

Simulaciones numéricas de destellos de rayos gamma

Resumen

Los destellos de rayos gamma (GRBs por su sigla en Inglés) son emisiones transientes de rayos gamma proveniente de chorros altamente colimados que se mueven a velocidades relativistas. Hasta la fecha no se han observado GRBs “off-axis”, es decir que no se propagan directamente en la dirección del observador. La falta de observaciones de GRBs “off-axis” está directamente relacionada con el grado de colimación de los jets y con el efecto beaming de la radiación emitida por el GRB. Esto implica que en tiempos del orden del tiempo de deceleración del GRB (desde meses hasta años después de la emisión en gamma) la emisión en radio del GRB debería ser observada también en dirección perpendicular respecto a la dirección de propagación del GRB. Esta emisión en radio ha sido buscada sin éxito. En este proyecto planeamos estudiar la emisión de los GRBs “off-axis” por medio de simulaciones numéricas y hacer predicciones detalladas de curvas de luz y espectros de GRBs observados “off-axis”, que podrán ser usados para detectarlos en futuras observaciones sistemáticas (“surveys”) en radio.

Descripción del trabajo

Los destellos de Rayos Gamma (GRBs) son las explosiones más luminosas del universo. Siendo eventos tan “extremos”, representan un laboratorio astrofísico extraordinario para estudiar la física en condiciones extremas de temperatura, densidad y campos magnéticos, por lo que han atraído el interés de la comunidad científica durante las últimas décadas. Los GRBs se clasifican de acuerdo a su duración. Los GRBs largos (con una duración $> \sim 2$ s) están asociados a supernovas tipo Ic y al colapso de estrellas masivas, mientras que los GRBs cortos ($t < \sim 2$ s) son producidos por colisiones de agujeros negros o de estrellas de neutrones.

La emisión de los GRBs tiene dos fases. La primera, denominada fase “prompt”, dura unos segundos y es responsable de la emisión de los rayos gamma. Se cree que esta emisión es debida a la propagación de jets ultra-relativistas (con velocidades correspondientes a factores de Lorentz > 100), aunque aún no es claro el mecanismo físico que lleva a la producción de los rayos gamma. Durante la segunda fase, el “afterglow”, la deceleración del GRB produce un espectro multi-frecuencia (que se extiende desde rayos-X hasta radio frecuencias) cuya emisión en radio se puede observar durante años.

Debido al movimiento ultra-relativista del jet, por el efecto “beaming” durante la fase “prompt” se observa una fracción angular muy pequeña del jet. Por otro lado, durante la emisión del “afterglow” la cabeza del jet relativista se va frenando por su interacción con el medio exterior, de tal manera que la radiación observada es producida por fracciones (angulares) cada vez mas grandes del jet relativista.

Por esta razón, aunque los jets que no se mueven directamente hacia nosotros son invisibles durante la fase “prompt”, estos deberían volverse visibles cuando el GRB desacelera a velocidades no relativistas. La emisión tardía de GRBs observados “off-axis” no ha sido detectada hasta la fecha pero debería ser facilmente detectadas en futuras observaciones sistematicas (“surveys”) en radio.

La tasa de detección de los GRBs “off-axis” depende de la estructura de los GRBs además que de la microfísica del proceso de emisión de radiación de sincrotrón. La estructura del GRB determina la curva de luz en la fase después del jet break y depende fuertemente de las condiciones iniciales del

GRB cuando emerge de la estrella.

Cálculos a realizar

En este proyecto planeamos determinar la estructura angular de los GRBs y estudiar la emisión “off-axis” de los GRBs mediante simulaciones numéricas que utilizarán un código numérico de malla adaptativa. La evolución tardía de los GRB depende fuertemente de la estructura angular de los jets asociados a la emisión de los GRBs. Para modelar esta fase, típicamente se utiliza la solución auto-similar de Blandford-McKee (BMK), que describe la expansión de un choque esférico relativista, y asume que la distribución angular de energía es uniforme. Se han propuesto estructuras angulares alternativas para describir a los GRBs, pero estos perfiles angulares de energía y velocidad no han sido explorados numéricamente.

En este proyecto se harán una serie de simulaciones numéricas en las que se cambiarán las condiciones iniciales de los GRB. Se usará la solución auto-similar de BMK y condiciones iniciales con más complejas distribuciones angulares de energía (estudiadas analíticamente en la literatura existente). Los resultados serán usados para predecir las curvas de luz y espectro emitido hacia observadores localizados a distintos ángulos respecto a la dirección de propagación del jet.

Los resultados de las simulaciones serán usados, junto con las observaciones existentes que ponen límites sobre el flujo máximo que los GRBs “off-axis” pueden tener, para poner límites respecto a los parámetros de la microfísica responsables por la emisión de la radiación y respecto a la densidad del medio en el que el jet se propaga.

Software a utilizar.

En este proyecto se estudiarán los destellos de rayos gamma por medio de simulaciones numéricas hidrodinámicas relativistas. Los códigos que se usarán durante el desarrollo del proyecto han sido desarrollados por el responsable del proyecto y son los siguientes:

- el código numérico *Mezcal*: es un código de malla adaptiva que integra las ecuaciones de la hidrodinámica newtoniana (HD) y relativista (SRHD). Este código ha llevado a ~ 15 publicaciones en revistas arbitradas internacionales. El código es modular y por eso es fácilmente extensible. Además, es paralelizado con la librería "MPI" y corre eficientemente en granjas de cientos de procesadores.

- códigos para el cálculo de la radiación térmica y no-térmica: estos códigos usan como “input” los resultados de las simulaciones numéricas hidrodinámicas (es decir, tablas con valores de densidad, presión, velocidad como función de la posición en el espacio y el tiempo) y calculan imágenes (en el plano del cielo) de la radiación resultante.

Recursos a utilizar

Se correrán 50 simulaciones numéricas, cada una empleando 128 procesadores durante un periodo de 72 horas, por un total de 460800 horas de computo. Los códigos numéricos no emplean librerías externas y necesitan solo un compilador de Fortran90 de memoria distribuida (MPI).

Lista de colaboradores

Dos estudiantes participarán en este proyecto usando tiempo de computo y corriendo parte de las simulaciones numéricas: el Lic. Gerardo Urrutia Sánchez y la Lic. Ana Paola Hernández González, ambos estudiantes de la Maestría en Astrofísica de la UNAM. Su trabajo terminará con una tesis de maestría que se realizará bajo la tutoría del responsable del proyecto. Se espera que el aprendizaje de métodos para programación en paralelo así como el uso de la super-computadora sea muy útil en el desarrollo de su carrera científica.

La interpretación de los resultados, así como la escritura de los artículos que resultarán de esta investigación será efectuada con colaboradores externos, en particular con el Dr. Enrico Ramirez-Ruiz (de la Universidad de California) y el Dr. Pawan Kumar (de la Universidad de Texas, Austin), expertos mundiales de modelos teóricos de GRBs.