

Teoretična astrofizika



Cilj

- stanje in razvoj zvezd
- fizikalni procesi in interakcije
med zvezdami in okolišnjo snovjo

Fizika zvezd

- Kaj je zvezda?
 - lastna gravitacija
 - sevanje energije, ki jo proizvaja notranji vir
- >> zvezde se razvijajo:
 - sprememba strukture/sestava
 - umiranje
 - rojstvo zvezd

Osnovne hipoteze

1. izolirani sistemi
2. uniformna začetna sestava zvezde
3. sferna simetrija

1. zvezde so izolirani sistemi

- razdalje med zvezdami » njihovi radiji:
 - npr. $\frac{R_{\text{sun}}}{d_{\alpha \text{ cen}}} \approx \frac{700.000 \text{ km}}{4 \cdot 10^{13} \text{ km}} \approx 2 \cdot 10^{-8}$
 - bližnje zvezde nimajo opaznih gravitacijskih in sevalnih vplivov
- zvezdno strukturo izoliranega sistema določajo začetni pogoji (ne pa interakcije)

1. zvezde so izolirani sistemi

VENDAR

- dvojne zvezde
 - približno 75% zvezd ima spremljevalko
 - lahko učinkuje na razvoj in strukturo
 - zelo različne medsebojne razdalje (od tesnih dvojnic do ~1000 a.e. razdalje)
 - večina dovolj oddaljenih, da ne učinkujejo na razvoj

2. uniformna začetna sestava

- privzamemo uniformno **začetno** sestavo z H, He in kovinami

– masni delež: $x = \frac{\rho_{\text{H}}}{\rho}, y = \frac{\rho_{\text{He}}}{\rho}, z = \frac{\rho_{\text{metals}}}{\rho}$

$$x + y + z = 1$$

$$x(r), y(r), z(r) = \text{konst.}$$

- na začetku ni odvisna od r
- ko se jedrsko zlitje prične se sestava spremeni
- samo fotosfera ohrani začetno sestavo

3. sferna simetrija

- velja za izolirano, nevrtečo, nemagnetno zvezdo
- vsaka lastnost (temperatura, tlak, gostota itd) je odvisna samo od radija r
- kaj pa Sonce?
 - ali lahko zanemarimo?
 - kdaj postane vrtenje bolj pomembno kot gravitacija?

3. sferna simetrija

rotacija vs gravitacija

gravitacijska vezavna
energija

rotacijska perioda

OCENITE

$$\frac{W_{\text{rot}}}{|W_g|}$$

3. sferna simetrija

rotacija vs gravitacija

gravitacijska vezavna
energija

$$W_g \sim \frac{-GM^2}{R}$$

rotacijska perioda

$$W_{\text{rot}} \sim Mv^2 \sim M\omega^2 R^2$$

$$\omega = \frac{2\pi}{P} = 2,7 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

OCENTE

$$\frac{W_{\text{rot}}}{|W_g|} \sim \frac{M\omega^2 R^2}{GM^2/R} \sim \frac{\omega^2 R^3}{GM} \sim 2 \cdot 10^{-5}$$

Rotacijo lahko zanemarimo!

Povprečna zvezdna rotacija ima manjši učinek na strukturo, lahko pa učinkuje z dodatnim mešanjem itd.

3. sferna simetrija

magnetno polje vs gravitacija

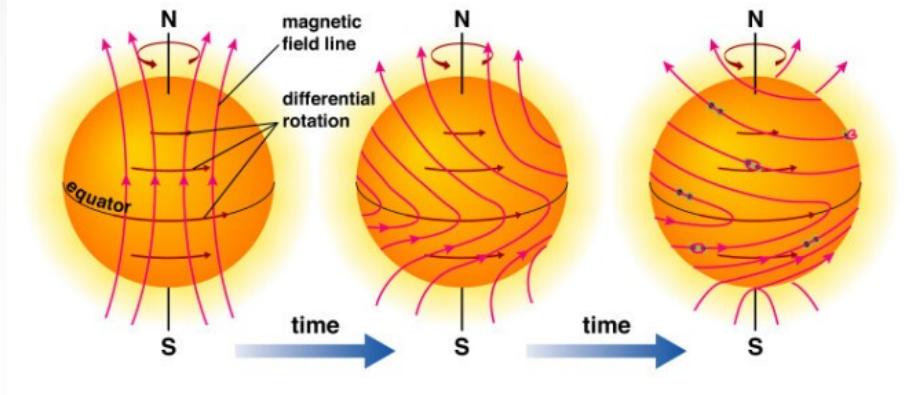
privzemimo, da je magnetno polje povsod enako kot v pegah

$$W_{\text{mag}} = \frac{B^2}{2\mu_0}$$

primerjamo energijski gostoti magnetnega in gravitacijskega polja

$$\frac{W_{\text{mag}}}{|W_g|} \sim \frac{B^2/2\mu_0}{(GM^2/R)\frac{1}{R^3}} \sim \frac{B^2 R^4}{2\mu_0 GM^2} \sim 10^{-12}$$

Magnetno polje lahko zanemarimo!



3. sferna simetrija

- lahko privzamemo sferno simetrijo
- vsak parameter je odvisen od radija
- masa $m(r) = \int_0^r 4\pi r^2 \rho(r) dr$
- lahko pa tudi napišemo v odvisnosti od mase
 - uporabnost: masa M ni tako spremenljiva kot radij R v življenjskem obdobju zvezd

Newtonova gravitacija

- aproksimacija Einsteinove SR
- uporaba: “navadne” zvezde

- Npr. Sonce
$$v_{\text{esc}} = \sqrt{\frac{2GM}{R}} = 620 \text{ km/s} \ll c$$

- Ne velja za npr. nevtronske zvezde

$$R = 10 \text{ km}; M = 1,4 M_{\text{Sun}}$$

$$v_{\text{esc}} = \sqrt{\frac{2GM}{R}} = \sqrt{\frac{1,4}{1/70000}} 620 \text{ km/s} \approx 2 \cdot 10^5 \text{ km/s}$$

Statičnost in ravnovesje

- Dinamična časovna skala (skala prostega padca, če ni ravnovesja med tlakom in gravitacijo)

$$t_{\text{din}} \sim \frac{R}{v_{\text{esc}}} = \frac{7 \cdot 10^5 \text{ km}}{620 \text{ km/s}} \sim 10^3 \text{ s} \sim 20 \text{ min}$$

Zvezde se na takih časovnih skalah ne širijo ali krčijo

- ko zvezde porabijo gorivo se jedro segreje in se zato razširijo (Sonce bo postalo 10% svetlejšo v nekaj milijardah let)
- izguba mase zaradi zvezdnih vetrov
- ne velja za zvezde, ki pulzirajo (kefeide, RR Lire)

Modeli vs opazovanja

- Modeli zvezdne strukture in notranjosti
- Opazovanja uporabimo za določanje robnih pogojev ter za test modelov

Osnovna opazovanja

- j - navidezna svetlost
(gostota svetlobnega toka)
- L - izsev
- T_{eff} - površinska (efektivna) temperatura
- Z - kemični sestav
- M - masa
- R - radij

Osnovna opazovanja

lastnost		enote		Sonce	zvezde
j	gost. sv. toka	J / s m ²		solarna konstanta $j_{\text{Sun}} = 1362 \text{ KW/m}^2$	
L	izsev	J / s	$j = L / 4 \pi d^2$	$L_{\text{Sun}} = 3,85 \cdot 10^{26} \text{ J/s}$	$10^{-5} - 10^5 L_{\text{Sun}}$
T _{eff}	površinska efektivna temperatura	K	$j = \sigma T_{\text{eff}}^4$ $L = 4 \pi R^2 \sigma T^4$ $\lambda_{\text{max}} T =$ $2,897 \cdot 10^{-3} \text{ mK}$	$T_{\text{Sun}} = 5780 \text{ K}$	X000 - X0000 K
Z	kemični sestav			$X_{\text{Sun}} = 0,71$ $Y_{\text{Sun}} = 0,27$ $Z_{\text{Sun}} = 0,02$	$0,001 - X\% M_{\text{zvezde}}$
M	masa	kg	binarni sistem (spektralne črte)	$M_{\text{Sun}} = 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$	$0,1 - 10\text{krat } M_{\text{Sun}}$
R	radij	m	binarni sistemi (eklipsna dvojica)	$R_{\text{Sun}} = 6,89 \cdot 10^8 \text{ m}$	$0,01 - 1000 R_{\text{Sun}}$

Evolucija zvezd: HR diagram

- Hertzsprung-Russel
- Glavna območja na diagramu
- Interpretacija diagrama

