

Internship offer – Year 2023-2024

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

Address: IP2I Lyon – Bureau 337

Domaine Scientifique de la Doua – Bât. Paul Dirac

4 rue Enrico Fermi – 69622 Villeurbanne Cedex - France

Mentoring team: Groupe Théorie in particular L. Darmé, A.Deandrea and A. Chrysostomou

Research field: Theoretical physics and Cosmology

Internship title: Gravitational waves signatures of first order phase transitions

Work description:

The detection on 14 September 2015 of the first GW150914 gravitational wave (GW) event by the Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory (LIGO) observatories [1] opened up a new experimental front in the astrophysical frontier of fundamental physics. GWs could also come from high-energy physics phenomena such as phase transitions. 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 [2]. 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 [3].

The aim of this internship is to explore the presence, strength, and 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 [4]. Possible directions include (but are not limited to) computing higher-order corrections (e.g. due to fermionic contributions) to the finite temperature effective potential of the flavour model [5,6], building and implementing new model files for fully parallelized simulations of the real-time evolution of scale-gauge theories in an expanding universe [7], as well as modelling GW behaviour in the wake of a first-order phase transition. For interested candidates with experience in C++, programming-intensive directions could also include developing a Monte-Carlo generator for thermal configurations or a generic numerical model for the dynamics of a phase transition and 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] **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)_f 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].

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

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, l'amplitude et enfin les signatures d'ondes gravitationnelles (OG) des transitions de phase du premier ordre. Le sujet d'étude sera les modèles de nouvelle physique avec des groupes de jauge supplémentaires motivés par le problème de la saveur du modèle standard [4]. Les orientations possibles comprennent (sans s'y limiter) le calcul des corrections thermiques (dues par exemple aux contributions fermioniques) dans le potentiel effectif à température finie [5,6], la construction et la mise en œuvre de simulations de l'évolution en temps réel des théories de jauge [7] dans un univers en expansion ainsi que la modélisation du comportement des OG à la suite 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 d'un modèle numérique 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)_f 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].