

Estudio temporal-espectral del GRB061007

Baquero A. Vásquez N.

Programa de Maestría en Física. Departamento de Física. Escuela Politécnica Nacional

Resumen

Los GRBs (Gamma-ray Bursts) o ráfagas de Rayos Gamma han llamado la atención de los astrofísicos desde su descubrimiento en la década de los años sesenta. Son las explosiones más luminosas en el Universo, luego del Big Bang; se producen a distancias cosmológicas y, en la última década, se ha dado un gran avance para el entendimiento y estudio de los mismos.

En el presente trabajo, se determinó el lag espectral, la diferencia temporal entre la llegada de fotones de mayor y menor energía, para el GRB 061007. Esta ráfaga de rayos gamma, una de las más brillantes detectada por el telescopio espacial Swift, presentó una postluminiscencia extraordinariamente alta, lo cual es un reto para los modelos teóricos de mecanismos de radiación. Para determinar el lag espectral, se utilizó el método de la Función de Correlación Cruzada (CCF). Además, se empleó el método de simulación de Monte Carlo mediante la simulación de curvas de luz para el tratamiento de la incertidumbre y el ruido estadístico introducido en el cálculo de la CCF.

Palabras claves: Ráfagas de rayos Gamma; GRBs; Lag espectral.

Abstract

GRBs are one of the most interesting topics of modern astrophysics since its discovery in the early 60s. They are the brightest explosions in the universe after the Big Bang, occurring at cosmological distances. During the last decade there was a breakthrough on the understanding of these phenomena. In this article we determined the spectral lag, the difference of time between the arrival of photons of higher and lower energy, for GRB 061007. This GRB, one of the brightest detected by the Swift space telescope presented an extraordinarily high bright afterglow, which mean a challenge for the theoretical models of mechanisms of radiation. To determine the spectral lag we used the method of cross-correlation function (CCF). In addition we employ the method of Monte Carlo simulation to simulate light curves for the treatment of uncertainty and statistical noise introduced in the calculation of the CCF.

Keywords: Gamma Ray Bursts, Spectral Lag.

1 Introducción

El lag espectral es una característica común de los GRBs; es definido como la diferencia temporal en la llegada de fotones de alta y baja energía; se lo considera positivo cuando los fotones de mayor energía llegan antes que los de menor energía y viceversa. [1]

En este estudio se analiza el lag espectral del GRB 061007. Esta ráfaga de rayos gamma con una duración de 75.3 segundos (BAT T90) y una energía de $444[10^{-7} \text{erg/cm}^2]$ en la banda de energía BAT (15- 150 keV) fue detectada por el telescopio espacial *Swift* [2] el 7 de octubre de 2006 a las 10:08:08 UT2 con coordenadas R.A (J2000)=03:05:16, Dec (J2000)= -50:29:15. El redshift asignado a esta ráfaga de rayos gama de 1.261 fue establecido en el observatorio "Las Campanas" en la región de Atacama, Chile [3].

La CCF es utilizada para calcular el lag espectral entre dos bandas de energía, debido a la complejidad de las

típicas curvas de luz de ráfagas de rayos gamma. Comparado con el método de ajuste de curvas para el cálculo del lag espectral, la CCF maneja de mejor manera la complejidad de la estructura temporal, la variabilidad y el bajo cociente de señal-ruido en la detección de las curvas de luz de GRBs.

2 Metodología

2.1 Extracción de Curvas de Luz

Las curvas de luz del GRB fueron extraídas con la utilización del paquete de software del telescopio espacial *Swift* HEASOFT 6.12. [4]. Se seleccionaron dos bandas de energía, una de 15 a 50 KeV y la otra de 50 a 150 KeV, y una resolución temporal de 0.125s *Swift*.

2.2 La Función de Correlación Cruzada

Para los GRBs, es más adecuada la utilización de una función de correlación mejorada definida por Band (1997). [5, 1].

$$CCF(d, x, y) = \frac{\sum_{i=\max}^{\min(N, N-d)} x_i y_{i+d}}{\sqrt{\sum_i x_i^2 \sum_i y_i^2}}. \quad (1)$$

Para la implementación del método de la función de correlación cruzada, se desarrolló una aplicación en el lenguaje de script *TCL*[6], que trata los archivos de texto de los datos obtenidos de las curvas de luz del GRB 061007.

Con el fin de extraer el lag espectral, se realizó el ajuste de la función de correlación resultante a una función gaussiana de este tipo:

$$f(x) = A \exp \frac{-(x-b)^2}{c}, \quad (2)$$

y una función cuadrática de este tipo:

$$f(x) = A + Bx + cx^2. \quad (3)$$

Para el ajuste, se utilizó el programa de tratamiento de gráficos y funciones *Gnuplot* [7].

2.3 Incertidumbre en Lag Espectral

Para determinar la incertidumbre y fluctuaciones asociadas a los resultados obtenidos por la función de correlación cruzada, se utilizó el método de simulación Monte Carlo, con el fin de obtener 100 curvas de luz simuladas utilizando los errores correspondientes a cada banda de energía.

El método de simulación Monte Carlo utilizado viene definido de la siguiente forma:

$$I_m(\text{simulado}) = I_{real} + \alpha \times \sigma_{real}, \quad (4)$$

donde I_{real} es el valor real correspondiente a la banda de energía, α es un número aleatorio generado a partir de una distribución gaussiana con media igual a cero y la desviación estándar igual a uno, y σ_{real} es el error asociado al valor correspondiente a la banda de energía.

Para la implementación del método de simulación Monte Carlo, se desarrolló una aplicación en el lenguaje de script *TCL* [6], y se usó además para la generación de los números aleatorios el lenguaje de programación C [8].

Para cada curva de luz simulada, se obtuvo un valor de la función de correlación cruzada y se realizó un ajuste con la función gaussiana y la función cuadrática especificadas en las ecuaciones (2) y (3); es decir, se obtuvieron 100 valores de lag espectral, cada uno asociado a una curva de luz simulada para cada tipo de ajuste; la desviación estándar correspondiente a estos valores es la incertidumbre del lag espectral promedio encontrado.

3 Resultados

Para este estudio, se usó el GRB 061007; se seleccionaron dos bandas de energía de 15 a 50 KeV y de 50 a 150 KeV. En la figura 1, se muestra la curva de luz de las dos bandas de energía.

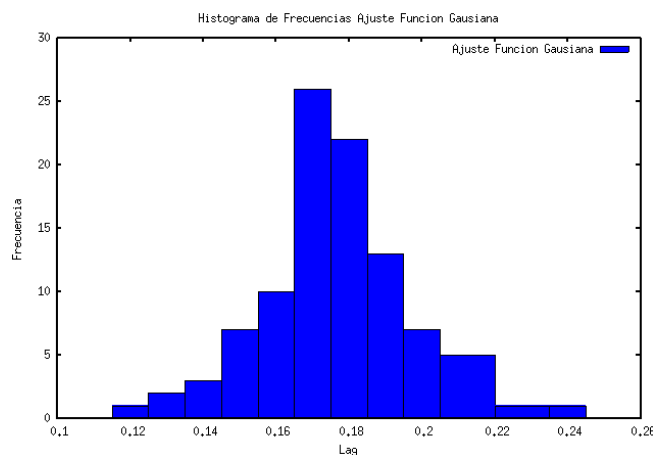


Figura 1. Histograma de Frecuencias Ajuste Gaussiano

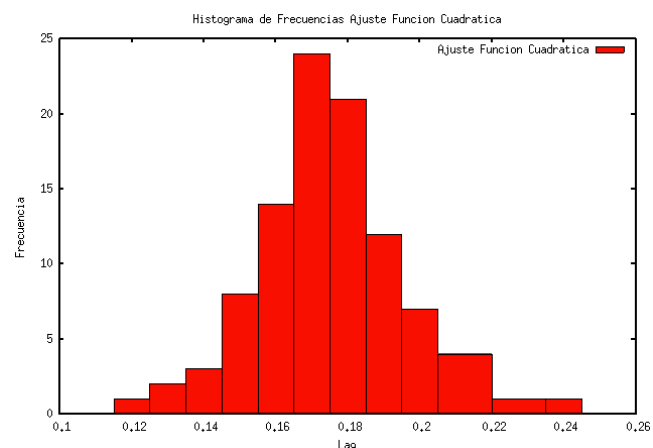


Figura 2. Histograma de Frecuencias de Ajuste Cuadrático

El resultado que se muestra en el tabla 1 corresponde al valor del lag espectral promedio obtenido de 100 curvas de luz simuladas del GRB 061007 mediante el método de simulación de Monte Carlo, utilizando el método de la CCF y realizar el ajuste a una curva gaussiana y cuadrática a cada una de las 100 curvas de luz simuladas.

Ajuste Gaussiano	Ajuste Cuadrático
0.1805 +/- 0.0201	0.1795 +/- 0.0202

Tabla 1. Lag Espectral promedio para el ajuste de las FCCs a la curva gaussiana y cuadrática.

4 Conclusiones y Discusión

El GRB 061007 tiene una curva de luz con una estructura compleja y una alta variabilidad temporal por lo que la única forma de calcular el lag espectral entre las bandas de energía de 15-50 KeV y 50-150 keV es utilizando la técnica de la CCF. Sin embargo, el cálculo de la CCF introduce fluctuaciones estadísticas las cuales han sido tratadas por medio de la simulación de Montecarlo de 100 curvas de luz asociadas al GRB 061007.

Al calcular las CCFs de las curvas de luz simuladas mediante las simulaciones Montecarlo se obtuvieron dos distribuciones uniformes de valores de lag espectral correspondientes a dos ajustes, uno con una función gaussiana y otro con una función cuadrática. La realización de estos cálculos nos permitió obtener dos valores de lag espectral promedio que son: 0.1805 ± 0.0201 y 0.1795 ± 0.0202 .

El cálculo de los valores de lag espectral promedio con el ajuste gaussiano y cuadrático arrojó resultados de error asintótico estándar, estadísticamente similares, lo cual comprueba la validez del procedimiento utilizado.

Se ha logrado extraer el lag espectral del GRB 061007, usando la técnica de la función de correlación cruzada, y se ha logrado obtener la incertidumbre del lag simulando 100 curvas de luz mediante la técnica de simulación de Monte Carlo, lo cual analíticamente es muy difícil de lograr, demostrándose la utilidad de la técnica de simulación Monte Carlo para la obtención de la incertidumbre de un lag espectral.

Existe una diferencia de 0.0381451 segundos entre el lag obtenido de la curva de luz real del GRB 061007 de -1.11198 segundos y el lag promedio encontrado luego de la simulación de 100 curvas de luz que es de -1.1501251 segundos, lo que quiere decir que, claramente, se alcanza una mayor

precisión en el cálculo del lag espectral teniendo en cuenta la incertidumbre del mismo.

Este es un trabajo preliminar; se pretende realizar, además, la extracción del lag espectral de una muestra de GRBs largos detectados por el telescopio espacial *Swift* con redshift conocido, para buscar la distribución temporal en el sistema de referencia cosmológico.

Referencias

- [1] T. N. Ukwatta, K. S. Dhuga, M. Stamatikos, T. Sakamoto, W. C. Parke1, S. D. Barthelmy and N. Gehrels, *The lag-luminosity relation in the gamma-ray burst source-frame*, 2010b, arXiv:1003.0229.
- [2] SWIFT Data Analysis, <http://heasarc.nasa.gov/docs/swift/analysis/>, Consultado el 27-09-2012.
- [3] Osip, D. and Chen, H.-W. and Prochaska, J. X. *GRB 061007: magellan spectroscopy*, 2006, GRB Coordinates Network.
- [4] HEASOFT, *A Unified Release of the FTOOLS and XANADU Software Packages*, <http://heasarc.nasa.gov/docs/software/lheasoft/>, Consultado el 27-09-2012.
- [5] D. L. Band 1997, *ApJ*, 486, 928
- [6] TCL, *TCL Developer Exchange*, <http://www.tcl.tk/>, Consultado el 28-09-2012.
- [7] Gnuplot, *Gnuplot*, <http://www.gnuplot.info/>, Consultado el 28-09-2012.
- [8] C, *JTC1/SC22/WG14 - C*, <http://www.openstd.org/jtc1/sc22/wg14/>, Consultado el 05-12-2012.