

# Un portal de Higgs para estudiar candidatos a Materia Oscura

María Eugenia Cabrera Catalán



Escuela de Ciencias Físicas y Matemáticas  
Universidad de San Carlos de Guatemala

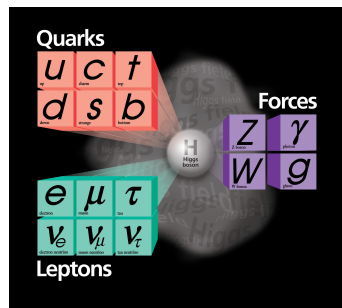
Seminarios LA-CoNGA

5 de abril de 2021

- 1 **Introducción**
- 2 Materia Oscura
- 3 Candidatos a materia oscura
- 4 Un portal de Higgs

# El Modelo Estándar

- Describe interacciones electromagnéticas, débiles y fuertes.
- Exitosa descripción de los fenómenos conocidos
- Las interacciones básicas de la naturaleza son consecuencia de simetrías subyacentes



# El Mecanismo de Higgs

Las simetrías del Modelo Estándar parecían requerir que todas las partículas tuvieran masa cero.

- Mecanismo de Higgs: un mecanismo que da masa a las partículas sin estropear las simetrías.
- En julio de 2012, el LHC anuncia el descubrimiento del bosón de Higgs, la pieza que completa el Modelo Estándar



# Mas allá del Modelo Estándar

¿Es el Modelo Estándar la teoría fundamental de la naturaleza?

¿Por qué hay tres familias de partículas?

¿Hay algo mas entre la escala electrodébil y la escala de Planck?

¿Es el Higgs fundamental o compuesto?

# Evidencias de nueva física

Pero los neutrinos tienen masa

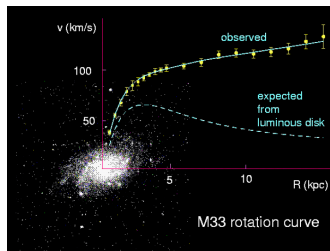
¿Por qué hay mas materia que antimateria?

Observaciones astronómicas sugieren la existencia de  
**Materia Oscura**

- 1 Introducción
- 2 Materia Oscura**
- 3 Candidatos a materia oscura
- 4 Un portal de Higgs

# Curvas de rotación

**1933 Fritz Zwicky** Curvas de rotación anómalas.



Las leyes de Newton:  $v(r) = \sqrt{\frac{GM(r)}{r}}$

Implicando que  $\frac{M(r)}{r}$  es constante

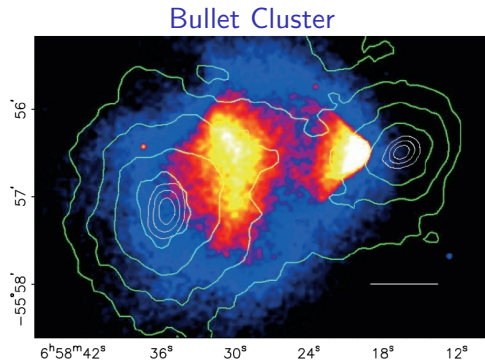
**1970** Es necesaria materia adicional





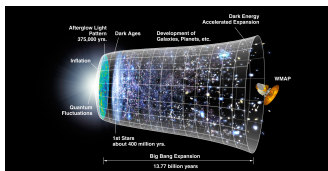
# Lentes gravitacionales

Lentes gravitacionales para determinar la masa de las galaxias.



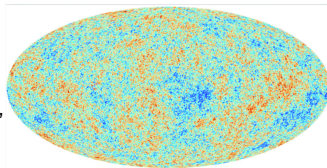
**La masa del sistema no sigue la distribución bariónica.**

# La historia del universo



Cerca de 400,000 años después del *Big Bang* el universo tiene una temperatura de  $\sim 3,000$  Kelvin

- Los átomos pueden formarse (principalmente hidrógeno)
- La luz puede viajar a través del espacio, esa es la luz que vemos en el *CMB*



Hoy en día el *CMB* tiene el espectro de un cuerpo negro con temperatura de 2.725 Kelvin y una longitud de onda en el rango de microondas.

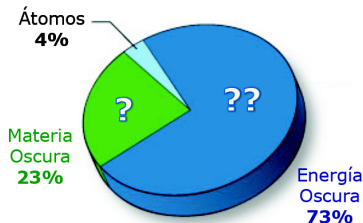
# $\Lambda$ CDM

Pero además, en el CMB tiene regiones con muy pequeñas variaciones de temperatura. La escala de estas variaciones nos dice mucho sobre las condiciones iniciales en las que se formó nuestro universo.

## Modelo Cosmológico Estándar:

**Materia Oscura:** Forma al rededor del 83% de la materia del universo. No emite ni absorbe luz

**Energía oscura:** “algo” que hace que la expansión del universo se acelere



# $\Lambda$ CDM

## ¿Qué podemos explicar con la existencia de Materia Oscura?

- Curvas de rotación de galaxias
- Fondo cósmico de microondas
- Perturbaciones de densidad como condición inicial



Formación de grandes estructuras en el universo

- 1 Introducción
- 2 Materia Oscura
- 3 Candidatos a materia oscura**
- 4 Un portal de Higgs

# Materia Oscura

[arXiv:0711.4996]

## Dark Matter Candidates: A Ten-Point Test

Marco Taoso<sup>1,2</sup>, Gianfranco Bertone<sup>2</sup>, and Antonio Masiero<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *INFN, Sezione di Padova, via Marzolo 8, Padova, 35131, Italy and*

<sup>2</sup> *Institut d'Astrophysique de Paris, UMR 7095-CNRS,*

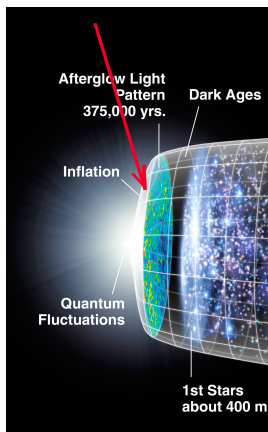
*Université Pierre et Marie Curie, 98 bis Boulevard Arago 75014, Paris, France*

- 1 ¿Tiene la abundancia correcta?
- 2 ¿Es fría?
- 3 ¿Es neutra?
- 4 ¿Es consistente con BBN?
- 5 ¿No afecta la evolución estelar?
- 6 ¿Es consistente con las cotas de “self-interaction”?
- 7 ¿Pasa las cotas de detección directa?
- 8 ¿Pasa las cotas de detección indirecta?
- 9 ¿Pasa las cotas de detección atrofísica?
- 10 ¿Se puede detectar?

# Mas allá del Modelo Estándar

## Modelos para candidatos a la partícula de materia oscura

- Una nueva partícula neutra
  - \* sin carga eléctrica
  - \* sin carga de color
  - \* estable
- Un mecanismo para obtener la abundancia correcta.







# Mecanismo de freeze-out

## **WIMPS** (*Weakly Interactive Massive Particles*)

Partículas que se comunican con las partículas del SM a través de interacciones débiles

⇒ ¿La quinta fuerza de la naturaleza?

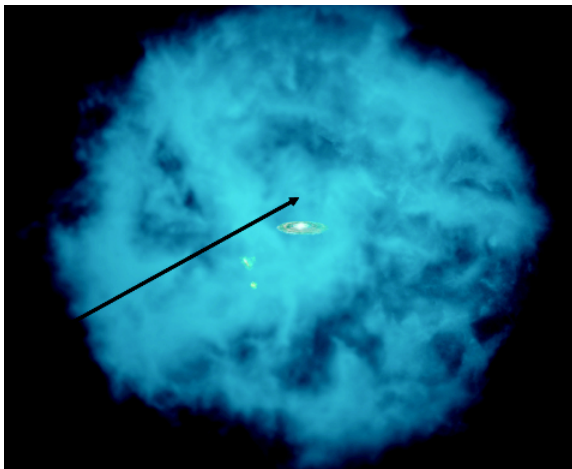
*“The WIMP miracle”*

Para obtener la abundancia:

$\sigma \sim$  interacciones débiles

$$m_{WIMP} \sim 100 \text{ GeV}$$

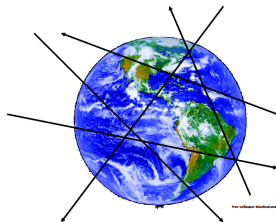
## ¿Cómo la detectamos?



Las galaxias están formadas por  $\sim 90\%$  de materia oscura

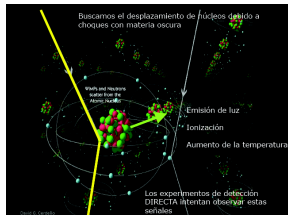
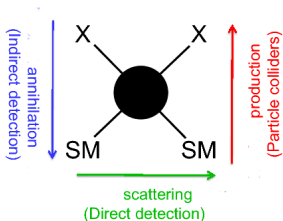
# Detección directa

Partículas de materia oscura pasan por la tierra constantemente



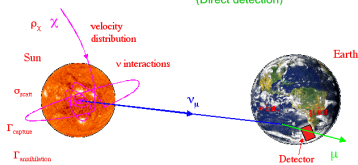
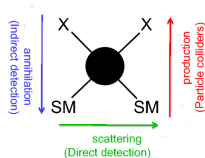
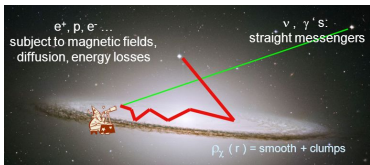
## Detección directa

Se mide la energía de retroceso del núcleo

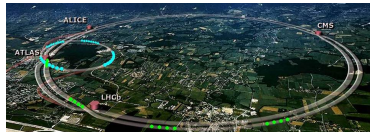
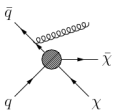


# Detección de Materia Oscura

## Aniquilación de Materia Oscura



## Producción de Materia Oscura

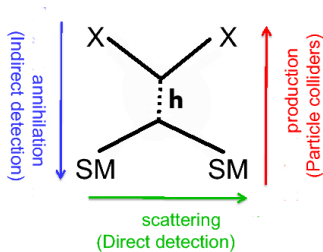


- 1 Introducción
- 2 Materia Oscura
- 3 Candidatos a materia oscura
- 4 Un portal de Higgs**

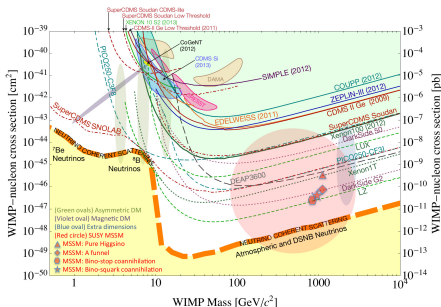
# El sector de Higgs y la Materia Oscura

WIMPs, aún entre los candidatos mas populares para explicar la Materia Oscura

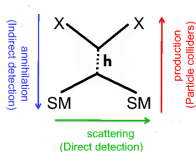
- El Higgs, un portal para interacciones con Materia Oscura
- Con cotas muy fuertes de experimentos de detección directa.



P. Cushman, et al. [arXiv:1310.8327 [hep-ex]].

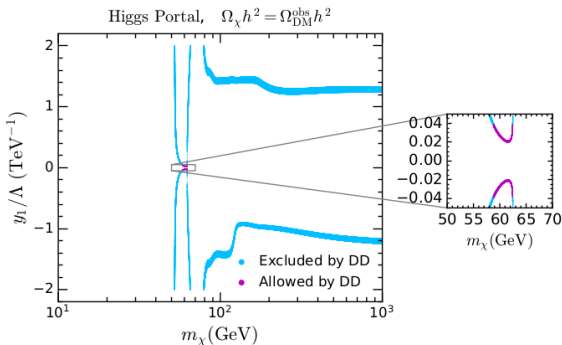


# Un portal de Higgs para la Materia Oscura



Un mecanismo para fijar la abundancia de la materia oscura en el universo

JHEP 01 (2021) 123



$y_1$  controla todos los procesos relevantes (aniquilación y scattering).



# Un portal de Higgs para la Materia Oscura: 2HDM

⇒ La sección eficaz de scattering está suprimida por algún tipo de cancelación.

⇒ Un sector de Higgs extendido (dos dobletes), algo usual en los modelos de nueva física.  $\{h^0, H^0, A^0, H^\pm\}$

## Un modelo:

Un sector oscuro compuesto por dos dobletes y un singlete fermiónico

## Una teoría efectiva

El sector oscuro consiste en una sola partícula, un fermión de majorana

Puntos ciegos en detección directa

# El sector de Higgs, un portal para Materia Oscura

## Canales de aniquilación de Materia Oscura

$$\begin{aligned}
 y_1 & : \quad \chi\chi \rightarrow h^0 \rightarrow \text{SM SM}, \quad \chi\chi \rightarrow h^0 h^0, \quad \chi\chi \rightarrow ZZ, \quad \chi\chi \rightarrow W^+ W^-, \\
 y_2 & : \quad \chi\chi \rightarrow H^0 H^0, \quad \chi\chi \rightarrow AA, \quad \chi\chi \rightarrow H^+ H^-, \\
 y_3 & : \quad \chi\chi \rightarrow H^0 \rightarrow \text{SM SM}, \quad \chi\chi \rightarrow h^0 H^0, \quad \chi\chi \rightarrow ZA, \quad \chi\chi \rightarrow W^\pm H^\mp, \\
 y_4 & : \quad \chi\chi \rightarrow A \rightarrow \text{SM SM}, \quad \chi\chi \rightarrow h^0 A, \quad \chi\chi \rightarrow H^0 A, \quad \chi\chi \rightarrow ZH^0, \quad \chi\chi \rightarrow W^\pm H^\mp.
 \end{aligned}$$

La amplitud de scattering DM-nucleón independiente del spin

$$\chi N \rightarrow \chi N,$$

$$y_{\text{DD}}^{\text{eff}} \equiv \sum_q \left[ y_{h\chi_1\chi_1} + \frac{m_h^2}{m_H^2} y_{H\chi_1\chi_1} \right] f_q^N$$

La condición de un punto ciego en Detección Directa tiene muchas mas posibilidades si consideramos un sector de Higgs extendido.

# El sector de Higgs, un portal para Materia Oscura

M. E. Cabrera, *et.al* JHEP **2002** (2020) 166, JHEP **01** (2021) 123

- Puntos ciegos con un sector de Higgs extendido: en un modelo de 2HDM genérico
- Un sector de Higgs extendido desacopla procesos de aniquilación con scattering.
- La presencia de otros Higgs permite nuevas formas de aniquilación, dejando el modelo a salvo de las cotas de Detección Directa.

¡Gracias por su atención!