

## Internship offer – Year 2024-2025

**Internship level:** M2

**Duration:** 4 months

**Possible PhD follow up:** Yes

**Proposed PhD funding type:** Fellowship of École Doctorale

**Supervisor:** Luc Darmé and Aldo Deandrea

**Phone:** 0472448233

**Email:** [l.darme@ip2i.in2p3.fr](mailto:l.darme@ip2i.in2p3.fr)

**Address:** IP2I Lyon – Bureau 337

Domaine Scientifique de la Doua – Bât. Paul Dirac

4 rue Enrico Fermi – 69622 Villeurbanne Cedex - France

**Mentoring team:** L. Darmé, A.Deandrea

**Research field:** Theoretical physics and Cosmology

**Internship title:** Gravitational waves signatures of first order phase transitions in flavour gauge models

**Work description:**

Mounting evidence suggests that planned and present gravitational-wave detectors may be sensitive to signatures from first-order phase transitions in the early universe. These events, potentially present in the primordial universe, create a broad spectrum of GWs, the stochastic remnants of which could then be observed in the various next-generation experiments [1]. In particular, the European Space Agency's Laser Interferometer Space Antenna (LISA) mission is perfectly suited to detecting a phase transition occurring at an energy close to the electroweak scale [2].

The aim of this internship is to explore the presence, strength, and finally possible GW signatures of first order transitions in new physics models with supplementary gauge groups motivated by the Standard Model flavour problems – so-called horizontal gauge groups [3]. The calculation of the finite temperature effective potential of the flavour model will be performed using the effective Lagrangian reduction method implemented in the code DRalgo [4] and further used to study and model the phase transition as well as modelling GW behaviour in the wake of a first-order phase transition. For interested candidates with experience in coding, programming-intensive directions could also include further developing a relativistic hydrodynamics of the dynamics of a phase transition and the Bayesian analysis of subsequent emission of GWs.

Interactions with the experimental GWs group at IP2I is expected. This internship may be continued by a PhD project pending to obtaining a PhD funding from the Doctoral School.

## REFERENCES

- [1] **Gravitational waves from a first order electroweak phase transition: a brief review**  
D. J. Weir, *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond. A* 376, 20170126 (2018),  
e-Print: 1705.01783 [hep-ph].
- [2] **Detecting gravitational waves from cosmological phase transitions with LISA: an update**  
C. Caprini *et al.*, *JCAP* 03, 024 (2020),  
e-Print: 1910.13125 [astro-ph.CO].
- [3] **Gauge SU(2)<sub>f</sub> flavour transfers,**  
Luc Darmé, Aldo Deandrea, Farvah, *JHEP* 05 (2024) 313, e-Print: 2307.09595 [hep-ph]
- [4] **DRalgo: A package for effective field theory approach for thermal phase transitions**  
Andreas Ekstedt, Philipp Schicho, Tuomas V.I. Tenkanen, *Comput.Phys.Commun.* 288 (2023),  
108725, e-Print: 2205.08815 [hep-ph]

## Proposition de stage/thèse – Année 2023-2024

**Niveau du stage** : M2

**Durée du stage** : 4 mois

**Ouverture éventuelle vers un sujet de thèse** : Oui

**Type de financement envisagé** : bourse École Doctorale

**Responsable du stage** : Luc Darne et Aldo Deandrea

**Téléphone** : 0472448233

**Email** : [l.darne@ip2i.in2p3.fr](mailto:l.darne@ip2i.in2p3.fr)

**Adresse** : IP2i Lyon – Bureau 337

Domaine Scientifique de la Doua – Bât. Paul Dirac

4 rue Enrico Fermi – 69622 Villeurbanne Cedex - France

**Équipe d'encadrement** : Pôle Théorie : L.Darmé, A.Deandrea, A. Chrysostomou

**Domaine de recherche** : Physique théorique et cosmologie

**Titre du stage** : Signatures des ondes gravitationnelles des transitions de phase du premier ordre

**Description du travail** :

La détection le 14 septembre 2015 du premier événement d'ondes gravitationnelles (GW150914) par les observatoires LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) [1] a ouvert un nouveau front expérimental en astrophysique et dans la physique fondamentale. Les ondes gravitationnelles pourraient également provenir de phénomènes physiques de haute énergie tels que les transitions de phase. Ces événements, potentiellement présents dans l'univers primordial, créent un large spectre d'ondes, dont les résidus stochastiques pourraient ensuite être observés dans les diverses expériences de la prochaine génération [2]. En particulier, la mission LISA (Laser Interferometer Space Antenna) de l'Agence spatiale européenne est parfaitement adaptée à la détection d'une transition de phase se produisant à une énergie proche de l'échelle électrofaible [3].

Le but de ce stage est d'explorer la présence, la force et enfin les signatures dans les ondes gravitationnelles (OG) des transitions du premier ordre dans les modèles de nouvelle physique avec des groupes de jauge supplémentaires motivés par les problèmes de saveur du modèle standard - appelés groupes de jauge horizontaux [4]. Les orientations possibles comprennent (sans s'y limiter) le calcul des corrections d'ordre supérieur (dues par exemple aux contributions fermioniques) au potentiel effectif à température finie du modèle de saveur [5,6], la construction et la mise en œuvre de nouveaux fichiers modèles pour des simulations entièrement parallélisées de l'évolution en temps réel des théories de jauge [7] dans un univers en expansion ainsi que la modélisation du comportement des

OG dans le sillage d'une transition de phase du premier ordre. Pour les candidats intéressés ayant de l'expérience en C++, il sera possible également d'inclure le développement d'un générateur Monte-Carlo pour les configurations thermiques ou un modèle numérique générique pour la dynamique d'une transition de phase et l'émission subséquente d'ondes gravitationnelles.

Des interactions avec le groupe expérimental OGs de l'IP2I sont attendues. Ce stage pourra se poursuivre avec une thèse de doctorat sous réserve de l'obtention d'un financement de l'école doctorale.

## REFERENCES

- [1] **Observation of gravitational waves from a binary black hole merger**  
B. P. Abbott *et al.* (LIGO Scientific, Virgo), Phys. Rev. Lett. 116, 061102 (2016),  
e-Print:1602.03837 [gr-qc].
- [2] **Gravitational waves from a first order electroweak phase transition: a brief review**  
D. J. Weir, Phil. Trans. Roy. Soc. Lond. A 376, 20170126 (2018),  
e-Print:1705.01783 [hep-ph].
- [3] **Detecting gravitational waves from cosmological phase transitions with LISA: an update**  
C. Caprini *et al.*, JCAP 03, 024 (2020),  
e-Print:1910.13125 [astro-ph.CO].
- [4] **Gauge SU(2)<sub>f</sub> flavour transfers,**  
Luc Darmé, Aldo Deandrea, Farvah Mahmoudi  
e-Print: 2307.09595 [hep-ph]
- [5] **Thermal Resummation and Phase Transitions**  
D. Curtin, P. Meade, and H. Ramani, Eur. Phys. J. C 78, 787 (2018),  
e-Print:1612.00466 [hep-ph]
- [6] **Theoretical uncertainties for cosmological first-order phase transitions**  
D. Croon, O. Gould, P. Schicho, T. V. I. Tenkanen, and G. White, JHEP 04, 055 (2021), e-  
Print:2009.10080 [hep-ph].
- [7] **The art of simulating the early Universe — Part I**  
D. G. Figueroa, A. Florio, F. Torrenti, and W. Valkenburg, JCAP 04, 035,  
ePrint:2006.15122 [astro-ph.CO].