

University of Bucharest

Habilitation thesis

**From Detector Performance to New Physics Searches:
Contributions to the ATLAS Experiment**

prepared by

Otilia DUCU

Summary

English version

This habilitation thesis consists of three main sections, divided into six chapters, and presents my most notable results obtained as a member of the ATLAS collaboration after the completion of my PhD, while also outlining my future plans. The results obtained and published outside of ATLAS are also discussed.

First section presents a succinct introduction to my research activity and constitutes Chapter 1.

Second section, the main part of the thesis, begins with Chapter 2, which discusses my work in the *ATLAS Tracking* Combined Performance (CP) group. After a brief introduction to the ATLAS inner detector and charged particle track reconstruction, the chapter presents my main project within this CP group: modeling of falsely reconstructed (fake) tracks in dense environments. First, the origin of fake tracks, as studied with MC simulations, is examined. The chapter then details the study conducted on data to measure the rate of fake tracks. This measurement is performed through a fit in a di-jet control region defined in data and enriched in fake tracks, using the shapes of the real and fake track distributions from MC simulations. The difference between the rates measured in ATLAS data and in MC simulations illustrates how well these fake tracks are modeled in MC. The results are obtained using $\sqrt{s} = 13$ TeV LHC Run-2 data reprocessed with the software intended for use in Run-3. The chapter closes with a short discussion, briefly presenting my work as convener of the *Clustering and Tracking in Dense Environments* sub-group.

Chapter 3 presents the electron and photon performance studies obtained in the *ATLAS E/gamma* CP group. It covers in more detail the electron reconstruction, identification, and isolation efficiency measurements, various photon isolation efficiency measurements, as well as the ATLAS Presampler energy calibration – topics to which I have contributed over the years. The first section lists my main publications and conference contributions, the results of which are succinctly discussed later in this chapter. Thus, after an introduction to the ATLAS calorimeter system, the results obtained over the years with partial 8 TeV Run-1 data and 13 TeV Run-2 data are presented. The chapter concludes with a discussion session, where part of the activity I led as the *ATLAS Isolation and Fake Forum* convener is also presented.

In Chapter 4, the results obtained in the *ATLAS Supersymmetry (SUSY)* Physics Analysis (PA) group are detailed. The first section lists my main publications and conference contributions, the results of which are discussed later in this chapter. The second section is dedicated to an introduction to Supersymmetry and a discussion of the various experimental final states used to search for Supersymmetry in ATLAS, with a focus on the searches involving two leptons of the same electric charge or three leptons – signatures predominantly used in a significant fraction of the analyses I performed. A presentation of the strategy employed to search for new physics, particularly Supersymmetry, is also included. The chapter continues with an outline of my main results published using partial and full 13 TeV Run-2 data. Some projections for LHC Run-3 and HL-LHC are also presented. The chapter closes with a short discussion, briefly presenting my work as convener of the *SUSY Strong Production* sub-group.

Chapter 5 is dedicated to searches for BSM Higgs bosons. Since the discovery of the Higgs boson at the LHC in 2012, such searches have intensified at both the ATLAS and CMS experiments, and they have certainly captured my interest. Among all the available BSM models that predict extra Higgs bosons, the Type-II Seesaw model is appealing because of its solution to the origin of SM neutrino masses. The studies and results obtained in the context of this model are discussed in this chapter. After presenting my main publications and conference contributions, some theoretical insights and the LHC phenomenology of the Type-II Seesaw model are discussed. This section covers the Higgs production and decay modes, possible experimental signatures, and concludes with its search potential at the LHC and HL-LHC. The last section of this chapter is dedicated to the ATLAS full Run-2 search for the pair production of doubly-charged Higgs bosons and the associated production of doubly- and singly-charged Higgs bosons predicted by the Type-II Seesaw model. This analysis was conducted in the *Higgs and Diboson Searches* PA group.

Third section outlines future plans for my research and teaching activities and is presented in Chapter 6.

Romanian version

Teza de abilitare este alcătuită din trei secțiuni principale, împărțite în șase capitole, și prezintă cele mai importante rezultate obținute de mine ca membru al colaborării ATLAS, după finalizarea studiilor doctorale. De asemenea, sunt discutate și rezultatele și studiile realizate în afara colaborării ATLAS, și planurile de evoluție profesională și dezvoltare a carierei.

Prima secțiune oferă o introducere succintă în activitatea mea de cercetare și corespunde Capitolului 1.

Secțiunea a doua contituie partea principală a tezei. Capitolul 2 prezintă activitatea mea în cadrul grupului *ATLAS Tracking*. După o scurtă introducere a detectorul ATLAS și în reconstrucția traselor particulelor încărcate electric, capitolul detaliază proiectul meu principal în cadrul acestui grup: modelarea traselor reconstruite incorect (false) în medii dense (*jet core*). Mai întâi, se analizează originea acestor trase false folosind simulări Monte Carlo. Ulterior, capitolul detaliază studiul realizat pe datele ATLAS pentru a măsura cât este contribuția acestor trase false, după o anumită selecție. Această măsurătoare este efectuată într-o regiune de control dominată de procese de tip di-jet, îmbogățită în trase false, și folosind formele distribuțiilor traselor reale și false provenite din simulările Monte Carlo. Diferența dintre rezultatele obținute cu datele ATLAS și cu simulările Monte Carlo arată cât de bună este modelarea acestor trase false. Rezultatele sunt obținute utilizând datele LHC Run-2 ($\sqrt{s} = 13$ TeV), ce au fost reprocesate cu software-ul destinat utilizării în Run-3. Capitolul se încheie cu o scurtă discuție ce prezintă pe scurt activitatea mea în calitate de coordonator al subgrupului *Clustering and Tracking in Dense Environments*.

Capitolul 3 prezintă studiile de performanță ale electronilor și fotonilor realizate în cadrul grupului *ATLAS E/gamma*. Acest capitol detaliază în mod specific măsurători de eficiență a algoritmilor de reconstrucție, identificare și izolare a electronilor, diverse măsurători ale eficienței de izolare a fotonilor, precum și calibrarea energiei Presampler-ului – subiecte la care am contribuit de-a lungul anilor. Prima secțiune enumeră principalele mele publicații și contribuții la conferințe, rezultate ce sunt discutate succint mai târziu în acest capitol. Astfel, după o introducere a sistemului calorimetric din ATLAS, sunt prezentate rezultatele obținute de-a lungul anilor cu datele colectate de experimentul ATLAS la 8 TeV Run-1, și la 13 TeV Run-2. Capitolul se încheie cu o secțiune de note, în cadrul căreia este prezentată și o parte din activitatea pe care am avut-o în calitate de coordonator al grupului *ATLAS Isolation and Fake Forum*.

În Capitolul 4, sunt detaliate rezultatele obținute în cadrul grupului *ATLAS Supersymmetry (SUSY)*. Prima secțiune listează principalele mele publicații și contribuții la conferințe, rezultate ce sunt discutate ulterior în acest capitol. A doua secțiune este dedicată unei introduceri în Supersimetrie și unei discuții despre diferitele semnături experimentale utilizate pentru a căuta manifestari ale toeriei Supersimetriei în ATLAS, cu un accent special pe studiile care implică stări finale ce au doi leptoni cu aceeași sarcină electrică sau trei leptoni – semnături experimentale folosite predominant într-un număr semnificativ de analize pe care le-am realizat. Este inclusă și o prezentare a strategiei folosite pentru a căuta fenomene fizice noi, în special supersimetrice. Capitolul continuă cu o prezentare a principalelor mele rezultate publicate, obținute utilizând date colectate de ATLAS la 13 TeV. Sunt prezentate și câteva predicții pentru LHC Run-3 și HL-LHC. Capitolul se încheie cu o scurtă discuție, în care este prezentată activitatea mea în calitate de coordonator al subgrupului *SUSY Strong Production*.

Capitolul 5 este dedicat studiilor bozonilor Higgs preziși de modele BSM (*Beyond the Standard Model*). De la descoperirea bozonului Higgs la LHC în 2012, astfel de studii s-au intensificat în cadrul experimentelor ATLAS și CMS, și au captat cu siguranță interesul meu. Dintre toate modelele BSM disponibile care prezic existența unor bozoni Higgs suplimentari, modelul Seesaw de tip II este atractiv datorită soluției pe care o oferă pentru originea maselor neutrinilor din Modelul Standard. Studiile și rezultatele obținute în contextul acestui model sunt discutate în acest capitol. După prezentarea principalelor mele publicații și contribuții la conferințe, sunt discutate câteva aspecte teoretice și fenomenologia LHC a modelului Seesaw de tip II. Această secțiune acoperă modurile de producție și de dezintegrare ale bozonilor Higgs, semnăturile experimentale posibile și se încheie estimarea potențialului de căutare a acestor particule la LHC și HL-LHC. Ultima secțiune a capitolului este dedicată analizei ATLAS construită pe baza unor studii similare. Această analiză a fost realizată în grupul *ATLAS Higgs and Diboson Searches*.

A treia secțiune conturează planurile viitoare pentru activitățile mele de cercetare și predare, și este prezentată în Capitolul 6.