Összefoglalás

A pulzáció és a csillagfejlődés szimultán, konzisztens modellezése még várat magára. A dolgozatban néhány példát érintve azt mutatom be, hogy az említett két jelenség együttes vizsgálata – bizonyos egyszerűsítő feltételekkel – mégis mennyire gyümölcsözőnek bizonyul a pulzációelméletben. A témát az RR Lyrae csillagokra mint az asztrofizika számos területén (kor- és távolságmérés, galaktikus szerkezet, pulzáció stb.) fontos szerepet játszó objektumokra koncentrálva vizsgálom.

A klasszikus, radiálisan pulzáló változók esetében lehetővé vált a csillag instabilitási sávon keresztül történő fejlődésének végigkövetése – pulzációs szempontból. Ezt nemlineáris, turbulens konvekcióról is számot adó hidrodinamikai pulzációs kód, az amplitúdóegyenlet formalizmusának és az analitikus függvény módszerének együttes használata teszi automatikussá. A módszer meglepően hatékony, mert szolgáltatja az egyébként nehezen megtalálható, keskeny kétmódusú tartományokat, ezenkívül alkalmazható a tranziens jelenségek (pl. módusváltás) és a még hosszabb (csillagfejlődési) időskálákon végbemenő folyamatok vizsgálatára is.

Ezt kihasználva részletesen feltérképeztem az RR Lyrae instabilitási sáv szerkezetét. A már ismert alapmódusú (F), felhangbeli (O1) és két stabil fixponttal jellemezhető tartomány (F/O1) mellett elsőként vizsgáltam a kétmódusú tartományokat (DM, F/DM) a csillagok tömege, luminozitása, fémtartalma és effektív hőmérséklete függvényében. Ezek az új eredmények többek között azért fontosak, mert a módusszelekció és a csillagfejlődés együtt határozzák meg a kétmódusú pulzáció bekövetkeztét, illetve az instabilitási sáv egyéb megfigyelhető jellemzőit is lényegesen befolyásolják.

Monte-Carlo szimulációval szintetikus horizontális ági populációt generálva megmutattam, hogy a módusszelekciós hiszterézist (tehát a modellszámításaim eredményeit és fejlődési hatásokat is) figyelembe véve természetes módon adódik az alapmódus kék szélének régóta vitatott meredeksége.

A csillagfejlődés és a kétmódusú pulzáció kapcsolatát vizsgálva megállapítottam, hogy a kétmódusú sáv nemcsak hőmérsékletben, hanem a csillagtömeget tekintve is viszonylag keskeny, nagyobb fémesség felé viszont eltűnik a fejlődési görbék és a kétmódusú tartomány metszéspontja. A kétmódusú csillagok mindmáig legfontosabb diagnosztikus diagramja – a Petersen-diagram – is jól reprodukálható a modelljeim és a csillagfejlődés együttes tárgyalása révén.

A dolgozatban kitérek a bemutatott módszerek szélesebb körű használatának és továbbfejlesztésének lehetséges irányaira is.

Summary

The simultaneous, consistent modelling of pulsation and stellar evolution has not yet been realized. In this thesis I demonstrate with a few examples that under simplifying assumptions the collective treatment of the two phenomena has been turned out to be fruitful in pulsation theory. The subject is presented by focussing on the example of RR Lyrae stars, being fundamental cornerstones in many field of astrophysics (age and distance calibration, galactic structure, pulsation, etc.).

It has become possible to follow the pulsational behavior of a star along its evolution throughout the whole instability strip in the case of classical radially pulsating variable stars. The procedure can be carried out automatically by the combined use of nonlinear hydrodynamical pulsational code involving turbulent convection, the amplitude equation formalism and the analytic signal method. This technique is quite effective, as it provides the elusive, very narrow double-mode regions and is applicable to investigate transient phenomena (e.g. mode switching), as well as events of even longer time scales (evolution).

Exploiting this potential I have mapped the structure of the RR Lyrae instability strip in detail. Besides the well-known fundamental mode (F), first overtone (O1) and transient zones (F/O1), I have studied for the first time the double-mode (DM, F/DM) regions as a function of stellar mass, luminosity, metallicity and effective temperature. These new results are important, because mode selection and evolution jointly determine the occurrence of double-mode pulsation and also have substantial influence on the observable features of the instability strip.

By generating synthetic horizontal branch population–using Monte-Carlo simulations–I have shown that the long-debated slope of the fundamental blue edge emerges naturally if the mode selection hysteresis (i.e. our models, as well as the effects of evolution) is taken into account.

It was established by exploring the interaction of the stellar evolution and mode selection that the double-mode region is narrow not only in temperature, but also in stellar mass. For high metallicity the evolutionary tracks cease to cross the computed double-mode region. The most important diagnostic diagram of double-mode stars to date (Petersen-diagram) is also well reproduced by the combined treatment of pulsational models and stellar evolution.

At the end of the work I discuss the possible ways of generalization and improvement of the presented methods.