

Soutenance de thèse du Service d'Astrophysique



Explosion asymétrique des supernovae gravitationnelles

Rémi HOSSEINI KAZERONI

SAP

Jeudi 13 Octobre – 14h00 – Salle Galilée

L'explosion en supernova gravitationnelle représente le stade ultime de l'évolution des étoiles massives. La contraction du coeur de fer peut être suivie d'une gigantesque explosion qui donne naissance à une étoile à neutrons. La dynamique multidimensionnelle de la région interne, pendant les premières centaines de millisecondes, joue un rôle crucial sur le succès de l'explosion car des instabilités hydrodynamiques sont capables de briser la symétrie sphérique de l'effondrement. Les mouvements transverses et à grande échelle générés par deux instabilités, la convection induite par les neutrinos et l'instabilité du choc d'accrétion stationnaire (SASI), augmentent l'efficacité du chauffage de la matière par les neutrinos au point de déclencher une explosion asymétrique et d'impacter les conditions de naissance de l'étoile à neutrons.

Dans cette thèse, les instabilités sont étudiées au moyen de simulations numériques de modèles simplifiés. Ces modèles permettent une vaste exploration de l'espace des paramètres et une meilleure compréhension physique des instabilités, généralement inaccessibles aux modèles réalistes.

L'analyse du régime non-linéaire de SASI établit les conditions de formation d'un mode spiral et évalue sa capacité à redistribuer radialement le moment cinétique. L'effet de la rotation sur la dynamique du choc d'accrétion est également pris en compte. Si la rotation est suffisamment rapide, une instabilité de corotation se superpose à SASI et impacte grandement la dynamique. Les simulations permettent de mieux contraindre l'importance des modes non-axisymétriques dans le bilan de moment cinétique de l'effondrement du coeur de fer en étoile à neutrons. SASI pourrait sous certaines conditions accélérer ou ralentir la rotation du pulsar formé dans l'explosion. Enfin, une étude d'un modèle idéalisé de la région de chauffage est menée pour caractériser le déclenchement non-linéaire de la convection par des perturbations telles que celles produites par SASI ou les inhomogénéités de combustion pré-effondrement. L'analyse de la dimensionnalité sur le développement de la convection permet de discuter l'interprétation des modèles globaux et met en évidence les effets bénéfiques de la dynamique tridimensionnelle sur le déclenchement de l'explosion.

Asymmetric explosion of core-collapse supernovae

A core-collapse supernova represents the ultimate stage of the evolution of massive stars. The iron core contraction may be followed by a gigantic explosion which gives birth to a neutron star. The multidimensional dynamics of the innermost region, during the first hundreds milliseconds, plays a decisive role on the explosion success because hydrodynamical instabilities are able to break the spherical symmetry of the collapse. Large scale transverse motions generated by two instabilities, the neutrino-driven convection and the Standing Accretion Shock Instability (SASI), increase the heating efficiency up to the point of launching an asymmetric explosion and influencing the birth properties of the neutron star.

In this thesis, hydrodynamical instabilities are studied using numerical simulations of simplified models. These models enable a wide exploration of the parameter space and a better physical understanding of the instabilities, generally inaccessible to realistic models.

The non-linear regime of SASI is analysed to characterize the conditions under which a spiral mode prevails and to assess its ability to redistribute angular momentum radially. The influence of rotation on the shock dynamics is also addressed. For fast enough rotation rates, a corotation instability overlaps with SASI and greatly impacts the dynamics. The simulations enable to better constrain the effect of non-axisymmetric modes on the angular momentum budget of the iron core collapsing into a neutron star.

SASI may under specific conditions spin up or down the pulsar born during the explosion.

Finally, an idealised model of the heating region is studied to characterize the non-linear onset of convection by perturbations such as those produced by SASI or pre-collapse combustion inhomogeneities.

The dimensionality issue is examined to stress the beneficial consequences of the three-dimensional dynamics on the onset of the explosion.