GIORGIO KRSTULOVIC
krstulovic@oca.eu - +33 4 92 00 39 76
Laboratoire J.L. Lagrange. Observatoire de la Côte d'Azur. CNRS.
Bd de l'Observatoire CS 34229 - F 06304. Nie, France

Objet: Proposition d' Umberto Giuriato aux Prix de Thèse Saint Gobin et Daniel Guinier de la SFP

Madame, Monsieur,

C'est avec beaucoup de fierté que je soumets la candidature du jeune chercheur Umberto Giuriato aux Prix de thèse Thèse Saint Gobin et Daniel Guinier de la Société Française de Physique.

Umberto Giuriato a effectué sa thèse de doctorat en physique sous ma direction entre 2017 et 2020 à l'Université Côte d'Azur. Sa thèse, soutenue le 20 novembre 2020, s'intitule *Dynamique des particules actives dans les superfluides et leur interaction avec les vortex quantiques*. Il s'agit d'un travail de thèse exceptionnel, de nature théorique ayant une forte composante numérique et analytique, toujours gardant un contact étroit avec des expériences. En effet, la motivation de cette thèse naît des expériences actuelles avec de l'hélium superfluide qui sont aujourd'hui réalisées en France (notamment avec l'expérience SHREK), et dans d'autres pays Européens et du monde.

Les superfluides, tel que l'hélium à basse température ou les condensât de Bose-Einstein, sont des fluides dont la viscosité est nulle grâce aux effets quantiques. De plus, ils possèdent des excitations hydrodynamiques qui se manifestent comme des défauts topologiques, ou vortex. Ces vortex sont comme des tourbillons classiques, mais avec une circulation (intégrale de ligne du champ vitesse autour du vortex) qui est quantifiée. Ils possèdent un coeur qui est extrêmement fin. En particulier, dans le cas de l'hélium, leur taille est de l'ordre de l'angström. Dans les expériences avec de l'hélium superfluide, la visualisation de vortex quantiques est extrêmement difficile et ce n'est qu'il y a une quinzaine d'années que les expérimentateurs sont parvenus à les visualiser. Pour le faire, ils utilisent des particules d'hydrogène ou deutérium qui ont une taille de plusieurs micromètres. Étant donné que la taille de ses particules est plusieurs ordres de grandeur plus grande que le coeur des vortex, on se pose naturellement la question de comment interpréter ces résultats et quelle nouvelle physique émerge du couplage entre vortex quantiques et particules. La thèse d'Umberto Giuriato a précisément répondu à ces questions.

Depuis le début de sa thèse, Umberto a présenté des qualités extraordinaires dans le plan théorique et numérique. Pendant sa thèse, il a réussi à développer, avec beaucoup d'indépendance et enthousiasme, des prédictions théoriques innovatrices, qui montraient sa profonde connaissance des enjeux physiques qu'il a étudié, pour ensuite réaliser soigneusement

Laboratoire J.L. Lagrange. Observatoire de la Côte d'Azur. CNRS.
Bd de l'Observatoire CS 34229 - F 06304. Nie, France. +33 4 92 00 39 76

des simulations numériques en utilisant des clusters de calcul nationaux. La qualité de sa recherche est mise évidence par les six travaux qu'il a publiés pendant sa thèse dans des journaux de physique renommés. De plus, deux autres travaux provenant de sa thèse devrait être soumis ce semestre.

En dehors de l'originalité des travaux effectués par Umberto, son manuscrit de thèse montre comment il a pu maitriser théoriquement des concepts physiques aussi variés, qui vont de la mécanique quantique et la mécanique statistique à la dynamique de fluides, notamment la turbulence. Son manuscrit fait preuve de sa grande compréhension, avec une écriture pédagogique et précise, comme l'atteste le rapport de soutenance joint au dossier. Finalement, Il a toujours su réussir à communiquer ses résultats, en produisant de belles images de ses simulations visant non seulement un public scientifique, mais aussi à une diffusion de connaissances (voir par exemple la video grand publique www.youtube.com/watch?v=Vr0GMWy61go).

J'espère ardemment que le comité de sélection accueillera favorablement cette mise en candidature.

Madame, Monsieur, veillez agréer l'expression des mes sentiments les plus distingués.

Giorgio Krstulovic
Chargé de Recherche CNRS
Laboratoire J.L. Lagrange.

Vous trouverez dans les dossier les documents suivants:

- CV d'Umberto Giuriato
- Rapports de thèse (Prof. Carlo Barenghi et Dr. Christophe Josserand)
- Rapport de soutenance
- Lettre de recommandation de Mathieu Gibert, physicien expérimentateur et membre du jury de thèse d'Umberto Giuriato.

Laboratoire J.L. Lagrange. Observatoire de la Côte d'Azur. CNRS.
Bd de l'Observatoire CS 34229 - F 06304. Nie, France. +33 4 92 00 39 76

Umberto Giuriato

Physicist - Researcher - Data Scientist

Via Cascina Nuova 33
Settimo Torinese (TO) 10036 - Italy
+39 3475459530
umberto.giuriato7@gmail.com
Nationality: Italian
Date of birth: 25/08/1993



Experience

01/2021 – present **Data Scientist**, *ION Group*, Pisa, Italy.
- Involved in a Leadership Development Program at the forefront of the FinTech industry.
- Conducting statistical analysis to reinforce data-driven decision making in software development.

10/2017 – 12/2020 **Doctoral Researcher**, *Université Côte d'Azur*, Nice, France.
- Performed cutting-edge numerical simulations using High Performance Computing resources.
- Processed data and developed models to understand the dynamics of particles in superfluids.

Education

2020 **PhD in Physics**, *Université Côte d'Azur*, Nice, France.
- *Thesis*: Dynamics of active particles in superfluids and their interaction with quantum vortices.

2017 **MSc in Theoretical Physics**, *Università degli Studi di Torino*, Torino, Italy.
- *Thesis*: Wave turbulence in Bose–Einstein condensates.
- *Grades:* 110/110 cum Laude and honorable Mention

2015 **BSc in Physics**, *Università degli Studi di Torino*, Torino, Italy.
- *Thesis*: Relativistic hydrodynamics in heavy ion collisions.
- *Grades*: 110/110 cum Laude

Computer skills

Programming languages Python (*NumPy, Pandas, Matplotlib, TensorFlow*), Matlab, Fortran, C++, SQL, R.

Programs and Tools Microsoft Office, Keynote, LaTeX, Paraview, Wolfram Mathematica, Git, Power BI.

Languages

Italian *mothertongue* - **English** *fluent* - **French** *conversant*

Publications

2021 **U. Giuriato, G. Krstulovic**, Stochastic motion of finite-size immiscible impurities in a dilute quantum fluid at finite temperature. *Physical Review B* **103**, 024509.

2020 **U. Giuriato, G. Krstulovic**, Quantum vortex reconnections mediated by trapped particles. *Physical Review B* **102**, 094508.

2020 **U. Giuriato, G. Krstulovic**, Active and finite-size particles in decaying quantum turbulence at low temperature. *Physical Review Fluids* **5**, 054608.

2020 **U. Giuriato, G. Krstulovic, S. Nazarenko**, How trapped particles interact with and sample superfluid vortex excitations. *Physical Review Research* **2**, 023149.

2019 **U. Giuriato, G. Krstulovic, D. Proment**, Clustering and phase transitions in a 2D superfluid with immiscible active impurities. *Journal of Physics A: Mathematical and theoretical* **52**, 305501.

2019 **U. Giuriato, G. Krstulovic**, Interaction between active particles and quantum vortices leading to Kelvin wave generation. *Nature Scientific Reports* **9**, 4839.

Rapport sur le manuscrit de thèse intitulé:
« Dynamique des particules actives dans les superfluides et leur interaction avec les vortex quantiques»
présenté par Umberto Giuriato en vue de l'obtention du doctorat de l'université Côte d'Azur.

Les travaux présentés par Umberto Giuriato dans ce manuscrit portent sur l'étude numérique et théorique de la dynamique de particules dans un modèle de superfluide et en particulier sur leurs interactions avec les vortex quantiques présents dans ces fluides. Le sujet est très actif actuellement et les résultats obtenus ont souvent des liens pertinents avec des expériences réalisées récemment. Le manuscrit, de 220 pages environ, en anglais, est extrêmement bien rédigé et clair, d'une lecture très agréable. Il comporte six chapitres principaux, encadrés par une introduction et des conclusions générales.

Le manuscrit commence donc par une introduction qui présente à la fois le sujet et les travaux réalisés. Cette introduction est très claire et illustre bien les qualités de rédaction d'Umberto Giuriato. Elle est suivie par le premier chapitre qui présente de manière élégante et très intéressante le contexte scientifique de la thèse, à savoir la superfluidité et les condensats de Bose-Einstein. Ce chapitre, très bien écrit, permet notamment à Mr Giuriato, après une description très didactique de la superfluidité, de développer le modèle de Gross-Pitaevskii (GP) qui sera au centre de ses travaux. Plus globalement, Umberto Giuriato offre ici une introduction très élégante à la superfluidité et à sa modélisation.

Le deuxième chapitre présente le contexte plus précis de la thèse, la dynamique de particules (bulles, gouttes, impuretés ou sphères solides) immergées dans un fluide et plus particulièrement un superfluide. Le contexte général et historique est tout d'abord décrit, montrant l'importance de ces particules dans la visualisations expérimentale des écoulements superfluides. La modélisation théorique de la dynamique de ces particules est ensuite discutée en détail, notamment au travers de leurs interactions avec les tourbillons. Pour finir, un modèle cohérent de particules est proposé, couplant l'équation de GP introduite précédemment avec la particule, via la déduction de l'hamiltonien du système complet. Les défis de la thèse sont également illustrés au travers d'interactions simples entre tourbillons (vortex) et particules.

Le troisième chapitre s'intéresse à la capture d'une particule par un tourbillon quantique et à la formation d'ondes de Kelvin dans le tourbillon qui en découle. Ce chapitre est composé principalement de deux publications d'Umberto Giuriato, en collaboration avec

son encadrant Giorgio Krstulovic. Dans la première, « Interaction between active particles and quantum vortices leading to Kelvin wave generation » Scientific Reports (2019), plusieurs résultats importants sont obtenus: la résolution numérique 3D de la dynamique de capture de la particule, montrant notamment la formation d'ondes à la fois dans le fluide et le long de la ligne du vortex (ondes de Kelvin), grâce à des visualisations graphiques de grande qualité; un modèle simplifié d'interaction particule/vortex est également déduit de l'approche hamiltonienne, qui permet de reproduire l'essentiel de la dynamique observée. La seconde publication « Quantum vortex reconnections mediated by trapped particles », Physical Review B (2020), traite tout d'abord du problème de la reconnexion d'une paire de tourbillons contra-rotatifs lorsqu'ils s'approchent à une distance de l'ordre du diamètre de la particule, qui permet alors la recombinaison des deux tourbillons en deux tourbillons formés chacun par une partie de chaque tourbillon incident. Le cas de deux tourbillons circulaires imbriqué est également étudié. L'étude numérique permet de plus de mettre en exergue la qualité des résultats obtenus au travers de visualisations graphiques 3D impressionnantes. Umberto Giuriato montre également au travers de ces exemples, que les bilans de quantités de mouvement lors de ces évènements sont complexes et difficile à prendre en compte, conduisant notamment à la formation d'ondes dans le système.

Le cinquième chapitre concerne l'étude par Umberto Giuriato de l'influence des particules sur la turbulence quantique. Il s'agit d'un sujet très intéressant, en lien avec des expériences et des études théoriques récentes. Le chapitre correspond essentiellement au long article « Active and finite-size particles in decaying quantum turbulence at low temperature » Physical Review Fluids (2020). L'étude numérique est remarquable et représente un réel défi qu'a su relever Mr Giuriato. Les résultats montrent une faible influence de la présence des particules sur la turbulence. Umberto Giuriato développe alors une analyse très pertinente sur les limites numériques et physique du modèle employé permettant d'expliquer les quelques différences observées avec les expériences.

Le sixième et dernier chapitre est plus exploratoire et démontre ainsi la grande variété des sujets abordés dans cette thèse. Il rassemble deux articles portant sur la dynamique d'impuretés dans des modèles de superfluides et propose une approche plus statistique du problème. Dans la première publication, « Stochastic motion of finite-size immiscible impurities in a dilute quantum fluid at finite temperature », un preprint *a priori*, Umberto Giuriato étudie l'influence des fluctuations thermiques introduites dans le modèle sur le mouvement de l'impureté, vue ici globalement comme une particule. Il démontre notamment que l'impureté « thermalise » rapidement avec les fluctuations du condensât, ce qui conduit à la définition d'une friction effective notamment. La seconde publication, « Clustering and phase transition in a 2D superfluid with immiscible active impurities » Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical (2019), montre que la condensation à deux dimensions du système peut être influencée par la formation de clusters d'impuretés.

La thèse d'Umberto Giuriato est donc celle d'un physicien théoricien de talent, utilisant des méthodes et simulations numériques de grande qualité qui lui ont permis à la fois d'aborder des dynamiques de superfluides en présence de particules complexes et de développer des approches et modèles théoriques pertinents et originaux. Il me parait également important d'insister sur la qualité du manuscrit rédigé et sur la quantité de résultats

obtenus, qui se traduit par un nombre très important d'articles publiés (au moins cinq, série en cours). Pour toute ces raisons, c'est avec enthousiasme et sans la moindre hésitation que je donne un avis extrêmement favorable à la soutenance de la thèse d'Umberto Giuriato en vue de l'obtention du doctorat de l'Université Côte d'Azur.

Rueil-Malmaison, mardi 3 novembre 2020



Christophe Josserand
Directeur de Recherches au CNRS
Professeur au département de Mécanique de l'Ecole Polytechnique
LadHyX, UMR 7646, CNRS & Ecole Polytechnique, Palaiseau, France

Report on the thesis

Dynamique des particules actives dans les superfluides et leur interaction avec le vortex quantiques

by Umberto Giuriato

The subject of this thesis is the dynamics of particles in superfluid helium, a problem which has received much experimental attention recently. The problem has two aspects of physical interest: the interaction between the particles and the quantum vortices, and the use of the particles as tracer to experimentally visualize the flow of the superfluid or the motion of the vortices. The work described in this thesis is relevant to both aspects.

The thesis is well organized. I like the fact that it contains a good introduction and that, instead of chapters describing results, the thesis contains actual publications in physics journals which have resulted from this PhD project. This format avoids spares repetitions to the PhD candidate, and makes clear to the reader that the results have already undergone professional peer review. Moreover, to avoid the risk of putting together a *collage* of apparently scattered articles, each article is properly introduced and the results are summarised and explained.

The work described in this thesis is motivated by experiments in superfluid helium. Indeed the introduction contains a good description of helium two-fluid model. I think that the readability of the thesis can be strengthened by making more apparent the links (as well as the missing links) between the main model which is used here, the Gross-Piaevskii equation (GPE) and its variants, and the actual liquid helium.

For example, in the introduction it would be nice to summarise the partial agreement between what the GP predicts for sound speed, density and vortex core radius, and the values actually observed in helium (leaving aside the different dispersion relation of course). The thesis is very explicit in warning the reader that the particles which can be described by the GPE are much smaller than the tracers used in the experiments for obvious computationa reasons. It would be better to give equal emphasis on the limitations of the GPE model in terms of temperatures. for example, since the GPE is valid only in the $T \to 0$ limit, what are the lowest temperatures for which particle experiments have been performed ? This clarification would be quite interesting in view of the last chapter of the thesis which contains results of particle dynamics obtained using a finite-temperature generalization of the GPE. This last chapter deals with the finite-temperature drag experienced by the particles. It would be nice to add a summary of helium's mean free path (the values predicted at various

temperatures from the phonon and roton thermal velocities) and the observed values; a comparison to what has been achieved in terms of mean free path with the modified GPE model would help the reader to follow the discussion about the Epstein drag and the size of the particles. Besides the works cites in the thesis on hydrogen tracers, it is worth recalling the experiments of Wilfried Schoepe at the University of Regensburg in low temperature liquid helium with a magnetically levitated microscopic sphere. It would be interesting to check if the finite-temperature GPE model used in this thesis has any overlap with Schoepe's work in terms of mean free path.

The thesis contains other parts which would benefit from clarifications. For example, I do not understand if, in the model used in this project, a particle can rotate or not, particularly if the particle is not spherical. Has any simulation been performed with elongated particles ? When an elongated particle attaches to a vortex or detaches from it, some angular momentum may be exchanged. I remember seeing experimental movies of hydrogen tracers in liquid helium which flicker, reflecting more or less light, possibly because of their rotation. Positive ions in liquid helium are effectively small snowballs, much smaller than negative ion bubbles, so they are unlikely to be spherical either, and, in terms of length scales, they are computationally accessible by the GPE model presented here.

About the issue of particle's symmetry and possible rotation, it would be useful to clarify whether the particles described in the article following page 170 are actually "bumpy" as they appear and can rotate or not. In the text the "bumpiness" is described as a fluctuation of the normal fluid density. If so, this "bumpiness" would be time-dependent, and we could not set the particle in rotation: is this correct ?

The thesis states that particles attract to each others due to a fluid-mediated effect. Indeed a repulsive potential is added to the model to prevent the particles from colliding. But the early experiments with hydrogen tracers of Bewley et al (Nature 2006) clearly showed that particles collide and then stick to each other, so the effect seems to be real: if so, why prevent it artificially in the numerical simulations ? Fig.5 of the Phys. Rev. Fluids. **5**, 054608, 2020 shows that, after an initial transient, the fraction of trapped particles becomes constant with time. Is this a consequence of tuning the repulsive potential between the particles ?

Talking to some of the physicists who do experiments with hydrogen tracers, I had the impression that they are not confident that in steady turbulence the fraction of trapped particles remains constant. Perhaps I have not kept myself updated on the most recent results on this aspect of the problem, but I think it would be important to state what is the experimental evidence on this important issue (whether the fraction of trapped particles is constant or not)

In conclusion, the thesis is well written and organized, the problem is put properly in the context of current research on superfluid helium turbulence, and the results which are described are interesting and new, indeed a good number of publications have resulted from this PhD project. I think that Mr Giuriato should proceed to the defense of his thesis: mon avis est favorable à la soutenance de la thèse.

Carlo F Barenghi

23 October 2020

Prof Carlo F Barenghi
School of Mathematics, Statistics and Physics
Newcastle University
Newcastle upon Tyne NE1 7RU
United Kingdom

UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR

Ecole Doctorale n°364
SCIENCES FONDAMENTALES ET APPLIQUÉES

DOCTORAT
(Arrêté du 25 mai 2016)

RAPPORT DE SOUTENANCE

Thèse de Doctorat en Sciences Mention : **PHYSIQUE**
de **Monsieur Umberto GIURIATO**
Titre : **" Dynamique des particules actives dans les superfluides et leur interaction avec les vortex quantiques / Dynamics of active particles in superfluids and their interaction with quantum vortices"**
Date de Soutenance : **20 novembre 2020**

Report on the PhD thesis "Dynamique des particules actives dans les superfluides et leur interaction avec le vortex quantiques" by Umberto Giuriato.

The jury was very impressed with the thesis presentation by Umberto Giuriato on 20/11/2020. The quality of the material presented was excellent. It was well prepared, pedagogical, balanced, confident and with good timing. Mr. Giuriato was confident in answering questions from the jury members, showing deep understanding of the material, including his own work and the broader context.

The jury members have agreed that the quality of Mr. Giuriato's research is very high in both the quality of the obtained results and their quantity. He has published them in six papers in international refereed journals. His results add a significant knowledge to the research field of quantum turbulence. Mr. Giuriato demonstrated excellent skills in numerical modeling and analytical derivations, ability to be creative and independent in undertaking studies in unexplored fields.

The written thesis of Mr. Giuriato is very well structured. It has a good introduction and a textbook style presentation which could serve as a great reading for new graduate students starting to work in the area of quantum turbulence. The thesis presents new results in the context of the current state of the art in the subject, giving good physical motivations for different parts it is presenting, including descriptions of relevant experiments and theoretical background.

Based on these facts and conclusions, as is the jury has decided to award Mr. Umberto Giuriato the PhD degree, accepting his thesis as is without requesting any further corrections.

Date et signature des membres du jury : Nice, 20/11/2020

Carlo BARENGHI **Christophe JOSSERAND** **Yannick PONTY** **Mathieu GIBERT**

Alessandra LANOTTE **Giorgio KRSTULOVIC MATTE** **Sergey NAZARENKO**



*Décision prise par les membres du jury hors Directeur(s) de thèse

Dr. Gibert Mathieu

Grenoble, 20 Janvier 2021

Lettre de recommandation de la thèse de : Umberto GIURIATO
"Dynamique des particules actives dans les superfluides et leur interaction avec les vortex quantiques"
Laboratoire J.L. Lagrange – Observatoire de la Côte d'Azur
Soutenue le 20/11/2020

Destinataires :
Au jury du prix Jeunes Chercheurs/euses (Prix Saint-Gobain, Daniel Guinier et René Pellat)

Très cher jury,

J'ai eu la chance d'être invité à participer au jury de la thèse de Umberto GIURIATO. Cette thèse est à 100% numérique et, sans être un grand expert technique de ce domaine, se place qualitativement très haut du point de vue des simulations étudiées en hydrodynamique quantique (3D, pseudo-spectral, avec des inclusions, avec une ouverture sur l'effet de température non nulle dans le modèle de superfluidité basé sur Gross-Pitaevskii). De plus, la qualité objective du travail présenté dans cette thèse est facile à évaluer de par le nombre d'articles de qualité qui y sont présentés, qui est sans aucun doute largement au-dessus de la moyenne.

À cette analyse surfacique, je voulais rajouter mon point de vue d'expérimentateur dans ce domaine très exigent :
Les mots « experiments », « experimentally », … (et leur dérivés) apparaissent une centaine de fois dans le manuscrit (une fois toutes les 2 pages), et ceux non pour nommer une « expérience numérique », mais pour régulièrement se poser la question de la pertinence des résultats obtenus dans le cadre des expériences qui sont menées dans le domaine et chercher à construire une complémentarité si précieuse en science. En plus de cela, Dr. Giuriato c'est attaché à extraire de ses simulations un grand nombre d'illustrations pédagogiques et d'interprétations physiques qui aide le lecteur à prendre de la hauteur vis à vis des équations utilisées dans les simulations et des résultats produits. Ces deux derniers points font que j'encourage à présents tous mes étudiants (stagiaires, doctorants ou post-doctorants) à lire ce manuscrit avant de se lancer dans nos expériences. En effet, il donne une très bonne introduction théorique, mais aussi ouvre beaucoup de perspectives du point de vue expérimental.

Institut NEEL/CNRS-UGA 25, rue des Martyrs - Bâtiment - BP 166 -
38042 Grenoble cedex 9 - France
✆ +33 (0)4 76 88 10 13 🖷 +33 (0)4 56 38 70 87
Mathieu.Gibert@neel.cnrs.fr

www.neel.cnrs.fr

Vous l'aurez compris, pour toutes ces raisons je vous suggère de prendre très sérieusement en considération cette thèse attribuer votre prix. Elle est rangée dans le dossier textbook de mes documents, et dresse des ponts entre l'expérimental et le numérique comme peu de travaux dans le domaine à ce jour.

Veuillez agréer, Madame, Monsieur, l'expression de mon profond respect.

Mathieu Gibert



Institut NEEL/CNRS-UGA 25, rue des Martyrs - Bâtiment - BP 166 -
38042 Grenoble cedex 9 - France
✆ +33 (0)4 76 88 10 13 🖷 +33 (0)4 56 38 70 87
Mathieu.Gibert@neel.cnrs.fr