



Proposition de sujet de stage

Titre du stage : Etude théorique et numérique de la transition quantique classique par une approche utilisant les marches aléatoires branchantes.

Laboratoire : IRFU/DPhN au CEA-Saclay

Responsable du stage :
Eric Dumonteil, eric.dumonteil@cea.fr, ☎ : 01 69 08 56 02

Durée souhaitée : 4-6 mois, niveau équivalent M1/M2

L'étude des marches aléatoires branchantes permet de décrire de nombreux phénomènes tels que la propagation des épidémies, la transmission génétique au sein de populations, ou le transport des neutrons dans les milieux fissiles pour n'en citer que quelques-uns.

Dans ce dernier domaine par exemple, des travaux récents ont montré que des structures spatiales (phénomène de "clustering") pouvaient émerger au sein de la population de neutron présente dans un réacteur nucléaire [1,2], que l'on caractérise à l'aide de la fonction de corrélation spatiale (ou fonction à deux points). Le formalisme théorique développé dans ce cadre possède de surprenantes similitudes avec certains modèles de décohérence en mécanique quantique.

Ce stage se propose ainsi d'explorer le lien entre l'équation de Schrödinger et la mécanique statistique des processus critiques, d'un point de vue théorique et numérique. Les développements formels -qui peuvent être vu comme l'étude de la quantification stochastique de Nelson [3] dans le secteur non relativiste- s'appuieront sur des travaux relativement récents de Nagasawa et seront interprétés à la lumière de la théorie de l'onde pilote de Bohm. Les aspects numériques seront réalisés par une extension d'algorithmes de type "Diffusion Monte Carlo" du régime stationnaire au régime transitoire. On cherchera en particulier à reproduire numériquement le phénomène de "quantum carpet" avec ces outils, ainsi que la transition quantique/classique.

Le candidat recherché doit être en dernière année d'école d'ingénieur ou en master recherche de physique théorique, de physique fondamentale, de modélisation des systèmes complexes, ou d'ingénierie nucléaire. Il doit avoir des connaissances en modélisation mathématique, en physique statistique (probabilités, calcul stochastique, marches aléatoires, transitions de phase, éventuellement théorie des champs) et être capable de réaliser des développements informatiques en Python (le travail sera effectué sous forme de notebook Jupyter).

Le stage sera basé sur le centre de Saclay du CEA (Orme des Merisiers), au sein du Département de Physique Nucléaire de l'IRFU.

[1] E. Dumonteil et al. Nature Commun Phys 4, 151 (2021).

[2] B. Dechenaux, T. Delcambre, E. Dumonteil, Phys. Rev. E, 106 (2022)

[3] E. Nelson, Nelson, "Derivation of the Schrödinger Equation from Newtonian Mechanics". Physical Review. 150 (1966)

[4] M. Nagasawa, "Markov Processes and Quantum Theory", Springer (2022).



Internship title : Formal and numerical study of the emergence of the quantum to classical transition using branching random walks.

Laboratory : IRFU/DPhN, CEA-Saclay

Internship director :
Eric Dumonteil, eric.dumonteil@cea.fr, ☎ : 01 69 08 56 02

Internship duration : 4-6 months, Master 1/2 level

The study of branching random walks makes it possible to describe numerous phenomena such as the propagation of epidemics, genetic transmission within populations, or neutron transport in fissile media, to name but a few.

In the latter field, for example, recent work has shown that spatial structures ("clustering") can emerge within the neutron population present in a nuclear reactor [1,2], characterized by the spatial correlation function (or two-point function). The theoretical formalism developed in this context has surprising similarities with certain decoherence models in quantum mechanics.

The aim of this internship is to explore the link between the Schrödinger equation and the statistical mechanics of critical processes, both theoretically and numerically. The formal developments - which can be seen as the study of Nelson's stochastic quantization [3] in the non-relativistic sector - will be based on relatively recent work by Nagasawa and interpreted in the light of Bohm's pilot wave theory. The numerical aspects will be carried out by extending Monte Carlo diffusion algorithms from the stationary to the transient regime. In particular, the quantum carpet phenomenon will be numerically reproduced with these tools, as will the quantum/classical transition.

Candidates must be in their final year of engineering school or of research master's degree in theoretical physics, fundamental physics, complex systems modeling or nuclear engineering. He/she must have knowledge of mathematical modeling, statistical physics (probabilities, stochastic calculus, random walks, phase transitions, possibly field theory) and be able to carry out computer developments in Python (the work will be carried out in the form of a Jupyter notebook).

The internship will be based at the CEA's Saclay center (Orme des Merisiers), in the IRFU Nuclear Physics Department.

[1] E. Dumonteil et al. Nature Commun Phys 4, 151 (2021).

[2] M. Doi, J. Phys. A: Math. Gen. 9, 1465 (1976).

[3] L. Peliti, J. Phys. (Paris) 46, 1469 (1985).

[3] R. Garcia-Millan, Phys. Rev. E 98, 062107 (2018).