

Timothée Pascal - PhD defence

Title: Beyond the Standard Model at the Large Hadron Collider: from Simplified Models Constraints to Artificial Proto-Modelling for Dispersed Signals

Abstract: The Standard Model (SM) of particle physics is undoubtedly one of the most successful models of modern physics. Nevertheless, many experimental and theoretical questions remain open and hint at the existence of beyond the Standard Model (BSM) physics. These questions include, for instance, the nature of dark matter and the hierarchy problem. Several experiments of various scales are currently searching for a manifestation of new physics. The ones carried out at the Large Hadron Collider (LHC) benefit from today's highest energy delivered by a particle accelerator. However, despite the intensive search program carried out by the LHC experiments, no compelling signal for new physics has been found.

In the absence of any discovery, the obtained results are used to set constraints on a wide variety of BSM theories. One of these theories, studied in this thesis, is the minimal supersymmetric extension of the SM (MSSM), where each SM field has a supersymmetric (SUSY) counterpart differing by half a spin unit. The constraints set by the LHC experiments on the masses of SUSY particles are quite stringent. However, these limits are derived through a channel-by-channel approach and most of the time hold only in the context of simplified models, where only a handful of SUSY particles, with trivial mixings and decay branching ratios, are assumed to be kinematically accessible. Therefore, it is necessary to globally reinterpret these results to correctly estimate how they constrain realistic BSM scenarios.

The approach adopted in this thesis is based on the reinterpretation tool `Reco`, which uses simplified model results to constrain more realistic models. The work of this thesis led to the extension of the framework in several ways, on both the code and the database side. The most notable new feature is the combination of approximately uncorrelated analyses, enabling the confrontation of models against different experimental results in a consistent way through global likelihoods.

In an exemplary phenomenological application, this is used to set global LHC constraints on the electroweak-ino sector of the MSSM through the dynamical combination of 16 LHC searches for which efficiency and acceptance maps are available in the database. Particular attention is given to characterising which combinations maximise the sensitivity in different regions of the parameter space, how fluctuations in the data in individual analyses influence the global likelihood, and what is the resulting exclusion power of the combination compared to the analysis-by-analysis approach.

Another objective of this thesis is to go beyond the top-bottom approach usually adopted in BSM searches. Instead of testing each theory against the data, the data is used to guide the search for BSM physics. Signs of new physics are here searched for by constructing so-called proto-models, a collection of simplified models not bounded by any higher-level theoretical assumptions, and by confronting them against the results in the database. This relies on the dynamical combination of LHC searches to find mutually consistent excesses from dispersed signals while being consistent with their current limits. This thesis presents an improved version of this method, with a more furnished database, a refined statistical treatment, and the possibility to probe off-shell regions of the parameter space. A first application to the LHC searches for SUSY signatures from the production of electroweak-inos with compressed mass spectra is also discussed.

Timothée Pascal - Soutenance de thèse

Titre: Au-delà du Modèle Standard au Grand Collisionneur de Hadrons : des contraintes sur les modèles simplifiés à la proto-modélisation artificielle des signaux dispersés

Résumé: Le Modèle Standard (MS) de la physique des particules est indubitablement l'une des théories les plus abouties de la physique moderne. Néanmoins, de multiples questions expérimentales et théoriques restent ouvertes et suggèrent l'existence d'une physique au-delà du Modèle Standard (AMS). Ces questions incluent la nature de la matière noire ainsi que le problème de hiérarchie. Plusieurs expériences recherchent activement une manifestation de cette nouvelle physique. Celles menées au Grand Collisionneur de Hadrons (LHC) bénéficient de la plus haute énergie actuellement délivrable par un accélérateur de particules. Cependant, malgré le programme de recherche intensif mené par les expériences du LHC, aucun signal convaincant de nouvelle physique n'a été enregistré.

Les résultats obtenus sont alors utilisés pour contraindre différentes théories AMS. L'une d'elles, étudiée dans cette thèse, est l'extension supersymétrique minimale du MS (MSSM), où chaque champ du MS a un partenaire supersymétrique (SUSY) différant d'une demie-unité de spin. Les contraintes des expériences du LHC sur les masses des particules SUSY sont particulièrement strictes. Toutefois, ces limites sont obtenues en sondant chaque canal de désintégration individuellement et ne sont, la plupart du temps, valables que dans le cadre des modèles simplifiés, ne considérant que certaines particules SUSY, avec des mélanges et des branchements de désintégrations triviaux. Il est donc nécessaire de réinterpréter globalement ces résultats afin d'avoir une estimation réaliste des contraintes imposées sur les scénarios AMS.

L'approche adoptée dans cette thèse est basée sur l'outil `pySUSY`, qui utilise les modèles simplifiés pour contraindre des modèles plus réalistes. Les travaux de cette thèse contribuent au développement de `pySUSY`, tant au niveau du code que de la base de données. La nouveauté majeure est la combinaison d'analyses approximativement non corrélées, permettant de confronter des modèles aux résultats de plusieurs analyses expérimentales de manière cohérente grâce à une fonction de vraisemblance globale.

Ces nouveaux développements sont utilisés pour obtenir des contraintes globales du LHC sur le secteur électrofaible-ino du MSSM grâce à la combinaison dynamique de 16 analyses du LHC pour lesquelles la base de données de `pySUSY` a des cartes d'efficacité et d'acceptance. L'attention est portée sur la caractérisation des combinaisons qui maximisent la sensibilité dans différentes régions de l'espace des paramètres, la manière dont les fluctuations des données dans les analyses individuelles influencent la fonction de vraisemblance globale, ainsi que le pouvoir d'exclusion résultant de la combinaison comparé à une approche analyse-par-analyse.

Un autre objectif de cette thèse est d'aller au-delà de l'approche habituelle de recherche de physique AMS. Au lieu de tester chaque théorie par rapport aux données, celles-ci sont utilisées pour guider la recherche de physique AMS. Les signes d'une nouvelle physique sont ici cherchés en construisant ce que l'on appelle des proto-modèles, qui sont des collections de modèles simplifiés non contraints par des hypothèses théoriques, et en les confrontant aux résultats de la base de données de `pySUSY`. Cette procédure repose sur la combinaison dynamique des recherches du LHC pour trouver des excès mutuellement compatibles provenant de signaux dispersés, tout en respectant les limites actuelles. Cette thèse présente une version améliorée de cette méthode, avec une base de données plus fournie, un traitement statistique affiné et la possibilité de sonder les régions de l'espace des paramètres hors de la couche de masse. Une première application aux recherches de signatures issues de la production d'électrofaible-inos avec des spectres de masse compressés au LHC est aussi discutée.