers to student in the field a solid initial training and the building of an international network from the very beginning of their thesis. The GDR will possibly also

finance other events (scientific workshops, student scientific meetings, outreach events,...)