

Soutenances de Thèses 2018

Ada ALTIERI

6 février 2018
Sapienza Università di Roma

Soutenance de thèse

Jamming and glass transition in meanfield theories and beyond

La description détaillée des systèmes désordonnés et vitreux représente un défi central en physique statistique et de la matière condensée, puisqu'à ce jour il n'existe pas de théorie unique et établie permettant de comprendre ces systèmes, pourtant omniprésents. Ce travail de recherche est lié en particulier à l'étude des matériaux vitreux à basse température. Plus précisément, si l'on considère des systèmes formés par un ensemble de particules athermiques avec des interactions répulsives de portée finie, en augmentant la densité, on peut observer une transition dite d'encombrement ("jamming"). Celle-ci consiste en un blocage des degrés de liberté accompagné par une augmentation spectaculaire de la rigidité du matériau. Nous étudierons ce problème à l'aide d'une analogie formelle entre des modèles de sphères et le perceptron, un modèle théorique qui développe une transition d'encombrement et des phénomènes de frustration typiques des systèmes désordonnés. En tant que modèle en champ moyen, il permet d'obtenir des résultats analytiques précis et généralisables à des systèmes à haute dimension. L'enjeu majeur de cette étude est de reconstruire le spectre des modes de vibration et toutes les propriétés pertinentes d'une phase spécifique (correspondant au régime dit des sphères dures). Dans ce cadre, nous dériverons le potentiel effectif en fonction des paramètres d'ordre du modèle et nous montrerons qu'il est dominé à proximité du point de jamming par une interaction logarithmique non triviale, qui clarifiera le lien entre les forces de contact et les distances moyennes entre les particules, dans la région critique et au-delà. Comprendre pleinement la transition d'encombrement et les propriétés du perceptron nous permettra de faire des progrès dans plusieurs domaines reliés. En premier lieu, cela peut conduire à une théorie complète des systèmes amorphes, à la fois en dimension infinie et en dimension finie. De plus, le modèle du perceptron semble avoir un lien étroit avec des problèmes dits de Von Neumann. En effet, les systèmes biologiques et écologiques développent souvent des propriétés liées à une condition pseudocritique en mettant en oeuvre des mécanismes d'optimisation de ressource consommation. Est-il possible d'identifier un régime caractérisé par une brisure de symétrie? Quel serait le spectre de fluctuations d'énergie dans ces systèmes? Ce ne sont que quelquesunes des questions auxquelles nous essaierons de répondre dans cette thèse. Cependant, l'approximation de champ moyen peut parfois fournir des informations incorrectes ou trompeuses, en particulier dans l'étude de certaines transitions de phase et la détermination des dimensions critiques inférieure et supérieure. Afin d'avoir une vue d'ensemble et pouvoir manipuler correctement des systèmes en dimension finie, dans la suite de la thèse nous discuterons comment obtenir un développement perturbatif systématique, applicable à tout modèle, à condition que ce dernier soit défini sur un réseau ou un graphe biparti. Notre motivation est en particulier liée à la possibilité d'étudier certaines transitions de phase du second ordre qui existent sur le réseau de Bethe c'est-à-dire un réseau en arbre sans boucles dont chaque noeud a une connectivité fixe mais qui sont qualitativement différentes ou absentes dans le modèle entièrement connecté correspondant.

Directeurs : Silvio Franz, Giorgi Parisi

Jury : Enzo Marinari, Irene Giardinà, Giulio Biroli, Guilhem Semerjian

Aurélien Grabsch

2 juillet 2018
Auditorium Irène Joliot-Curie de l'IPN

Soutenance de thèse

Random matrix theory in statistical physics: quantum scattering and disordered systems

Random matrix theory has applications in various fields: mathematics, physics, finance, ... In physics, the concept of random matrices has been used to study the electronic transport in mesoscopic structures, disordered systems, quantum entanglement, interface models in statistical physics, cold atoms, ... In this thesis, we study coherent AC transport in a quantum dot, properties of fluctuating 1D interfaces on a substrate and topological properties of multichannel quantum wires.

The first part gives a general introduction to random matrices and to the main method used in this thesis: the Coulomb gas. This technique allows to study the distribution of observables which take the form of linear statistics of the eigenvalues. These linear statistics represent many relevant physical observables, in different contexts. This method is then applied to study concrete examples in coherent transport and fluctuating interfaces in statistical physics.

The second part focuses on a model of disordered wires: the multichannel Dirac equation with a random mass. We present an extension of the powerful methods used for one dimensional systems to this quasi-1D situation, and establish a link with a random matrix model. From this result, we extract the density of states and the localisation properties of the system. Finally, we show that this system exhibits a series of topological phase transitions (change of a quantum number of topological nature, without changing the symmetries), driven by the disorder.

Directeurs : Christophe Texier, Satya N. Majumdar

Jury : Alexander Altland, Jean-Philippe Bouchaud, David S. Dean, Yan V. Fyodorov, Cécile Monthus

Kirill Plekhanov

7 septembre 2018

Auditorium Irène Joliot-Curie de l'IPN

Soutenance de thèse

Topological Floquet states, artificial gauge fields in strongly correlated quantum fluids

In this thesis we study the topological aspects of condensed matter physics, that received a revolutionary development in the last decades. Topological states of matter are protected against perturbations and disorder, making them very promising in the context of quantum information. The interplay between topology and interactions in such systems is however far from being well understood, while the experimental realization is challenging. Thus, in this work we investigate such strongly correlated states of matter and explore new protocols to probe experimentally their properties. In order to do this, we use various both analytical and numerical techniques.

First, we analyze the properties of an interacting bosonic version of the celebrated Haldane model – the model for the quantum anomalous Hall effect. We propose its quantum circuit implementation based on the application of periodic time-dependent perturbations – Floquet engineering. Continuing these ideas, we study the interacting bosonic version of the Kane-Mele model – the first model of a topological insulator. This model has a very rich phase diagram with an emergence of an effective frustrated magnetic model and a variety of symmetry broken spin states in the strongly interacting regime. Ultra-cold atoms or quantum circuits implementation of both Haldane and Kane-Mele bosonic models would allow for experimental probes of the exotic states we observed.

Second, in order to deepen the perspectives of quantum circuit simulations of topological phases we analyze the strong coupling limit of the Su-Schrieffer-Heeger model and we test new experimental probes of its topology associated with the Zak phase. We also work on the out-of-equilibrium protocols to study bulk spectral properties of quantum systems and quantum phase transitions using a purification scheme which could be implemented both numerically and experimentally.

directeurs : Karyn Le Hur, Guillaume Roux

Jury : Mark Oliver Goerbig, Nathan Goldman, Walter Hofstetter, Titus Neupert, Guido Pupillo, Nicolas Regnault

Inès Rodriguez-Arias

27 septembre 2018

Auditorium Irène Joliot-Curie de l'IPN

Soutenance de thèse

Collective behaviors in interacting spin systems

Dynamic nuclear polarization (DNP) is one of the most promising techniques towards a new generation of Magnetic Resonance Imaging (MRI). The idea is to use the Nuclear Magnetic Resonance (NMR) in other nuclei rather than the traditional hydrogen, such as carbon. For the carbon signal to be detected, one needs to enhance its spin polarization. In thermal equilibrium — at low temperature and high magnetic field — electron spins are far more polarized than any system of nuclear spins, which is due to their smaller mass. With the DNP technique we bring the system out-of-equilibrium irradiating it with microwaves. This triggers polarization transfer from the electron spins to the nuclear ones.

During my Ph.D, I have studied both analytically and numerically the competition between the dipolar interactions among electron spins (which can be tuned experimentally) and the disorder naturally present in the sample. I proposed two models to study DNP: a Heisenberg spin-chain and a system of free-fermions in the Anderson model. Two different regimes were found :

(I) For strongly interacting electron spins, the out-of-equilibrium steady state displays an effective thermodynamic behavior characterised by a very low spin temperature.

(II) In the weakly interacting regime, it is not possible to define a spin temperature, and it is associated to a many-body localized phase (or an Anderson-localized phase).

My research was focused on the properties of the two phases with respect to the performance of DNP, and I found it to be optimal at the transition between the two. This is a very important result that has been verified by recent experiments carried in École Normale Supérieure de Paris.

Directeur : Alberto Rosso

Jury : Cécile Monthus, Juan Garrahan, Nicolas Laflorencie, Cristiano Ciuti, Geoffrey Bodenhausen, Andrea De Luca

Shuang Wu

22 novembre 2018

Auditorium Irène Joliot-Curie de l'IPN

Soutenance de thèse

Algebraic area distribution of two dimensional random walks and the Hofstadter model

This thesis is about the Hofstadter model, i.e, a single electron moving on a two-dimensional lattice coupled to a perpendicular homogeneous magnetic field. Its spectrum is one of the famous fractals in quantum mechanics, known as the Hofstadter's butterfly. There are two main subjects in this thesis: the first is the study of the deep connection between the Hofstadter model and the distribution of the algebraic area enclosed by two-dimensional random walks. The second focuses on the distinctive features of the Hofstadter's butterfly and the study of the bandwidth of the spectrum. We found an exact expression for the trace of the Hofstadter Hamiltonian in terms of the Kreft coefficients, and for the higher moments of the bandwidth.

Directeur : S. Ouvry

Jury : S. Matveenko, A. Polychronakos, A. Alastuey, V. Pasquier, D. Serban, O. Giraud

