

Damping of Magnetohydrodynamic Waves in Solar Prominence Fine Structures

Autor: Roberto Soler Juan

Tesis doctoral dirigida por: Ramón Oliver & Jose Luis Ballester

Centro: Universitat de les Illes Balears

Fecha de lectura: 27 de mayo de 2010

En esta Tesis se estudia la eficiencia de varios mecanismos físicos para la atenuación de ondas magnetohidrodinámicas (MHD) en estructuras finas de protuberancias y filamentos solares (threads). Este estudio está motivado por la frecuente detección, mediante observaciones de alta resolución, de oscilaciones transversales de pequeña amplitud y ondas propagándose en threads. Una característica típica de estas observaciones es que las oscilaciones están fuertemente atenuadas. La teoría de ondas MHD en tubos de flujo magnético proporciona una explicación consistente para estas oscilaciones. No obstante, no se conoce el mecanismo responsable de la atenuación. Por lo tanto, es necesario un estudio comparativo entre la eficiencia de diferentes mecanismos de atenuación de ondas MHD en threads de protuberancias para así determinar el efecto dominante.

Abordamos este estudio desde un punto de vista teórico. Nuestro modelo de thread está compuesto por un tubo cilíndrico de flujo magnético con plasma de protuberancia e inmerso en un ambiente coronal. Aplicamos a nuestro modelo las ecuaciones básicas de la MHD, en las cuales tenemos en cuenta la presencia de términos no ideales que pueden ser relevantes para la atenuación de ondas en protuberancias. Además, consideramos la presencia de flujos de material y el efecto de la no uniformidad del plasma en la dirección perpendicular a las líneas de campo magnético.

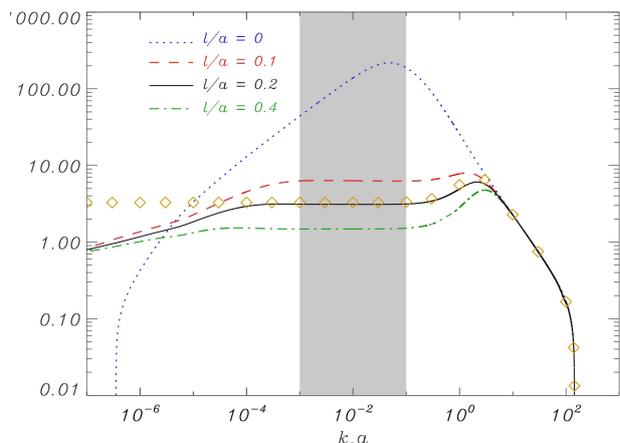
Nuestro método combina tratamientos analíticos junto con cálculos numéricos. Las ecuaciones básicas de la MHD se linealizan respecto al estado de equilibrio, sobre el cual se asumen pequeñas perturbaciones. Se estudia la frecuencia y las perturbaciones asociadas a los diferentes modos MHD. Consideramos tanto oscilaciones individuales de threads como oscilaciones colectivas de grupos de threads. Cuando es posible, realizamos aproximaciones razonables y seguimos un procedimiento analítico o semi-analítico que nos permite obtener expresiones para el periodo y el tiempo de atenuación de los distintos modos. En el caso general, resolveremos el problema de autovalores y autovectores de manera numérica. Ambos resultados, analíticos y numéricos, se comparan para determinar la veracidad de las aproximaciones.

De entre los modos oscilatorios MHD estudiados, concluimos que las oscilaciones transversales de threads corresponden a modos kink, los cuales son los únicos capaces de desplazar transversalmente el eje del thread y, por lo tanto, producir perturbaciones transversales similares a las observadas. Los modos kink tienen propiedades mixtas, magneto-acústicas y Alfvénicas. Por otra parte, relacionamos las oscilaciones longitudinales con modos lentos magneto-acústicos, es decir, ondas acústicas modificadas por la presencia del campo magnético.

Los mecanismos de atenuación considerados en este trabajo son: pérdidas energéticas por radiación, conducción térmica, colisiones entre iones y átomos neutros del plasma, difusión magnética, efecto Hall y el proceso conocido como absorción resonante. Nuestros resultados indican que el mecanismo dominante para la atenuación de oscilaciones transversales de threads (modos kink) es la absorción o acoplamiento resonante con modos de Alfvén. Hemos determinado que el proceso de absorción resonante no se ve afectado por el grado de ionización del plasma. Los tiempos de atenuación obtenidos son compatibles con los observados. En el caso de modos lentos magneto-acústicos, se puede obtener una atenuación eficiente al combinar las pérdidas por radiación y las colisiones entre iones y neutros. No obstante, existe una longitud de onda crítica para la propagación de modos lentos magneto-acústicos en función del grado de ionización del plasma. Para valores realistas de los parámetros físicos implicados, la longitud de onda crítica es del mismo orden de magnitud que las longitudes de onda observadas en oscilaciones de threads, resultado que podría explicar la ausencia de detecciones de modos longitudinales. Estas conclusiones se aplican tanto a oscilaciones individuales de threads como a oscilaciones colectivas de grupos de threads.

Finalmente, se ha estudiado la influencia de flujos de material sobre las oscilaciones. Con respecto a la atenuación, hemos obtenido que la presencia de flujos no influye sobre los tiempos de atenuación de los distintos modos. En cambio, el periodo de las oscilaciones se ve modificado, especialmente en el caso de los modos lentos magneto-acústicos. Para flujos cuyas velocidades exceden la velocidad local del sonido, los modos lentos magneto-acústicos sólo pueden propagarse en el mismo sentido del flujo. Por otra parte, la presencia de flujos en grupos de threads tiene un efecto de desacoplamiento sobre las oscilaciones colectivas, convirtiéndolas esencialmente en oscilaciones individuales.

Los resultados obtenidos en esta Tesis se han publicado en 11 artículos de investigación en revistas internacionales con alto índice de impacto (The Astrophysical Journal, Astronomy & Astrophysics, Solar Physics).



Atenuación del modo kink debida a absorción resonante en un thread de protuberancia parcialmente ionizado. Se representa el tiempo de atenuación, τ , partido por el periodo, P , en función del número de onda longitudinal, k_z , adimensionalizado con respecto al radio del thread, a . Las diferentes líneas corresponden a los resultados numéricos para diferentes valores de la escala de longitud de la no uniformidad transversal, l/a (indicado en la figura). Los símbolos representan la aproximación analítica para $l/a = 0.2$. La zona sombreada corresponde al rango típico de longitudes de onda de oscilaciones en