

Moteur central des explosions extrêmes : amplification du champ magnétique dans les proto-étoiles à neutrons

Spécialité Astrophysique

Niveau d'étude Bac+5

Formation Master 2

Unité d'accueil

Candidature avant le 30/04/2018

Durée 3 mois

Poursuite possible en thèse oui

Contact [Guilet Jérôme](#)

+33 1 69 08 04 37

jerome.guilet@cea.fr

Autre lien

http://irfu.cea.fr/Sap/Phocea/Vie_des_labos/Ast/ast_technique.php?id_ast=4201

Résumé

Certaines explosions de supernovae extrêmes proviennent probablement de la naissance des étoiles à neutrons les plus magnétisées, appelées magnétars. Pour comprendre l'origine de ce champ magnétique, ce stage développera des simulations numériques d'une étoile à neutrons naissante.

Sujet détaillé

L'effondrement du cœur de fer des étoiles massives donne lieu à certaines des explosions les plus violentes de l'univers. Le mécanisme physique à l'origine de ces explosions reste cependant mal compris et sa description théorique constitue un des grands défis de l'astrophysique actuelle. Les plus extrêmes de ces explosions, de par leur énergie cinétique ou leur luminosité, indiquent très probablement la présence d'une rotation rapide et d'un fort champ magnétique capable d'extraire efficacement ce grand réservoir d'énergie cinétique. Elles pourraient ainsi marquer la naissance des étoiles à neutrons les plus magnétisées, appelées magnétars, dont le champ magnétique dipolaire atteint les plus grandes intensités connues de 10^{15} G. Ce stage portera sur une question majeure non-résolue : l'origine de ce champ magnétique extrême. Le processus considéré comme le plus probable est l'action d'une instabilité magnéto-hydrodynamique appelée instabilité magnétorotationnelle (ou MRI). Les simulations numériques d'une petite portion de l'étoile à neutrons en formation ont ainsi démontré une amplification efficace du champ magnétique (e.g. Guilet & Müller 2015). L'objectif actuel dans lequel ce stage s'inscrira est de déterminer l'efficacité de génération d'un champ magnétique cohérent à l'échelle de l'étoile à neutrons dans son ensemble. Ceci est un aspect crucial à la fois pour le déclenchement de l'explosion et pour expliquer les propriétés des magnétars galactiques. Des simulations numériques de l'ensemble de la proto-étoile à neutrons sont en cours de développement à l'aide du code MHD MagIC (<https://github.com/magic-sph/magic>). L'objectif de ce stage consistera à participer à ce développement en incluant l'effet de la stratification dans l'approximation dite de Boussinesq, et à exploiter les

simulations pour étudier le développement de l'instabilité magnétorotationnelle et la génération d'un champ magnétique à grande échelle.

Ce stage se déroulera au sein du laboratoire de modélisation des plasmas astrophysiques au Département d'Astrophysique du CEA Saclay et sera encadré par Jérôme Guilet. Il s'effectuera dans le cadre du projet ERC MagBURST «Exploding stars from first principles: MAGnetars as engines of hypernovae and gamma-ray BURSTs» (PI : Jérôme Guilet) et bénéficiera de la dynamique du groupe formé autour de ce projet.

Mots clés

Magnétohydrodynamique, astrophysique des hautes énergies, étoiles à neutrons, supernovae, sursauts gamma

Compétences

Simulations numériques

Logiciels

Fortran, python

Central engine of extreme explosions: magnetic field amplification in protoneutron stars

Summary

Some of the most extreme supernova explosions probably originate from the birth of the most magnetised neutron stars, known as magnetars. In order to model the origin of this extreme magnetic field, this internship will develop numerical simulations of a nascent neutron star.

Full description

The collapse of the iron core of massive stars gives rise to some of the most violent explosions of the universe. The physical mechanism driving these explosions is, however, not well understood and its theoretical description is one of the big challenges of modern astrophysics. The most extreme of these explosions - in terms of kinetic energy or luminosity - suggest the likely presence of a rapid rotation as well as a strong magnetic field which can efficiently extract this large kinetic energy reservoir. They could indeed correspond to the birth of the most magnetised neutron stars, called magnetars, which dipolar magnetic field of the order of 10^{15} G is the most intense known in the present universe. This internship will consider one major open question: the origin of this extreme magnetic field. The process widely considered as the most probable source of this magnetic field is the development of a magnetohydrodynamic instability called the magnetorotational instability (MRI). Numerical simulations of a small patch of a forming neutron star have demonstrated an efficient amplification of the magnetic field (e.g. Guilet & Müller 2015). This PhD project aims at determining for the first time the efficiency at generating a large-scale magnetic field coherent over the whole neutron star. This is crucial both for the launch of the explosion and to explain the properties of galactic magnetars. Numerical simulations of a global model of a proto-neutron star are being developed using the code MagIC (<https://github.com/magic-sph/magic>). The objective of this internship will consist in participating to this development by including the effect of buoyancy in the so-called Boussinesq approximation and in exploiting the simulation results in order to study the development of the magnetorotational instability and the generation of a large-scale magnetic field.

This internship will take place at the astrophysics division of CEA-Saclay in the astrophysical plasma modelling laboratory and will be supervised by Jérôme Guilet. It is part of the ERC project MagBURST «Exploding stars from first principles: MAGnetars as engines of hypernovae and gamma-ray BURSTs» (PI: Jérôme Guilet) and will benefit from the dynamics of the group formed around this project.

Keywords

Magnetohydrodynamics, high energy astrophysical phenomena, neutron stars, supernovae, gamma-ray bursts

Skills

Numerical simulations

Softwares

Fortran, python