

MAGNETOHIDRODINÁMICA RELATIVISTA NUMÉRICA: APLICACIONES EN RELATIVIDAD ESPECIAL Y GENERAL

Luis Antón Ruiz

luis.anton@uv.es

Tesis doctoral dirigida por José M^a. Martí y Juan A. Miralles

Centro: Universitat de València.

Fecha de lectura: 14 de marzo de 2008

En numerosos escenarios astrofísicos, como los chorros extragalácticos o las magnetosferas de púlsares, los campos magnéticos son esenciales para interpretar la dinámica observada, por lo que para estudiarlos, deberemos plantear y resolver las ecuaciones teniendo en cuenta los efectos del campo magnético. En muchos casos, las características físicas de estos escenarios permiten realizar una descripción magnetohidrodinámica del fluido, lo cual simplifica considerablemente las ecuaciones.

El objetivo principal de esta Tesis ha sido el desarrollo de un código numérico capaz de resolver las ecuaciones de la magnetohidrodinámica en relatividad especial y general basado en técnicas de *alta resolución de captura de choques*. Este tipo de técnicas explota el carácter conservativo e hiperbólico del sistema de ecuaciones y se basa en la discretización de las ecuaciones escritas en forma conservativa y la evaluación de los flujos entre celdas numéricas contiguas para el avance temporal de las variables del sistema. De entre las diversas estrategias para el cálculo de dichos flujos, hemos optado por desarrollar un algoritmo basado en la descomposición espectral de las matrices jacobianas del sistema conservativo.

Para obtener la descomposición espectral, partimos de la obtenida por Anile (1989), correspondiente al sistema de ecuaciones escrito en forma covariante. En la Tesis se hace un análisis exhaustivo de las condiciones bajo las cuales la matriz jacobiana asociada a un estado del sistema tiene dos o más autovalores iguales (*degeneraciones*), obteniéndose una caracterización covariante de los estados que presentan degeneración. Esta caracterización ha sido muy útil, dado que los estados con degeneración suponen un serio problema para estos algoritmos numéricos, ya que, en dichos estados, el conjunto de autovectores de la matriz jacobiana deja de ser completo. Para resolver este problema, autores como Komissarov (1999) proponen el cambio a otros conjuntos de autovectores completos en los casos con degeneración. La contribución más original de la Tesis ha sido la obtención de un único conjunto de autovectores completo re-

normalizado. Una vez obtenidos los autovectores renormalizados del sistema de ecuaciones en forma covariante, han de ser transformados al sistema de variables conservadas (las variables del sistema cuando lo escribimos en forma conservativa).

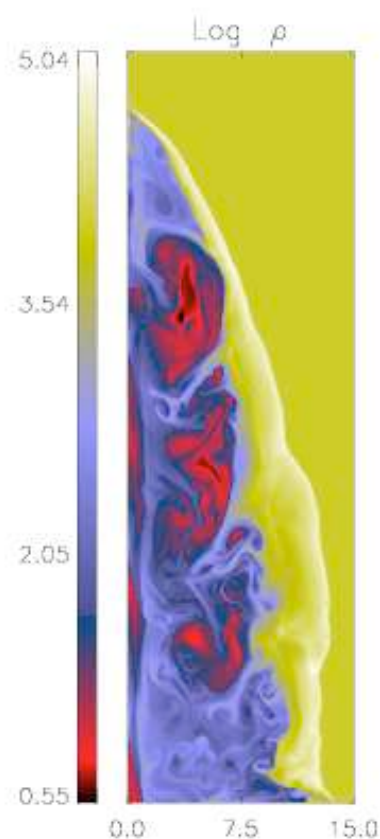


Figura 1 – Distribución de densidad para uno de los modelos de chorro magnetizado estudiados en la Tesis.

En la memoria se muestra el funcionamiento del código que hemos desarrollado basándonos en la descomposición espectral obtenida. Para valorar las prestaciones del código, hemos seleccionado una serie de problemas unidimensionales y bidimensionales. En la Figura 1 mostramos, como ejemplo, la simulación de un chorro axisimétrico magnetizado. Por último se presenta una extensión del código numérico y sus ingredientes esenciales al caso de

la magnetohidrodinámica en relatividad general. Para realizar esta extensión se ha adoptado el denominado formalismo $\{3 + 1\}$. Se muestran también resultados de tests de acrecimiento y resultados preliminares en el estudio de la evolución de discos gruesos magnetizados alrededor de agujeros

negros (Antón et al., 2006).

Anile, A.M., 1989, Relativistic fluids and magneto-fluids, Cambridge University Press

Antón, L. et al., ApJ, 2006, **637**, 296–312

Komissarov, S.S., 1999, MNRAS, **303**, 343-366

SIMULACIÓN DE SUCESOS DE ELECTRONES SOLARES CUASI-RELATIVISTAS

Neus Àgueda Costafreda

neus.agueda@gmail.com

Tesis doctoral dirigida por Blai Sanahuja, David Lario y Rami Vainio

Centro: Departament d'Astronomia i Meteorologia, Universitat de Barcelona

Fecha de lectura: 28 de abril de 2008

Los sucesos de electrones solares cuasi-relativistas (> 30 keV) se observan en el espacio interplanetario asociados con actividad solar transitoria; básicamente se trata de fulguraciones o eyecciones coronales de masa (CMEs). El estudio de estos sucesos permite profundizar en el conocimiento de los mecanismos de producción de partículas energéticas en las partes más externas de la atmósfera solar.

En esta tesis doctoral hemos desarrollado un modelo Monte Carlo para simular el transporte de electrones solares cuasi-relativistas entre el Sol y 1 UA, a lo largo del campo magnético interplanetario, que tiene en cuenta los efectos de la focalización adiabática, la dispersión en ángulo de batida y los efectos del viento solar. Asimismo hemos contruido un algoritmo que, por primera vez, permite transformar las distribuciones angulares de partículas simuladas en intensidades sectorizadas, observadas por un detector embarcado en una sonda estabilizada por su propio giro.

Combinando estos dos modelos, hemos desarrollado un algoritmo que permite, por primera vez, deconvolucionar los efectos del transporte interplane-

tario en las intensidades direccionales de partículas observadas por una sonda interplanetaria, con el objetivo de determinar, a partir del mejor ajuste posible, las características de su transporte y el perfil de inyección solar. Hemos aplicado el modelo al estudio de siete sucesos de electrones cuasi-relativistas observados por la sonda ACE, en L1, entre 1998 y 2004. El estudio ha permitido evaluar la contribución relativa de las fulguraciones solares y de los choques coronales conducidos por CMEs en la inyección de dichos electrones solares, así como las características de su transporte en el campo magnético interplanetario, en su viaje hasta 1 UA.

Una de las conclusiones del trabajo es la existencia de un amplio abanico de posibles escenarios para la inyección de electrones solares cuasi-relativistas: desde la inyección impulsiva en procesos fulgurativos hasta una inyección gradual asociada con choques coronales (conducidos por CMEs). Asimismo, el estudio demuestra que el transporte de los electrones se puede producir tanto en condiciones muy dispersivas como en condiciones de propagación casi libre.



Figura 1 – Observaciones in-situ de sucesos de partículas energéticas solares por sondas interplanetarias permiten el estudio de los procesos de aceleración de partículas en el Sol y de las características de su propagación en el espacio interplanetario.