

Universidad de Guanajuato  
Departamento de Astronomía



BROTOS DE RAYOS GAMMA DE LARGA DURACIÓN  
Y SU DISTRIBUCIÓN EN CORRIMIENTO AL ROJO

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS (ASTROFÍSICA)

presenta:

Alma Emilia Ruiz Velasco Araiza

Asesores:

Dr. Victor Migenes (DA, Universidad de Guanajuato)

Dr. Johan Fynbo (DARK, Københavns Universitet)

Diciembre 2007



Copyright © 2007 Alma Emilia Ruiz Velasco Araiza

Todos los derechos reservados



## RESUMEN

En esta tesis se presenta el trabajo realizado en una estancia de investigación en el Dark Cosmology Centre del Instituto Niels Bohr de la Universidad de Copenhague, con la finalidad de completar los requisitos del programa de Maestría en Ciencias (Astrofísica) de la Universidad de Guanajuato. Durante este último año tuve el privilegio de trabajar bajo la supervisión de los doctores Johan Fynbo y Daniele Malesani.

El contenido se encuentra organizado de la siguiente manera:

En el capítulo 1 se hace una introducción al tema de los brotes de rayos gamma (GRBs por sus siglas en inglés), desde su descubrimiento a finales de los años 60's por los satélites militares *Vela*, haciendo un recorrido de como se fue interpretando el fenómeno conforme la tecnología avanzaba, hasta llegar al satélite *Swift*, lanzado en el año 2004 y que aún se encuentra en funcionamiento. El marco teórico se presenta en la sección 1.4 tomando como base el *modelo de bola de fuego*, tal como lo describe en sus reseñas el Dr. Tsvi Piran de la Universidad Hebrea de Jerusalén. La última sección trata sobre las galaxias anfitrionas y sus características, a manera de preabulo para el capítulo 3.

En el capítulo 2 se habla sobre el papel que han empezado a jugar los GRBs en la cosmología. Se enumeran las cualidades que se predice caracterizarían a los brotes mas lejanos, para así poder identificarlos a tiempo. Se toma como ejemplo el caso del brote GRB 050904, el más lejano detectado hasta ahora, con un corrimiento al rojo  $z = 6.3$ , comparable al de los cuasares y galaxias más distantes. Finalmente se tomó la muestra total de brotes detectados por el satélite *Swift* para encontrar un estimado de la fracción de GRBs con un corrimiento al rojo  $z > 6$ , seleccionados a partir de las características reportadas en la literatura, y encontrando como límite máximo que un 19% de los brotes detectados por *Swift* tendrían un alto corrimiento al rojo.

En el capítulo 3 se describen las características del *Telescopio Muy Grande* (VLT por sus siglas en inglés) así como las de los instrumentos utilizados para tomar los datos del brote GRB 050726, que en este caso fueron imágenes directas y espectro. Una inspección cuidadosa de la imagen reveló la presencia de una galaxia muy tenue en la posición del brote, con un corrimiento al rojo espectroscópico de  $z = 0.13$ . El análisis fotométrico indica que se trata de una galaxia especialmente pequeña de tan solo  $\sim 1.7$  kpc de diámetro. Al hacer una comparación entre las posiciones de la luminisencia residual del brote observada por el satélite *Swift* y la imagen de la galaxia tomada por el VLT se encuentra una separación visual entre ambas de  $1.6''$ . Dado que la separación es mayor que el tamaño aparente de la galaxia, se determina que la probabilidad de que ésta no esté asociada a GRB 050726, sino que sea solo una coincidencia por proyección es de  $\sim 9\%$ .



En el capítulo 4 se presenta el artículo: “Detection of GRB 060927 at  $z = 5.47$ : Implications for the Use of Gamma-Ray Bursts as Probes of the End of the Dark Ages”, A. E. Ruiz-Velasco, H. Swan, E. Troja, D. Malesani, J. P. U. Fynbo, et al., publicado en el *Astrophysical Journal* en su edición de Noviembre del presente año (volumen 669, páginas 1-9). El formato fue modificado para hacerlo igual al de la tesis. En el artículo se reportan las observaciones realizadas en GRB 060927. Su espectro muestra una discontinuidad a partir de  $\lambda \approx 8070 \text{ \AA}$  producida por la absorción del hidrógeno neutro a  $z = 5.47$ , convirtiendo al GRB 060927 en el segundo brote más lejano con corrimiento al rojo confirmado espectroscópicamente. Haciendo un ajuste en la curva de la discontinuidad se encuentra un perfil de absorción Lyman- $\alpha$  reducido con densidad columnar  $\log(N_H/cm^{-2}) = 22.50 \pm 0.15$ , valor similar al encontrado en otros GRBs con  $z > 2$ . La versión publicada en el formato original de la revista se encuentra en el Apéndice A.

En el capítulo 5 se resumen las conclusiones.



## ABSTRACT

The work presented in this thesis has been carried out during a research internship at the Dark Cosmology Centre of the Niels Bohr Institute, University of Copenhagen, in partial fulfillment of the requirements for the Master in Science degree in Astrophysics from the University of Guanajuato. During the last year I was supervised by Dr. Johan Fynbo and Dr. Daniele Malesani.

The contents is organized as follows:

Chapter 1 gives a brief introduction to the topic of gamma-ray bursts (GRBs), starting with the discovery at the end of the 1960's by the *Vela* spacecraft, going through the historical background as technology advanced to arrive at the present time with the *Swift* spacecraft, launched on 2004 and still working. The theoretical framework is presented in section 1.4, based on *the fireball model* as described in recent reviews from Dr. Tsvi Piran (Racah Institute for Physics, The Hebrew University of Jerusalem). Last section is about GRBs host galaxies.

Chapter 2 describes the role GRBs are starting to play in cosmology. The expected characteristics that distant GRBs should possess are enumerated in order to identify potential candidates. GRB 050904 is taken as example for been the most distant GRBs detected to date, with a redshift of  $z = 6.3$ , comparable to those of the most distant quasars and galaxies. Finally, the complete GRBs *Swift* sample is studied in order to find an upper limit of the fraction of GRBs with very high redshift. Based on the literature, I constrained the fraction of GRBs at  $z > 6$  to a conservative upper limit of  $f < 19\%$ .

Chapter 3 gives a description of the *Very Large Telescope* (VLT) and its instrument characteristics used to perform direct imaging and spectroscopic observations on GRB 050726. The data analysis revealed the presence of a very faint galaxy with a redshift of  $z = 0.13$  very close to the reported position of the GRB. The photometry indicated an exceptionally small size for the galaxy of only 1.7 kpc wide. Comparing the reported position of the afterglow from *Swift* versus the position of the galaxy at the VLT image, an offset of  $1.6''$  is found. Since the visual separation is greater than the apparent size of the galaxy, it is possible to determine the probability that a galaxy found close to a GRB localization is an unrelated galaxy seen in projection. This probability is found to be  $\sim 9\%$ .

Chapter 4 shows the paper: "Detection of GRB 060927 at  $z = 5.47$ : Implications for the Use of Gamma-Ray Bursts as Probes of the End of the Dark Ages", A. E. Ruiz-Velasco, H. Swan, E. Troja, D. Malesani, J. P. U. Fynbo, et al., published in *The Astrophysical Journal* (November 2007, Volume 669, Issue 1, pp. 1-9). The format has been modified in order to make it consistent with the rest of the thesis. The paper reports follow-up observations on GRB 060927. Spectroscopy performed with the VLT about 13 hours after the trigger shows a continuum break at  $\lambda \approx 8070 \text{ \AA}$ , produced by neutral hydrogen absorption at  $z \approx 5.6$ . We also detect an



absorption line at 8158 Å which we interpret as SiII  $\lambda$  1260 at  $z = 5.467$ . Hence, GRB 060927 is the second most distant GRB with a spectroscopically measured redshift. The shape of the red wing of the spectral break can be fitted by a damped Ly $\alpha$  profile with a column density with  $\log(N_{\text{HI}}/\text{cm}^{-2}) = 22.50 \pm 0.15$ . The original journal edition is attached as appendix A.

Chapter 5 summarizes the conclusions.



## AGRADECIMIENTOS

Primeramente quiero agradecer a mis padres Eduardo y Emilia, por haberme apoyado a lo largo de mis estudios, por todo su cariño y comprensión y por darme fuerza para seguir adelante a pesar de la distancia y las inclemencias del tiempo. También agradezco a mi hermano Lalo, de mi cuñada Paty y a mis sobrinos Sara, Andrés y Juan Pablo por sus hermosas sonrisas.

Quiero agradecer especialmente al Dr. Enrico Ramirez-Ruiz por haberme brindado la gran oportunidad de realizar una estancia en Dinamarca en un instituto de gran prestigio internacional como lo es el *Dark Cosmology Centre*. Fue una experiencia inolvidable de la cual aprendí muchísimo, no solo sobre ciencia sino sobre la vida misma. Muchas gracias también a mis asesores los doctores Johan Fynbo y Daniele Malesani por toda su paciencia y motivación.

Agradezco a José María Castro Cerón, Árdís Elíasdóttir, Desiree Della Monica Ferreira, Camilla Juul Hansen, Christina Thöne, Chloé Féron, Tamara Davis, Marceau Limousine y a todos los integrantes del DARK por brindarme su amistad. Espero que nos volvamos a ver en un futuro no muy lejano.

Muchas gracias a todo el personal del Departamento de Astronomía de la Universidad de Guanajuato, a mis sinodales los doctores Luis Ureña y Solai Jeyakumar y en especial al Dr. Victor Migenes quien durante ya casi una década me ha orientado no solo como profesor sino también como amigo.

A mis amigos Alba Sánchez Stevenson, Juan Manuel Islas Islas, Dan-El Vila Rosado, Josué López Rizo y Karla Álamo Martínez, muchas gracias por su apoyo. Agradezco especialmente a Marco, Liv, Sebastian, Ouafaa, Mario, Ricardo y Ségolène. Con ustedes pasé una de las mejores navidades de mi vida.

Finalmente, quiero agradecer a mis amigos de Aguascalientes por mantenerse en contacto a lo largo de los años: Fernanda Manzo Campero, Tere González Ruiz Velasco, Marco Vargas Cuellar, Vero Guitiérrez Gallo, Lola Torres Castañeda, Araceli Pando Valles, Ia Navarro Ibarra, Erika Martínez Chávez, Héctor Ruedas Jiménez y Set Padilla Padilla. Ojalá que nuestra amistad nunca termine.

