

Estudio de eventos de fondo en colisiones Protón-Protón con estados finales $\gamma \cancel{E}_T$, en la búsqueda de materia oscura.

Felipe de Jesús Martínez Tapia, María Isabel Pedraza Morales ¹



¹ Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

felipe.martinez_tapia@outlook.com, mpedraza@fcfm.buap.mx

Resumen

En este trabajo se emplea el modelo de materia oscura simplificado presentado por Olivier Mattelaer en [1] en la búsqueda de alguna señal en estados finales $\gamma \cancel{E}_T$, que pueden ser producidos en colisiones protón-protón. Además, se presentan las variables dinámicas de los diferentes eventos de fondo haciendo uso del programa MadGraph5 aMC@NLO para la simulación de estos, al igual que la señal de materia oscura. Finalmente, se comparan los eventos de los procesos simulados de fondo con los de materia oscura, para poder identificar los cortes de las variables dinámicas que maximizan la razón en la señal, de aquellos que son de eventos de fondo, siendo comparados estos datos con los resultados obtenidos por la colaboración CMS del LHC [2].

Introducción

Al hablar de la búsqueda de materia oscura a través de colisionadores, se considera al Dark Matter Benchmark Models for Early LHC Run-2 Searches: Report of the ATLAS/CMS Dark Matter Forum [3]. Aquí se plantea el modelo de materia simplificado en la búsqueda de DM, al estipular que la partícula de materia oscura sea Dirac-Fermion WIMP (χ)

Siguiendo este modelo, estas WIMPs interactuarían con los quarks por medio de una partícula mediadora que hace su intercambio en el canal S, a altas energías en colisiones protón-protón donde se produciría un par de $\chi \bar{\chi}$.

En este modelo de materia oscura simplificado se hacen 2 categorías para la partícula mediadora con características que favorecen a cada una:

- Vector y Axial Vector (Spin 1) : La universalidad del acoplamiento g_q para el caso de que la partícula mediadora sea Vector o Axial Vector, permite que haya una violación mínima de sabor (MFV), evitando de esta forma las restricciones de sabor de los quarks.
- Scalar y Pseudoscalar (Spin 0) : Las interacciones generadas por estas partículas mediadoras también cumplen con (MFV), además en esta categoría hay una tercera contribución cuando la partícula mediadora tiene una masa entre 200 y 400 GeV en la que surgen desintegraciones por bucles de gluones en las que están prohibidas las desintegraciones no detectables. [4]

Estas y otras características nos llevan a una diferencia considerable al momento en el que se hacen simulaciones de señal de DM de ambas categorías, la cual se puede ver a continuación:

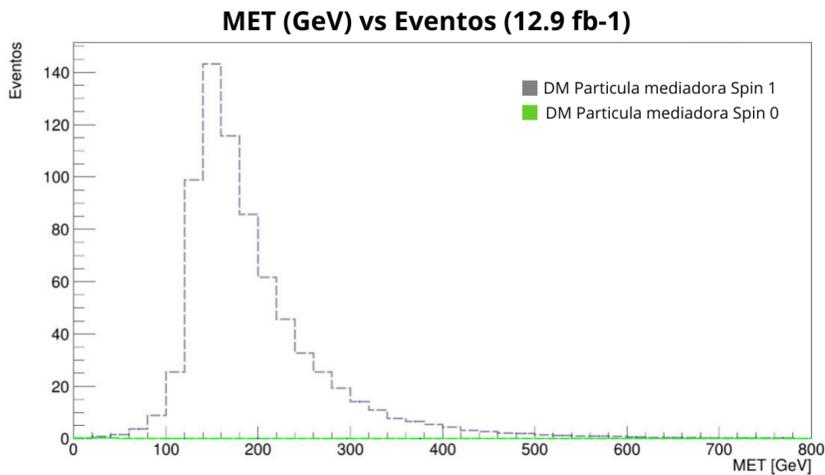


Figura 1: MET Partícula mediadora Spin 1 VS Spin 0, simulaciones hechas con 100000 eventos cada una, normalizadas a 12.9 fb^{-1} y su respectivo Cross-Section y con masa de partícula mediadora de 200 GeV y masa de DM 100 GeV cada una, Cross-Section Spin 0: $(6.148 \pm 0.007) \cdot 10^{-5} \text{ pb}$, Cross-Section Spin 1: $(5719.0 \pm 5.6) \cdot 10^{-5} \text{ pb}$

Metodología

Para la simulación de los eventos de Background predominantes ($Z \rightarrow (\nu\bar{\nu}) + \gamma$ y $W \rightarrow (l\nu) + \gamma$) y la señal de DM se empleo el programa de MadGraph5 aMC@NLO 3.2.0, al cual se le añadió la función de distribución de partones (PDF) NNPDF 3.0 de orden principal (LO) con un valor de acoplamiento fuerte $\alpha_s=0.130$, contenido en el set LHAPDF 6.3 con ID: 263000. Para el caso de la señal de DM, se importó la librería UFO del modelo de materia oscura simplificado en el canal S con partícula mediadora de Spin 1 [5], para la generación de los eventos se modificó la Run.Card para que la simulación tuviera $E_T^\gamma > 130 \text{ GeV}$ y una pseudorapidez $|\eta^\gamma| < 2.5$ y se estableció que la masa de la partícula mediadora de Spin 1 (Y1) sea de 200 GeV y la masa de cada partícula de DM sea de 100 GeV.

Para la generación de los eventos de cada background y la señal de DM se realizó la simulación con 100000 eventos cada uno, con un centro de masa $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$, cuya lluvia de partones, hadronización y simulación del detector se realizó con Pythia 8.316 y Delphes, para el análisis de las simulaciones obtenidas se uso ROOT en su versión 6.24/06 y los macros

necesarios en lenguaje C++ para acceder a la información necesaria de los archivos tipo root y extraer la información necesaria.

Para el Background $Z \rightarrow (\nu\bar{\nu}) + \gamma$, la simulación nos dio una cross-section de $15.10 \pm 0.02 \text{ pb}$.

Para el Background $W \rightarrow (l\nu) + \gamma$, la simulación nos dio una cross-section de $11.62 \pm 0.01 \text{ pb}$.

En la señal de DM la simulación nos dio una cross-section de $5719.0 \times 10^{-5} \pm 5.6 \times 10^{-5} \text{ pb}$. Posteriormente los datos obtenidos se normalizaron a una luminosidad de 12.9 fb^{-1}

A continuación se graficó el P_T^γ de los backgrounds dominantes $Z \rightarrow (\nu\bar{\nu}) + \gamma$ y $W \rightarrow (l\nu) + \gamma$ y el de la señal de DM, para compararlos y determinar los valores en los que predomina la señal de DM frente a los backgrounds.

A continuación se muestra el gráfico del P_T^γ de los backgrounds dominantes y de la DM:

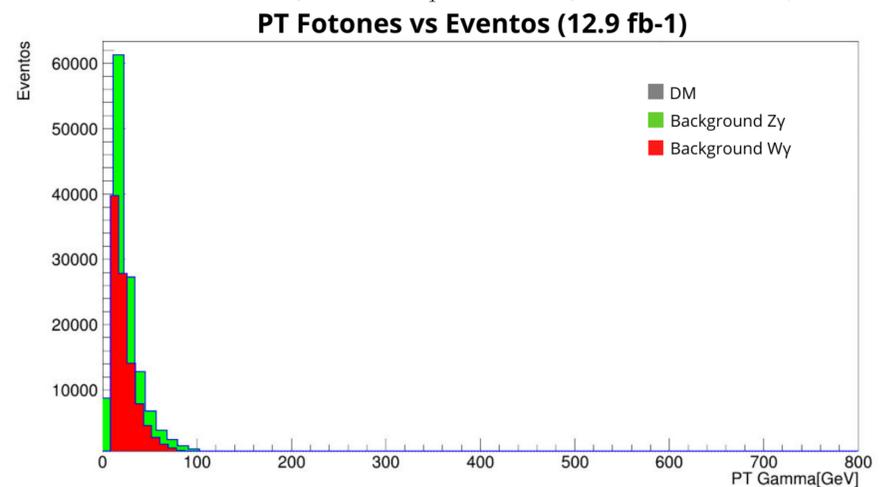


Figura 2: Gráfica PT Gamma (DM, Background Z y W) Normalizada a 12.9 fb^{-1}

Cómo se puede apreciar en la anterior imagen, a valores mayores de 170 GeV la señal de DM empieza a ser predominante en razón de la señal de los Backgrounds, por lo que se realizó un corte del P_T^γ a valores $> 170 \text{ GeV}$ en el MET de los datos en los archivos ROOT de cada simulación y se graficaron con este ajuste.

A continuación se muestra el gráfico del MET de los backgrounds dominantes y de la DM con el corte de P_T^γ :

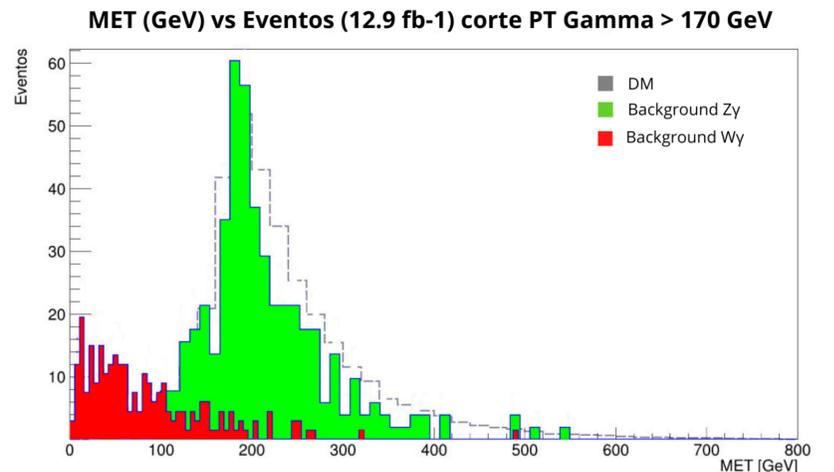


Figura 3: Gráfica MET (DM, Background Z y W) Normalizada a 12.9 fb^{-1}

Conclusiones

Al comparar los datos obtenidos de las simulaciones con los obtenidos por la colaboración CMS, se obtiene lo siguiente:

El corte aplicado por la colaboración para el P_T^γ es a valores $> 175 \text{ GeV}$ mientras que el obtenido de los datos graficados es a valores $> 170 \text{ GeV}$ que estaría cercano al intervalo propuesto por la colaboración, además la cantidad de eventos de los Backgrounds dominantes después del corte del P_T^γ a valores $> 170 \text{ GeV}$ en el MET quedaron de la siguiente manera:

Para el Background $Z \rightarrow (\nu\bar{\nu}) + \gamma$ la simulación da 250 eventos, mientras que en la colaboración da 215 ± 32 y para el Background $W \rightarrow (l\nu) + \gamma$ la simulación da 184 eventos, mientras que en la colaboración da 57.2 ± 8.0 .

Referencias

- [1] Olivier Mattelaer and Eleni Vryonidou. Dark matter production through loop-induced processes at the LHC: the s-channel mediator case. *Eur. Phys. J. C*, 75(9):436, 2015.
- [2] Albert M Sirunyan et al. Search for new physics in final states with a single photon and missing transverse momentum in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$. *JHEP*, 02:074, 2019.
- [3] Daniel Abercrombie et al. Dark Matter benchmark models for early LHC Run-2 Searches: Report of the ATLAS/CMS Dark Matter Forum. *Phys. Dark Univ.*, 27:100371, 2020.
- [4] Antonio Boveia et al. Recommendations on presenting LHC searches for missing transverse energy signals using simplified s-channel models of dark matter. *Phys. Dark Univ.*, 27:100365, 2020.
- [5] Kentarou Mawatari. Dmsimp: Simplified dark matter models.