Responsable de stage :

Mathieu Gibert (Chercheur CNRS)

Contact:

Mathieu.gibert@neel.cnrs.fr

Lab:

Institut Néel – département MCBT – Équipe HELFA

https://neel.cnrs.fr/equipes-poles-et-services/helium-du-fondamental-aux-applications-helfa

Date

5 mois, début en février 2024

Mots clés :

Turbulence superfluide en rotation expérimentale

Experimental rotating superfluid turbulence

Contexte :

Les vortex quantiques dans l'hélium II constituent les briques élémentaires de tous les écoulements superfluides. L'objectif de notre projet est de les étudier par visualisation directe. À l'Institut Néel, nous avons développé un cryostat unique au monde, capable de « décorer » ces vortex avec des particules microniques de dihydrogène solide, dans des conditions expérimentales contrôlées et reproductibles. Grâce à trois caméras rapides et à une caméra haute résolution à forte sensibilité, nous pouvons reconstruire les trajectoires tridimensionnelles de ces flocons de dihydrogène piégés sur le cœur des vortex.Par ailleurs, le cryostat et l'instrumentation sont installés sur une table tournante, ce qui permet de générer et d'étudier des réseaux de vortex alignés avec l'axe de rotation. Cet état canonique — analogue à un réseau d'Abrikosov en supraconductivité — servira de configuration de référence pour les écoulements considérés dans ce stage (voir [1] et [2]).

Quantum vortices in helium II are the elementary building blocks of all superfluid flows. The goal of our project is to investigate them through direct visualization. At Institut Néel, we have developed a one-of-a-kind cryostat capable of "decorating" these vortices with micron-sized solid-dihydrogen particles under controlled and reproducible experimental conditions. By combining three high-speed cameras with a high-sensitivity, high-resolution camera, we can reconstruct the three-dimensional trajectories of dihydrogen flakes trapped on vortex cores.Moreover, the cryostat and its instrumentation are mounted on a rotating platform, enabling the generation and study of vortex arrays aligned with the rotation axis. This canonicalstate—analogous to an Abrikosov lattice in superconductivity—will serve as the reference configuration for the flows investigated during the internship (see [1] and [2]).

Sujet :

En perturbant ce réseau stationnaire, par un contre-écoulement, nous avons mis en évidence plusieurs régimes. Un premier (A), où le réseau reste insensible à la perturbation, un second (B) où des ondes se propagent sur les vortex quantiques et un troisième (C) qui est un régime turbulent. Ces différents régimes définissent une voie vers la turbulence quantique en rotation. L'ambition du stage sera de mener une étude détaillée du régime pleinement turbulent (C). Dans ce régime, les particules ne restent pas constamment piégées sur les vortex. Cependant, comme le montrent les travaux antérieurs ([3]), les statistiques de vitesses des particules portent la trace de l'interaction vortex/particules. Il s'agira de travailler à proximité du seuil de transition vers la turbulence afin d'optimiser la concurrence entre la rotation et la turbulence. La rotation devrait polariser la pelote de vortex et laisser la trace de cette anisotropie dans les statistiques de vitesse des particules. Nous travaillerons en étroite collaboration avec des théoriciens pour interpréter ces données.

By perturbing this steady-state network with a counterflow, we have identified several regimes: a first one (A), in which the network remains insensitive to the perturbation; a second one (B), in which waves propagate along the quantized vortices; and a third one (C), which is a turbulent regime. These different regimes define a route toward rotating quantum turbulence. The aim of the internship will be to conduct a detailed study of the fully turbulent regime (C). In this regime, particles do not remain continuously trapped on the vortices. However, as shown by previous work ([3]), the particle velocity statistics retain signatures of vortex–particle interactions. The study will be carried out close to the transition threshold to turbulence in order to optimize the competition between rotation and turbulence. Rotation is expected to polarize the vortex tangle and to leave the imprint of this anisotropy in the particle velocity statistics. We will work in close collaboration with theorists to interpret these data.

Prérequis :

Instrumentation en mécanique des fluides, turbulence, analyse d'image, thermodynamique, cryogénie.

Instrumentation in fluid mechanics, turbulence, image analysis, thermodynamics, cryogenics.

Le candidat à ce stage doit avoir l'ambition de le poursuivre par une thèse.

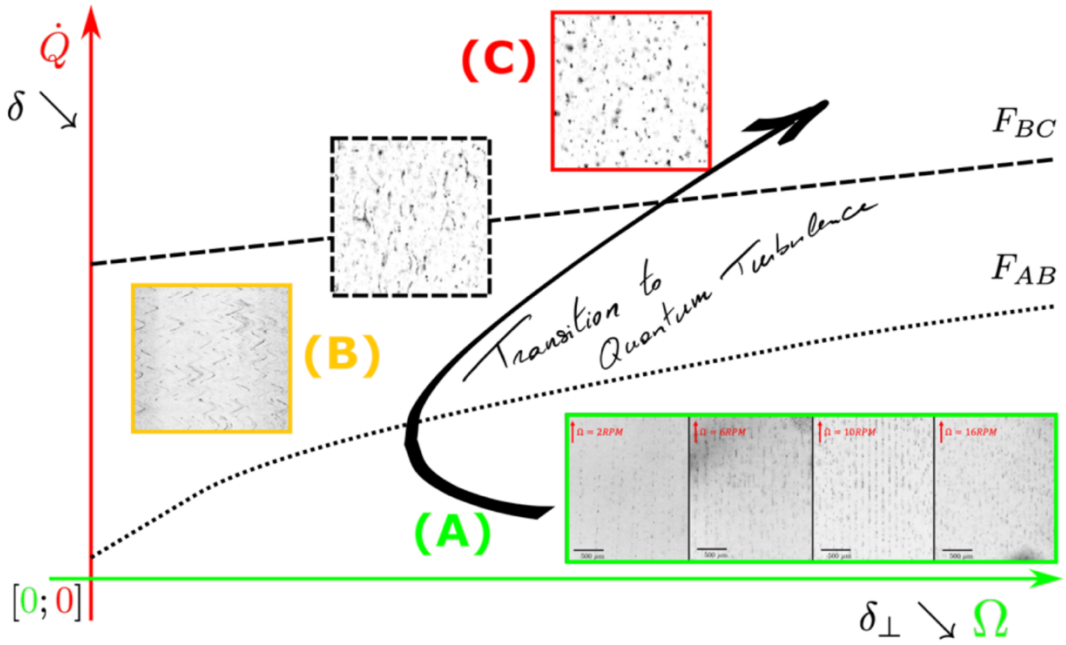
The candidate for this internship should be willing—and ambitious—to pursue it as a PhD.

References

[1] « Direct visualization of the quantum vortex lattice structure, oscillations, and destabilization in rotating 4He ».
Charles Peretti, Jérémy Vessaire, Emeric Durozoy, and Mathieu Gibert, Sci. Adv. 9, eadh2899 (2023)

[2] « The Cryogenic Lagrangian Exploration Module: a rotating cryostat for the study of quantum vortices in Helium II via particle seeding ».
Jeremy Vessaire, Charles Peretti, Florian Lorin, Emeric Durozoy, Gregory Garde, Panayotis Spathis, Benoit Chabaud, and Mathieu Gibert, arXiv:2510.00026v1, accepted in Review of Scientific Instruments (2026).

[3] « Ubiquity of particle–vortex interactions in turbulent counterflow of superfluid helium ».
Patrik Švančara, D Duda, P Hrubcová, M Rotter, L Skrbek, M La Mantia, E Durozoy, P Diribarne, B Rousset, Mickael Bourgoin, and Mathieu Gibert, Physical Review Fluids 6 (6), 064604 (2021)


$\dot{Q}$
$\delta \searrow$
(C)
F_{BC}
F_{AB}
Transition to Quantum Turbulence
(B)
(A)
Ω = 2RPM
Ω = 6RPM
Ω = 10RPM
Ω = 16RPM
[0; 0]
$\delta_\perp \searrow \Omega$