

PROPOSITION DE STAGE 2020-21

Vacuum friction on colliding atomic and subatomic structures

Key words: Quantum vacuum, Vacuum friction, QED, Dissipation, atomic and subatomic collisions

Internship duration: 4 to 6 months

Starting date: 15 February- 15 April 2021

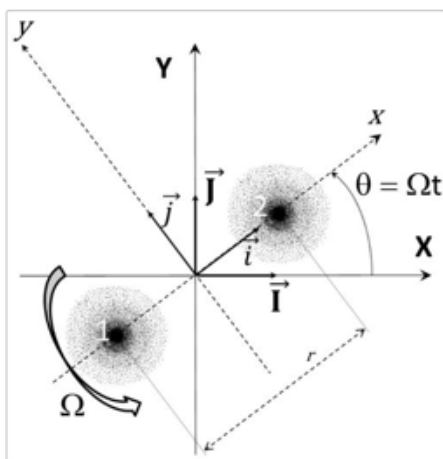
Contact :

Hervé Bercegol

+33 1 69 08 74 37 / + 33 6 17 91 24 79

herve.bercegol@cea.fr

The quantum vacuum is populated with fluctuating, lowest energy states of particles and fields, a typically quantum, rather fascinating feature¹. There are a few experimental demonstrations of consequences of vacuum fluctuations on static material structures, like the Lamb shift and the Casimir effect. When material systems evolve dynamically, a friction force is theoretically predicted, the so-called *Dynamic Casimir Effect*. We have been investigating these phenomena as a possible cause of the second law of thermodynamics. Rotating pairs of atoms experience a torque from the zero-point electromagnetic field of the vacuum, calculated for identical² as well as for dissimilar atoms³. The material system exchanges angular momentum with the underlying vacuum.



This is reminiscent of the spin of the electron, which appears as intimately linked to the interaction of the particle with the vacuum fields: the zero-point electromagnetic field and Dirac field of electron-positron pairs. The goal of this internship is to calculate the dynamical effect of the Dirac sea on atomic collisions, by due consideration of the underlying dynamics of electrons and nuclei, protons to begin with.

A preliminary knowledge of Quantum Electrodynamics theory and calculations – at least using Feynman diagrams – is necessary. The internship will take place mainly at SPEC, bat. 772 in l'Orme des Merisiers site of CEA Saclay. Collaborations with other scientists in the Paris region are a possibility.

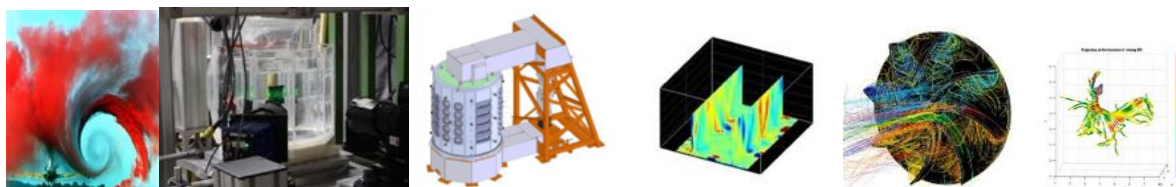
¹ Milonni, P. W. *The quantum vacuum: an introduction to quantum electrodynamics* (Academic press, San Diego, 1994).

² Bercegol, H., Lehoucq, R., "Vacuum friction on a rotating pair of atoms", *Phys. Rev. Lett.* **115**, 090402 (2015)

³ De Izarra, A. « Effet du champ électromagnétique du vide sur les collisions atomiques », Univ. Tours, 2016.

PROPOSITION DE STAGE 2020-21

STOCHASTICITÉ SPONTANÉE ET SINGULARITÉS EN TURBULENCE?



On sait depuis Lorentz que les mouvements des fluides, notamment l'atmosphère et l'océan est chaotique : dans l'espace des phases, deux points initialement proches, s'écartent exponentiellement, permettant ainsi de produire le fameux effet papillon. Ce qu'on sait moins, c'est ces mêmes fluides sont victimes d'un phénomène encore plus violent appelé « stochasticité spontanée », au cours duquel deux points de l'espace physique se séparent algébriquement de façon indépendante de leur distance initiale. Les mathématiciens suspectent que ce phénomène, observé dans des simulations numériques, est créé par l'existence de singularités dans les équations du mouvement, brisant ainsi l'unicité des solutions. Par contre, il n'existe à ce jour aucune démonstration expérimentale de ce phénomène, ni de preuve de son lien avec des singularités ou quasi-singularités.

Le but de ce stage est de combler ces lacunes en utilisant une nouvelle expérience appelée GVK. Cette expérience a été spécialement conçue pour explorer la dynamique de particules et des mouvements turbulents, avec une résolution jamais atteinte jusqu'à présent. Dans ce stage, on effectuera des mesures expérimentales à l'aide de dispositifs d'imagerie vélocimétrique, et on analysera les données pour mettre en évidence le phénomène, et ses liens possibles avec des quasi-singularités.

La quête des singularités dans les équations d'Euler ou de Navier-Stokes représente un problème bien connu (cf. AMS Millenium Clay Prize), mais les récentes avancées, tant au niveau numérique qu'expérimental, remettent ce problème de nouveau d'actualité. En particulier, notre groupe a récemment mis en évidence, dans un écoulement turbulent de laboratoire, l'existence d'événements intenses de dissipation d'énergie non-visqueuse qui pourraient être associés aux singularités recherchées par les mathématiciens (*Saw et al, Nature Communication 7, 12466 (2016)*).

Le cœur de ce stage est expérimental, mais des développements théoriques sur la physique hors-équilibre via le formalisme multi-fractal et les ondelettes pourront être effectués. Ce stage sera encadré par B. Dubrulle (CNRS). Le sujet est à l'interface entre la mécanique des fluides, les mathématiques et la physique statistique. Le stage requiert une solide formation de physicien, en particulier en physique statistique, ainsi qu'un goût prononcé pour l'expérimentation. Il pourra éventuellement déboucher sur une thèse sur une thématique voisine.

CONTACTS : Bérengère Dubrulle, 01 69 08 72 47, berengere.dubrulle@cea.fr

PROPOSITION DE STAGE 2020-21

L'IRRÉVERSIBILITÉ EST-ELLE UNE TRANSITION DE PHASE EN TURBULENCE ?



En 1845, James Prescott Joule montre expérimentalement que l'application d'une force de 1050 J sur une turbine mettant en mouvement une livre d'eau augmente la température du fluide d'un degré Fahrenheit. Ceci est une illustration d'un processus global se produisant dans la plupart des fluides, par lequel l'énergie mécanique (travail) est convertie en énergie thermique (chaleur), en accord avec la première loi de la thermodynamique régissant la variation de l'énergie totale du fluide dans un système fermé $\Delta E_{tot} = Q + W$ en fonction de la chaleur Q et du travail ajouté W . Elle traduit également le fait que dans un fluide, la viscosité induit une dissipation d'énergie qui chauffe le fluide. Cette observation recèle cependant un profond mystère : si je répète l'expérience avec différents fluides, de moins en moins visqueux, j'observerai que la dissipation d'énergie adimensionnée est une constante et ne dépend pas de la viscosité !

D'un point de vue physique, on peut voir cette anomalie comme une brisure spontanée de la symétrie par renversement du temps dans les équations constitutives du fluide. La question, non résolue actuellement est : qu'est-ce qui provoque cette brisure de symétrie ? Peut-on la décrire avec les outils de la mécanique statistique et en particulier, les modèles de transition de phase ? La difficulté majeure dans la réponse à ces questions, et que les fluides sont fondamentalement hors équilibre, et que la théorie de la physique hors équilibre est encore balbutiante.

Le but de ce stage est d'essayer de contourner cette difficulté en étudiant une modification des équations des fluides, qui permet de rendre le système à l'équilibre. L'équation correspondante est alors appelée équation de Navier-Stokes réversible et a été proposée par un mathématicien, Gallavotti. Des simulations préliminaires de cette équation ont montré en effet l'existence d'une transition de phase, mais elle n'a pas été caractérisée. Dans ce stage, on effectuera et analysera donc des simulations de cette équation afin de caractériser cette transition, et de voir dans quelle mesure elle permet d'expliquer l'anomalie de dissipation.

Le cœur de ce stage est numérique, mais des développements théoriques sur la théorie de la turbulence via la mécanique statistique hors-équilibre pourront être effectués. Ce stage sera encadré par B. Dubrulle (CNRS). Le sujet requiert une solide formation de physicien, en particulier en physique non linéaire et statistique, ainsi qu'un goût prononcé pour le numérique. Il pourra éventuellement déboucher sur une thèse financée par l'ANR sur une thématique voisine.

CONTACTS : Bérengère Dubrulle, 01 69 08 72 47, berengere.dubrulle@cea.fr

PROPOSITION DE STAGE 2020/2021

SOLAR-THERMOELECTRIC HYBRID ENERGY HARVESTING USING MAGNETIC NANOFUIDS

Solar energy harvesting is, without a doubt, the most promising renewable energy technological path for accelerating the global carbon-exit strategy. A plethora of materials' such as semiconductors, conducting polymers, bio-inspired nanoarrays, etc., are explored for converting solar radiation into electricity, heat and chemical fuels. Nanofluids (liquid suspensions of nanometer-sized additives) were first introduced to solar-thermal collector devices as a better heat carrier to improve the heat transfer efficiency¹. More recently, certain types of nanoparticles are found to be an excellent Sun light absorber, such that even at extremely low mass fractions (*i.e.*, 0.01%-0.1% wt), they can transform the transparent heat transfer fluid into a full-volumetric solar absorbers. Due to their unique magneto-thermophysical properties², magnetic nanoparticles tend to form chain-like structures under the effect of applied magnetic field, improving both the heat transfer and optical properties³, making magnetic nanofluids (MNF) a magnetically-tunable solar-absorber/heat transfer medium. Furthermore, recent studies by SPHYNX/SPEC/CEA indicated that the MNFs are thermoelectrically active; *i.e.*, enable direct heat-to-electricity conversion⁴ (<https://www.magenta-h2020.eu>).

At SPHYNX, we have recently started a research project to explore the bespoke multi-functionality of magnetic nanofluids with a long-term goal to demonstrate a novel hybrid solar collector capable of co-generating heat and electricity. The proposed internship project is dedicated to the development and the optimization of the proof-of-concept hybrid solar-collector device through rigorous characterizations of both MNF's physical properties (thermoelectric, solar absorption and thermal) and the device parameters. The transparent solar collector cell is currently being built by our partner laboratory (National Optical Institute, INO, Firenze, Italy) which will be assembled into a working device as shown in the figure at SPHYNX. The MNFs will be provided by our partner labs (INO and Sorbonne University). The internship has for its short-term goal to benchmark the prototype feasibility by determining the extractable magnitude of heat generation, thermal gradient and the power-output as a function of the irradiation power, cell geometry (including that of thermal insulator), nanoparticle concentration, applied magnetic field strength, fluid-flow patterns etc. Upon its successful completion, the internship will be converted into a PhD thesis research project investigating the underlying laws of physics behind the solar radiation absorption (heat) and the thermoelectric potential and power generation and other associated phenomena in magnetic nanofluids.

The internship is purely experimental involving: thermoelectrical, thermal and optical measurements; implementation of automated data acquisition system and analysis of the resulting data obtained. Basic notions of thermodynamics, optics, fluid physics and engineering (device) physics, as well as hands-on knowledge of experimental device manipulation are needed. For motivated students, numerical simulations using commercial CFD software can also be envisaged but not mandatory.

CONTACT: Saco Nakamae 01 69 08 75 38, sawako.nakamae@cea.fr

REFERENCES:

- [1] Z. Abidin *et al.*, "Solar energy harvesting with the application of nanotechnology," *Renew. & Sus. Energy Rev.*, **26** 837 (2013).
- [2] Z. Liu *et al.*, "Enhancement of solar energy collection with magnetic nanofluids," *Therm. Sci. & Eng. Prog.*, **8**, 130 (2018).
- [3] E. Sani, *et al.*, "Magnetic field tunability of optical properties in colloidal suspensions of Goethite nanorods," *Opt. Mat.*, **96** 109303 (2019).
- [4] T. Salez *et al.*, "Magnetic enhancement of Seebeck coefficient in ferrofluids," *Nanoscale Adv.*, **1**, 2979 (2019).

