

Introducción y antecedentes

La física de partículas en colisionadores hadrónicos es uno de los pilares, y una de las principales prioridades, dentro del campo de investigación de física de partículas. Así, resulta de gran importancia la participación de los grupos de investigación del Instituto de Física de Cantabria (IFCA) en grandes laboratorios de partículas como el Centro Europeo para la Física de Partículas (CERN) en Suiza. La finalidad principal de este proyecto de tesis doctoral es la participación en la explotación científica de los datos producidos por el colisionador LHC (Large Hadron Collider).

El proyecto incluye dos aspectos fundamentales de la física en colisionadores hadrónicos: La reconstrucción e identificación de los productos de las colisiones, como los leptones o los quarks b ; y el análisis de física utilizando datos con uno o dos leptones en el estado final. El experimento CMS (Compact Muon Solenoid) es uno de los cuatro grandes detectores de partículas que forman parte del colisionador LHC en el CERN.

La colaboración CMS, de la que forma parte el grupo de investigación del IFCA está compuesta por más de 202 universidades o institutos de investigación de unos 47 países [1]. Desde el año 2007, en el que CMS comenzó a tomar datos detectando muones cósmicos, el grupo ha participado activamente en diferentes análisis, entre ellos la medida de la sección eficaz de producción de dos quarks top, cuando cada quark top se desintegra en un quark b y un bosón W , bosón que a su vez se desintegra en un leptón y un neutrino.

Con el descubrimiento del bosón de Higgs en 2012, que permite entender el mecanismo por el que las partículas fundamentales adquieren masa y cerrar el modelo estándar (ME) todavía quedan muchas preguntas abiertas y por ello hay que seguir buscando teorías que expliquen estas cuestiones sin resolver. Una de las preguntas más importantes tanto en el campo de partículas como en los de astrofísica y cosmología, es entender qué es la materia oscura y caracterizarla. Por ello y con la base que el grupo tiene en los análisis del LHC, en este trabajo proponemos la búsqueda de candidatos a materia oscura producidos con quarks top [2]. El grupo del IFCA, no solo tiene experiencia en este tipo de búsquedas, sino también con búsquedas complementarias cuando la materia oscura se produce junto con un bosón de Higgs desintegrándose en dos bosones W [3].

Los principales fondos físicos que contaminan esta búsqueda son la producción de dos quarks top (tt), la producción de dos quarks top y un bosón W ó Z (ttW , ttZ), la producción de di-bosones WW ó WZ , y la producción de un bosón Z (Drell-Yan ó Z +jets), así como sucesos seleccionados debido a una impureza inherente en la identificación de leptones. En el IFCA hemos realizado estudios y medidas en todos ellos, a energías crecientes de centro de masas de 7, 8 y 13 TeV. A la complejidad de la gran variedad de procesos físicos que contaminan la búsqueda de materia oscura, se añaden dos retos causados por el acelerador LHC y el detector CMS. El primero es el pile-up o colisiones simultáneas; debido a la elevada luminosidad instantánea alcanzada en el LHC, a la vez que ocurre la colisión principal, concretamente la que dispara el trigger del detector, ocurren simultáneamente decenas de colisiones, del orden de 30-50 en promedio durante el Run3 de toma de datos. Estas colisiones simultáneas dificultan enormemente la identificación de leptones, jets y otros objetos de la colisión principal, pues a mayor multiplicidad de colisiones más difícil es decidir a cuál pertenecen los diferentes objetos reconstruidos. El segundo reto es la resolución propia del detector CMS, que implica una labor compleja para caracterizar con precisión la energía perdida de los sucesos. La energía perdida es una cantidad fundamental para descubrir materia oscura; cuanto mayor sea la precisión de su medida más potente será la separación entre sucesos con y sin materia oscura.

La preparación para el LHC de alta luminosidad (HL-LHC) es un objetivo fundamental para el futuro del IFCA, el análisis propuesto, al presentar dos quarks b , cuya identificación depende de la precisa reconstrucción de las trazas desplazadas, debido a la alta vida media de los hadrones B ,

será una excelente referencia para estudiar las capacidades del HL-LHC, con un entorno de pile-up muy elevado que dificultará la identificación de los b-jets. El grupo del IFCA, en el marco del proyecto PID2020-113705RB-C31, ha estado y seguirá involucrado en dos detectores claves para la actualización de CMS para el HL-LHC relacionados con el b-tagging: el detector interno de trazas, donde ha completado la investigación y desarrollo de sensores 3D resistentes a la radiación y que será la tecnología escogida para la mejora del detector, y el nuevo detector de tiempo de vuelo (MTD), donde ya ha probado con haces de partículas la versión completamente desarrollada de los sensores LGAD y su electrónica. En ambos casos, cientos de módulos de sensores serán ensamblados por personal del IFCA en nuestras instalaciones. Asimismo, el grupo tiene una gran experiencia en desarrollo de algoritmos de identificación de b-jets y la medida de su eficiencia en colisiones reales [4], aspectos que deberán ser adaptados y refinados de cara al nuevo periodo.

Plan de formación y difusión

La realización de la tesis doctoral se llevará a cabo dentro del programa de Doctorado en Ciencia y Tecnología de la Universidad de Cantabria (UC). El objetivo de este programa es ofrecer a los estudiantes las herramientas y conocimientos para poder emprender y completar un proyecto de investigación original e innovador y un desarrollo profesional personalizado.

Como parte del experimento CMS se tendrá acceso a todos los datos adquiridos por CMS desde el IFCA, que es un Tier-3 de la estructura de computación de CMS. Además, se fomentará la presentación de los resultados de investigación en conferencias nacionales e internacionales para presentar tanto sus resultados como los de sus compañeras y compañeros de la colaboración CMS, así como la asistencia a escuelas o talleres, e.g., el Taller de Altas Energías (TAE) que se celebra anualmente en España. También se espera que la estudiante haga estancias en el CERN, tanto para reuniones de trabajo, como para la presentación de sus resultados, la realización de tareas de servicio importantes para el experimento CMS y que requieren estar presencialmente en el experimento, además de ser obligatorias para todos los miembros de CMS, así como la firma de artículos científicos publicados por la Colaboración CMS.

Los resultados esperados son muy importantes para la comunidad científica internacional; así, se espera que los resultados del análisis se publiquen en la medida de lo posible en diferentes revistas científicas prestigiosas, como Physical Review Letters, o Journal in High Energy Physics. De todas maneras, el resultado del análisis será publicado de manera interna en CMS (Analysis Notes), y de manera pública (Physics Analysis Summary) después de un largo periodo de evaluación interna, supervisada por diferentes miembros de CMS y externos al análisis en sí mismo

Referencias

[1] <http://cms.web.cern.ch/content/cms-collaboration>

[2] D. Abercrombie et al., Dark matter benchmark models for early LHC Run II searches: Report of the ATLAS/CMS Dark Matter Forum. arXiv:1507.00966

[3] CMS Collaboration. Search for dark matter particles in $W+W^-$ events with transverse momentum imbalance in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV, JHEP 03 (2024) 134. arXiv: 2310.12229

[4] CMS Collaboration. Identification of heavy-flavour jets with the CMS detector in pp collisions at 13 TeV. JINST 13 (2018) P05011. arXiv:1712.07158