

薄い降着円盤における磁気回転不安定性のWKB解析

WKB analysis of Axisymmetric Magneto-Rotational Instability in a Thin Accretion Disk

古川 勝 [1]; 吉田 善章 [1]

Masaru Furukawa[1]; Zensho Yoshida[1]

[1] 東大・新領域

[1] Grad. School Frontier Sci., Univ. Tokyo

<http://www.ppl.k.u-tokyo.ac.jp/>

概要: 薄い降着円盤における軸対称磁気回転不安定性 (MRI) の時間発展を、WKB 法を用いて解析した。降着円盤の厚さを微小パラメータとした。厚さ方向の密度分布により、モードのエンベロープの時間振動が加速することを明らかにした。

降着円盤 [1] における磁気回転不安定性 [2,3] は、Balbus と Hawley が異常角運動量輸送の原因として指摘 [4] して以来、注目されている。文献 [4] では、半径及び垂直方向に正弦波を仮定し、局所分散関係が導かれている。大域的モードについては、例えば文献 [5] で調べられているが、半径及び垂直方向のいずれかについては、やはり正弦波が仮定されている。また、非線形数値シミュレーション研究を除き、通常は固有値問題として扱われている。本研究では、このような正弦波を仮定せず、WKB 法を用い、初期値問題として磁気回転不安定性の時間発展を調べた。

基礎方程式としては、磁気流体力学 (MHD) モデルを採用する。平衡は、垂直方向の一様磁場と方位角方向の速度場を仮定し、温度は一様とした。回転速度が音速よりもずっと速い場合、降着円盤の典型的な厚さは小さい。また自己重力は考えていない。

安定性解析では、次の3つのスケール長をもったモードに着目する:(1) 半径方向に長波長、(2) 半径及び垂直方向に中間的スケール長、(3) 垂直方向に短波長。(1) は降着円盤の平衡の半径方向スケール長と同程度、(2) は平衡厚さと同程度であり、(3) はそれよりもずっと細かい。このようなモード構造を、円盤の厚さを微小パラメータとして、WKB 法を用いて表現する。すると、最低次では、良く知られた局所分散関係が得られる。次のオーダーでは、エンベロープの時間発展の式が得られる。これは時間に関して積分することが出来て、その結果、密度(あるいはアルベーン速度)の垂直方向分布により、エンベロープの時間振動が加速的に速くなることを明らかにした。

まとめると、我々は軸対称 MRI の過渡的時間発展を捕らえることに成功した。これは、従来の長い円柱配位あるいは固有値問題としての扱いでは不可能であった。本研究で採用した平衡は非常にシンプルなものであるが、MRI の大域的かつ初期値問題としての扱いの重要性を指摘するには十分であると考えられる。

[1] A review is given in, for example, S. A. Balbus and J. F. Hawley, Rev. Mod. Phys. Vol.70, 1 (1998).

[2] E. P. Velikhov, Sov. Phys. JETP vol.36(9), 995 (1959).

[3] S. Chandrasekhar, Proc. Nat. Acad. Sci. vol.46, 253 (1960).

[4] S. A. Balbus and J. F. Hawley, Astrophys. J. vol.376, 214 (1991);

[5] B. Dubrulle and E. Knobloch, Astron. Astrophys. vol.274, 667 (1993);

C. F. Gammie and S. A. Balbus, Mon. Not. R. Astron. Soc. vol.270, 138 (1994);

C. Curry, R. E. Pudritz and P. G. Sutherland, Astrophys. J. vol.434, 206 (1994);

B. Coppi and E. A. Keyes, Astrophys. J. vol.595, 1000 (2003).