

## Resumen de la tesis doctoral “High Energy Phenomena in Clusters of Galaxies” del Dr. Fabio Zandanel defendida el 4 de Julio de 2012 en la Universidad de Granada

Las principales actividades investigadoras de mi tesis doctoral se han centrado en el estudio de la emisión no térmica debida a rayos cósmicos y materia oscura en cúmulos de galaxias. Mi trabajo ha combinado tanto la realización de observaciones a altas energías, gracias a mi participación en el experimento Major Atmospheric Gamma Imaging Cherenkov (MAGIC), como trabajo teórico basado en modelos fenomenológicos y simulaciones numéricas.

En un buen número de cúmulos de galaxias se observa, en frecuencias de radio, la presencia de emisión sincrotrón difusa en forma de halos o mini-halos que demuestran la presencia de electrones de alta energía. La explicación de este fenómeno supone todo un reto y todavía, a día de hoy, permanece una cuestión abierta entre los dos modelos principales propuestos: el hadrónico y el de re-aceleración. El modelo hadrónico prevé que esta emisión sea debida a las interacciones hadrónicas entre los protones de los rayos cósmicos y los protones del gas de cúmulo. En estas interacciones hadrónicas se forman piones que se desintegran en electrones y fotones de alta energía. Esta población de electrones, llamada secundaria, puede generar la emisión difusa observada en radio. Una manera para poder discriminar entre ambos modelos es la búsqueda de la emisión en frecuencias gamma de los fotones producidos por la desintegración de los piones dado que ésta se espera sólo en el modelo hadrónico. Con este objetivo, he liderado una campaña de observación del cúmulo de Perseus con los telescopios MAGIC que ha resultado ser la observación más profunda (85 horas) de un cúmulo a altas energías. Por primera vez estas observaciones han conseguido poner a prueba la física adoptada en las simulaciones hidro-dinámicas de formación de cúmulos, sugiriendo que la eficiencia de la aceleración de los rayos cósmicos es menor de la esperada o que los fenómenos de transporte de rayos cósmicos en los cúmulos son particularmente relevantes [1, 2]. Más observaciones, tanto con los telescopios MAGIC que con aquellos de futura generación, como el planeado Cherenkov Telescope Array (CTA), podrán poner a prueba de manera definitiva el modelo hadrónico. Cabe destacar que durante esta campaña de observación de Perseus han sido detectadas dos fuentes del cúmulo: las galaxias IC 310 [3] y NGC 1275 [4].

Por otra parte el nuevo observatorio de radio LOFAR jugará, en los próximos años, un papel fundamental en el estudio de la emisión radio difusa de los cúmulos. Uno de sus proyectos principales es la realización de un survey que nos proporcionará una población de cúmulos con emisión radio hasta  $z \approx 1$ . Se espera que el estudio de esta población permita la caracterización del mecanismo base que genera los halos y mini-halos en radio. Como parte de esta tesis he estudiado en detalle esta posibilidad para el caso del modelo hadrónico [5]. Para ello, he desarrollado un modelo fenomenológico que me ha permitido crear, utilizando la simulación cosmológica de materia oscura MultiDark, un catálogo que reproduce las características principales de los cúmulos tales como las observadas en rayos X. He construido un nuevo modelo hadrónico a partir de anteriores resultados analíticos y de simulaciones, y he calculado la emisión en radio y en rayos gamma de los cúmulos del catálogo simulado. He investigado la relación de la emisión radio con la emisión en otras frecuencias así como la función de luminosidad en radio de dichos cúmulos. Al mismo tiempo he investigado el role que juegan los diferentes parámetros como el campo magnético, la presión de los rayos cósmicos y térmica y los fenómenos de transporte de los rayos cósmicos en los cúmulos. De esta forma he podido ver cómo las futuras observaciones de LOFAR, y de otros telescopios radio de nueva generación, podrán ayudar a identificar el mecanismo base que genera los halos y mini-halos.

Finalmente, la naturaleza de la materia oscura es una cuestión científica fundamental que concentra muchos esfuerzos de investigación tanto teóricos como experimentales. Sabemos que un 80% de la masa total de los cúmulos es materia oscura y, por esta razón, son candidatos excelentes donde buscar los productos secundarios de su desintegración o aniquilación. He utilizado las observaciones del telescopio MAGIC del cúmulo de Perseus para investigar la naturaleza de la materia oscura [1]. También he investigado las posibilidades de que el satélite de la NASA *Fermi* pueda detectar emisión gamma debida a materia oscura en estructuras extra-galácticas [6]. Utilizado una simulación cosmológica del Universo local, realizada por el proyecto CLUES, he determinado que *Fermi* podría detectar indicios de emisión debida a materia oscura, en particular para el caso de desintegración, en los cúmulos más cercanos y también en los filamentos del Universo local, en el futuro cercano.

## Referencias

- [1] F.Zandanel as corresponding author (J.Aleksić et al.), APJ 710, 634, 2010, “*MAGIC Gamma-Ray Telescope Observation of the Perseus Cluster of Galaxies: implications for cosmic rays, dark matter, and NGC 1275*”
- [2] F.Zandanel as corresponding author (J.Aleksić et al.), A&A 541, A99, 2012, “*Constraining Cosmic Rays and Magnetic Fields in the Perseus galaxy cluster with observations by the MAGIC telescopes*”
- [3] F.Zandanel as corresponding author (J.Aleksić et al.), APJ Letters, 723, L207, 2010, “*Detection of very high energy gamma-ray emission from the Perseus cluster head-tail galaxy IC 310 by the MAGIC telescopes*”
- [4] F.Zandanel as corresponding author (J.Aleksić et al.), A&A 539, L2, 2012, “*Detection of very high energy gamma-ray emission from NGC 1275 by the MAGIC Telescopes*”
- [5] F.Zandanel, C.Pfrommer & F.Prada, *submitted*, ArXiv:1207.6410, “*On the Physics of Radio Halos in Galaxy Clusters: Scaling Relations and Luminosity Functions*”
- [6] A.J.Cuesta, T.Jeltema, F.Zandanel, S.Profumo, F.Prada, G.Yepes, A.Klypin, Y.Hoffman, S.Gottlöber, J.Primack, M.A.Sánchez-Conde & C.Pfrommer, APJ Letters 726, L6, 2011, “*Dark Matter Decay and Annihilation in the Local Universe: CLUES from Fermi*”