

Estudio de un modelo *scotogenico* con una fase CP en el sector escalar

Matías Toledo Calderón^{1*}, Roberto A. Lineros^{1†}

¹Departamento de Física, Universidad Católica del Norte, Avenida Angamos 0610, Casilla 1280, Antofagasta.

* matias.toledo@alumnos.ucn.cl, † roberto.lineros@ucn.cl

Introducción

El modelo estándar de Física de Partículas (SM) se basa en la simetría de *gauge* $SU(3)_C \times SU(2)_L \times U(1)_Y$. Además, ha gozado de un gran éxito describiendo fenomenológicamente: la masa de los bosones de *gauge*, el bosón de Higgs, entre otros. Sin embargo, no explica otros aspectos fundamentales como la masa de neutrinos y la existencia de materia oscura (DM). El modelo *scotogenico* provee los elementos para generar masas de neutrinos, mediante un See-saw radiativo[1]. Este mecanismo requiere de la existencia de una simetría “oscura” que además provee un candidato a DM. Se estudió la fenomenología del modelo *scotogenico* de tipo II [2], construido con tripletes escalares de $SU(2)$ y un par de dobletes fermiónicos de $SU(2)$ de tipo vector.

Desarrollo

El modelo es una extensión al lagrangiano del SM, donde las simetrías son $SU(3)_C \times SU(2)_L \times U(1)_Y \times \mathbb{Z}_2$. Las cargas de los campos están en la **tabla I**. El lagrangiano resultante corresponde a:

$$\mathcal{L} \supset -y_{\Delta}^i (\bar{f}_R \Delta L_i + h.c.) - y_{\Omega}^i (\bar{f}_L^c i \sigma_2 \Omega L_i + h.c.) - m_f (\bar{f}_L f_R + \bar{f}_R f_L) - V_{scalar},$$

siendo Δ y Ω los tripletes de $SU(2)$ con $y_{\Delta}^i, y_{\Omega}^i$ los acoplamientos de Yukawa respectivos a cada triplete escalar, f_R y f_L son los fermiones tipo vectores y V_{scalar} es el potencial escalar[2]. El lagrangiano del modelo muestra que la simetría \mathbb{Z}_2 : (i) suprime la generación de masas de neutrinos a nivel árbol y (ii) prohíbe la desintegración de la partícula con $\mathbb{Z}_2 = -1$ proveyendo un candidato estable a DM.

Campos	L_i	f_L	f_R	Δ	Ω	H
Spin	1/2	1/2	1/2	0	0	0
Quiralidad	L	L	R	-	-	-
$SU(2)_L$	2	2	2	3	3	2
$U(1)_Y$	-1/2	1/2	1/2	1	0	1/2
\mathbb{Z}_2	+1	-1	-1	-1	-1	+1

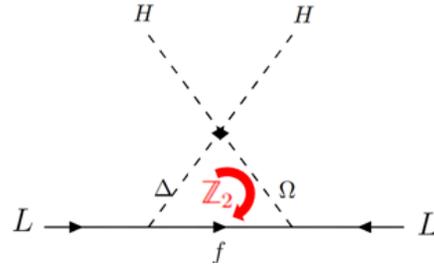


Tabla I. En sector electrodébil más la simetría \mathbb{Z}_2 .

Figura 1: Generación de masas de neutrinos a un *loop*.

Los tripletes de $SU(2)$ y los fermiones tipo-vectores participan en la generación de masas de neutrinos. Los elementos del *loop* son invariantes de \mathbb{Z}_2 .

La masa de los neutrinos generada radiativamente se calcula de acuerdo a:

$$m_{ij} = \frac{1}{16\sqrt{2}\pi^2} (y_{\Delta}^i y_{\Omega}^j + y_{\Omega}^i y_{\Delta}^j) m_f F_{loop} (m_{S_{1,2,3}^0}, m_{S_{1,2}^{\pm}}, m_f)$$

Esta investigación incluye los límites experimentales sobre la materia oscura. Además, se usarán los valores nominales de ángulos de mezcla de neutrinos y de diferencias de masas al cuadrado [3].

Scan sobre los diferentes parámetros del modelo

Se desarrolló el modelo utilizando los softwares LANHEP y MicrOMEGAs. El primero implementa el lagrangiano generando reglas de Feynman e información necesaria para MicrOMEGAs. Este último calcula la abundancia fósil, las secciones eficaces utilizadas en detección directa e indirecta de DM, entre otros observables.

En la base física la masa del candidato a materia oscura se escribe como:

$$m_{S_1^0} = \frac{v_h^2}{4} [\alpha_\Delta + \alpha_\Omega + \lambda'_{H\Delta} + \lambda_{H\Delta} - \sqrt{\kappa^2 + (\alpha_\Delta - \alpha_\Omega + \lambda'_{H\Delta})^2 + \lambda_{H\Omega}}].$$

Donde los términos λ , α y κ aparecen también en el potencial escalar del modelo. v_h corresponde al valor de expectación del vacío del Higgs.

La densidad reliquia se obtuvo haciendo un *scan* sobre un millón de puntos, donde algunos de los resultados están presentes en la **Figura 2(a)** y **Figura 2(b)**.

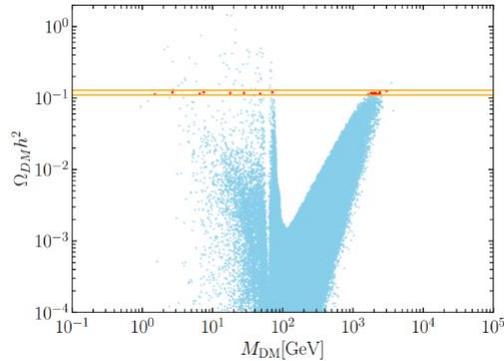


Figura 2(a): Abundancia fósil de DM.

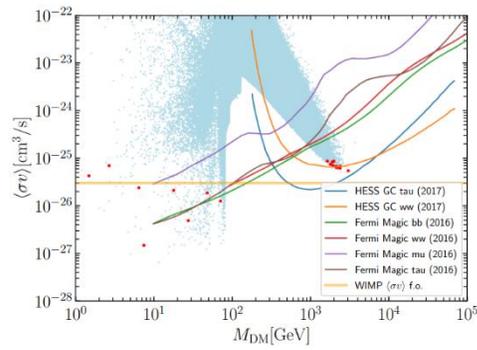


Figura 2(b): Sección eficaz promediada térmicamente.

En la **Figura 2(a)** el eje X se encuentra la masa de DM, en el Y la abundancia fósil. En la franja naranja podemos encontrar los puntos que están en concordancia con los valores cosmológicos actuales de abundancia fósil según las mediciones del satélite Planck[4], $\Omega_{DM}h^2 = 0.11933 \pm 0.00091$. En la **Figura 2(b)** en el eje X se tiene la masa de DM, en el Y la sección eficaz de aniquilación por la velocidad relativa de las partículas de materia oscura. Esta sección eficaz de aniquilación es importante para las búsquedas indirectas de DM, porque la aniquilación a partículas del SM puede ser observada en experimentos de rayos gamma, rayos cósmicos y neutrinos, entre otros. Los puntos rojos corresponden, nuevamente, a los valores permitidos de DM en el rango cosmológico y están acotados por la sección eficaz de las curvas de exclusión en los diferentes canales promediados. La franja WIMP $\langle \sigma v \rangle$ f.o., corresponde a la sección eficaz que debiese tener al momento del desacople en periodos del universo temprano. Además, también hay otros resultados como la sección eficaz *spin independent*, plots de restricciones sobre el candidato a materia oscura, y en lo sucesivo se realizará el cálculo de masas de neutrinos.

Agradecimientos: Al fondo para el desarrollo de investigación científica de actividades de titulación de pregrado con código de proyecto 202110010009-VRIDT-UCN19101.

Referencias

- [1] E. Ma, Verifiable radiative seesaw mechanism of neutrino mass and dark matter, Phys. Rev. D 73 (2006) 077301, [hep-ph/0601225].
- [2] R. A. Lineros, et al. Dark matter candidates in a type-II radiative neutrino mass model, JHEP 21 (2020) 072, [2011.08195].
- [3] P. F. de Salas, et al. Status of neutrino oscillations 2018: 3σ hint for normal mass ordering and improved CP sensitivity, Phys. Lett. B 782 (2018) 633–640, [1708.01186].
- [4] PLANCK collaboration, N. Aghanim et al., Planck 2018 results. VI. Cosmological parameters, Astron. Astrophys. 641 (2020) A6, [1807.06209].