

1. félévi beszámoló

Kovács Gábor (kovacs.gabor@csfk.mta.hu)
Részecskefizika és Csillagászat PHD program
Témavezető: Szabó Róbert

A dolgozat címe: Numerical modeling of stellar pulsations in 2D and 3D

Bevezetés A számítógép megjelenése óta igyekeznek a csillagászok és asztrofizikusok numerikus modell kódok segítségével megérteni a klasszikus radiálisan pulzáló változócsillagokban (RR Lyrae csillagok, cefeidák) lezajló fizikai folyamatokat. Az elmúlt több mint fél évszázadban ezekkel a programokkal több rész kérdést is sikerült megválaszolni. Az első ilyen programok a csillagokat egydimenziós közelítésben modellezték, melyben csak a legalapvetőbb fizikai folyamatokat (pl.: sugárzási energiatranszport) vették figyelembe. A hardveres lehetőségek a mai viszonyokhoz viszonyítva rendkívül korlátozottak voltak. Mégis, az elmúlt több mint fél évszázadban ezekkel a programokkal sikerült olyan áttöréseket elérni, mint a radiális pulzációt vezérlő mechanizmusok sikeres modellezése, vagy a konvekciós áramlások egydimenziós közelítését felhasználva a többmódusú radiális pulzáció leírása. Ezekben az eredmények jelentős volt a magyar részvétel: a terület a hazai csillagászat legszebb hagyományai közé tartozik. Ezek a numerikus kódok mára elérték határaikat, hiszen a legtöbb fizikai probléma modellezése (konvekció, mágneses-tér, forgás stb.) is többdimenziós kezelést kíván, illetve az új égbolttelmérések és ultrapontos fotometriai mérések olyan jelenségeket tártak fel, amiket ezek a kódok már nem képesek reprodukálni.

A részben hazai fejlesztésű Budapest-Florida kód (mellyel a korábban említett eredmények egy jelentős részét érték el hazai kutatók) szintén egy dimenziós (Buchler és Kolláth 1997). Emellett az egyedülálló kanadai fejlesztésű modellprogram, a SPHERLS (Geroux és Deupree 2011) (SPHERical Euler Radial Langrangian Scheme) kóddal a konvekció csillagpulzációra történő hatása is vizsgálható két és három dimenzióban. A SPHERLS segítségével ellenőrizhetővé válik, hogy az egy dimenzióban alkalmazott közelítések helyesek-e. Jelenleg problémát jelent a nagy számítási igény következtében a többdimenziós futások hosszú (hetekig tartó) számítási ideje.

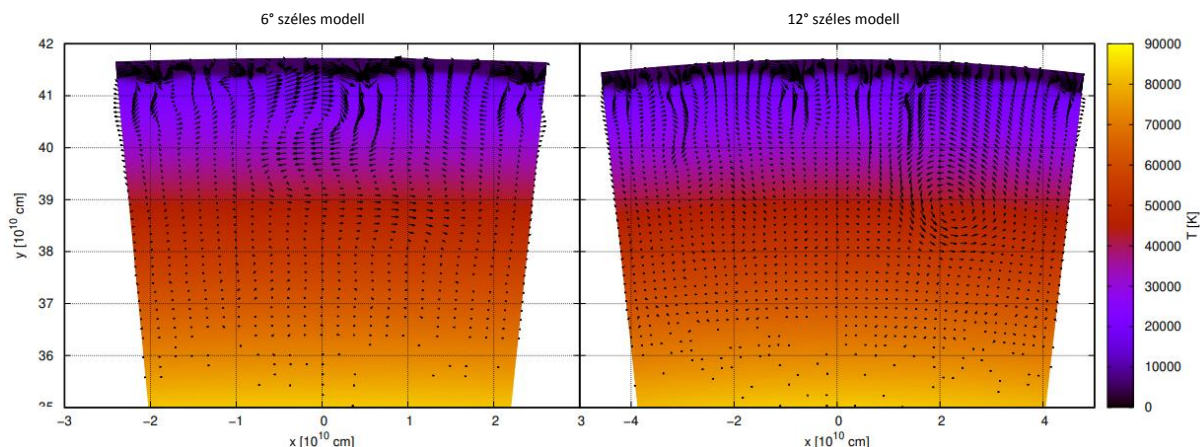
Az aktuális félévben elvégzett kutatások ismertetése *Fő távlati célom a SPHERLS segítségével vizsgálni a konvekciót és a nemradiális módusokat klasszikus pulzálóknban, amelyhez először a Budapest-Florida kód segítségével ellenőrzöm és pontosítom az egydimenziós számításokat, aminek első lépése a két különböző programkód működésének ellenőrzése és összehangolása.* Ezen folyamat a félévben elvégzett lépéseit részletezem a következőkben.

A SPHERLS kód a több-dimenziós modellezést úgy valósítja meg, hogy egy adott nyílásszögű gömbcikkben (vagy 2D számítás esetén körcikkben) számítja ki a hidrodinamikai változókat periodikus határfeltétellel. Ez a periodikus határfeltétel magában hordozza a veszélyt, hogy a kialakuló konvektív cellák méretét, fizikáját befolyásolja. Ennek az eshetőségnek a kizárására végeztem futtatásokat egy 6°-os és egy 12°-os nyílásszögű körcikkre. A számításokhoz használt modellcsillag paraméterei:

$$L = 50 L_{\odot}, M = 0.7 M_{\odot}, T_{\text{eff}} = 6300\text{K}, X = 0.75, Z = 0.0005$$

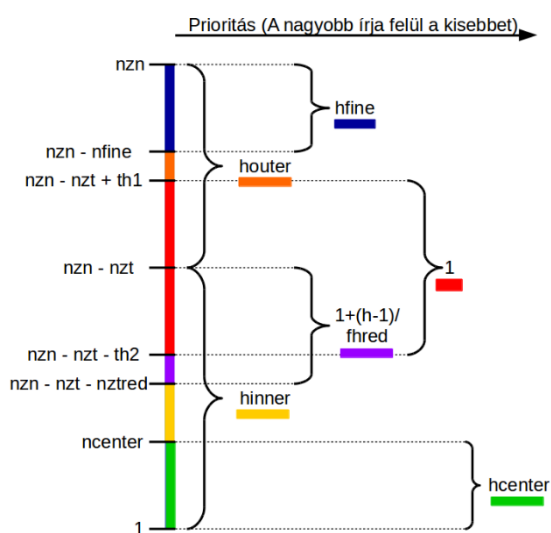
Az így kapott eredményekből kitűnik, hogy a dupla méretű körcikk, dupla mennyiségű, és nem dupla méretű konvektív cellákat okoz (lásd 1. ábra). Ez alapján a számítások gyorsításához használhatjuk a lehető legkisebb nyílásszöget (Ami 6°-nak adódott).

Az eredeti szerzők (Geroux és Deupree 2015) megmutatták, hogy a 3D-s számítások eredményei csak néhány százalékban térnek el a 2D-s számítások eredményeitől, viszont jóval hosszabb futási időt igényelnek, ezért én is csak 2D számításokat végzek egyelőre.



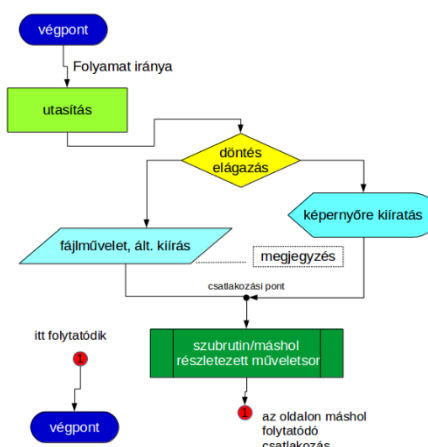
1. ábra Modellfuttatások 6 és 12 fokos nyílásszöggel. A nyilak az adott pontbeli normált sebesség nagyságát és irányát mutatják, a színskála pedig a hőmérsékletet. Látható, hogy a kétszer olyan széles modellben kétszer annyi konvektív cella található, tehát a periodikus határfeltétel nem befolyásolja a modell fizikáját.

A rács felépítését szabályozó változók hatásai



2. ábra A rács felépítését szabályozó változók a Budapest-Florida kódban. Az nz kezdetű változók rácson belüli határcellákat jelölnek, a jobb oldali változók pedig a rácsközök felosztását szabályozzák.

Jelmagyarázat

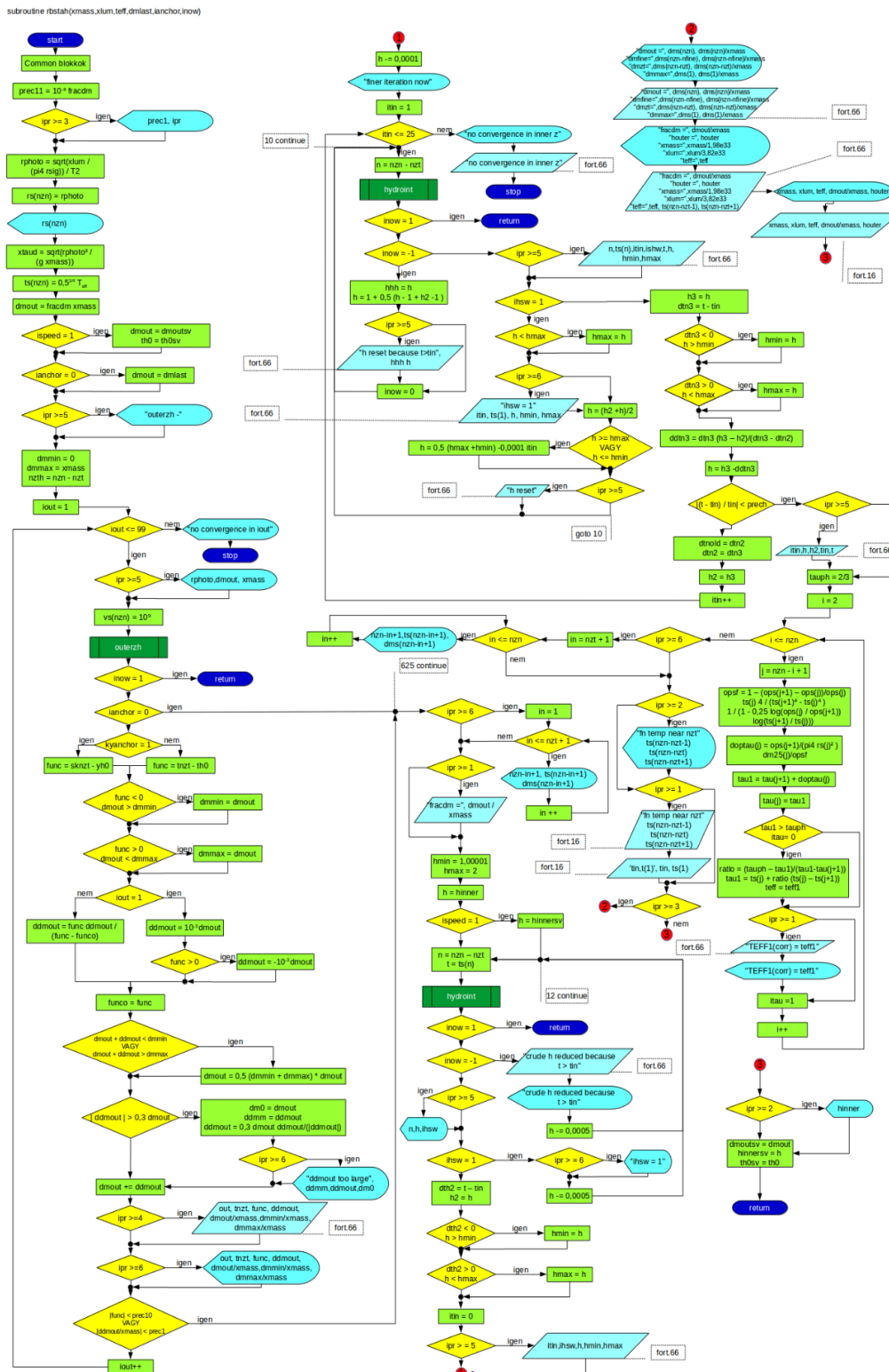


3. ábra Jelmagyarázat a 4. ábra folyamatábrájához

A SPHERLS modellfuttatások rendkívül időigényesek, viszont párhuzamos végrehajtásúak, így több processzormag bevonásával gyorsíthatók. Azonban egy bizonyos processzorszám felett már a párhuzamosítás nem jár további gyorsulással (ezt hívják API-overheadnek), ezért meg kell találni, hogy mekkora processzorszám az optimális. Ezután lehetne nagyobb kapacitású számítógépeket (pl.: MTA Cloud) bevonni.

Az optimális processzorszám megtalálására egy időmérő és statisztikát készítő bash szkriptet írtam és teszteltem. Eddig 4,6,8,10,12 CPU magon futtattam méréseket fél napos szimulációs idővel a CSFK CSI SPEX kutatócsoport számítógépén (6 mag, 12 logikai mag). Az időmérések eredményei az 1. táblázatban láthatók. Láthatólag a futtatás 6 magon volt a leggyorsabb, aminek az oka valószínűleg az lehet, hogy 6 fizikai mag van, és ebben az esetben a hyperthreading (ami

miatt 12 logikai magot lát a rendszer) nem segít. Ezen elmélet bizonyításához más számítógépeket is be kell vonni a mérésekbe.



4. ábra Az 1D modellrácsot felépítő főszubrutin folyamatábrája (jelmagyarázat a 3. ábrán)

Ezen mérések szükségességét az is indokolja, hogy egy RR Lyrae modellnek legalább 180 szimulációs napra (kb. 400 pulzációs ciklus) van szüksége ahhoz, hogy elérje a kvázi-

határciklust (lásd még Geroux és Deupree, 2013). Így tehát körülbelül 400 óra a SPEX gépen egy teljeskörű szimuláció lefuttatása 12 magon. Viszont ezzel a méréssel látható, hogy ugyanennyi magon két futtatást lehet elvégezni ugyanennyi idő alatt (ami majdnem három hét). Ezért is fontos kivizsgálni, mennyi idő alatt fut le egy ugyanilyen szimuláció 16, 32 magon egy cloudban.

1. táblázat SPHERLS futtatási idők a CSFKI CSI SPEX gépén

Futtató magok száma	Fél napos futtatás számítási ideje (s)
4	5019
6	3225
8	3741
10	3548
12	3635

A két program összehangolásához az archaikus Budapest-Florida-kód bemeneteinek és kimeneteinek értelmezésére is szükség van. A programot még FORTRAN nyelven írták, és magán viseli az elmúlt fél évszázad fejlesztésének nyomait, tehát egy többszörösen átírt kódról van szó, bármiféle dokumentáció nélkül. Ezért elsősorban a kimeneti fájlok és a bemeneti paraméterek értelmezését végeztem el. Ezek közül a legfontosabbak közé tartozik a kiinduló modellrács paramétereinek beállításai (hiszen a SPHERLS modellrácsát is ehhez kell igazítani). Az ehhez tartozó paraméterek értelmezéséhez visszafejttem a modellrácsot felépítő szubrutinokat. A fő vezérlő szubrutint mutatja be a 4. ábra, a modellrács felépítését szabályozó változókat mutatja be a 2. ábra.

Publikációk

- G. B. Kovács et al.: *Study of convection in one and multi-dimensional pulsating models*, Proceedings of the Stars in Space conference held in Vienna in August 2019 - beadva

Tanulmányi tevékenység az aktuális félévben

- Radio Astronomy 1 (FIZ/2/032E)
- Linear and Non-linear MHD waves (FIZ/2/073)

Konferenciák az aktuális félévben

- 2019. aug. 19-23. Stars and their Variability observed from Space, Bécs, poszter, címe: *Study of convection in one and multi-dimensional pulsating models*

Oktatási tevékenység az aktuális félévben

- gyakorlat: Csillagászati észlelések gyakorlat 2. heti 3 óra
- Időszakosan előadások tartása Elméleti asztrofizika 3: Csillaglégkörök fizikája

Szakmai közéleti tevékenység

- Kutatók éjszakája: ismeretterjesztő előadás tartása *Csillag SZÜLETIK: Az életadó égitestek születése és halála* címmel.

Hivatkozások

- Buchler, R. J., és Z. Kolláth. „An Adaptive Code for Radial Stellar Model Pulsations.” *ApSS*, 1997: 253,139.
- Geroux, C., és R. Deupree. „Radial Stellar Pulsation and Three-dimensional Convection. I. Numerical Methods and Adiabatic Test Cases.” *ApJ*, 2011: 731,18.
- Geroux, C., és R. Deupree. „Radial Stellar Pulsation and Three-dimensional Convection. II. Two-dimensional Convection in Full Amplitude Radial Pulsation.” *ApJ*, 2013: 771, 113.
- Geroux, C., és R. Deupree. „Radial Stellar Pulsation and Three-dimensional Convection. IV. Full Amplitude Three-dimensional Solutions.” *Apj*, 2015: 800, 35.