

Evolucija kontaktnih tesnih dvojnih sistema W UMa tipa

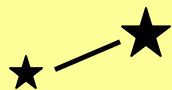
B.Arbutina ^{1,2}

¹ Astronomska opservatorija, Volgina 7, 11160 Beograd, Srbija

² Katedra za astronomiju, Univerzitet u Beogradu, Studentski trg 16, Beograd, Srbija

e-mail: barbutina@aob.bg.ac.yu



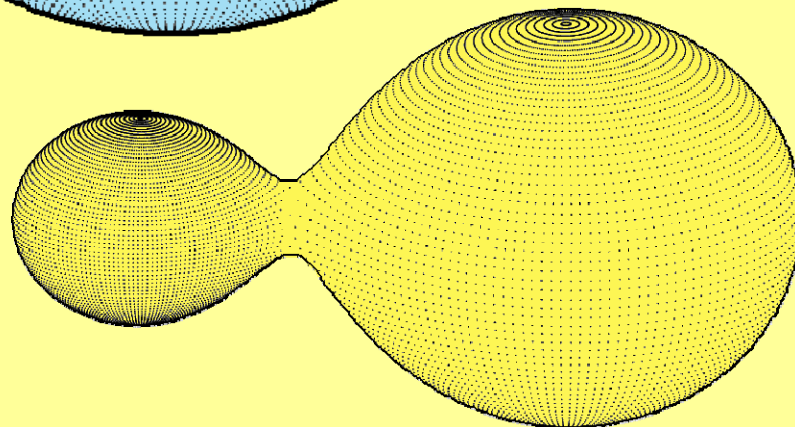
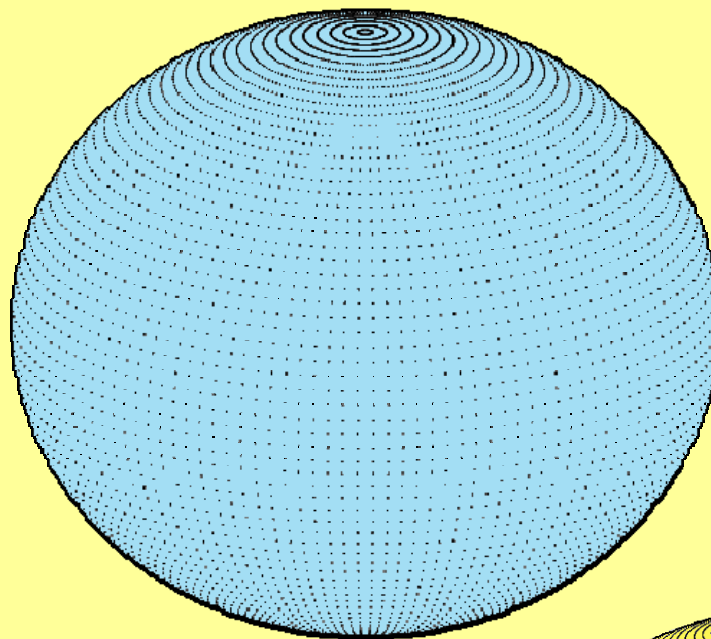


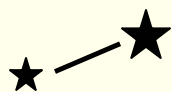
“Nesferne” zvezde

- brzo rotirajuće zvezde
- zvezde u tesnim dvojnim sistemima (TDS)

Tesni dvojni sistemi

- odvojeni (*detached*)
 - polu-kontaktne (*semi-detached*)
 - kontaktne (*contact*)
- Zvezde nisu nezavisne, utiču na evoluciju jedna drugoj, postoji transfer mase, gubitak mase i ugaonog momenta iz sistema





Roche-ov model

- Roche-ov potencijal:

$$\Phi_{eff} = -\frac{GM_1}{r_1} - \frac{GM_2}{r_2} - \frac{1}{2}\Omega^2 R^2$$

$$\Omega^2 = \frac{G(M_1 + M_2)}{a^3}$$

- mase: $M_1 > M_2$

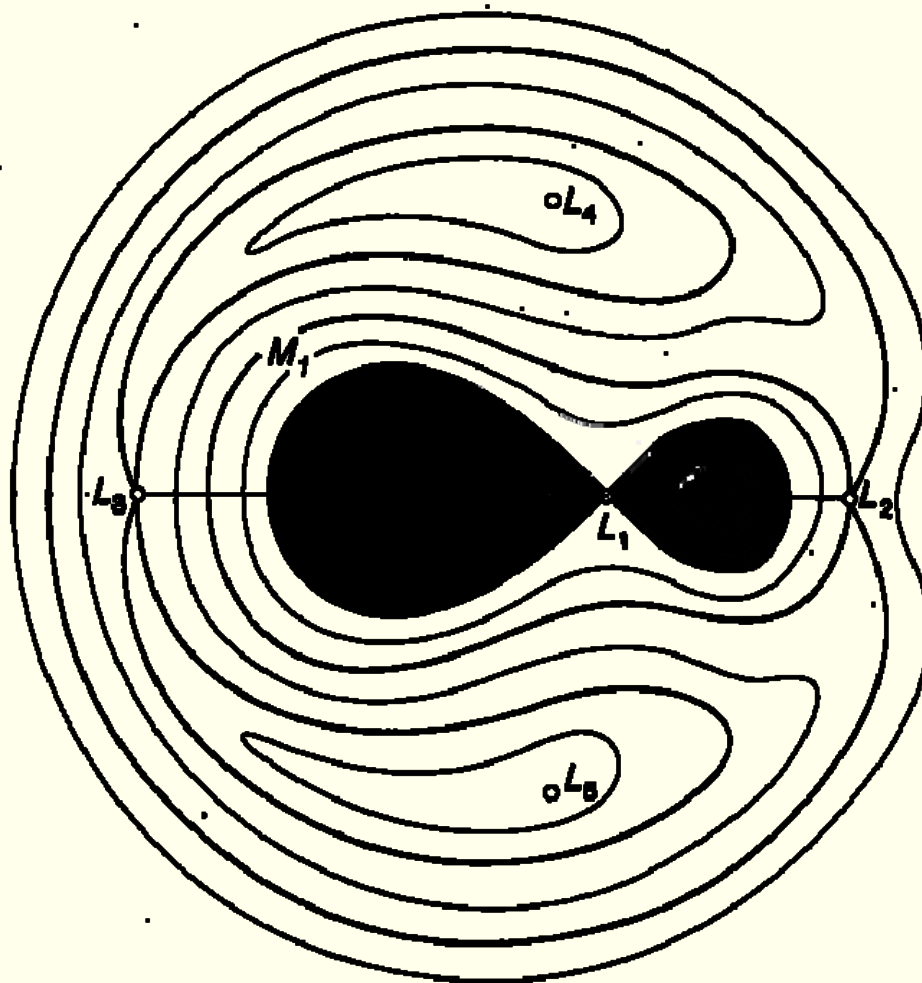
- Lagrange-ove tačke:

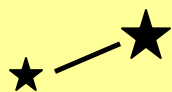
$$L_1, L_2, L_3, L_4, L_5$$

- kritične ekvipotencijalne površi
(*Roche lobes*):

$$\Phi_{IL}, \Phi_{OL}$$

- *Algol* - polu-kontaktни sistem





Zvezde W UMa tipa

- kontaktni sistemi

- *overcontact degree*:

$$f = \frac{\Phi - \Phi_{IL}}{\Phi_{OL} - \Phi_{IL}}$$

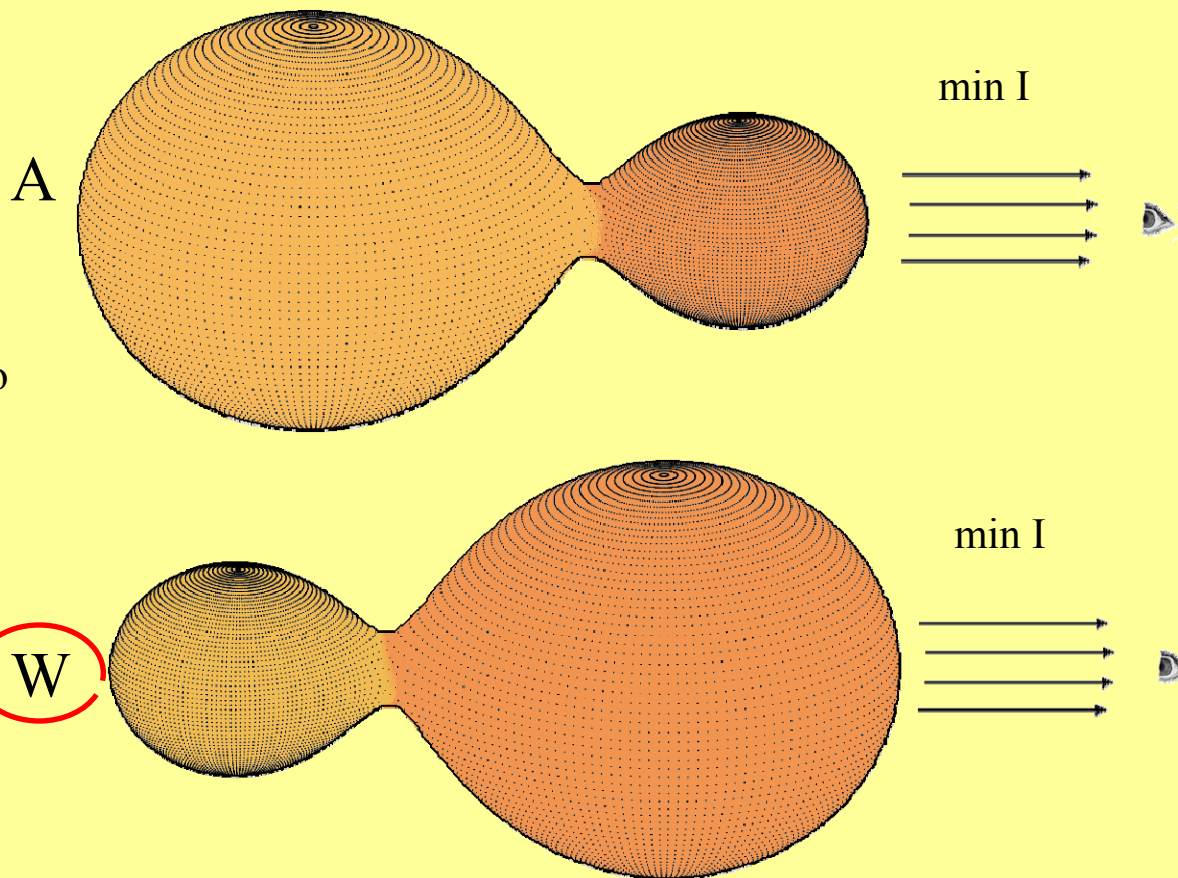
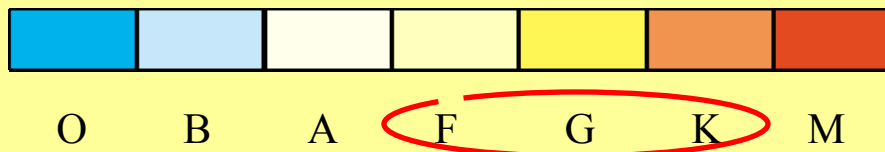
- spektralni tip: pozni F-K (M)

- konvektivni omotač, približno
jednake temperature

- dva tipa: A i W

- primarna komponenta zvezda
na glavnom nizu, sekundarna
komponenta uvećana, *levo*
od glavnog niza!

(videti npr. [Hilditch 2001](#))





Evolucija zvezda

- nuklearna evolucija
- TDS: evolucija orbite ili “orbitalna evolucija”, gubitak ugaonog momenta (AML)
- sekularna, plimska ili Darwinova nestabilnost:

Usled plimskih dejstava u TDS dolazi do cirkularizacije i sinhronizacije. Ako postoji AML rotacioni ugaoni momenat se povećava kako se rastojanje između komponenti a smanjuje, kod sinhronizovanih sistema. Orbitalni i rotacioni ugaoni momenat postaju uporedivi!

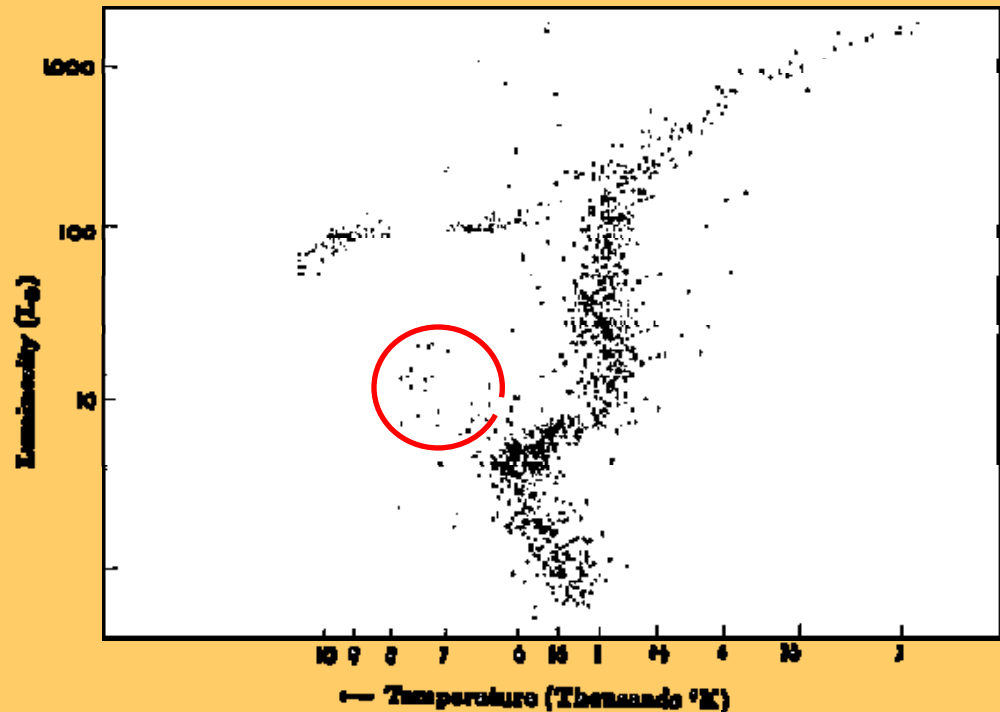
- *SUDAR!*

(Rasio 1995, Rasio & Shapiro 1995)

- sudar dva bela patuljka = alternativni model za supernove tipa Ia

- kontaktni sistemi: *Blue stragglers*

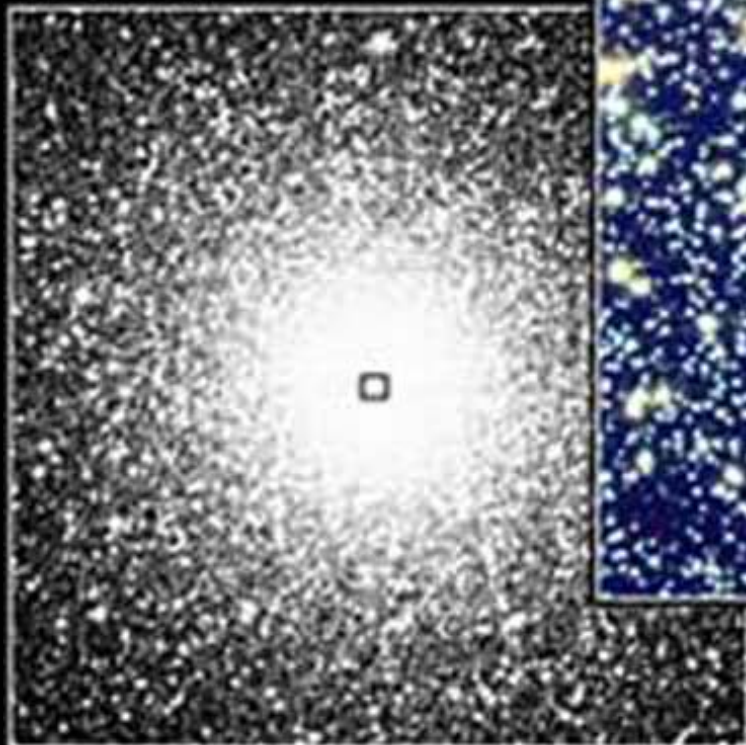
Globularno jato M3



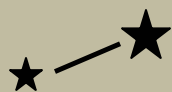
Blue stragglers



Ground



HST



Sekularna nestabilnost

$$J_{\text{spin}} = k_1^2 M_1 R_1^2 \Omega + k_2^2 M_2 R_2^2 \Omega$$

$$J_{\text{orb}} = \mu a^2 \Omega = \frac{q \sqrt{GM^3 a}}{(1+q)^2}$$

$$\mu = M_1 M_2 / M, \quad M = M_1 + M_2, \quad q = M_2 / M_1$$

$$J_{\text{tot}} = J_{\text{orb}} + J_{\text{spin}} \quad - \text{kritično rastojanje (Rasio 1995)}$$

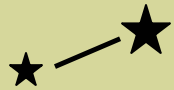
$$dJ_{\text{tot}} = 0 \quad J_{\text{orb}} = 3J_{\text{spin}} \quad \frac{a_{\text{inst}}}{R_1} = k_1 \sqrt{\frac{3(1+q)}{q}}$$

- k je bezdimenzijski žiro-radius, zavisi od raspodele gustine
(za homogenu sferu $k^2 = 2/5$)

$$n = 3 \text{ politropa } (\Gamma_1 = 4/3), \quad k^2 \approx 0.075$$

$$n = 1.5 \text{ politropa } (\Gamma_1 = 5/3), \quad k^2 \approx 0.205$$

$$\text{Sunce, } k_{\odot}^2 = 0.059 \approx 0.06$$



Minimalni odnos masa za sistema W UMa tipa - teorija

$$\frac{R_{ILi}}{a} = \begin{cases} \frac{0.49q^{-2/3}}{0.6q^{-2/3} + \ln(1+q^{-1/3})}, & i = 1 \\ \frac{0.49q^{2/3}}{0.6q^{2/3} + \ln(1+q^{1/3})}, & i = 2, \end{cases}$$

$$\frac{R_{OLi}}{a} = \begin{cases} \frac{0.49q^{-2/3} + 0.15}{0.6q^{-2/3} + \ln(1+q^{-1/3})}, & i = 1 \\ \frac{0.49q^{2/3} + 0.27q - 0.12q^{4/3}}{0.6q^{2/3} + \ln(1+q^{1/3})}, & i = 2. \end{cases}$$

(Eggleton 1983, Yakut & Eggleton 2005)

$$f = \frac{\Phi - \Phi_{IL}}{\Phi_{OL} - \Phi_{IL}} \approx \frac{R - R_{IL}}{R_{OL} - R_{IL}}, \quad 0 \leq f \leq 1$$

(Mochnacki 1984)

$$R_2 = R_2(R_1, a, q)$$

$$k_1^2 \neq k_2^2$$

$$\frac{dJ_{\text{tot}}}{d(a/R_1)} = 0$$

$$\frac{a_{\text{inst}}}{R_1} = \frac{q\tilde{P}\tilde{Q} + \sqrt{(q\tilde{P}\tilde{Q})^2 + 3(1+q\tilde{Q}^2)(q\tilde{P}^2 + \frac{q}{(1+q)k_1^2})}}{q\tilde{P}^2 + \frac{q}{(1+q)k_1^2}}$$

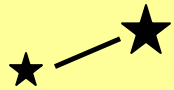
(Arbutina 2007)

(i) $\tilde{P} = \tilde{Q} = 0$

- Slučaj kada je ugaoni moment sekundarne komponente zanemariv (Rasio 1995)

(ii) $\tilde{P} = 0, \tilde{Q} = \frac{k_2 R_2}{k_1 R_1}$

- Komponente su tretirane kao nezavisne pri izvodjenju uslova za stabilnost (Li & Zhang 2006)



Minimalni odnos masa za sistema W UMa tipa - teorija

$$k_1^2 = 0.06,$$

$$q_{\min} = 0.071-0.077$$

(Rasio 1995)

$$k_1^2 = k_2^2 = 0.06,$$

$$q_{\min} = 0.071-0.078$$

(Li & Zhang 2006)

$$k_1^2 = k_2^2 = 0.06,$$

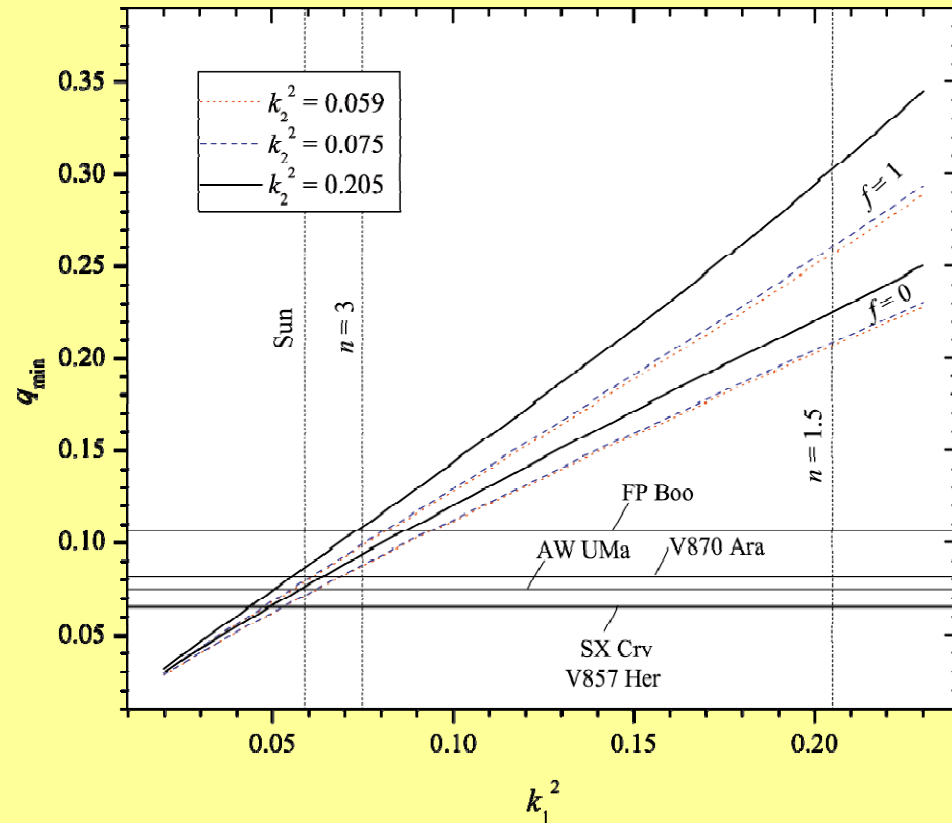
$$q_{\min} = 0.072-0.080$$

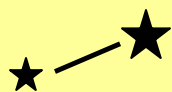
$$k_1^2 \approx 0.075, k_2^2 \approx 0.205,$$

$$q_{\min} = 0.094-0.109$$

- teorijski minimalni odnos masa

Zavisnost q_{\min} od k^2





Minimalni odnos masa za sistema W UMa tipa - empirijski

- kontaktne sisteme sa najmanjim odnosom masa

Star	q	Reference
V857 Her*	0.065 ± 0.001	Qian et al. (2005)
SX Crv	0.066 ± 0.003	Rucinski et al. (2001)
AW UMa	0.075 ± 0.005	Rucinski (1992)
V870 Ara	0.082 ± 0.030	Szalai et al. (2007)
FP Boo	0.106 ± 0.005	Rucinski et al. (2005)
CK Boo	0.111 ± 0.052	Rucinski & Lu (1999)
FG Hya	0.112 ± 0.004	Lu & Rucinski (1999)
GR Vir	0.122 ± 0.044	Rucinski & Lu (1999)
V776 Cas	0.130 ± 0.004	Rucinski et al. (2001)
TZ Boo	0.130 ± 0.030	McLean & Hilditch (1983)

- Evolucija u kontaktne sisteme: DB – NCB – CB (W – A) (Yakut & Eggleton 2005)
- A – W uz gubitak mase i ugaonog momenta (Gazeas & Niarchos 2006), svi *low-q* sistemi su A tipa, u svima je sekundarna zvezda izuzetno male mase?



Umesto zaključka

Moguća rešenja u okviru postojeće teorije:

(i) izmenjena zavisnost efektivnog potencijala od *volume* radijusa (“malo rešenje”)

$$f = \frac{\Phi - \Phi_{IL}}{\Phi_{OL} - \Phi_{IL}} \quad \Phi = \Phi_{eff} \propto R \vee \log R \vee \frac{1}{R}$$

(ii) nova teorijska vrednost za k_2^2 sekundarne komponente – struktura zvezda (“veliko rešenje”)

(iii) uključivanje diferencijalne rotacije primarne komponente, $k_1^2 \rightarrow \chi k_1^2, \chi \leq 1$ ([Hilditch 2001](#))

(diferencijalna rotacija primarne komponente predložena je u radu [Yakut & Eggleton 2005](#) kao mehanizam efikasnog prenosa termalne energije i izjednačavanja temperature u CB)

Nova teorija:

- diferencijalna rotacija, gubitak (prenos) mase u TDS
- postojeći uslovi za stabilnost možda moraju biti izmenjeni u zavisnosti od toga koja veličina ostaje konstanta u nizu ravnotežnih konfiguracija (za slučaj Rieman-ovih elipsoida videti [Lai, Rasio & Shapiro 1993, 1994](#))

HVALA!



e-mail: barbutina@aob.bg.ac.yu

