

Proposition de thèse – 2025-2028

Thématique : Physique théorique des particules

Sujet de thèse : Brisure de la symétrie électrofaible et mélange UV/IR

Directeur de thèse : Florian NORTIER

Co-directeur de thèse : Aldo DEANDREA (HDR)

Téléphone : +33 4 72 44 84 34

Email : f.nortier@ip2i.in2p3.fr

Adresse : IP2I Lyon – Bureau 339

Domaine Scientifique de la Doua – Bât. Paul Dirac

4 rue Enrico Fermi – 69622 Villeurbanne Cedex - France

Modalités de candidature pour la pré-sélection par l'équipe d'encadrement :

Merci d'adresser votre candidature via un e-mail de motivation en y joignant un CV, et vos relevés de notes de Master et de la dernière année de Licence. L'équipe d'encadrement considèrera uniquement les dossiers des candidat.e.s ayant des bases solides en Physique des Particules Élémentaires, Théorie Quantique des Champs et Théories de Jauge. Les candidat.e.s retenu.e.s seront invité.e.s individuellement à un entretien informel avant le choix final. Un stage de M2 (d'au moins 4 mois) pour se familiariser avec le sujet et l'équipe d'encadrement précèdera la candidature au financement de thèse.

Description du travail demandé :

L'étude de la brisure électrofaible et du boson de Higgs sont au cœur du programme expérimental européen de physique des particules avec le CERN LHC à Genève. La particularité du boson de Higgs, dans le Modèle Standard (MS) de la physique des particules, est d'être le seul boson scalaire élémentaire. Un tel scalaire léger, et dont la masse n'est pas protégée par une symétrie, n'est pas naturel selon le point de vue moderne des théories quantiques des champs effectives, suggérant ainsi un mécanisme fondamental expliquant cette particularité. Les solutions historiques (la supersymétrie, le Higgs composite et les dimensions supplémentaires compactes) prévoient de nouvelles particules directement accessibles au LHC, lesquelles n'ont pas été mises en évidence jusqu'à ce jour. Trouver une explication à ce paradoxe est aujourd'hui une question centrale en physique théorique des particules, motivant de nouvelles approches avec des signatures expérimentales souvent très différentes.

Le phénomène de classicalisation [1] constitue l'une d'entre elles, prévoyant de la nouvelle physique nécessairement plus lourde que ses prédécesseuses historiques. Cette idée est directement inspirée de l'hypothèse de formation de trous noirs dans des collisions ultra-planckiennes en gravité [2], réalisant ainsi un intrigant mélange UV/IR [4], où des objets massifs étendus (classicalons/saturons) se désintègrent en un grand nombre de bosons électrofaibles [3] : événements dits "boules de feu". Ce paradigme effectue un pont entre la

physique électrofaible et les propriétés de la gravité, offrant ainsi de nouvelles perspectives pour un cadre unifié des interactions fondamentales, en lien avec les théories des champs non-locales [4-6]. Le programme de recherche sur cette thématique à l'IP2I Lyon consiste à explorer la consistance théorique de la classicalisation dans le secteur électrofaible, ainsi que ses conséquences phénoménologiques au LHC et aux futurs collisionneurs, tels que le CERN FCC.

L'étudiant.e sera intégré.e à la collaboration travaillant sur ce programme de recherche. Une première phase consistera à construire des extensions réalistes du SM et à étudier leurs propriétés formelles. Une deuxième phase portera sur l'étude de leur phénoménologie, i.e. à effectuer des calculs d'observables physiques pour les recherches directes et indirectes de nouvelle physique aux collisionneurs de particules.

Références :

- [1] G. Dvali, G.F. Giudice, C. Gomez, A. Kehagias, “*UV-completion by classicalization*”, *JHEP* **08** (2011) 108, [arXiv:1010.1415](https://arxiv.org/abs/1010.1415)
- [2] G. Dvali, C. Gomez, A. Kehagias, “*Classicalization of gravitons and Goldstones*”, *JHEP* **11** (2011) 070, [arXiv:1103.5963](https://arxiv.org/abs/1103.5963)
- [3] C. Grojean, R.S. Gupta, “*Theory and LHC phenomenology of classicalon decays*”, *JHEP* **05** (2012) 114, [arXiv:1110.5317](https://arxiv.org/abs/1110.5317)
- [4] L. Keltner, A.J. Tolley, “*UV properties of Galileons: Spectral Densities*”, [arXiv:1502.05706](https://arxiv.org/abs/1502.05706)
- [5] L. Buoninfante, J. Tokuda, M. Yamaguchi, “*New lower bounds on scattering amplitudes: non-locality constraints*”, *JHEP* **01** (2024) 082, [arXiv:2305.16422](https://arxiv.org/abs/2305.16422)
- [6] P. Chattopadhyay, F. Nortier, “*Ghost-free Electroweak Symmetry Breaking with Weakly Nonlocal Interactions*”, *Acta Phys. Pol. B* **55** (2024) 8-A2, [arXiv:2311.08311](https://arxiv.org/abs/2311.08311)

PhD thesis proposal – 2025-2028

Research field: Theoretical Particle Physics

Thesis title: Electroweak Symmetry Breaking & UV/IR Mixing

Supervisor: [Florian NORTIER](#)

Co-supervisor: [Aldo DEANDREA](#) (HDR)

Phone: +33 4 72 44 84 34

Email: f.nortier@ip2i.in2p3.fr

Address: IP2I Lyon – Bureau 339

Domaine Scientifique de la Doua – Bât. Paul Dirac

4 rue Enrico Fermi – 69622 Villeurbanne Cedex - France

Application terms for the pre-selection by the supervisory team:

Please, send your application via a cover email, attaching a CV, and your Master's and final year Bachelor's marks. The supervisory team will only consider the applications of Master students with solid fundamentals in Elementary Particle Physics, Quantum Field Theory and Gauge Theories. Selected candidates will be invited individually to an informal interview before the final selection. An M2 internship (at least 4 months) to familiarize yourself with the subject and the supervisory team will precede the application for thesis funding.

Work description:

The study of electroweak (EW) symmetry breaking and the Higgs boson are at the heart of the European experimental Particle Physics program with the CERN LHC in Geneva. The particularity of the Higgs boson, in the Standard Model (SM) of particle physics, is to be the only elementary scalar boson. Such a light scalar, whose mass is not protected by a symmetry, is not natural according to the modern point of view of effective quantum field theories, thus suggesting a fundamental mechanism explaining this particularity. The historical solutions (supersymmetry, composite Higgs and compact extra dimensions) predict new particles directly accessible to the LHC, which have not been discovered to date. Finding an explanation for this paradox is nowadays a central question in theoretical particle physics, motivating new approaches with often very different experimental signatures.

The phenomenon of classicalization [1] is one of them, predicting new physics necessarily heavier than its historical predecessors. This idea is directly inspired by the hypothesis of black hole formation in ultra-Planckian collisions in gravity [2], thus realizing an intriguing UV/IR mixing [4], where massive extended objects (classicalons/saturons) decay into a large number of electroweak bosons [3]: so-called "fireball" events. This paradigm bridges the gap between EW physics and the properties of gravity, thus offering new perspectives for a unified framework of fundamental interactions, in connection with non-local field theories [4-6]. The research

program on this topic at IP2I Lyon consists in exploring the theoretical consistency of classicalization in the EW sector, as well as its phenomenological consequences at the LHC and future colliders, such as the CERN FCC.

The student will be integrated into the collaboration working on this research program. A first phase will consist in building realistic extensions of the SM and studying their formal properties. A second phase will focus on the study of their phenomenology, i.e. performing calculations of physical observables for direct and indirect searches for new physics at particle colliders.

References :

- [1] G. Dvali, G.F. Giudice, C. Gomez, A. Kehagias, “*UV-completion by classicalization*”, *JHEP* **08** (2011) 108, [arXiv:1010.1415](https://arxiv.org/abs/1010.1415)
- [2] G. Dvali, C. Gomez, A. Kehagias, “*Classicalization of gravitons and Goldstones*”, *JHEP* **11** (2011) 070, [arXiv:1103.5963](https://arxiv.org/abs/1103.5963)
- [3] C. Grojean, R.S. Gupta, “*Theory and LHC phenomenology of classicalon decays*”, *JHEP* **05** (2012) 114, [arXiv:1110.5317](https://arxiv.org/abs/1110.5317)
- [4] L. Keltner, A.J. Tolley, “*UV properties of Galileons: Spectral Densities*”, [arXiv:1502.05706](https://arxiv.org/abs/1502.05706)
- [5] L. Buoninfante, J. Tokuda, M. Yamaguchi, “*New lower bounds on scattering amplitudes: non-locality constraints*”, *JHEP* **01** (2024) 082, [arXiv:2305.16422](https://arxiv.org/abs/2305.16422)
- [6] P. Chattopadhyay, F. Nortier, “*Ghost-free Electroweak Symmetry Breaking with Weakly Nonlocal Interactions*”, *Acta Phys. Pol. B* **55** (2024) 8-A2, [arXiv:2311.08311](https://arxiv.org/abs/2311.08311)