

DD Draconis
pulzující proměnná hvězda s rychlou
změnou periody

Ondřej Pejcha
Okrouhlá 1
Brno 62500
Gymnázium Slovanské náměstí 7, Brno
opejcha@volny.cz

Mé poděkování náleží M. Zejdovi za poskytnutí CCD měření DD Dra a zprostředkování fotoelektrických a CCD měření F. Agerera a kol. P. Sobotkovi za poskytnutí vlastních CCD měření k publikaci a P. Hájkovi a K. Kossovi za umožnění a pomoc s pořizováním pozorování na vyškovské hvězdárně. Děkuji Johanně Jurcsikové za užitečnou diskusi ohledně Fourierových parametrů.

Obsah

1. Úvod	1
1.1 Cíle studie DD Draconis.....	1
1.2 Historie výzkumu DD Draconis.....	1
2. Pozorovací materiál	2
2.1 Vizuální pozorování.....	Obsah
2.2 Fotoelektrická a CCD měření.....	5
3. Analýza	7
3.1 Určení okamžiků maxim.....	7
3.2 O-C diagram.....	8
3.3 Světelná křivka.....	10
3.4 Fourierovy parametry.....	11
4. Diskuse - vývojový status DD Draconis	15
5. Závěr	17
6. Použitá literatura	18

1. Úvod

1.1 Cíle studie DD Draconis

U proměnné DD Draconis (= BV 234 = GSC/TYC 4215 1869) bylo mým cílem zjistit parametry její světelné křivky jako perioda, asymetričnost a Fourierovy parametry. Mým cílem rovněž bylo zjistit na základě v literatuře dostupných údajů vývojový status DD Dra.

Tohoto cíle jsem chtěl dosáhnout pomocí vizuálních odhadů jasnosti a fotoelektrických a CCD (Charge-Coupled Device) měření, ať už vlastních nebo převzatých.

1.2 Historie výzkumu DD Draconis

Proměnnost DD Draconis byla objevena Strohmeierem (1958) a hvězda byla klasifikována jako dlouhoperiodická proměnná s rozsahem světelných změn (11,2 - 12,0) mag (pg). Avšak Filatov (1960) konstatoval, že se jedná o zákrytovou proměnnou a na základě devíti fotografických minim (tj. epoch o nižší jasnosti) odvodil elementy, které spolu s typem proměnnosti převzal i Cholopov a kol. (1985):

$$Max(hel.) = 2431587,248 + 0,784 \times E . \quad (1)$$

Nepřesně určená perioda motivovala Agerera a Lichtenkneckera (1988) k provedení fotoelektrické fotometrie DD Draconis. Z pozorování ve třech nocích a filtrech B a V vyvodili, že se jedná o pulzující proměnnou typu RRc s amplitudou 0,66 mag (B), resp. 0,54 mag (V) a elementy:

$$Max(hel.) = 2447304,459 + 0,32675 \times E . \quad (2)$$

Kühlenz (1991) prohlédl sonnebergské archivní desky obsahující DD Draconis, a protože nemohl nalézt jednotnou periodu pro celé období sledování, navrhl možnost, že DD Draconis je víceperiodická proměnná typu RR(b)

(častěji RRd) s periodami $P_0 = 0,32679$ dnů a $P_1 = 0,24631$ dnů. Avšak rozdíl frekvencí $1/P_1 - 1/P_0$ je roven přibližně jedné, což naznačuje, že P_1 pravděpodobně není v Kühlenzových (1991) datech skutečnou periodou, ale aliasem P_0 vznikajícím pozorováním z jednoho místa na Zemi. Agerer & Dahm (2000) novou sadou fotoelektrických měření také nepotvrdili Kühlenzovo tvrzení, ale zjistili rychlou změnu periody a spočítali dvoje elementy pro různé časové období:

V období JD 2447271 až 2448205 platily tyto elementy: (3)

$$Max(hel.) = 2447271,4626 + 0,3267145 \times E$$

a od JD 2450719: (4)

$$Max(hel.) = 2451352,4984 + 0,3267934 \times E .$$

2. Pozorovací materiál

2.1 Vizuální pozorování

Všechna vizuální pozorování jsem získal pomocí zrcadlového dalekohledu typu Newton o průměru zrcadla 250 mm (ohnisková vzdálenost 1500 mm) umístěného na balkóně panelového domu v Brně. Používal jsem okulár o ohniskové vzdálenosti 26 mm, který ve spojení s dalekohledem zvětšuje 57×. Průměr dalekohledu je dostatečný k tomu, aby proměnná byla bez problémů viditelná i v minimu jasnosti při horších atmosférických podmínkách. Celkem jsem získal 83 odhadů v 10 nocích v rozmezí padesáti dnů. Z tohoto vychází průměr na jednu pozorovací noc 8,3 odhadů, ale vyskytli se i noci kdy jsem pořídil 22 odhadů stejně jako pouze 2 odhady. Nízký počet v některých nocích je zaviněn počasím, které neočekávaně přerušilo pozorování. Časová vzdálenost jednotlivých odhadů od sebe je kolem čtvrt hodiny. Za tuto dobu ze jasnost hvězdy změní přibližně o 0,04 magnitudy (amplituda je podle Agerera a Lichtenkneckera (1988) 0,54 mag a perioda 0,3 dne), což už je vizuálním pozorováním zachytitelné. Všechna pozorování jsou součástí přílohy (tabulka 1).

Používal jsem Nijland-Blažkovu metodu vizuálních odhadů. Při praktikování této metody je každý odhad zapsán následujícím způsobem:

$$XpVqY$$

kde X je srovnávací hvězda jasnější než proměnná, Y je srovnávací hvězda slabší než proměnná a V je proměnná. Koeficienty p a q jsou tzv. odhadní stupně, které určují poměry jasností mezi jasnější srovnávací hvězdou a proměnnou, respektive proměnnou a slabší srovnávací hvězdou. Například odhad E1V2F znamená, že rozdíl mezi slabší srovnávací hvězdou a proměnnou se mi zdál dvakrát tak velký, než mezi proměnnou a jasnější srovnávací hvězdou. Zpracování odhadů na výslednou hvězdnou velikost se provádí pomocí lineární interpolace vztahem:

$$V = X + p \cdot \frac{Y - X}{p + q} . \quad (5)$$

Použité srovnávací hvězdy jsou uvedeny v tabulce 2. Jejich hodnoty jsou převzaty z katalogu Tycho (TYC) družice Hipparcos. Nejistota hvězdných velikostí se pohybuje na úrovni 0,1 mag, což pro vizuální pozorování stačí. Žádná ze srovnávacích hvězd není zahrnuta v GCVS (Všeobecný katalog proměnných hvězd - Cholořov a kol. 1985) ani v katalogu hvězd podezřelých z proměnnosti (NSV; Kukarkin a kol. 1982) ani v jejich doplňcích. Je rovněž možno použít relativní zpracování pozorování za pomoci odhadních stupňů. V případě dostatečně přesně známých jasností srovnávacích hvězd (což okolí DD Dra splňuje) je ale výhodnější zpracovat pozorování v absolutní škále, což umožňuje získat i další parametry světelné křivky jako třeba amplitudu (k takovýmto údajům je ale třeba přistupovat s rezervou, jak je zmíněno později).

Je všeobecně známo, že vizuální trpí spoustou různých systematických i náhodných chyb, které je velmi obtížné a občas i nemožné odstranit.

Mezi systematické chyby je možno zařadit rozdílnou spektrální citlivost lidského oka v nočním vidění a standardně definovaných fotometrických filtrů. Přesněji řečeno je výsledná spektrální citlivost oka kombinací spektrálních citlivostí tyčinek a čípků, jejichž přesný poměr citlivostí záleží na jasnosti hvězdy v přístroji, individualitě pozorovatele, způsobu odhadování (bočním viděním nebo přímým pohledem) a dalších efektech. Kvůli tomu by se měla aplikovat speciální korekce pro každý separátní odhad jasnosti. To je však v praxi vyloučeno. Existuje přibližná metoda opravy, jejíž obecný tvar vypadá takto:

$$m_{viz} = m_V + k_1(B - V) + k_2 \quad (6)$$

Podle Zissela (1998) jsou normální hodnoty $k_1 = 0,182$ a $k_2 = -0,032$ mag. Je evidentní, že velikost korekce závisí na přesnosti určení indexu B-V (rozdíl jasností hvězdy ve standardních Johnsonových filtrech B a V). Zjištění přesnosti hodnoty B-V indexu získaná z katalogu TYC není jednoduché. Chyba určení jasnosti v katalogu (hlavně u B filtru) totiž není funkcí hvězdné velikosti (resp. korelace mezi hvězdnou velikostí a nominální chybou je slabá) a navíc je až o 50% podceněna (Skiff 2000). Hodnoty v katalogu jsou u desáté a slabší hvězdné velikosti už pouze orientační. Žádná korekce o rozdílnou spektrální citlivost lidského oka a standardních filtrů nebyla tudíž aplikována.

Náhodné chyby se v případě vizuálních pozorování týkají samotného pozorovatele a jeho reakcí na okolní podmínky. Mezi zdroje chyb patří fyzický a duševní stav pozorovatele (únava, hlad, žízeň, stres a další), atmosférické podmínky (teplota, vlhkost, průhlednost ovzduší, vítr atd.) a podmínky ve vzdálenějším vesmíru (svit a aktuální fáze Měsíce, což výrazně ovlivňuje kontrast obrazu v dalekohledu, výška hvězdy nad obzorem). Toto vyúsťuje ve vzájemný posun pozorovacích řad v různých nocích, rozdílnou amplitudu a nejednotnou vzájemnou vnitřní chybu pozorování.

Další poměrně zákeřnou chybou je snadná ovlivnitelnost pozorovatele předchozím odhadem a/nebo předpovědí chování hvězdy, což může vyústit ve falešné trendy a až dokonce do falešných minim a maxim. S touto potenciální chybou jsem se vypořádal simultánním pozorováním fyzických proměnných hvězd a DD Dra a neznalostí předpovědi pro dotyčnou pozorovací noc (nehledě nato, že v době mého pozorování ještě žádná správná předpověď neexistovala).

Oprava o náhodné chyby je velmi obtížná, proto jsem se o ni ani nepokoušel. Vše jsem vyřešil neskládáním vizuálních pozorování a fotoelektrických a CCD měření (řešení rozdílné spektrální citlivosti oka a standardních filtrů) a samostatnou analýzou jednotlivých nocí vizuálních pozorování (odstranění většiny náhodných chyb).

2.2 Fotoelektrická a CCD měření

Protože vizuální pozorování degraduje spousta chyb, podařilo se mi získat fotoelektrická a CCD měření DD Draconis. Jedná se o poměrně nehomogenní soubor dat z různých observatoří a různých pozorovatelů, je proto nutné zabývat se jednotlivými řadami zvlášť.

Největší část tvoří fotoelektrická a CCD fotometrie F. Agerera a dalších (D. Husar, R. Diethelm, D. Lichtenknecker), která byla publikována částečně v BAVM (Berliner Arbeitsgemeinschaft für Veränderliche Sterne Mitteilungen) a částečně také v IBVS (Information Bulletin on Variable Stars). Data byla pořízena v různých, málokdy standardních filtrech. Použité přístroje, detektory a expoziční doby jsou různé u jednotlivých pozorovatelů a srovnávací a kontrolní hvězdy neznám. I přesto je nejistota dat určitě menší než 0,05 mag, a pravděpodobně na úrovni kolem 0,01 mag (u mně dostupných měření nejsou udány chyby).

Nezanedbatelnou část tvoří data z M. Zejdy a D. Hanžla z brněnské Hvězdárny a planetária Mikuláše Koperníka (Zejda 2000). Data byla zaznamenána na CCD kameru SBIG ST-7 upevněnou na zrcadlovém dalekohledu o průměru 400 mm a ohniskové vzdálenosti 1750 mm, což dává zorné pole kamery 9×13 čtverečních minut. Expoziční doba se pohybovala od 10 s do 90 s a CCD kamera byla použita bez filtru. Spektrální rozsah citlivosti nefiltrované kamery ST-7 je široký a hranice se nachází mezi obory B a I (tj. asi 450 až 1000 nm) s maximem citlivosti přibližně v oboru R (asi 750 nm). Nepřesně definovaná citlivost nefiltrované kamery znemožňuje spojení dat získaných touto kamerou a dat z jiné kamery. Před zpracováním byly snímky opraveny o tepelný šum (dark frame) a nestejnou citlivost jednotlivých pixelů (flat field). Vlastní zpracování bylo provedeno jednoduchou diferenciální aperturní fotometrií programem MUNIDOS (Novák a Hroch 2000). Podle programu MUNIDOS je chyba jednotlivých bodů kolem 0,005 mag, ale v tomto případě se jedná pouze o chybu proložení profilu hvězdy programem, skutečnou nejistotu bych odhadl přibližně na 0,03 mag (skutečné chyby jsou přibližně pětikrát vyšší než udávané programem), nelze ale zapomínat na to, že byly použity různé expoziční časy a tudíž jsou rozdílné i jednotlivé chyby.

Petr Sobotka (1999) také pozoroval DD Dra a to stejným dalekohledem a kamerou brněnské hvězdárny, jak bylo uvedeno výše. Bylo použito pouze konstantní expozice 60 sekund a střídavě filtrů V a R. Zpracování bylo stejné, tedy pomocí programu MUNIDOS.

Poslední část CCD dat tvoří fotometrie, kterou jsem pořídil na Hvězdárně Vyškov pomocí dalekohledu o průměru 170 mm, ohniskové vzdálenosti 600 mm a CCD kamery SBIG ST-7 s filtrem V expozicí 60 sekund. Snímky byly opět opraveny o dark frame a flat field a zpracovány programem MUNIDOS. Chyba jednotlivých bodů je přibližně 0,05 mag (MUNIDOS udává 0,01 mag).

3. Analýza

3.1 Určení okamžiků maxima

Základní prostředek ke studiu proměnných hvězd s alespoň trochu pravidelnou světelnou křivkou je určování a vzájemné porovnání extrémů jasnosti. U pulzujících proměnných se obvykle určuje okamžik maximální jasnosti. Z datových řad jsem získal maxima pomocí Kwee-Wordenovy metody implementované programem AVE (Barbera 1996).

Okamžiky maxim z dat Agerera a kol (1988, 2000 a další) jsem převzal beze změny. Agerer & Hübscher (2000) publikovali v poslední době jedno maximum, které neodpovídá ostatním v téže době. Jeho relativní posun od jiných maxim v přibližně stejné době je asi 0,2 dne. To téměř přesně odpovídá vzdálenosti maximum-minimum u DD Dra. Z toho vyvozují, že došlo k záměně minima za maximum, což potvrzuje i sám pozorovatel (Husar 2000).

Okamžik maxima z mých pozorování z vyškovské hvězdárny je díky nedostatečnému pokrytí nutné brát pouze jako orientační.

Všechny datové řady z brněnské bohužel neobsahují dostatečnou část světelné křivky k tomu, aby bylo možno s rozumnou přesností určit okamžik maxima. Proto jsem se pokusil získat z okamžiků minim (které jsou snadno určitelné z brněnských dat) okamžiky maxim. K tomu je nutná znalost parametru Q , který charakterizuje asymetričnost světelné křivky. Při $Q = 0,5$ je světelná křivka symetrická (sinusoida), většinou je však Q menší 0,5 a vzestup do maxima je tedy rychlejší než sestup. Pro určení parametru Q jsem použil kvalitní CCD měření (obor V) Agerera a kol. Pro DD Draconis je $Q = 0,37$.

Stejný postup pro zjištění okamžiku maxima z času minima jsem použil i pro vizuální pozorování, ze kterých bylo možno odvodit dvě maxima.

Okamžiky maxim nebyly opraveny o heliocentrickou korekci, protože DD Dra se nachází poblíž pólu ekliptiky a korekce je tudíž v řádu tisícín dne; její aplikace by nepřinesla žádné užitečné zpřesnění výsledků. Všechna maxima použitá pro konstrukci (O-C) diagramu jsou v tabulce 3.

3.2 O-C diagram

Často užívaným prostředkem pro studium změn period pulzujících a zákrytových proměnných je tzv. (O-C) diagram. Jako nezávislá proměnná se na osu x vynáší epocha spočítaná podle určitých elementů a jako závislá proměnná se na osu y vynáší rozdíl mezi napozorovaným minimem (O - observed) a časem spočítaným pomocí oněch elementů (C - calculated). Data potom vytvoří více či méně uspořádanou skupinu bodů. Pokud se jedná o přímku rovnoběžnou s osou x , indikuje (O-C) diagram, že použitá perioda odpovídá skutečnosti. V případě dat uspořádaných do přímky skloněné nějakým způsobem vůči ose x se jedná o špatnou hodnotu periody. Parabola zase naznačuje, že dochází k průběžné změně periody. Lomená přímka pak ukazuje na skokovou změnu periody. Samozřejmě, že změny v (O-C) diagramu mohou být mnohem komplikovanější. Jurcsiková a kol. (2000) zkoumali velký počet hvězd typu RR Lyrae v kulové hvězdokupě ω Cen a pro hvězdy typu RRc dospěli k závěru, že dominuje nárůst periody, ale že změny periody jsou často velmi komplikované a občas i nepravidelné.

Pro konstrukci (O-C) diagramu jsem použil periodu odvozenou z lineárního proložení druhé druhé poloviny minim. Použité elementy tedy jsou:

$$Max(hel.) = 2447271,460 + 0,3267790 \times E . \quad (7)$$

Na obrázku 1 se (O-C) diagram DD Draconis sestrojil ze všech dostupných okamžiků maxim (popis bodů u obrázku).

Body byly proloženy třemi funkcemi. Plnou čarou je znázorněno proložení dvěma lineárními funkcemi, odpovídající skokové změně periody. Proložení parabolou bylo zaznačeno čárkovaně a ukázka jednoho složitějšího proložení (polynom šestého stupně) čerchovaně.

Změna periody tedy může být buď skoková nebo průběžná s možným složitějším průběhem. Jediným, co v tuto chvíli pomůže je i relativně málo přesné maximum kolem JD 2449500. V tomto místě se proložení liší o největší hodnotu. V této chvíli se příkláním spíše k průběžné změně periody, neboť je u hvězd typu RR Lyrae poměrně častá a její vznik vyvolávají pravděpodobně vývojové jevy (Lee 1991, Jurcsiková a kol. 2000). U hvězd s průběžnou změnou periody se používá dvou parametrů, které charakterizují rychlost této změny: β a α . Podle definice je $\beta = dP/dt$ a $\alpha = \beta/P$. Pomocí proložení (O-C) diagramu polynomem druhého stupně (fotoelektrická a CCD maxima váha 3, přepočítaná a vizuální maxima váha 1) získáme hodnoty $\beta = 3,51 \pm 0,12$ d/Myr (v astronomii se běžně používá tato jednotka změny periody: dny za 1 milión let) a $\alpha = 10,7 \pm 0,4$ Myr⁻¹ (jednotka odvozena z definice α).

Po určení rychlosti změny periody můžeme přistoupit také k zapsání těchto změn v podobě elementů. Proto uvádím dvoje elementy (jedny kvadratické). Pro případ potvrzení skokové změny mohou sloužit elementy (3) pro období JD 2447271 až JD 2448205 a zpřesnění elementů (4) pro období od JD 2450719:

$$Max(hel.) = 2450719,528 + 0,3267790 \times E . \quad (8)$$

Kvadratický průběh (O-C) reprezentuje rovnice:

$$Max(hel.) = 2451315,566 + 0,3267049 \times E + 3,141 \cdot 10^{-9} \times E^2 . \quad (9)$$

3.3 Světelná křivka

Jednou ze základních charakteristik proměnných je také její světelná křivka. Díky ní můžeme například rozlišit mezi dvěma podtypy hvězd typu RR Lyr: RRab a RRc. Na obrázku 2 jsou znázorněny typické světelné křivky těchto typů hvězd. Kromě toho můžeme ze světelných křivek pulzujících proměnných zjistit také fyzikální parametry (hmotnost, svítivost, efektivní teplotu, chemické složení) a pomocí nich odvodit další (absolutní hvězdnou velikost, vzdálenost).

V následující části budu hojně používat tzv. fázové křivky. Pro konstrukci fázové křivky je nutno složit na sebe všechna data pomocí určité periody. Díky složitosti změn periody u DD Dra (jak bylo ukázáno v sekci 3.2) není možné složit na sebe všechna data bez aplikace určitých korekcí. V prvním přiblížení jsem se pokusil proložit (O-C) diagramem parabolou a pomocí jejího předpisu odečíst od každého bodu surového měření spočítanou hodnotu (O-C). I po provedení této korekce zůstával šum a vzájemný fázový posun dat z různých období. Proto jsem se rozhodl použít pouze tak krátkou časovou základnu, na níž je změna periody zanedbatelná a není nutno zavádět cokoli složitějšího než lineární elementy.

Na obrázku 3 je znázorněna kombinovaná fázová světelná křivka DD Dra v oborech B a V (data převzata od Agerera a kol.) společně s změnou B-V indexu (sestrojeno za pomoci programu Differencer - Brát 2000). Světelná křivka vypadá poměrně obyčejně, změna B-V indexu v závislosti na fázi je běžná, možná nepatrně fázově posunutá, ale to můžeme přisoudit poněkud plochému maximu. Na obrázku 4 je totéž jako na obrázku 3 jen s tím rozdílem, že se jedná o data v oborech V a R od Sobotky (1999) a změnu lépe než fázová křivka ilustruje světelná křivka s JD na ose x . Obrázek 5 ukazuje fázovou světelnou křivku

DD Dra sestrogenou z mých vizuálních pozorování. Nulové body u všech křivek byly zvoleny libovolně (nejčastěji 0).

Ve světelných křivkách nebyl nalezen žádný náznak přítomnosti tzv. Blažkova jevu, který s periodou několika desítek až stovek dnů (Alcock a kol. 2000) moduluje amplitudu proměnné. Tento jev byl dlouho dobu znám pouze u hvězd typu RRab, ale v poslední době byl nalezen společně s neradiálními pulzacemi i u hvězd typu RRC (Alcock a kol. 2000, Olech a kol. 1999 a další).

3.4 Fourierovy parametry

Jak je obecně známo, už dlouho dobu se používají pro určování vzdáleností galaxií a kulových hvězdokup cefeidy. V posledních několika letech se k nim začínají přidávat i pulzující proměnné typu RR Lyrae. Bohužel je jejich použití (dané zákonem perioda-svítivost) výrazně omezeno tím, že pulzace poměrně výrazně závisí na zastoupení kovů ve hvězdě. Bez spekter (která jsou v dostatečné kvalitě dostupná pouze pro jasné hvězdy) bychom tedy zůstali pouze u velice hrubých odhadů, či úplně špatných výsledků.

Existuje však jedna metoda, která umožňuje „obejít“ nutnost pořízení spektra a vystačí si s obyčejnou světelnou křivkou pořízenou v některém obecně dostupném (B, V nebo R) spektrálním oboru. Je založena na předpokladu, že výsledná světelná křivka závisí pouze na několika základních fyzikálních parametrech. V tomto náhledu (angl. Fourier decomposition) na věc si můžeme libovolnou světelnou křivku pulzující proměnné představit jako sumu několika (ko)sinusoid podle vztahu:

$$y = A_0 + \sum_{i=1}^n A_i \cos(i\omega t + \varphi_i) \quad (10)$$

kde A_i jsou amplitudy, φ_i jsou fáze ($\varphi_i = \omega t_0$) a $\omega = 2\pi/P$.

Výrazy pro amplitudu a fázi se obvykle kombinují následujícím způsobem:

$$R_{ij} = A_i / A_j, \quad (11)$$

$$\varphi_{ij} = \varphi_i - i\varphi_j. \quad (12)$$

Tyto parametry jsou charakteristické pro různé typy proměnných hvězd.

Většinu důležitých vztahů pro odvození zastoupení kovů známe u hvězd typu RRab. U hvězd typu RRc je situace složitější, neboť pochopitelně vztahy odvozené pro RRab hvězdy neplatí. Kromě toho se zdá, že tvary světelných křivek hvězd typu RRc nezávisí tak přímo na zastoupení kovů a navíc se situace komplikuje malým množstvím kalibračních hvězd (Jurcsiková 2001). Situace však není zas až tak beznadějná, neboť už umíme zjistit teplotu (T_{eff}), svítivost (L/L_{\odot}), hmotnost (M/M_{\odot}) a zastoupení hélia (Y) ve hvězdě (převzato z hydrodynamických modelů Simona a Clementa 1993):

$$\log(M/M_{\odot}) = 0,52 \log P - 0,11\varphi_{31} + 0,39 \quad (13)$$

$$\log(L/L_{\odot}) = 1,04 \log P - 0,058\varphi_{31} + 2,41 \quad (14)$$

$$\log(T_{\text{eff}} / \text{K}) = 3,265 - 0,3026 \log P - 0,1777 \log(M/M_{\odot}) + 0,2402 \log(L/L_{\odot}) \quad (15)$$

$$\log Y = -20,26 + 4,935 \log(T_{\text{eff}} / \text{K}) - 0,2638 \log(M/M_{\odot}) + 0,3318 \log(L/L_{\odot}) \quad (16)$$

Absolutní vizuální hvězdnou velikost zase můžeme zjistit z empirického vztahu Kovácse (1998):

$$M_V^{K_o} = 1,261 - 0,961P - 0,004\varphi_{21}^* - 4,447A_4. \quad (17)$$

Problém je, že vztah byl odvozen pro Fourierovy koeficienty zjištěné vztahem (10), ale místo funkce kosinus byl použit sinus. Opravný vztah je $\varphi_{21}^* = \varphi_{21} - \pi/2$. Jediným parametrem, který ještě

neumíme zjistit je zastoupení železa $[Fe/H]$, které je definováno:

$$\left[\frac{Fe}{H} \right] = \log \left(\frac{N_{Fe}}{N_H} \right) - \log \left(\frac{N_{Fe}}{N_H} \right)_{\odot}, \quad (18)$$

kde N jsou počty částic příslušných prvků. Podle definice má Slunce $[Fe/H] = 0$. Veličina $[Fe/H]$ je poměrně dobrým ukazatelem celkového zastoupení kovů, proto se tak často používá.

V případě DD Dra (jako hvězdy typu RRc) jsem postupoval následujícím způsobem. Data v oboru V Agerera a kol. jsem rozdělil na tři segmenty (z nichž se dva prolínají, aby bylo zaručeno kompletní pokrytí celé světelné změny) a sfázoval podle periody pro to které období, aby rozptyl byl co nejmenší. V programu Period98 (Sperl 1998) jsem fázovou světelnou křivku proložil sumou deseti sinusoid o pevně daných frekvencích rostoucích vzestupně od 1 do 10 (tedy postupně 1, 2, 3 ... 10). Program spočítal semi-amplitudu A (v magnitudách) a fázi G ($G = t_0/P$) každé jednotlivé sinusoidy. Fázový člen je proto roven $\varphi = (2\pi/P) \cdot GP = 2\pi P$, vynásobil jsem tudíž fázi G z Period98 hodnotou 2π . Dále jsem postupoval podle vztahů (11) a (12) a výsledkem je soubor Fourierových parametrů pro DD Dra v tabulce 4. Fázovou křivku s proložením ukazuje obrázek 6. Tento postup jsem pro kontrolu zkoušel na dvou proměnných hvězdách měřených v rámci projektu OGLE (Optical Gravitational Lensing Experiment) a to na V8 a V10 v poli BW2. U V8 se výsledky u všech parametrů shodovaly s údaji v Morgan a kol. (1998) velice dobře. U V10 už byla shoda horší, ale u všech hodnot kromě φ_{41} byl rozdíl přijatelný. Příčinou je zřejmě velice zašuměná světelná křivka, díky níž jsou složky o menší amplitudě hůře zjistitelné. Správnost mého postupu potvrdila i Jurcsiková (2001).

Pro porovnání s jinými jsem vynesl údaje DD Dra do grafů 7 a 8. Obrázek 7 byl převzat od Kaluzneho a kol. (2000), základem jsou data pro hvězdy typu RR Lyrae z kulové hvězdokupy M5, která má zastoupení kovů $[Fe/H] = -1,23$. Obrázek 8 je převzat od Morgana a kol. (1998). Základem jsou hvězdy typu RRc z galaktické výduti (projekt OGLE).

Pomocí vztahů (13) až (17) a průměrných hodnot z tabulky 4 můžeme odvodit základní fyzikální charakteristiky DD Dra. Protože je známo (Kaluzny, Olech a Stanek 2000), že vztah (17) dává poněkud slabší absolutní hvězdnou velikost, rozhodl jsem se spočítat ji i nezávislou metodou:

$$\frac{L}{L_{\odot}} = 2,512^{M_{0bol} - M_{bol}}, \quad (19)$$

kde M_{0bol} je bolometrická (celkové záření) absolutní hvězdná velikost Slunce (4,70 mag). Absolutní vizuální hvězdná velikost je podle vztahu $M_V = M_{bol} + BC$, kde BC je barevná korekce úměrná zastoupení kovů (Sandage a Cacciari 1990):

$$BC = 0,06[Fe/H] + 0,06. \quad (20)$$

Protože DD Dra v obrázku 7 je poněkud níže než ostatní hvězdy, bude menší i zastoupení kovů (Morgan a kol. 1998). Po porovnání se stejnými grafy pro jiné hvězdokupy jsem se přiklonil spíše k tomu, že DD Dra je chudá na kovy a má $[Fe/H] \approx -1,7$ (možná i menší). Ze znalosti M_V zjistíme vzdálenost DD Dra:

$$(M - m)_V = 5(1 - \log r). \quad (21)$$

V tabulce 5 je spočítaná hmotnost, svítivost, efektivní teplota, relativní zastoupení hélia, absolutní vizuální hvězdná velikost, modul vzdálenosti a vzdálenost. Period98 bohužel neumí zjišťovat chyby proložení sinusoidami, nemohu tedy ani odhadnout chyby určení Fourierových parametrů a ani z nich následně odvozené

veličiny. Pro vypočítání modulu vzdálenosti byla použita střední jasnost DD Dra z vizuálních pozorování, která byla opravena o mezihvězdné zeslabení podle infračervených měření mezihvězdného zčervenání Schlegela, Finkbeinera a Davise (1998) a tabulky oprav pro různé filtry od stejných autorů (korekci mezi vizuálním oborem a filtrem V v řádu setin magnitudy zanedbávám). Mezihvězdné zčervenání směrem k DD Dra (galaktická délka $l = 90,55^\circ$ a šířka $b = 24,32^\circ$) $E_{(B-V)}$ je 0,04 mag a příslušné zeslabení v Landoltově oboru V je $A_V = 0,15$ mag.

4. Diskuse - vývojový status DD Dra

V sekci 3.2 byla zjištěna poměrně značná změna periody $\beta = 3,51$ d/Myr. Například v souboru 48 hvězd typu RRc v kulové hvězdokupě ω Centauri Jurcsikové a kol. (2000) byla zjištěna pouze jedna proměnná s ještě větší změnou periody. U hvězd typu RR Lyr existují v podstatě pouze tři možná vysvětlení. Tzv. light-time effect způsobený třetím tělesem obíhajícím kolem proměnné a způsobující periodické změny v (O-C) diagramu můžeme vyloučit kvůli velké amplitudě změn (O-C). Nebo se může jednat o vývojový efekt související s posunem hvězdy po horizontální větvi (HB - Horizontal Branch) v Hertzsprungově-Russelově (H-R) diagramu směrem k asymptotické větvi obrů (AGB - Asymptotic Giant Branch). I přes to, že nepravidelné změny v (O-C) diagramu nemohou být vyloučeny, přikláním se k vývojovému efektu. Podle Jurcsikové (2001) zatím neexistuje jednotná všeobecně uznávaná teorie, která by prodlužování periody (to totiž většinou dominuje) vysvětlila. Změny periody v řádu $\beta = 1$ až 2 d/Myr mohou nastat v závěrečných fázích vývoje hvězdy při přechodu z HB na asymptotickou větev obrů. Takové hvězdy by měly velice nízké zastoupení kovů ($[Fe/H] = -1,7$ až $-2,0$) a nacházeli by se asi o 0,3 až 0,5 $\log(L/L_\odot)$ nad ZAHB (HB nulového stáří). Teoretické

periody by měly být buď velmi krátké nebo velmi dlouhé, tj. $P_1 < 0,2$ nebo $P_1 > 0,5$ nebo $P_0 < 0,3$ nebo $P_0 > 0,8$ (P_0 je perioda fundamentálního módu a P_1 prvního nadtónu).

V případě DD Dra však teoretická interpretace pokulhává. V první řadě není splněna podmínka délky periody, ta je totiž u DD Dra průměrná. Z práce Simona a Clementa (1993) vyplývá, že u hvězd typu RRc výsledné parametry jako hmotnost a svítivost příliš nezáleží na zastoupení kovů. Kromě toho stejní autoři ukázali, že neexistuje žádná závislost mezi parametrem φ_{31} a zastoupením kovů v RRc hvězdách. Proto zůstává jedinou možností, jak určit zastoupení kovů ve hvězdě ze vzájemné polohy hvězd v grafech 7 a 8 (Morgan a kol. 1998). DD Dra je tudíž, jak bylo zmíněno výše, díky své poloze v obrázcích 7 a 8 hvězdou spíše chudou na kovy a přibližná hodnota je $[\text{Fe}/\text{H}] \approx -1,7$. Jedná se skutečně o velice hrubý odhad, nicméně DD Dra pravděpodobně splňuje podmínku nízkého zastoupení kovů. Veličina $[\text{Fe}/\text{H}]$ ale ve skutečnosti nevyjadřuje celkové zastoupení kovů ve hvězdě (za kovy se v astronomii považují všechny prvky těžší než hélium), ale zastoupení železa (nicméně je dobrým vodítkem, jak bylo zmíněno výše). Celkové množství prvků těžších než hélium v DD Dra, Z (hmotnostní podíl ve hvězdě), je sice úměrné $[\text{Fe}/\text{H}]$, ale pro výpočet je nutná znalost veličiny f , což je tzv. faktor α obohacení s respektem k železu, který se zjišťuje ze spektra. Přesto jsem srovnáním parametrů modelů podle Caputa a kol. (2000) a údajů z tabulky 5 odhadl Z v řádu desetitisícin, pravděpodobně $Z \approx 0,0004$ (možná menší). V obrázku 9 je vynesena poloha DD Dra do H-R diagramu s vyznačenými pásy nestability a ZAHB a vývojovými drahami pro různé hmotnosti podle modelů Bona a kol. (1997). DD Dra se nachází poblíž modrého okraje pásu nestability v H-R diagramu. Pokud připustíme, že zastoupení kovů v DD Dra je $Z \approx 0,0004$, tak se DD Dra nachází přibližně

o $0,1 \log (L/L_{\odot})$ nad ZAHB. Pro $Z = 0,0001$ je už tento rozdíl pouhých $0,06 \log (L/L_{\odot})$. Není tedy splněna podmínka svítivosti pro teoreticky předpovídané hvězdy s velkou změnou periody.

Ze vzdálenosti a polohy na obloze vyplývá, že DD Draconis náleží buď k populaci tlustého disku nebo galaktického hala (Baadeho populace II). Pro to druhé svědčí nízké zastoupení kovů.

5. Závěr

Po analýze vizuálních, fotoelektrických a CCD měření DD Draconis mohu konstatovat, že se jedná o krátkoperiodickou pulzující proměnnou typu RRc, která vykazuje velice rychlou změnu periody. Ta může být buď skoková nebo pravděpodobněji průběžná. Pomocí Fourierovy dekompozice světelné křivky se mi podařilo poměrně přesně určit základní fyzikální parametry proměnné. Pro zasazení do modelů hvězdných pulzací a vývoje je nutné určit zastoupení těžších prvků ve hvězdě, což se mi podařilo jednak pomocí srovnání s hvězdami stejného typu z kulových hvězdokup (odtud plyne $[Fe/H] \approx -1,7$) a jednak porovnáním zjištěných fyzikálních parametrů s modely hvězdných pulzací (odtud vyplývá $Z \approx 0,0004$). Díky těmto údajům je možno srovnat v současnosti přijímanou teorii vysvětlující změnu periody a DD Dra. Jediným shodným faktorem je nízké zastoupení kovů, podmínky abnormálně dlouhé nebo krátké periody stejně jako vzdálenost od ZAHB není splněna.

6. Použitá literatura:

- Agerer, F. - Dahm, M., 2000, BAVM 2000
Agerer F. & Hübscher J. 2000: IBVS 4912
Agerer, F. - Lichtenknecker, D., 1988, I.B.V.S 3213
Alcock, C., a kol., 2000, ApJ, 542, 257
Barbera, R., 1996, program AVE, <http://www.gea.cesca.es>
Bono, G., a kol., 1997, A&AS 121, 327
Brát, L., 2000, osobní sdělení
Caputo, F., a kol., 2000, MNRAS 316, 819
Filatov, G. S., 1960, Astron. Tsirk. No. 215, 20
Haltuf, M., 2000, osobní sdělení
Husar, D., 2000, osobní sdělení
Cholopov, P. N., a kol., 1985: General Catalogue of Variable Stars,
4th edition, Volumes I - III. Moskva, Nauka.
Jurcsik, J., a kol., 2000, v tisku, astro-ph/0010005
Jurcsik, J., 2001, osobní sdělení
Kaluzny, J., a kol., 2000, A&AS 143, 215
Kaluzny, J. - Olech, A. - Stanek, K. Z., 2000, v tisku, astro-ph/0010303
Kovács, G., 1998, Mem. Soc. Astron. Ital. 69, 49
Kühlentz, F., 1991, M.V.S. 12, 100
Kukarkin, B. V., a kol., 1982, New Catalogue of Suspected
Variable Stars. Moskva, Nauka.
Lee, Y. W., 1991, ApJ 367, 524
Morgan, S. - Simet, S. - Bargenquast, S., 1998, AcA 48, 341
Novák, R. - Hroch, F., 2000, MUNIDOS 2.1
Olech, A., a kol., 1999, AJ 118, 442
Sandage, A. - Cacciari, C., 1990, ApJ 350, 645
Schlegel, D. J. - Finkbeiner, D. P. - Davis, M., 1998, ApJ 500, 525
Simon, N. R. - Clement, C. M., 1993, ApJ 410, 526
Skiff, B., 2000, osobní sdělení (VSNET)
Sobotka, P., 1999, osobní sdělení
Sperl, M., 1998, Comm. Astr. Seis. 111
Strohmeier, W., 1958, Veroff. Remeis-Sternw. Bamberg Nr. 24
Zejda, M., 2000, osobní sdělení
Zissel, R., 1998, JAAVSO, 26, 151

TABULKA 1: Vizuální pozorování DD Dra pořizená autorem.

Juliánské datum (geocentrické)	Jasnost	Odhad	Juliánské datum (geocentrické)	Jasnost	Odhad
11./12. 9. 1999			11./12. 10. 1999		
2451433.330	10.65	A6V2C	2451463.319	10.59	B1V4C
2451433.338	10.66	A5V1.5C	2451463.330	10.54	B0V
2451433.344	10.68	A4V1C	2451463.342	10.54	B0V
2451433.352	10.70	A5V1C	2451463.352	10.60	B1V3C
2451433.365	10.71	A6V1C	12./13. 10. 1999		
2451433.374	10.70	A5V1C	2451464.306	10.49	A5V1B
2451433.383	10.87	C1V3D	2451464.315	10.49	A5V1B
2451433.392	10.99	C3.5V2D	2451464.326	10.54	B0V
2451433.400	11.00	C2V1D	2451464.338	10.59	B1V4C
2451433.406	11.00	C4V2D	2451464.344	10.64	B2V3C
2451433.416	11.02	C2.5V1D	2451464.350	10.67	B3V3C
2451433.424	10.98	C3V2D	2451464.356	10.71	B3V1.5C
2451433.431	10.92	C2V3D	15./16. 10. 1999		
2451433.437	10.95	C2V2D	2451467.274	10.73	B3V1C
2451433.446	10.79	A5V0C	2451467.284	10.60	B1V3C
2451433.453	10.79	A6V0C	2451467.292	10.60	B1V3C
2451433.460	10.71	A6V1C	16./17. 10. 1999		
2451433.469	10.70	A5V1C	2451468.310	10.48	A4V1B
2451433.479	10.68	A4V1C	2451468.319	10.54	B0V
2451433.490	10.63	A5V2C	2451468.328	10.60	B1V3C
2451433.501	10.55	A4V3C	2451468.336	10.62	B2V4C
2451433.511	10.57	A3V2C	2451468.347	10.60	B1V3C
22./23. 9. 1999			2451468.360	10.73	B3V1C
2451444.306	10.46	A4V1.5B	2451468.372	10.79	C0V
24./25. 9. 1999			31. 10./1. 11. 1999		
2451446.309	10.47	A7V2B	2451483.215	10.47	A3V1B
2451446.299	10.48	A4V1B	2451483.228	10.45	A5V2B
1./2. 10. 1999			2451483.238	10.48	A4V1B
2451453.275	10.62	B1V2C	2451483.247	10.49	A5V1B
2451453.285	10.72	B4V1.5C	2451483.257	10.54	B0V
2451453.295	10.79	B4V0C	2451483.265	10.59	B1V4C
2451453.306	10.84	C1V5D	2451483.275	10.58	B1V5C
2451453.318	10.90	C2V4D	2451483.285	10.59	B1V4C
2451453.329	10.87	C1V3D	2451483.297	10.61	B2V5C
2451453.342	10.91	C2V3.5D	2451483.304	10.73	B3V1C
2451453.349	10.85	C1V4D	2451483.316	10.79	C0V
2451453.358	10.79	C0V	2451483.326	10.84	C1V5D
2451453.368	10.84	C1V5D			
2451453.377	10.74	B4V1C			
2451453.390	10.72	B4V1.5C			
2451453.398	10.73	B3V1C			
2451453.410	10.69	B3V2C			
2./3. 10. 1999					
2451454.276	10.84	C1V5D			
2451454.288	10.64	B2V3C			
2451454.299	10.73	B3V1C			
2451454.310	10.72	B5V2C			
2451454.321	10.67	B2V2C			
2451454.330	10.71	B4V2C			
2451454.340	10.60	B1V3C			
2451454.351	10.58	B1V5C			
2451454.361	10.58	B1V5C			

TABULKA 2: Srovnávací hvězdy použité pro vizuální odhady.

označení	GSC číslo	Jasnost z TYC	B-V index z TYC
A	4215.2126	10.24	1.25
B	4215.1108	10.54	0.71
C	4215.1423	10.79	0.39
D	4215.2152	11.11	0.23

TABULKA 3: Maxima použitá pro konstrukci (O-C) diagramu (obrázek 1).

JD-2400000	Epocha	(O-C)	filtr	autor	zdroj	poznámka
47271.460	0	0.327	G	F.Agerer	BAVM 49	
47304.460	101	0.322	G	F.Agerer	BAVM 49	
47306.420	107	0.322	G	F.Agerer	BAVM 49	
47371.440	306	0.312	G	F.Agerer	BAVM 52	
47371.441	306	0.314	B	F.Agerer	BAVM 52	
47405.416	410	0.304	E	F.Agerer	BAVM 52	
48205.538	2858	0.144	G	F.Agerer	BAVM 59	
48205.540	2858	0.146	B	F.Agerer	BAVM 59	
50719.528	10552	-0.103	E	F.Agerer	BAVM 111	
51273.744	12248	-0.105	E	D.Husar	priv.	původně minimum
51315.566	12376	-0.110	G	F.Agerer	BAVM	
51315.571	12376	-0.105	B	F.Agerer	BAVM	
51326.373	12409	-0.087	E	D.Husar	BAVM	
51352.501	12489	-0.101	E	F.Agerer	BAVM	
51433.534	12737	-0.110	vis.	O.Pejcha		původně minimum
51453.451	12798	-0.126	vis.	O.Pejcha		původně minimum
51453.480	12798	-0.097	C	M.Zejda	priv.	původně minimum
51465.549	12835	-0.119	C	M.Zejda	priv.	původně minimum
51467.529	12841	-0.099	C	M.Zejda	priv.	původně minimum
51471.438	12853	-0.112	V	P. Sobotka	priv.	původně minimum
51705.425	13569	-0.099	V	O.Pejcha		

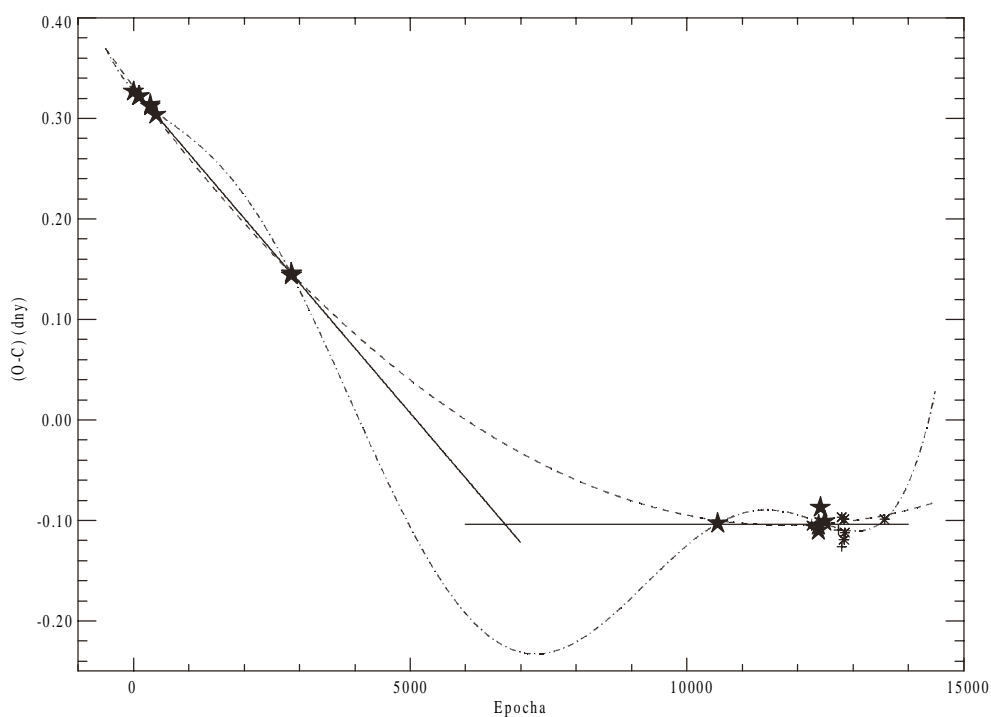
TABULKA 4: Fourierovy parametry pro DD Dra zjištěné z dat Agerera a kol.

	segment 1	segment 2	segment 3	průměr
JD_{start}	2447268	2447371	2450717	-
JD_{end}	2447371	2448205	2451352	-
počet bodů	259	105	134	-
váha v průměru	3	1	2	-
A₁	0.256	0.234	0.263	0.255
A₂	0.051	0.0424	0.0606	0.0526
A₃	0.019	0.0201	0.0281	0.0224
A₄	0.012	0.00959	0.0155	0.0125
R₂₁	0.198	0.182	0.230	0.206
R₃₁	0.0754	0.0861	0.107	0.088
R₄₁	0.0451	0.0410	0.0589	0.049
φ₂₁	4.79	4.68	4.85	4.79
φ₃₁	2.71	2.21	2.90	2.69
φ₄₁	1.54	1.33	1.56	1.51

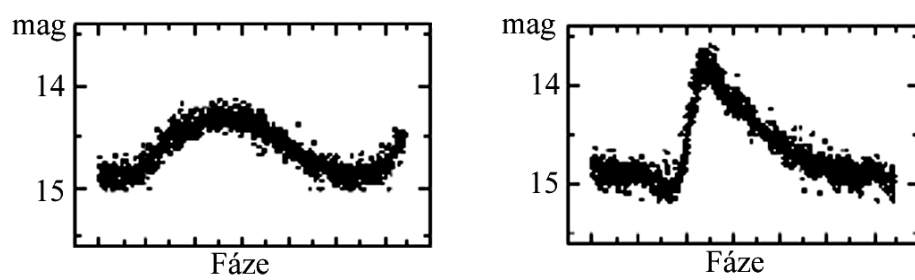
TABULKA 5: Fyzikální parametry DD Dra.

název	veličina	hodnota	log
hmotnost	M/M_{\odot}	0.69	-0.158
svítivost	L/L_{\odot}	56.1	1.749
efektivní teplota	T_{eff} (K)	7248	3.860
zastoupení hélia	Y	0.259	-0.588
přibližná metalicita	[Fe/H]	-1.7	-
absolutní bolometrická hvězdná velikost	M_{bol} (mag)	0.33	-
bolometrická korekce	BC (mag)	-0.042	-
absolutní vizuální hvězdná velikost z bolometrické	M_V (mag)	0.29	-
absolutní vizuální hvězdná velikost ze světelné křivky	M_V^{Ko} (mag)	0.88	-
modul vzdálenosti	$(m-M)_V$ (mag)	10.29	-
modul vzdálenosti	$(m-M^{\text{Ko}})_V$ (mag)	9.70	-
vzdálenost	r (pc)	1140	3.058
vzdálenost	r^{Ko} (pc)	870	2.940

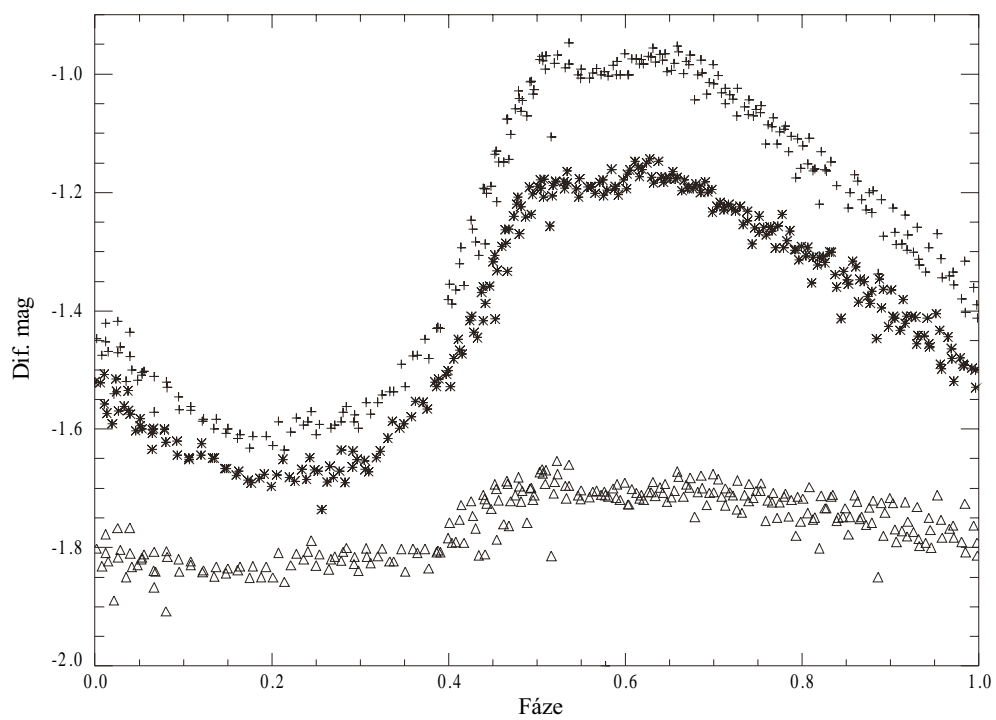
OBRÁZEK 1: (O-C) diagram DD Dra sestavený pomocí tabulky 3. Pětícípé hvězdy jsou fotoelektrická a CCD maxima DD Dra s váhou 3. Znaky * náleží CCD maximům váhy 1 (špatné pokrytí nebo maxima přepočítaná z minim). Znaky + jsou vizuální maxima (přepočítaná z minim, váha 1), je vidět dobrá shoda mezi nimi a CCD maximy. Plné čáry jsou proložením dat pomocí dvou přímek pro ilustraci. skokové změny periody. Přerušovaná čára je proložení polynomem druhého stupně. Čerchovaná čára je proložení dat polynomem šestého stupně.



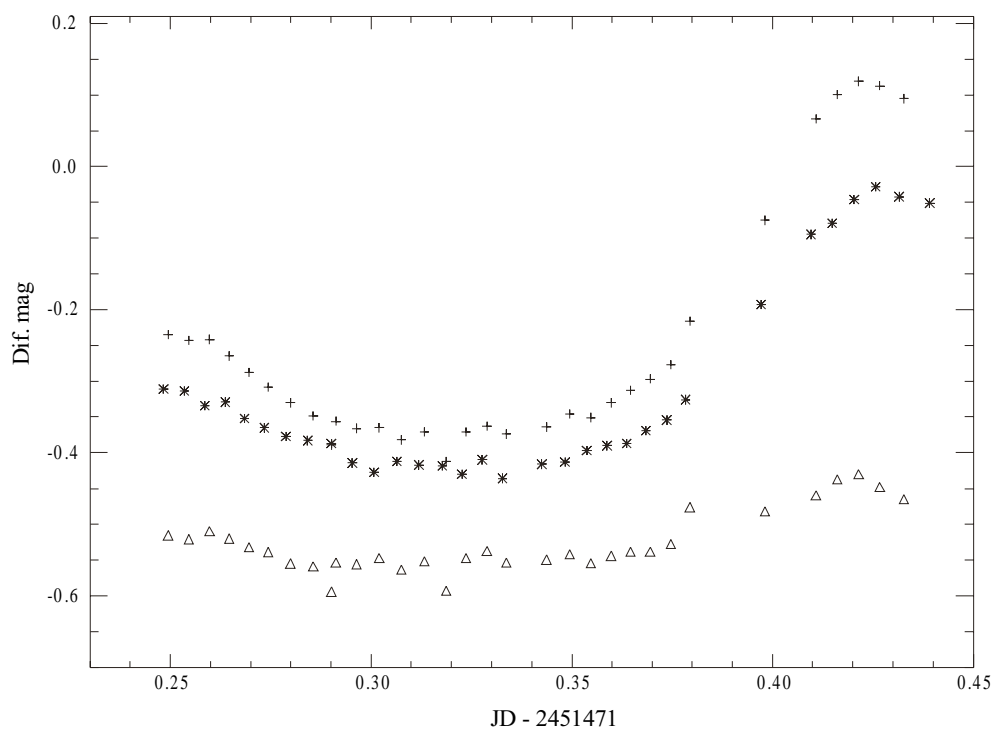
OBRÁZEK 2: Typické světelné křivky hvězd typu RRc (levý panel) a RRab (pravý panel). Převzato od Jurcsikové a kol. (2000).



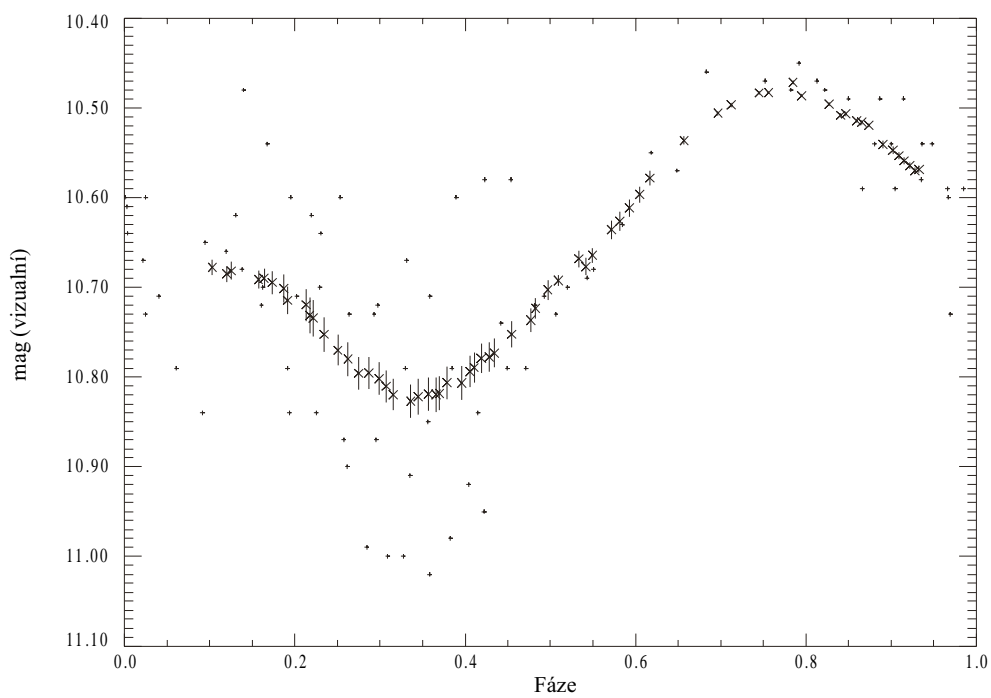
OBRÁZEK 3: Fázová světelná křivka DD Dra podle pozorování Agerera a kol. Znaky + jsou data v oboru B, znaky * v oboru V a trojúhelníky jsou B-V (posunuté o konstantu pro názornější zobrazení).



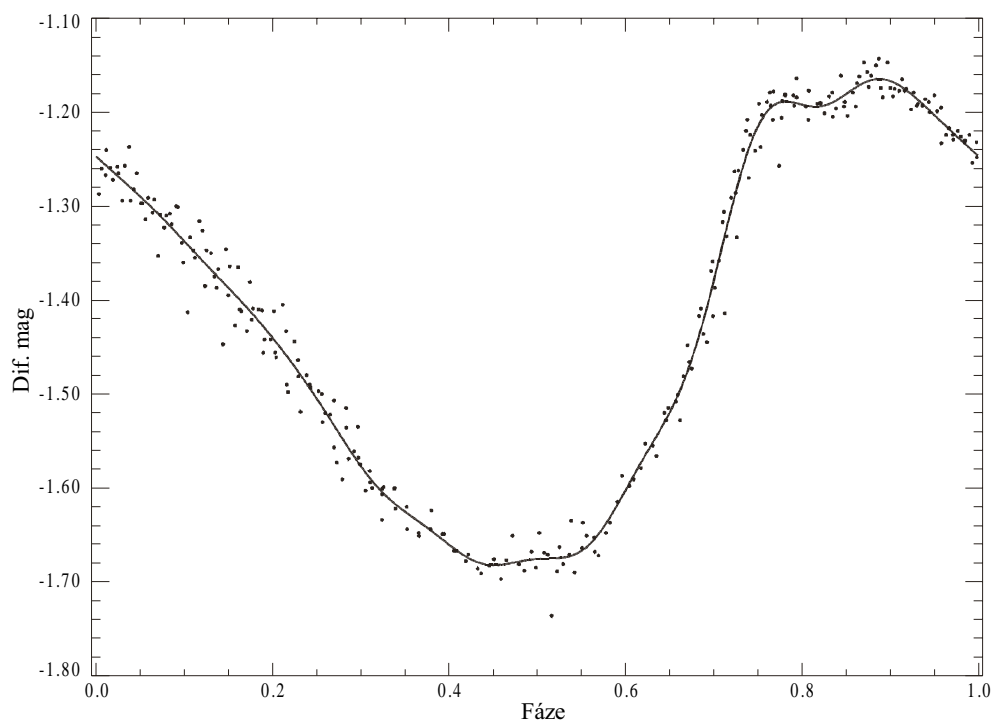
OBRÁZEK 4: Světelná křivka DD Dra podle pozorování Sobotky (1999). Znaky + jsou data v oboru V, znaky * v oboru R a trojúhelníky jsou V-R (posunuté o konstantu pro názornější zobrazení).



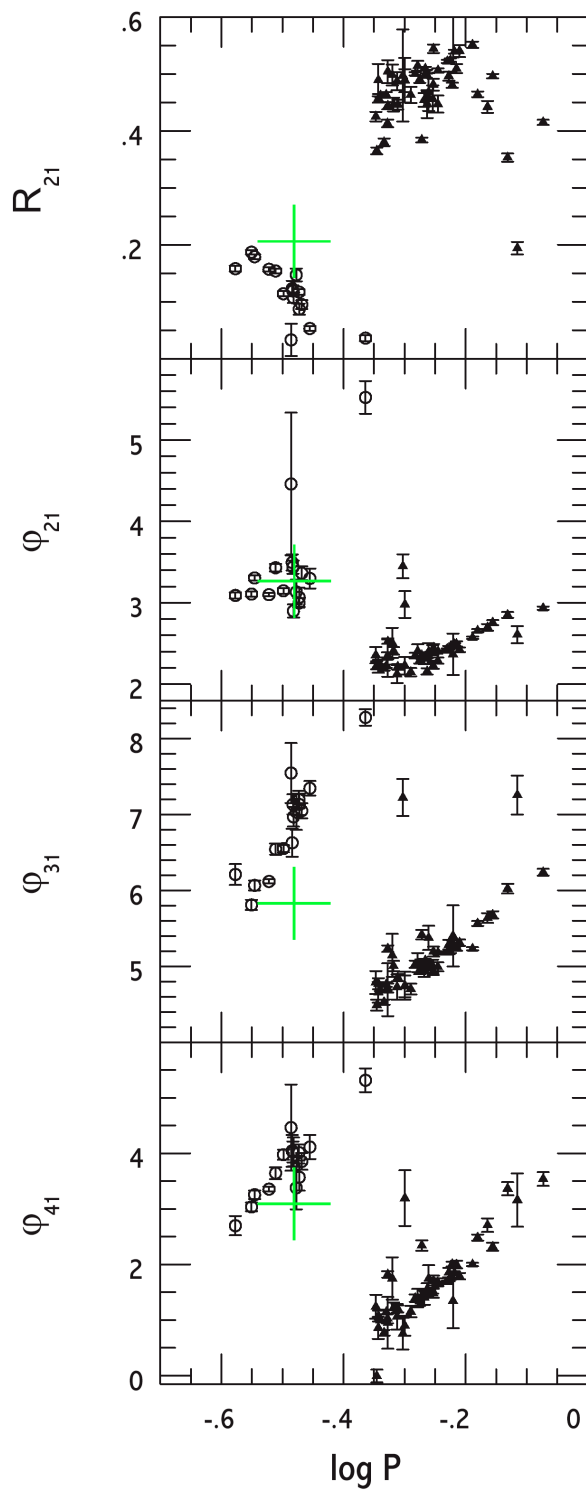
OBRÁZEK 5: Vizuální fázová světelná křivka podle pozorování autora. Znaky + jsou původní pozorování, znaky x jsou hodnoty zprůměrované metodou klouzavých průměrů (Haltuf 2000). Chyby jsou podle MSE (Mean Square Error).



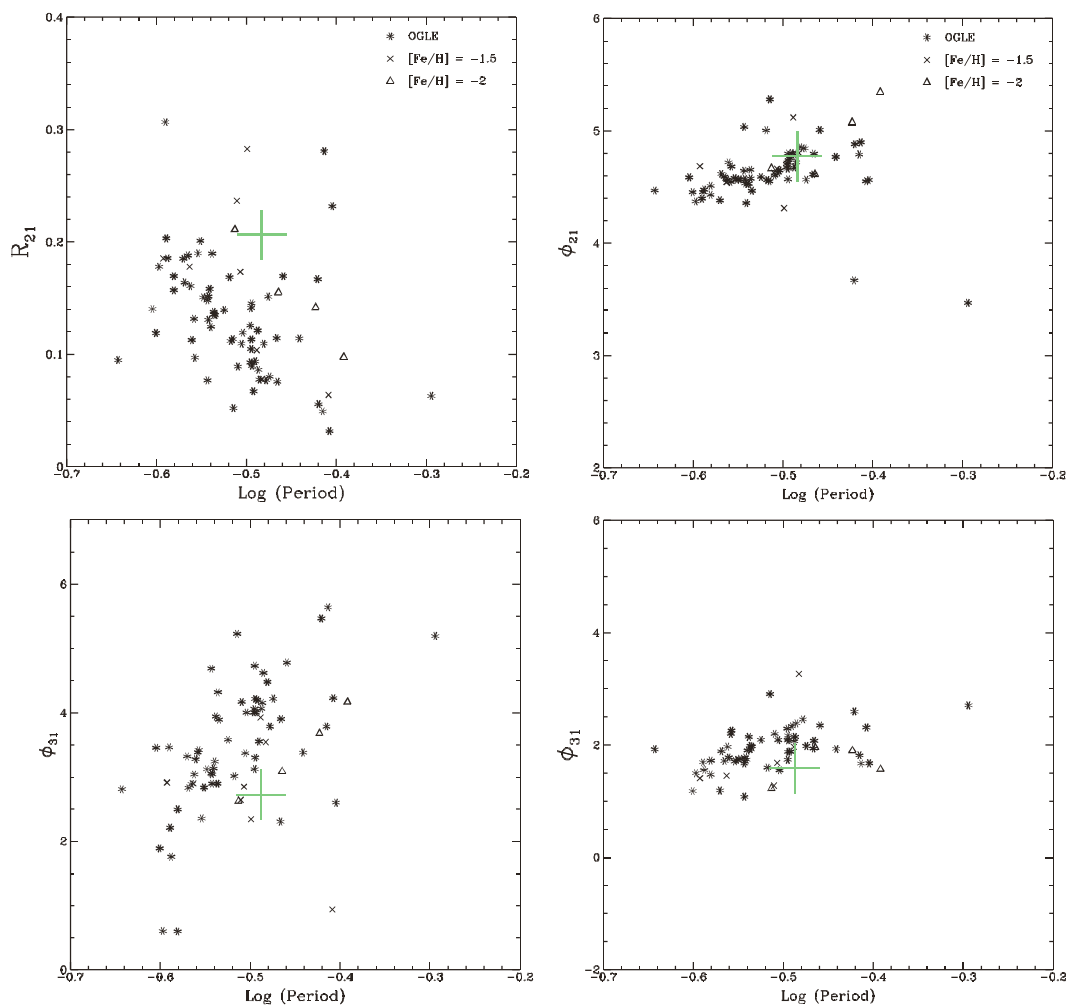
OBRÁZEK 6: Fázová světelná křivka z pozorování v oboru V Agerera a kol. proložená sumou deseti kosinusoid podle vztahu (10).



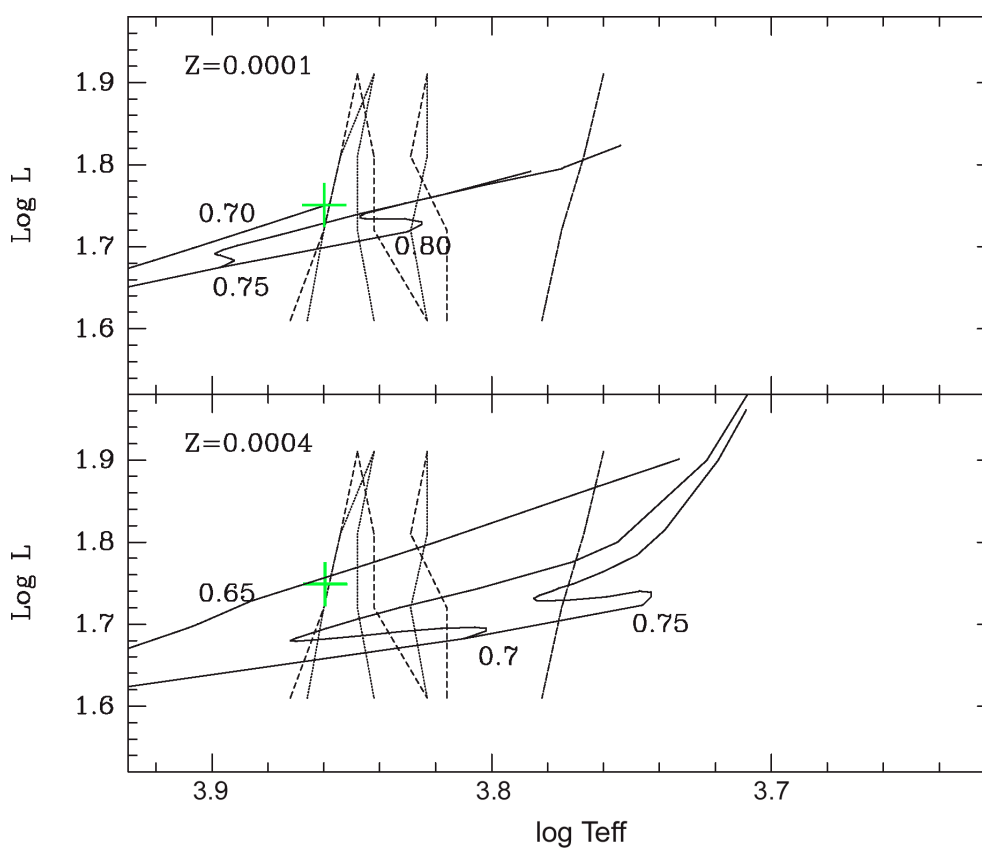
OBRÁZEK 7: Fourierovy parametry vůči periodě pro hvězdy z kulové hvězdokupy M5 (převzato od Kaluzneho a kol. 2000). Body vlevo od $\log P = -0,4$ jsou hvězdy typu RRc, vpravo typu RRab. Zeleným křížem je zaznačena poloha DD Dra (podle údajů z tabulky 4), velikost symbolu nemá význam chyby.



OBRÁZEK 8: Fourierovy parametry vůči periodě pro hvězdy typu RRc z dat OGLE (převzato od Morgana a kol. 1998). Znaky * přísluší datům OGLE, znaky x obyčejným hvězdám s $[Fe/H] = -1,5$ a trojúhelníky obyčejným hvězdám s $[Fe/H] = -2,0$. Poloha DD Dra je zaznačena zeleným křížem a velikost symbolu nemá význam žádné chyby.



OBRÁZEK 9: Poloha DD Dra (zelený kříž, velikost symbolu nemá význam nejistoty parametrů) v teoretickém H-R diagramu podle Bona a kol. (1997). Přerušované čáry značí okraje teoretických pásů nestability pro hvězdy v prvním nadtónu a ve fundamentálním módu. Plné čáry jsou vývojové dráhy hvězd, čísla u čar jsou hmotnosti v hmotnostech Slunce. Nahore pro zastoupení kovů $Z = 0,0001$, dole pro $Z = 0,0004$.



ABSTRAKT

Z fotoelektrických, CCD a vizuálních měření proměnné typu RRc DD Draconis vyplývá rychlá změna periody proměnné určená z grafu (O-C); $\beta = 3,51$. Za použití Fourierovy dekompozice byly zjištěny základní fyzikální parametry DD Draconis: $M = 0,69 M_{\odot}$, $L = 56,1 L_{\odot}$, $T_{\text{eff}} = 7248 \text{ K}$ a $Y = 0,259$. Srovnáním s proměnnými typu RRc z kulových hvězdokup o různém zastoupení kovů a nelineárními modely hvězdných pulzací jsem odhadl $[\text{Fe}/\text{H}] \approx -1,7$ a $Z \approx 0,0004$. Diskutován je rovněž vývojový status DD Dra s přihlédnutím k vysvětlení rychlé změny periody. Výsledkem je, že pokud jsou fyzikální parametry alespoň přibližně správné, pak současná teorie takovou změnu periody vysvětlit nedokáže.