

Evolución temporal de ondas magnetohidrodinámicas en arcadas coronales solares

Autor: Samuel Rial Lesaga (samuel.rial@uib.es)

Tesis doctoral dirigida por: Íñigo Arregui

Uribe-Echevarría y Ramón Oliver Herrero

Centro: Universidad de las Islas Baleares

Fecha de lectura: 11 de octubre de 2019

En la primera parte de esta tesis nos hemos centrado en el estudio de la evolución temporal de ondas magnetohidrodinámicas (MHD) en arcadas coronales solares. Hemos estudiado las propiedades de oscilaciones verticales de pequeña amplitud en una arcada potencial en la aproximación de plasma frío cuando se consideran diferentes modelos de atmósfera solar y de bucle coronal.

Inicialmente nos hemos centrado en la evolución temporal sin introducir en nuestro modelo un bucle coronal. El objetivo de empezar con un modelo simple es sentar una base que nos ayude a interpretar los resultados cuando luego se incluya una mayor complejidad en nuestro modelo. Mediante el análisis temporal hemos estudiado la otra cara de la moneda de las oscilaciones magnetohidrodinámicas, la cual a menudo se ha estudiado mediante el análisis de modos normales. Otro de nuestros objetivos es dar un paso adelante hacia la simulación de ondas MHD tridimensionales. Para ello, y siguiendo con nuestro criterio de ir de menor a mayor complejidad, permitiremos la propagación tridimensional de las perturbaciones manteniendo un modelo de equilibrio bidimensional. Esto es conocido como un modelo 2,5 dimensional.

En este caso dos tipos de experimentos han sido realizados. Primero hemos estudiado la transferencia de energía que se produce mediante absorción resonante entre un modo rápido del sistema y las ondas de Alfvén. Debido al acoplamiento resonante, el modo rápido, que tiene un carácter global, transfiere su energía a oscilaciones Alfvénicas que están muy localizadas alrededor de determinadas superficies magnéticas dentro de la arcada, lo cual produce una atenuación de la oscilación del modo rápido inicial. En el siguiente experimento, hemos excitado nuestro sistema con un pulso impulsivo que imita una perturbación coronal más realista. En este caso el frente de onda rápido deja energía en diferentes superficies magnéticas de la arcada. El resultado más notable es que el sistema es capaz de atrapar energía incluso cuando nuestro modelo no tiene en cuenta un bucle coronal.

En el siguiente paso hemos mantenido el modelo anterior y le hemos añadido un bucle coronal. En este caso nos hemos centrado en la atenuación que sufren las ondas cuando se propagan a través del bucle. Hemos examinado dos mecanismos físicos que podrían estar involucrados en la rápida atenuación de la oscilaciones verticales observadas en bucles coronales, que son la emisión de energía mediante *wave tunneling* y la absorción resonante. Hemos comparado los resultados de las simulaciones temporales con las propiedades conocidas que han de poseer los modos normales. Esto nos ha servido como un método de comprobación de nuestros resultados y además nos ha ayudado a entender cómo ambas visiones están relacionadas entre sí.

Cuando el modelo es puramente bidimensional, una perturbación inicial no es capaz de excitar los modos confinados del sistema. Al permitir la propagación tridimensional de las perturbaciones, básicamente tenemos dos resultados. El primero es que nuestro bucle es más eficiente a la hora de atrapar parte de la energía inicial en forma de oscilaciones verticales. El segundo es que debido al modelo de corona inhomogéneo que empleamos, el mecanismo de absorción resonante permite la atenuación de las oscilaciones verticales mediante la transferencia de energía desde el interior del bucle al medio coronal externo.

En la segunda parte de la tesis hemos investigado el uso de una nueva técnica para obtener los modos normales de un sistema a partir de los resultados temporales de simulaciones numéricas. Este método lo hemos aplicado a las oscilaciones transversales de un modelo de bucle coronal recto en el cual los modos normales pueden ser computados analíticamente. De este modo podemos comprobar si nuestro método nos permite recuperar los resultados analíticos además de ver cuáles son sus ventajas e inconvenientes.

El método es un proceso iterativo que consiste en la repetición de dos pasos. El primero es obtener los resultados numéricos de una simulación temporal. El segundo paso es hacer un análisis de funciones empíricas complejas ortogonales (CEOF) a los resultados temporales, que nos da una aproximación a los modos normales del sistema. En la primera iteración elegimos la aproximación proporcionada por CEOF al modo normal de nuestro interés y la empleamos como condición inicial para la simulación numérica de la segunda iteración. Repetimos el análisis CEOF y obtenemos una mejor aproximación al modo normal que nos interesa y, en consecuencia, una mejor condición inicial para la siguiente simulación numérica.

Mediante la aplicación repetida de este proceso, en cada iteración obtenemos una mejor aproximación de un modo normal. El proceso se detiene una vez que la diferencia entre dos aproximaciones sucesivas al modo normal está por debajo de un determinado valor prescrito. De este modo habremos obtenido los modos normales del sistema con el grado de precisión que deseemos.

Para el problema considerado en este trabajo, después de seis iteraciones la aproximación a la frecuencia y a las autofunciones del modo normal fundamental tienen una precisión superior al 0,7%, excepto para una autofunción que posee discontinuidades y que no puede ser recuperada con esta precisión tan elevada en la posición de dichas discontinuidades.

