

Proposition de stage – Année 2022-2023

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 Darmé et Giacomo Cacciapaglia

Téléphone : 0472448233

Email : l.darme@ip2i.in2p3.fr

Adresse : IP2I Lyon – Bureau 337

Domaine Scientifique de la Doua – Bât. Paul Dirac

4 rue Enrico Fermi – 69622 Villeurbanne Cedex - France

Equipe d'encadrement : Groupe Théorie en particulier L. Darmé, G.Cacciapaglia, A.Deandrea

Thématique : Physique Théorique

Intitulé du stage : Quark top et nouvelle physique sous l'échelle électrofaible au LHC

Description du travail demandé :

Le quark top est la particule la plus lourde jamais observée dans une expérience de physique des particules. L'origine de sa masse, et en particulier les raisons pour lesquelles elle domine que les autres quarks et leptons du modèle standard, reste l'un des plus grands mystères de la physique des particules. En conséquence, d'intenses efforts expérimentaux sont déployés au LHC pour explorer la physique du quark top à la recherche de phénomènes inattendus (appelés "nouvelle physique" de façon générique) qui pourraient contribuer résoudre ce problème.

Alors qu'une grande partie de l'effort théorique et expérimental s'est jusqu'à présent concentré au LHC sur la recherche de nouvelle physique autour du TeV, les développements expérimentaux récents ont commencé à fournir une multitude de nouvelles mesures dans la masse [10-100] GeV. Des avancées théoriques récentes indiquent également qu'un large éventail de modèles pourraient impliquer la présence de nouvelles particules en dessous de l'échelle électrofaible, comme par exemple de nouvelles particules pseudoscalaires, ou ALP (basé en particulier à partir de modèles composites ou de nouvelles structures de saveur).

L'objectif de ce stage est d'explorer la phénoménologie d'une nouvelle particule légère avec une masse inférieure à l'échelle électrofaible qui interagit principalement avec le quark top, puis d'établir quels canaux de production et quels états finaux offrent le meilleur potentiel expérimental au LHC et HL-LHC. Le candidat devra se familiariser à la fois avec les fondements théoriques de ce processus (couplages induits par les boucles, origine ultraviolette de telles particules, etc...) et avec les défis de l'observation de leur signature dans l'environnement du LHC (traitement du bruit de fond, influence de la topologie de l'état final, etc...). Une partie du travail sera consacrée à l'écriture et à l'implémentation des modèles de nouvelles physiques les plus intéressants

dans les outils logiciels standard utilisés pour extraire les résultats numériques pour le LHC, tels que FeynRules (Mathematica) et Madgraph, puis à l'analyse des résultats pour en déduire la sensibilité expérimentale.

Une collaboration avec le groupe CMS de l'IP2I, et en particulier avec Nicolas Chanon sera possible, tant en ce qui concerne les états finaux di-photons que la production « associée » de quark top. Ce stage pourra être poursuivi par un projet de doctorat.

Internship offer – Year 2022-2023

Internship level: M2

Duration: 4 months

Possible PhD follow up: Yes

Proposed PhD funding type: Fellowship of École Doctorale

Supervisor: Luc Darmé and Giacomo Cacciapaglia

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, G.Cacciapaglia, A.Deandrea and A. Chanon

Research field: Theoretical physics

Internship title: Top-philic new particles below the electroweak scale at the LHC

Work description:

The top quark is the heaviest particle ever observed in particle physics experiment. The origin of its mass, and in particular the reasons why it is so much heavier than the other Standard Model quarks and leptons remains one of the biggest mysteries in particle physics. Correspondingly there is an intense experimental effort at the LHC to explore the physics of the top quark for unexpected phenomena (generically referred to as new physics) which may help lifting the veil on this question.

While much of the theoretical and experimental effort so far focused on probing for new physics in the heavy mass range (typically around the TeV), recent experimental developments have started to provide a host of new measurements in the [10-100] GeV mass. Indeed, theoretical insights indicate that a broad range of models could lead to the presence of new, SM-neutral, resonances below the EW scale and in particular so-called axion-like particle ALP (e.g., from composite constructions or new flavour structures).

The aim of this internship is to explore the phenomenology of a light top-philic new particle with mass below the electroweak scale, and establish the which production channels and final states provides the best potential for a new physics search in LHC and HL-LHC experiments. The comparison between associated final states ($t\bar{t}$ +something) or purely loop-induced process (similar to the SM Higgs di-photon discovery channel) will be one of the first objective. The candidate will have to familiarise himself with both the theoretical foundations of this process (loop-induced couplings, ultraviolet origin of top-philic particles, etc...) and the challenges of observing signals in the LHC environment (treatment of background, influence of the final state topology, etc...). Part of the work will be devoted to writing and implementing the relevant top-philic models in standard software tools used to extract the

numerical results for LHC, such as FeynRules (Mathematica) and Madgraph, then analysing the output to deduce projected experimental reach.

Collaboration with the CMS group will be possible, both in what regards di-photon final states and associated top production. This internship may be continued by a PhD project.

REFERENCES

- [1] LHCb Collaboration, R. Aaij et al., “Searches for low-mass dimuon resonances,” JHEP 10 (2020) 156, arXiv:2007.03923 [hep-ex].
- [2] CMS Collaboration, A. M. Sirunyan et al., “Search for a low-mass $\tau + \tau -$ resonance in association with a bottom quark in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV,” JHEP 05 (2019) 210, arXiv:1903.10228 [hep-ex].
- [3] CMS Collaboration, A. M. Sirunyan et al., “Search for a Narrow Resonance Lighter than 200 GeV Decaying to a Pair of Muons in Proton-Proton Collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV,” Phys. Rev. Lett. 124 no. 13, (2020) 131802, arXiv:1912.04776 [hep-ex].
- [4] L. Darmé, B. Fuks, and F. Maltoni, “Top-philic heavy resonances in four-top final states and their EFT interpretation,” JHEP 09 (2021) 143, arXiv:2104.09512 [hep-ph].
- [5] G. Cacciapaglia, A. Deandrea, A. M. Iyer, and K. Sridhar, “Tera-Z stage at future colliders and light composite axionlike particles,” Phys. Rev. D 105 no. 1, (2022) 015020, arXiv:2104.11064 [hep-ph].
- [6] D. Buarque Franzosi, G. Cacciapaglia, X. Cid Vidal, G. Ferretti, T. Flacke, and C. Vázquez Sierra, “Exploring new possibilities to discover a light pseudo-scalar at LHCb,” Eur. Phys. J. C 82 no. 1, (2022) 3, arXiv:2106.12615 [hep-ph].