

Relaxation de la rotation différentielle au sein des étoiles massives

Encadrant: Michel Rieutord & Joey Mombarg

English below

L'évolution de la rotation des étoiles est une question importante encore non complètement résolue du point de vue de l'évolution stellaire. Elle est en fait encore source de nombreuses incertitudes quant à la structure et à l'évolution des étoiles. Ce stage propose de contribuer à améliorer nos connaissances des effets de la rotation sur les étoiles.

Les réactions nucléaires se produisant au cœur des étoiles consomment des particules et provoquent ainsi une augmentation de la température des régions centrales, conduisant à une augmentation de leur luminosité et de leur rayon. Lorsque l'étoile est en rotation, son expansion implique un ralentissement de la rotation par effet de conservation du moment cinétique. Cet ajustement n'est cependant pas instantané et suppose l'amortissement d'ondes dites baroclines qui, par leur action, vont permettre une nouvelle distribution du moment cinétique au sein de l'étoile et donc de sa rotation différentielle interne. Selon l'échelle de temps sur laquelle se produit cette relaxation, l'étoile atteindra ou non la rotation critique. Si cette rotation est atteinte, la vitesse équatoriale de l'étoile est képlérienne et celle-ci commence à perdre de la masse via un disque d'excrétion, ce qui produit l'apparition de raies d'émission dans le spectre de l'étoile (le phénomène Be).

Au cours de ce stage, on étudiera donc ce processus de relaxation et on déterminera en particulier son échelle de temps en fonction des différentes caractéristiques de l'étoile. Ceci nous permettra de mieux comprendre dans quelles conditions le phénomène Be peut apparaître. On utilisera pour cela des modèles plus ou moins simplifiés des étoiles dites de type précoces, i.e. de masse supérieure à deux masses solaires. L'étudiant aura à sa disposition de nombreux outils numériques et notamment le code ESTER qui modélise la structure et l'évolution d'une étoile en rotation rapide en deux dimensions (voir page <http://userpages.irap.omp.eu/~mrieutord/ESTER.html>).

Ce stage (financé par le projet ERC 4D STAR) se déroulera à l'IRAP (Toulouse) dans l'équipe PS2E (Physique du Soleil, des Étoiles et des Exo-planètes).

.../...

Evolution of differential rotation in massive stars

The rotational evolution of stars is still one of the main open questions in stellar evolution theory. Because of rotation, stellar models still contain many uncertainties which plague our understanding of stellar evolution. This internship proposes to contribute to a better understanding of the effects of rotation.

Nuclear reactions that occur in the central parts of stars reduce the number of particles and thus drive an increase of temperature with time thus leading to a growth of the luminosity and radius of the star. When the star is rotating, its expansion implies a slow down of its rotation by angular momentum conservation effect. This adjustment is however not instantaneous and needs the damping of so-called baroclinic waves, which thus allow for a new distribution of angular momentum, or equivalently, a new internal differential rotation. Depending on whether this time scale is sufficiently shorter than the nuclear one, the star may or may not reach the critical angular velocity during the main sequence. If that critical velocity is reached, the equatorial velocity of the star is Keplerian, and stellar matter then outflows, forming an excretion disc which shows up as the Be phenomenon.

During this internship, we will study the foregoing relaxation process and determine its time scale, and its dependence with respect to the parameters of the star. This will provide us with a better understanding under which conditions the Be phenomenon can form. We shall use state-of-the-art two-dimensional stellar models of massive stars. The student will have access to several numerical tools, and among them the ESTER code, which can model the structure and evolution of rapidly rotating stars in two dimensions (see <http://userpages.irap.omp.eu/~mrieutord/ESTER.html>).

This internship will take place at IRAP (Toulouse) within the team PS2E (Physique du Soleil, des Étoiles et des Exo-planètes) and will be financially supported by the ERC-’4D STAR’ project.

Références:

- Rieutord M. (2005), “On the dynamics of radiative zones in rotating stars”, in Stellar fluid dynamics and numerical simulations: From the sun to neutron stars, Rieutord and Dubrulle eds, EAS pub. series, vol. 21, pp. 275-295
(<http://userpages.irap.omp.eu/~mrieutord/articles/2005EAS.pdf>)
- Mombarg J., Rieutord M. and Espinosa Lara F. (2023) “The first two-dimensional stellar structure and evolution models of rotating stars. Calibration to β Cephei pulsator HD192575”, in Astron. Astrophys., vol. 677, L5
(<https://www.aanda.org/articles/aa/pdf/2023/09/aa47454-23.pdf>)

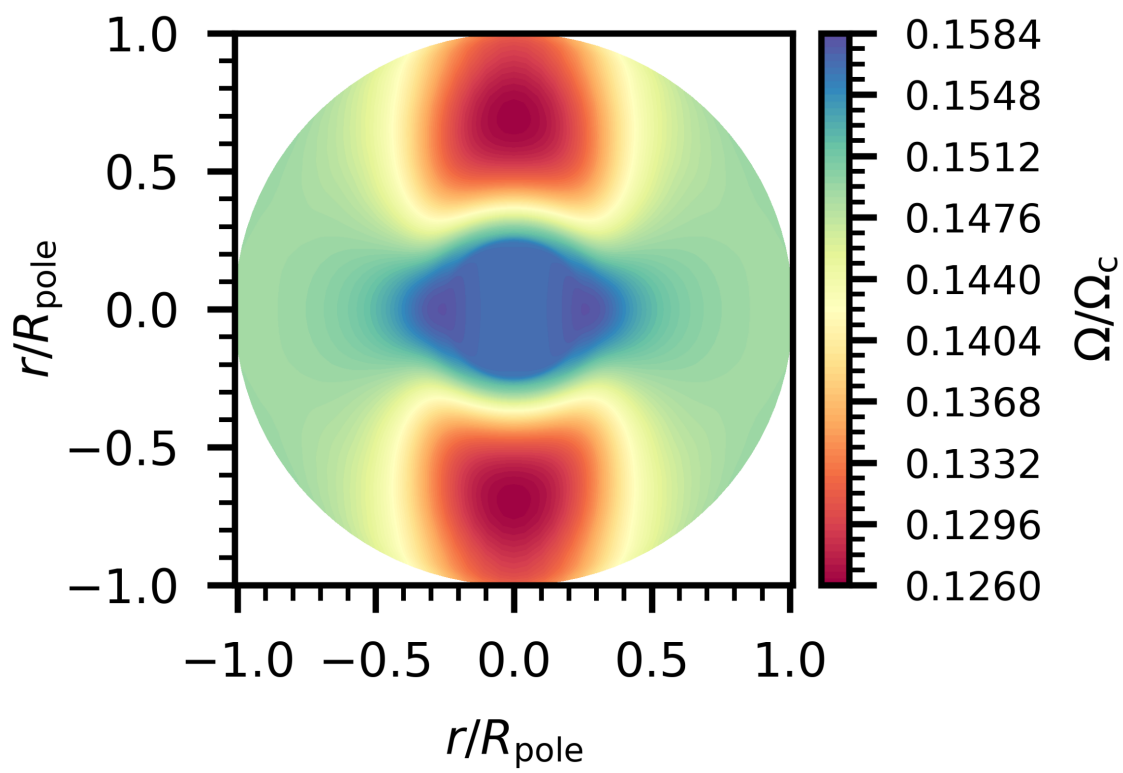


Figure 1: Differential rotation of a $12 M_{\odot}$ stellar model as computed with the ESTER code.