



# ALP'S

Estudio de la posible atenuación de fotones por conversiones con candidatos ligeros a materia oscura.

Alvaro Pratts\* - Rubén Alfaro Molina - Sergio Hernández  
Instituto de Física UNAM  
Noviembre 2020

# Contenido

1. Sobre la materia oscura  
Evidencias de la materia oscura
2. Tipos de materia oscura.  
Candidatos a materia oscura y formas de detección indirecta
3. ALP'S  
¿Qué son y por qué son de interés?
4. Oscilaciones Fotón-ALP  
Interacción con el modelo estándar
5. Detección indirecta de ALPs  
Uso de espectros de fuentes ultra energéticas para la detección indirecta de ALP's
6. Resumen  
Trabajo a futuro en ALP's

# Sobre la materia oscura

Observaciones sugieren que hace falta más materia de la que podemos observar.

Las evidencias más notables:  
Curvas de rotación, Cúmulo bala, Oscilaciones acústicas, lentes gravitacionales.

Ahora sabemos que la materia bariónica solo constituye aprox 4% del contenido del universo ocupando la materia oscura 26% y la energía oscura un 70%.

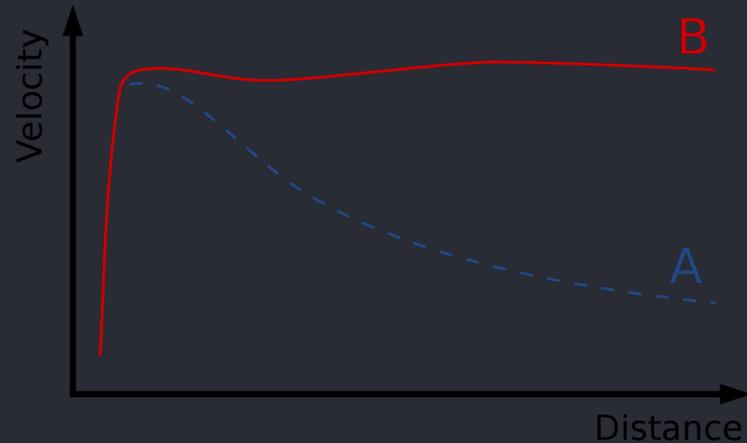


Fig 1. Velocidad orbital predicha(A) y velocidad orbital observada (B)

# Tipos de materia oscura

Podemos clasificar a la materia oscura dadas algunas características.

## Velocidad

HDM: Hot dark matter  
(velocidades relativistas)  
CDM: Cold Dark Matter  
(velocidades muy pequeñas)  
WDM: Warm Dark Matter  
(Velocidades intermedias)

## Masa

Candidatos pesados: Masas  
desde GeV hasta TeV  
Candidatos ligeros: Masas  
en la escalas de meVs.

## Tipo de modelo

Extensiones más allá del  
modelo estándar  
  
Sectores oscuros.

**Ejemplo:** Las WIMP's son partículas masivas, con velocidades bajas (CDM) y surgen de extensiones supersimétricas del modelo estándar.

# Detección indirecta

Las principales formas de detección indirecta de materia oscura son la aniquilación, el decaimiento y la conversión (oscilación). Debido a que uno de los productos de tales procesos pueden ser rayos gamma ultra energéticos éstos podrían ser detectados en la tierra con experimentos apropiados.

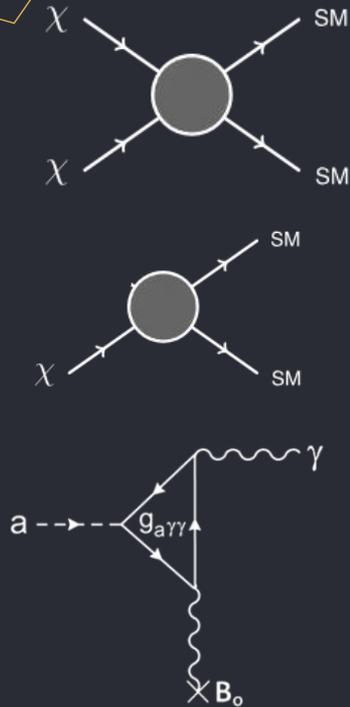


Fig 2. Diagramas de aniquilación (arriba), decaimiento (mitad) y conversión de candidatos de materia oscura (abajo).

# ALP'S

## Axiones "clásicos"

Surgen como una solución al problema CP fuerte en QCD. Se agrega otra simetría que se rompe dando lugar a los axiones (mecanismo Peccei-Quinn).

## ALP's (Axion like particles)

Son una generalización del concepto de Axion y aparecen en extensiones del modelo estándar como teoría de cuerdas. Pueden conformar parte de o ser toda la materia oscura.

Las ALP's como materia oscura se clasificarían como materia oscura fría (CDM) ligeras (escalas desde  $\mu\text{eVs}$ ) y surgen de extensiones al modelo estándar (teoría de cuerdas).

# Oscilación de ALP's

$$P_{\gamma \rightarrow a}(E_\gamma) = \left(1 + \frac{E_c^2}{E_\gamma^2}\right)^{-1} \sin^2 \left( \frac{g_{a\gamma\gamma} B_T L}{2} \sqrt{1 + \frac{E_c^2}{E_\gamma^2}} \right)$$

Fig 3. Probabilidad de conversión de un fotón a ALP.

Las ALP's están acopladas al electromagnetismo, por lo que en presencia de un campo magnético los fotones pueden convertirse en ALP's.

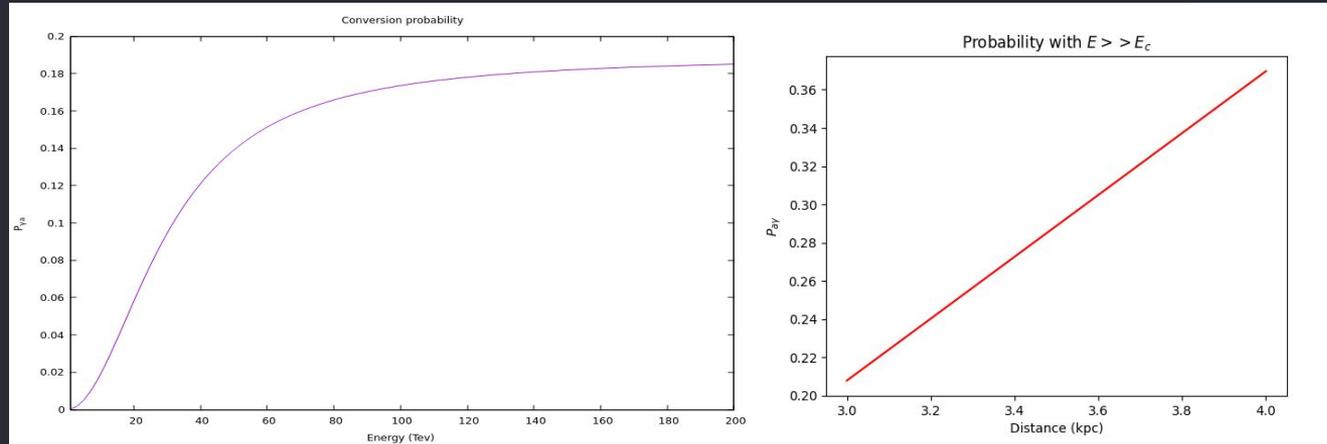


Fig4. Probabilidad para candidato con  $m=1\mu\text{eV}$  a una  $d=3\text{kpc}$  (Izquierda). Para el límite en que  $E \gg E_c$  la probabilidad depende de la distancia (Derecha).

# Detección indirecta de ALP's

## Comparación de espectros

Debido a la conversión de fotones a ALP se debería de apreciar una atenuación en el espectro en la parte más energética.

Se puede hacer una extrapolación de energías bajas para compararlo con las medición a más altas energías.

## Requerimientos

Fuentes galácticas con emisión de alta energía (mayores a 40 TeV) y que estén lo suficientemente lejos para que pueda oscilar (3kpc)

$$\frac{d\phi}{dE_\gamma} = (1 - P_{\gamma \rightarrow a}) \cdot f_{att.} \cdot \left. \frac{d\phi}{dE_\gamma} \right|_{source}$$

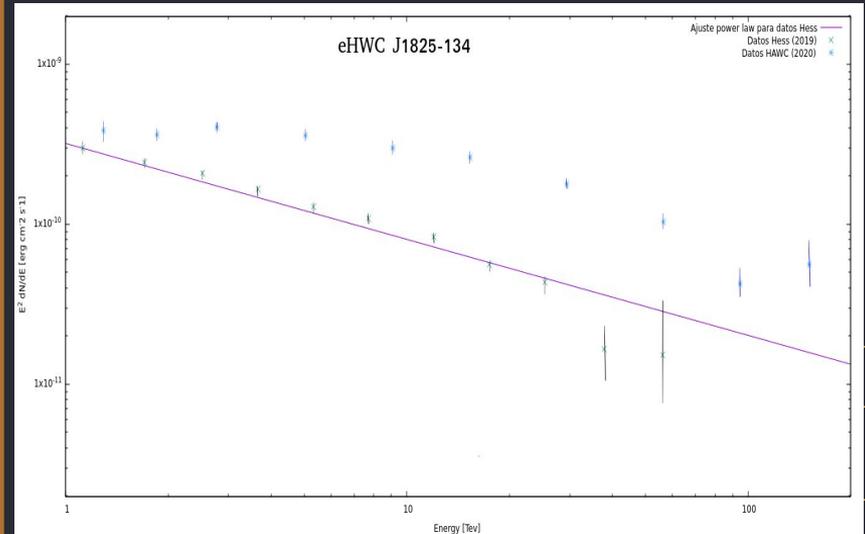
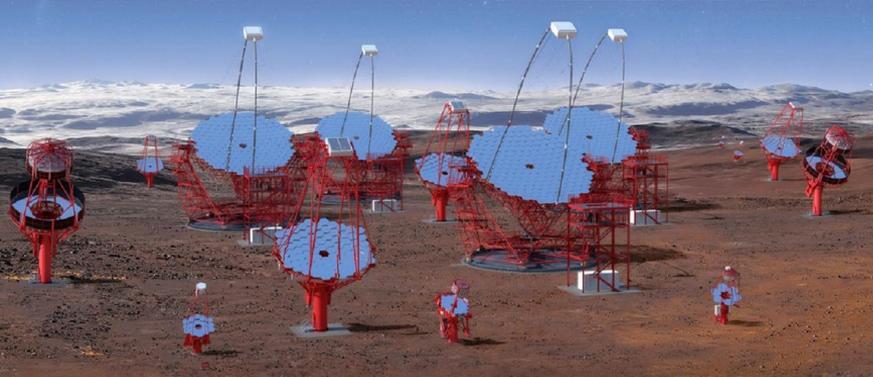


Fig 5. Ecuación para la atenuación (arriba). Comparación de espectros de la fuente eHWC 1825-134 medidos por HESS y HAWC. (abajo).

# Experimentos de altas energías



Actualmente en México contamos con HAWC como herramienta para el estudio de rayos gamma de muy alta energía.



Un telescopio de próxima generación como CTA puede ampliar el rango de energías accesibles para su estudio y mejorar la sensibilidad.

Fig 6. Observatorio HAWC en México (Arriba).

Observatorio CTA en España aún en construcción (abajo).

# Resumen

## Materia oscura

La materia oscura sigue siendo uno de los grandes problemas de la física

## Oscilaciones a ALP

Se requieren fuentes energéticas y que estén suficientemente lejos

## Trabajo futuro

Estudio de una gran cantidad de fuentes galácticas. Más adelante CTA permitirá mejorar la búsqueda

## ALP's

Las ALP's podrían ser materia oscura (o una parte de ella)

## Detección indirecta

Estudio del espectro a muy alta energía que permita observar una posible atenuación



¡Gracias!