

Instabilités MHD de cisaillement dans les régions radiatives stellaires : de la MRI à la GSF magnétisée

Auteurs: V.Durepaire, L.Petitdemange, K.Belkacem, A.Guseva, L.Manchon, R.Hollerbach, F.Daniel

Le ralentissement inattendu de la rotation des cœurs stellaires de faible masse suggère un mécanisme efficace de transport du moment angulaire dans lequel les champs magnétiques jouent probablement un rôle. Dans ce cadre, étudions les instabilités magnétohydrodynamiques (MHD) qui peuvent également contribuer à l'évolution du champ magnétique dans les zones radiatives stellaires. Nous nous concentrons ici sur les instabilités induites par le cisaillement – en particulier l'instabilité de Goldreich-Schubert-Fricke (GSF) et l'instabilité magnétorotationnelle (MRI) – qui pourraient jouer un rôle déterminant dans la dynamique interne des régions radiatives stellaires.

Nous effectuons une analyse détaillée de la stabilité linéaire locale à l'aide d'une approche numérique qui dépasse les cas limites classiques et intègre des effets stabilisateurs tels que la stratification et la tension magnétique, qui permet d'explorer des régimes d'écoulement plus réalistes. Ces résultats locaux sont ensuite validés par une analyse modale globale dans une configuration de Taylor-Couette. L'ensemble de ces méthodes nous permet d'identifier les régions instables, de quantifier les taux de croissance et d'évaluer la pertinence astrophysique des instabilités. Enfin, nous appliquons nos résultats à des modèles d'évolution d'étoiles sous-géantes et de jeunes géantes rouges, contraints par des observations récentes.

Dans les régimes de fort cisaillement, nous avons établi un nouveau critère pour l'instabilité GSF magnétisée (MGSF) et clarifié comment les effets magnétiques et de stratification restreignent le domaine instable, éclairant ainsi la transition entre MRI et MGSF. Les résultats obtenus en géométrie Taylor-Couette valident l'analyse locale, confirmant sa capacité à prédire de manière fiable les régions instables et à identifier l'instabilité dominante (MRI ou MGSF) dans des conditions stellaires données. Nous étendons ensuite cette analyse au régime non linéaire à l'aide de simulations numériques directes, ce qui nous permet de tester la robustesse des prédictions linéaires et d'explorer les processus de dynamo pouvant émerger de ces instabilités.

Appliqués à des modèles de sous-géantes et de jeunes géantes rouges, nos résultats montrent que les instabilités induites par le cisaillement peuvent croître rapidement pour des champs magnétiques inférieurs à 100 kG. Les critères analytiques indiquent où les modes MRI ou MGSF devraient apparaître en fonction de l'amplitude et de la position du cisaillement. Inversement, les champs axiaux intenses (~ 100 kG) confinés à la couche de combustion de l'hydrogène suppriment les instabilités, sauf si le cisaillement est suffisamment éloigné de cette couche.