

LA MORPHOLOGIE DU SYSTÈME DE BETA LYRAE RÉVÉLÉE PAR L'ANALYSE D'OBSERVATIONS INTERFÉROMÉTRIQUES, SPECTROSCOPIQUES ET PHOTOMÉTRIQUES AU MOYEN D'UN MODELE PHYSIQUE

Morphology of Beta Lyrae revealed by analysis of interferometric, spectroscopic and photometric observations using a physical model

Daniel Bonneau

Astronome honoraire à l'observatoire de la Côte d'Azur
Collaborateur bénévole du Laboratoire Lagrange.



Résumé.

Des progrès considérables ont été obtenus dans la connaissance de la morphologie et des propriétés physiques du système β Lyrae, l'archétype des binaires en interaction avec échange et perte de masse. L'étude la plus récente, menée dans le cadre d'une collaboration internationale, associe les résultats d'observations à haute résolution angulaire par interférométrie à longue base, des mesures photométriques et des observations spectroscopiques à haute résolution pour contraindre les paramètres d'un modèle physique complexe.

Abstract.

Considerable progress have been made in the knowledge of the morphology and physical properties of β Lyrae system, the archetype of interacting binary with exchange and mass loss. The most recent study conducted as part of an international collaboration, combines the results of angular high-resolution observations by optical long baseline interferometry, photometric measurements and high-resolution spectroscopic observations to constrain the parameters of a complex physical model.



Les systèmes binaires serrés sont le siège de phénomènes d'échange et de perte de masse qui affectent significativement leur évolution. Des études et modélisations des processus physiques en jeu, concernant notamment les transferts radiatifs et les interactions hydrodynamiques, ont été faites, mais une théorie globale de ces processus reste à développer. Pour cela, il est nécessaire de disposer d'observations détaillées de binaires en interaction.

Beta Lyrae, binaire à éclipses et spectroscopique de période 12,9 jours (Figure 1) est le prototype des systèmes « semi-détachés ». Les composantes du système sont déformées par leur attraction mutuelle, l'étoile la plus lumineuse, une géante bleue (B6-8II, $M \cong 3 M_{\odot}$), perdant de la matière vers une étoile massive (B0-2V, $M \cong 13 M_{\odot}$) cachée au centre d'un disque d'accrétion. La lente augmentation de la période orbitale, de 19 s/a, est l'indice d'une perte de masse du système.

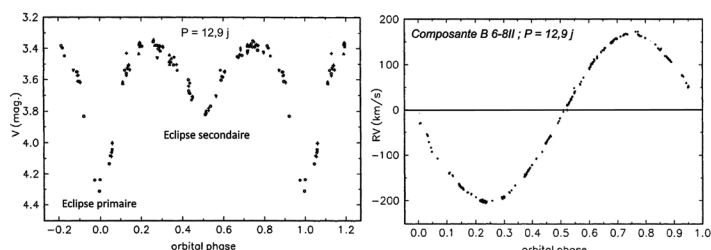
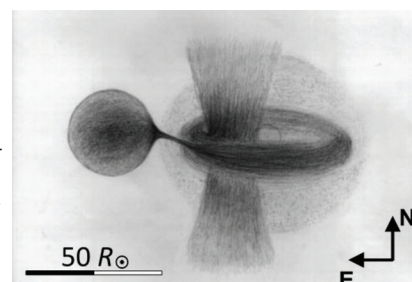


Figure 1. β Lyrae : courbe de lumière de la binaire à éclipse (à gauche) ; courbe des vitesses radiales de la binaire spectroscopique SB1 (à droite) (d'après P. Harmanec et al. 1996)

Une première campagne internationale d'observation multi technique, organisée par l'astronome tchèque Petr Harmanec entre 1991 et 1994, a fourni un ensemble de données, spectro-interférométriques dans le visible (GI2T de l'observatoire de Calern), spectroscopiques (télescopes de 2 m d'Ondřejov et 1,22 m du DAO) et photométriques (télescopes ATP du Mont

Hopkins, de l'observatoire Hvar et du Jungfrauoch). L'analyse de ces mesures conduit à supposer que l'essentiel de l'émission dans les raies de H α et He I 6678 provenait de jets perpendiculaires au plan orbital de la binaire, émanant probablement d'une région d'interaction entre le flux de gaz s'échappant de la composante brillante B6-8II et le disque d'accrétion entourant la composante massive (P. Harmanec et al. 1996). La Figure 2 montre une vue d'artiste du système de β Lyrae tel qu'il est imaginé sur la base des résultats de cette première étude globale, mais de nombreuses questions se posaient encore (P. Harmanec 2002).

Figure 2. Vue d'artiste de l'aspect probable du système de β Lyr montrant, à l'échelle, ses divers composants : étoile brillante, flux gazeux, disque d'accrétion, jets, halo de diffusion / vent stellaire au-dessus des régions polaires de l'étoile massive cachée au centre du disque. Le système est vu à l'élongation (d'après P. Harmanec, 2002).



En 2006-2007, 6 observations interférométriques de β Lyrae sont réalisées dans l'infrarouge proche (bande H; $\lambda \sim 1,6 \mu m$) avec 6 lignes de base et le recombineur Michigan InfraRed Combiner (MIRC) du réseau CHARA du Mont Wilson. Ces observations ont permis de reconstruire, par synthèse d'ouverture optique avec une résolution angulaire de 0,5 mas, les premières images du système de β Lyrae puis, par ajustement de modèles, de calculer la première orbite apparente de β Lyrae ainsi qu'une estimation de sa distance (Figure 3).

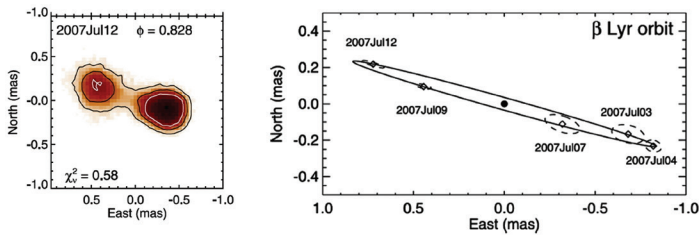


Figure 3. Exemple d'image de β Lyrae reconstruite par synthèse d'ouverture optique (à gauche) et dessin de l'orbite calculée (à droite) avec $P = 19,94$ j ; $i = 92,2^\circ$; $\Omega = 254,4^\circ$; $a = 0,87$ mas (d'après M. Zhao et al. 2008).

En 2013, une nouvelle étude du système de β Lyrae est entreprise dans le cadre d'une collaboration internationale. Les données interférométriques seront produites par les instruments Visible spEctroGraph and polArimeter (VEGA; visible) et MIRC (bande H) sur le réseau CHARA et le Navy Precision Optical Interferometer (NPOI; visible) avec une résolution angulaire de $\sim 0,25$ mas en visible et $\sim 0,5$ mas en IR. Les observations photométriques (bandes UBVR) ont été fournies par l'observatoire de Hvar et complétées par des mesures en UV des observatoires spatiaux OAO-A2, IUE et Voyagers. Les données spectroscopiques sont basées sur les spectres à haute résolution dans la région des raies en émission de $H\alpha$ et He I 6678 obtenus avec le télescope d'Ondřejov.

L'analyse de ces jeux de données a été faite en deux temps. Le premier objectif a été de déterminer avec précision la morphologie des régions optiquement opaques du système de β Lyrae (composantes stellaires et disque d'accrétion) observées dans le continuum spectral. Pour cela, un code de transfert radiatif à 1D, conçu pour interpréter des données spectroscopiques et photométriques, a été modifié pour modéliser en 3D la morphologie du système, calculer les observables interférométriques et permettre l'optimisation des 15 paramètres libres du modèle. (D. Mourard et al. 2018).

Le deuxième objectif a consisté à révéler la morphologie des régions optiquement mince du système (jets, flux de matière entre les composantes, environnement circumstellaire) dans lequel se forme la lumière observée dans les raies spectrales en émission, notamment $H\alpha$ et He I 6678. Pour cela, le modèle physique a été complété pour calculer de nouveaux

observables spectro-interférométriques (visibilités et phases différentielles) et spectroscopiques (tomographie Doppler) et obtenir l'optimisation des 38 paramètres libres du modèle (M. Brož et al. 2021).

Ce travail a permis de préciser considérablement la morphologie et les paramètres physiques du système de β Lyrae, l'étoile primaire invisible, l'étoile secondaire remplissant son lobe de Roche, le disque d'accrétion et son atmosphère, les jets et la coquille circumstellaire.

La figure 4 montre l'aspect du système de β Lyrae dans le continuum et à travers la raie $H\alpha$ montré par les meilleurs modèles et une animation est visible à l'adresse <https://sirrah.troja.mff.cuni.cz/~mira/betalyr/>.

Références.

Jet-like structure in β Lyrae. Results of optical interferometry, spectroscopy and photometry, P. Harmanec et al. 1996 A&A 312, 889.

<https://ui.adsabs.harvard.edu/#abs/1996A%26A...312..879H/abstract>

The ever challenging emission-line binary β Lyrae, P. Harmanec, 2002, AN 323, 87

[https://doi.org/10.1002/1521-3994\(200207\)323:2%3C87::AID-ASNA87%3E3.0.CO;2-P](https://doi.org/10.1002/1521-3994(200207)323:2%3C87::AID-ASNA87%3E3.0.CO;2-P)

First resolved images of the eclipsing and interacting binary β Lyrae, M. Zhao et al., 2008 Ap. J. 684, L95

https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/2008ApJ...684L..95Z/EPRINT_PDF

Physical properties of β Lyrae A and its opaque accretion disk, D. Mourard et al., 2018 A&A 618, A112.

https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/2018A%26A...618A.112M/EPRINT_PDF

Optically thin circumstellar medium in the β Lyr A system, M. Brož et al. 2021, A&A 645, A51.

https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/2021A%26A...645A..51B/EPRINT_PDF

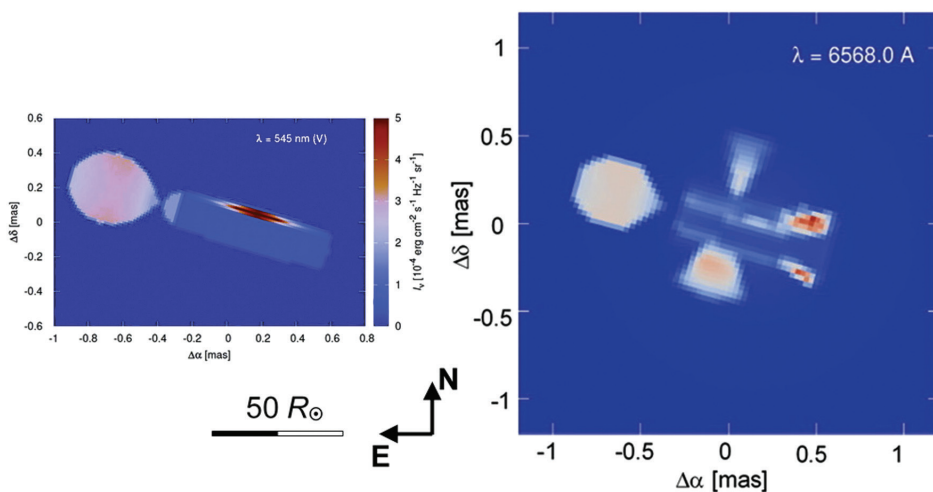


Figure 4. Exemples d'images du système de β Lyrae synthétisées par les meilleurs modèles contraints par l'ensemble des observations interférométriques, photométriques et spectroscopiques. Aspect de β Lyrae vue dans le spectre continu (à gauche, d'après D. Mourard et al. 2018) et dans une longueur d'onde de la raie $H\alpha$ en émission (à droite, d'après M. Brož et al. 2021).

