

Master Internship Proposal

Title: Detection of topological order in cold atoms

Laboratory: Laboratoire de Physique et Modélisation des Milieux Condensés, Grenoble

Supervisor: Cécile Repellin

Contact: cecile.repellin@lpmmc.cnrs.fr

Summary

The fractional quantum Hall effect (FQHE) is a prime example of a strongly correlated phenomenon in solid state. At low temperature and large magnetic field, 2D electron gases acquire a quantized Hall conductivity $\sigma_H = \frac{p}{q} \frac{e^2}{h}$ where p and q are coprime integers, and $\frac{e^2}{h}$

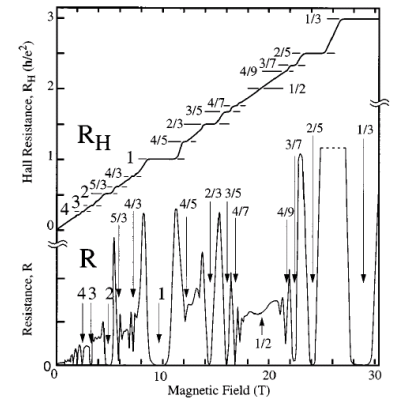
is the quantum of conductance. A key feature of the FQHE is to host anyons, collective excitations whose statistics is intermediary between bosonic and fermionic [1]. Theoretically, the FQHE can also occur for strongly interacting bosons. To explore bosonic FQH states requires engineered quantum systems: for example, it is possible to create artificial magnetic fields [2, 3] which act on the neutral atoms of an ultracold gas, and to tune the interactions to the strongly interacting regime. While some experimental groups are making progress towards the realization of FQH phases in cold atoms, the question of how to detect these phases is not fully settled.

For this project, you will study the phase diagram of a FQH system on a lattice upon varying the magnetic field at constant atomic density. While some FQH phases (associated with specific values of $\frac{p}{q}$) have already been identified in the case of periodic boundary conditions, it is crucial to determine their conditions of emergence in the more realistic case of open boundary conditions. You will learn to use DMRG (density matrix renormalization group) [4] libraries to find the many-body ground state of the system, and calculate its Hall drift upon application of a potential gradient [5]. The goal will be to identify phases beyond $\frac{p}{q} = \frac{1}{2}$, possibly non-abelian phases. Non-abelian FQH phases carry especially exotic anyonic excitations: the exchange statistics of non-abelian anyons depends on the order of the exchange operations, which has very powerful consequences in the prospect of quantum computation.

This internship can be followed by a PhD thesis.

References

1. F. Wilczek, Magnetic Flux, Angular Momentum, and Statistics, Phys. Rev. Lett. 48, 1144–1146 (1982).
2. N. Cooper, Rapidly rotating atomic gases, Adv. Phys. 57, 539–616 (2008).
3. J. Dalibard, F. Gerbier, G. Juzeliūnas, and P. Ohberg, Colloquium: Artificial gauge potentials for neutral atoms, Reviews of Modern Physics, vol. 83, pp. 1523–1543, (2011)
4. S. R. White, Density matrix formulation for quantum renormalization groups, Phys. Rev. Lett. 69, 2863 (1992)
5. C. Repellin, J. Leonard, N. Goldman, Hall drift of fractional Chern insulators in few-boson systems, arXiv:2005.09689





Sujet de stage M2

Sujet: Détection de l'ordre topologique dans les gaz d'atomes froids

Laboratoire: Laboratoire de Physique et Modélisation des Milieux Condensés, Grenoble

Encadrante: Cécile Repellin

Contact: cecile.repellin@lpmmc.cnrs.fr

Description du stage

L'effet Hall quantique fractionnaire (EHQF) est l'exemple typique d'un phénomène résultant des interactions fortes en matière condensée. A basse température et fort champ magnétique, les gaz d'électron 2D ont une conductivité de Hall $\sigma_H = \frac{p}{q} \frac{e^2}{h}$, où p et q sont des entiers premiers entre eux et $\frac{e^2}{h}$ est le quantum de conductance. La manifestation la plus étonnante de l'E HQF est l'émergence d'anyons, des excitations collectives dont la statistique est intermédiaire entre celle des bosons et des fermions [1]. Théoriquement, l'E HQF peut aussi être réalisé à partir de bosons. Réaliser l'E HQF bosonique nécessite d'avoir recours à des systèmes artificiels: par exemple, il est possible de créer un champ magnétique artificiel qui agit sur les atomes bosoniques (neutres) d'un gaz d'atomes ultrafroids [2, 3], et de contrôler l'intensité des interactions entre atomes pour se placer dans le régime des fortes interactions. Plusieurs groupes expérimentaux travaillent sur ces systèmes, et il est probable que leurs progrès mènent à la réalisation de l'E HQF bosonique dans un futur proche. Pour accompagner ce progrès, il faut en parallèle proposer des méthodes réalistes pour détecter ces états.

Lors de ce stage, vous étudierez le diagramme de phase d'un système E HQF sur un réseau 2D lorsqu'on change l'intensité du champ magnétique tout en gardant la densité atomique constante. Certaines phases E HQF (associées à des valeurs de $\frac{p}{q}$ spécifiques) ont été identifiées dans le cas des conditions aux limites périodiques. Il faudra d'abord transposer ces résultats dans le cas des conditions ouvertes, qui sont plus réalistes. Vous apprendrez à utiliser l'algorithme DMRG (density matrix renormalization group) [4] en vous basant sur des bibliothèques existantes, et calculerez l'état fondamental à N corps du système, ainsi que sa dérive de Hall lorsqu'on applique un gradient de potentiel [5]. Le but sera d'identifier des phases E HQF au-delà de $\frac{p}{q} = \frac{1}{2}$, possiblement des phases non-abéliennes. Ces phases sont particulièrement intéressantes car elles permettent l'émergence d'anyons dont la statistique d'échange dépend de l'ordre des opérations d'échange, une propriété qui a des conséquences importantes dans la perspective du calcul quantique.

Ce stage pourra être poursuivi en thèse.

References

1. F. Wilczek, Magnetic Flux, Angular Momentum, and Statistics, Phys. Rev. Lett. 48, 1144–1146 (1982).
2. N. Cooper, Rapidly rotating atomic gases, Adv. Phys. 57, 539–616 (2008).
3. J. Dalibard, F. Gerbier, G. Juzeliūnas, and P. Ohberg, Colloquium: Artificial gauge potentials for neutral atoms, Reviews of Modern Physics, vol. 83, pp. 1523–1543, (2011)
4. S. R. White, Density matrix formulation for quantum renormalization groups, Phys. Rev. Lett. 69, 2863 (1992)
5. C. Repellin, J. Leonard, N. Goldman, Hall drift of fractional Chern insulators in few-boson systems, arXiv:2005.09689