

Fast Magnetohydrodynamic Waves in Line-tied Solar Coronal Flux Tubes, (Antonio Jesús Díaz Medina)

1 Resultados más importantes

El objetivo de esta tesis es estudiar de forma teórica los modos magnetohidrodinámicos (MHD) rápidos que soportan estructuras coronales ancladas en la fotosfera (*line-tying*), concentrándonos en modos de oscilación estacionarios. Para ello, hemos deducido un par de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales para la perturbación de la presión magnética y de la velocidad. Partiendo de estas ecuaciones diferenciales, hemos aplicado separación de variables, obteniendo un problema de Sturm-Liouville, que hemos resuelto analíticamente en los casos sencillos y numéricamente en casos más realistas.

En primer lugar hemos tratado los *bucles coronales*, modelándolos como tubos cilíndricos de plasma más denso que el material coronal que los rodea. En el caso de un tubo homogéneo, comprobamos que la condición de *line-tying* motiva la aparición de más familias de modos confinados respecto a los resultados clásicos de un tubo infinito. Sin embargo, si se añade algún tipo de estructura en dirección longitudinal, tal como una capa densa en los pies simulando la cromosfera, estas nuevas familias desaparecen, quedando sólo superposiciones de ellas. Además, hemos estudiando los cambios al introducir perfiles de densidad en el eje z , asumiendo distintos perfiles de calentamiento coronal con sus correspondientes equilibrios y hallando los modos de oscilación del bucle.

En lo referente a *fibrillas de protuberancias*, hemos comenzado con los modos de oscilación de una única fibrilla Cartesiana. El resultado más importante es que pocos modos quedan atrapados en la fibrilla, mientras que el resto son evanescentes y se propagan por la corona. Además, en los modos supervivientes todo el entorno coronal vibra con la fibrilla (la amplitud no decae hasta unas 1000 veces la anchura de la estructura). Por otra parte, también hemos estudiado el caso de más de una fibrilla Cartesiana. Como resultado, aparecen modos en fase y en oposición de fase, pero lo más importante es que para valores de los parámetros esperados en la corona el único modo atrapado es aquel en que todas las fibrillas vibran en fase y el medio coronal vibra con ellas con casi la misma amplitud (de manera similar a la protuberancia oscilando como un bloque), pero con una frecuencia distinta a la de una única fibrilla. En último lugar, hemos hallado los modos de una fibrilla cilíndrica. Sigue habiendo muy pocos modos confinados, pero éstos ya no hacen vibrar todo el entorno, por lo que la energía de la oscilación queda casi toda en la fibrilla.

2 Impacto de los resultados

Las conclusiones de nuestro estudio han provocado un interés por el efecto de la estructura longitudinal en los bucles solares, con publicaciones de otros trabajos subsiguientes, como [1, 2, 3]. Así mismo, en mi posición actual he supervisado trabajos de estudiantes como continuación de los resultados de mi tesis [4, 5], y una de estas líneas (estudio de la influencia de la estructura coronal en las oscilaciones de bucles) ha sido el tema de la tesis de uno de ellos [9]. Además ha coincidido con otros trabajos similares [6, 7, 8] y contribuido a aumentar el interés de la seismología de bucles coronales, proponiéndose proyectos para misiones espaciales al respecto.

En lo referente a las fibrillas de protuberancias, los resultados han sido utilizados en la reciente detección de estos modos, así como en su interpretación [10, 11, 12]. Especialmente, se han considerado los modos colectivos, siendo objeto de activo estudio [13]. Además, los periodos resultantes dependen de las características del plasma, por lo que podemos hacer seismología coronal: determinar parámetros del plasma a partir de las observaciones. Por ejemplo, aplicado a las observaciones de oscilaciones en fibrillas estimamos un campo magnético del orden de 10 Gauss, coherente con otras determinaciones. Este es un nuevo enfoque, ya que hasta ahora sólo se había considerado la estructura global de protuberancias para la seismología [14, 15, 16]

3 Futuras líneas de actuación

Como ya ha sido descrito en los resultados, el formalismo matemático desarrollado ha sido utilizado en otros trabajos sobre oscilaciones de bucles desde la publicación de la tesis [1, 2, 3, 4, 5]. Los alumnos bajo mi supervisión siguen trabajando en este tipo de modelos, con perfiles de densidad más realistas. Las correcciones son necesarias, ya que la nueva generación de observatorios espaciales (STEREO, *Solar B* or SDO) tendrán una mayor capacidad para observar estas oscilaciones, permitiendo obtener más y mejores datos mediante la seismología coronal. Otra línea que estamos siguiendo es la extensión de estos resultados al modo MHD lento y el acoplamiento entre modos.

Por otra parte, respecto a los modelos colectivos, es necesaria una mayor comprensión de la interacción de estructuras. A este respecto ya hemos publicado el enlace entre los modos locales y globales en geometría Cartesiana [17]. Sin embargo, aun queda por explorar la interacción en geometrías más adecuadas, como la cilíndrica. Hemos iniciado el trabajo, siguiendo las líneas de [18, 19] (y referencias en ellos).

También hemos utilizado las ecuaciones deducidas en la tesis en el estudio de otros efectos, como la influencia de la curvatura [20, 21]. De nuevo, este estudio ha coincidido con un interés de la comunidad en estos resultados teóricos [22, 23, 24, 25]. El siguiente paso, ya siendo considerado, es unir ambos efectos: estructura y curvatura.

4 Publicaciones derivadas de la tesis

Solo incluiré los artículos que forman parte de la tesis, no las contribuciones a congresos ni las publicaciones posteriores (algunas de ellas han sido citadas en la exposición anterior). Para la lista completa de mis publicaciones es conveniente consultar el currículum que ya he adjuntado.

- Díaz, A. J., Oliver, R., Erdélyi, R. & Ballester, J. L. “Fast MHD Osc. in Prominence Fine Structures”, 2001, A&A, 379, 1083.
- Díaz, A. J., Oliver, R., & Ballester, J. L. “Fast MHD Osc. in Cylindrical Prominence Fibrils”, 2002, Ap.J., 580, 550.
- Díaz, A. J., Oliver, R., & Ballester, J. L. “Fast MHD Osc. in a 3-Dimensional Prominence Fibril”, 2003, A&A, 402, 781.
- Díaz, A. J., Oliver, R., Ballester, J. L., & Roberts, B. “Fast MHD Osc. in Line-Tied Homogeneous Coronal Loops”, 2004, A&A, 424, 1055.
- Díaz, A. J., Oliver, R., & Ballester, J. L. “Fast MHD Osc. in Multifibril Cartesian Systems”, 2005, A&A, 440, 1167.
- Díaz, A. J., Oliver, R., & Ballester, J. L. “Fast MHD Osc. in Coronal Loops with Heating Profiles”, 2006, Ap.J., in press.

References

- [1] Dymova, M. V. & Ruderman, M. S. 2005, Solar Phys., 229, 79.
- [2] Dymova, M. V., Ruderman, M. S., & Erdelyi. 2006, in preparation.
- [3] Verth, G. & Erdelyi, R. 2006, A&A, submitted.
- [4] Donnelly, G., Díaz, A. J., & Roberts, B. 2006, in prep.
- [5] McEwan, M., Donnelly, G. R., Díaz, A. J., & Roberts, B. 2006, submitted.
- [6] Miyagoshi, T., Yokohama, T., & Shimojo, M. 2004, Publ. Astron. Soc. Japan., 56, 207.
- [7] Andries, J., Goossens, M., & Arregui, I. 2005, Ap. J. L., 624, L57.
- [8] Andries, J., Goossens, M., Hollweg, J. V., Arregui, I., & Van Doorselaere, T. 2005, A&A, 430, 1109.
- [9] Donnelly, G. R.. 2006, *Ph. D. Thesis*, University of St Andrews.
- [10] Engvold, O.: 2004, in Stephanov, A.V., Benevolenskaya, E.E., and Kosovichev, A.G. (eds.), *Proc. IAU Colloq. on Multiwavelength Investigations of Solar Activity*, Cambridge University Press, 187.
- [11] Lin, Y.: 2004, *Ph.D. thesis*, Univ. of Oslo.
- [12] Lin, Y., Engvold, O., van der Voort, L.R., Wiik, J.E., and Berger, T.E.: 2005, Solar Phys., 226, 239.
- [13] Luna, M., Terradas, J., Oliver, R. & Ballester, J. L. 2006, A&A, submitted.
- [14] Régnier, S., Solomon, J., and Vial, J.C.: 2001, A&A, 376, 292.
- [15] Oliver, R., and Ballester, J.L.: 2002, Solar Phys., 206, 45.
- [16] Pouget, G., Bocchialini, K., and Solomon, J.: 2006, A&A, in press.
- [17] Díaz, A. J., & Roberts, B. 2006, Solar Phys., in press
- [18] Bogdan, T. J., & Zwiebel, E. G. 1985, Ap. J., 298, 867.
- [19] Bogdan, T. J., & Cattaneo, F. 1989, Ap. J., 342, 545.
- [20] Díaz, A. J., Zaqarashvili, T., & Roberts, B. 2006, A&A, in press.
- [21] Díaz, A. J. 2006, A&A, accepted.
- [22] Brady, C. S., & Arber, T. D. 2005, A&A, 438, 733.
- [23] Selwa, M., Murawski, K., & Solanki, S. K., Wang, T. J., & Tóth, G. 2005, A&A, 440, 385.
- [24] Verwichte, E., Foullon, C., & Nakariakov, V. M. 2006a, A&A, 446, 1139.
- [25] Verwichte, E., Foullon, C., & Nakariakov, V. M. 2006b, A&A, 449, 769.