

4. Charakteristika:

Práce vnitřní

hmotnost, věk X, Y, Z jsou, zvláštní veličiny → jak je určit?

4.1. Vzdálenost

- triangulace, čím větší, tím lépe ⇒ planety, asteroidy (Venuše, Mars) → 0,15 AU min.

3. KZ: $\frac{a^3}{T^2} = \frac{G(M_{\odot} + m_p)}{4\pi^2} \Rightarrow$ vzdálenosti \neq času, pokud známe jejich hmoty ← vzdálenost potvrzení planet!

METODA výpočtu planety? ↑
T. J. J. ...
viz text 3. kapitoly
A. P. Morgner
↑
jednoduché by to bylo pro kopernický případ!

- radarové echo (od r. 1964) - emit se neprojevuje ⊙ kvůli nehomogennímu prostředí
měřící čas ⇒ $T_{rad} = (499,004782 \pm 0,000006)_s$ (light time for unit distance)


malá chyba ⇒ 1 AU definováno AU = vzdálenost jinak jako konstanta:
 $\frac{GM_{\odot}}{a^3} = k^2 (1 + m_p/M_{\odot})$; $k \dots$ Gaussova gravitační konstanta = 0,000293995

pro def. \leq vlnění AU = (149 597 870) km
použití doplnění $T =$ siderický rok, $m = M_{\oplus} + M_{\text{Mars}} \Rightarrow a = 1,00000008$ (1, vůči vlně 1AU!)
 $m_{\oplus} = 0,000315$; $m_{\text{Mars}} = 0,000339$ ⇒ a^3 odpovídá na \odot vzdálenosti 710 až 734 km ✓

4.2. Hmotnost

hlavní zdroj grav. $GM_{\odot} = (132,712,440) \cdot 10^{21} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$ ← z orbitálních dat
laboratorní měření $G = (6,67259 \pm 0,00005) \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$ ← ten větší od orbitálních!
⇒ $M_{\odot} = (1,9889 \pm 0,0005) \cdot 10^{30} \text{ kg}$... současně hodnota, ale jinak zhruba hmoty zrcadla $m = \frac{L_{\odot}}{c^2} = 4,4 \cdot 10^3 \text{ kg}$
z větrům $\sim 10^8 \text{ kg/s}$ (obryna zenerkulová)

4.3. Polomer

- ideální profil  ⇒ ideální polomer 959,63''
Brown & Christensen - Deegard (1998)

φ sblížení úhly $\approx 0,01^\circ$, ALE výšné metody se liší až o $0,1^\circ$ ← SYSTEMATICKÁ CHYBA
 $r_{\odot} = (6,960 \pm 0,001) \cdot 10^8 \text{ m}$

* inflexní body odpovídají $T \approx 0,004$, ALE hranice pro model nitra (kde $T = T_{\text{core}}$) se klade na $T = \frac{2}{3}$
⇒ rozdíl až 100km $r_{\text{core}} = 6,957 \cdot 10^8 \text{ m}$ (potvrzení to měření f-měří z ovčích)
- také to závisí na λ se rozdíl 0,1''
- při výpočtech modelů by měla být potřeba snížit $r_{\odot} \approx 2,4 \text{ cm/rok}$
- kritické vertikální pro re-potenciál
 $\bar{\rho} = 1,408 \text{ g/cm}^3$; $g_{\odot} = \frac{GM_{\odot}}{r_{\odot}^2} = 274 \text{ m/s}^2$ (ne struktura z atmosféry)

4.4 Luminosita

+ měření \odot konstanty $S = \frac{L_{\odot}}{4\pi R_{\oplus}^2}$ (iradance ve střední vzdálenosti)

OPR sběrce v atmosféře $\odot \Rightarrow$ pytelometr na balónech, rakétách, sondách **(OPR symmetru?)**

OPR SLEI pro různé přístroje:

Solar Maximum Mission	1367 W/m ²
ERS experiment @ Nimbus 7	1392
Earth Radiation Budget Satellite	1365

∇ opat je zde velké systematické chyby (i když každý měřil & experiment je mnohem lepší)
(většina přitom, že různé metody poskytují různé systematické chyby)

$$S = (1367 \pm 3) \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$L_{\odot} = (3,846 \pm 0,010) \cdot 10^{26} \text{ W}$ \Leftrightarrow absolutní kalibrační & velikost \odot $M_{\odot} = +4,74 \text{ mag}$
připomenutí Pogonyov na $m_1 - m_2 = -2,5 \log \frac{L_1}{L_2}$

+ variabilita S na různých škálách:

- 1) vřít L_{\odot} od ZAMS (72% L_{max})
- 2) relativní změny 0,2% za náhodnou (\odot skoky)
- 3) 10⁶ s za několik minut (aktivita!)
- 4) 0,07% během 11 letého cyklu \leftarrow ve fázi se sklonem!
(nezdravý temo, že jsou loze \leftarrow určité magnetické aktivity)

OPR S & R_{eff}

kte pro měřít?

+ definice efektivní teploty
(kdy z teploty spatit?)

$$L_{\odot} = 4\pi R_{\odot}^2 \sigma T_{\text{eff}}^4 \quad \Rightarrow \quad T_{\text{eff}} = 5,67051 \cdot 10^8 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4} \text{ Stefan-Boltzmann}$$

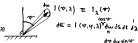
$T_{\text{eff}} = (5778 \pm 3) \text{ K}$ \leftarrow důležitý parametr \odot atmosféry (stejně g)

4.5 Spektrum

1.5.1 f0k versus intenzita

$$F(\lambda) = \int_{\Omega} I(\theta, \lambda) \cos \theta \, d\Omega$$

$$= \int_{\theta=0}^{\pi/2} \int_{\phi=0}^{2\pi} I(\theta, \lambda) \sin \theta \, d\theta \, d\phi = \pi \bar{I}(\lambda)$$



intenzita vlnění procházející diskem \odot : $\bar{I}(\lambda) = 2 \int_0^{\pi/2} I(\theta, \lambda) \sin^2 \theta \, d\theta = 2 I(\lambda, \lambda) \int_0^{\pi/2} \frac{\sin^2 \theta}{I(\lambda, \lambda)} \sin \theta \, d\theta$

a) měří se přímo $\bar{I}(\lambda)$ - většou z celého kotouče

b) centrální intenzita $I(\lambda, \lambda)$ **OPR** obrazově ztenčené $\frac{I(\lambda, \lambda)}{I(\lambda, \lambda)}$ \leftarrow tj. relativní měření! !!

4.5.2 vlnitelná délká **OPR** s výstupem radiativním

optika o aktivaci - měření \bar{I} pro různé geometrické vzdálenosti (včetně hvězdy) & extrapolace k \odot
odborně AER ($T_{\text{eff}} = 5778 \text{ K}$), ale jen přibližně - a) obrazově ztenčená \odot hvězdy

kalibrace Labs & Neckel (1991) - rozptyl 0,2%, systematické chyby 0,5%
b) spektrální čáry (H_{α} ...) Na dublet, C, K od vápníku, čáry Fe, Ca I

Používá se: $B_{\lambda} = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda T}} - 1} \approx \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{\frac{hc}{\lambda T}} = \frac{2kcT}{\lambda^4}$ Rayleighova - Jeansova aproximace

pro IR vhodné aproximace \uparrow

4.5.3 Infračervená oblast

R-1. aproximace přímá (OBR) \rightarrow přímo na log-log grafu
~ 44% energie emitována v infra \rightarrow přímo na log-log grafu
oblaste 400 (teplotické záření) obřího měřací \Rightarrow chyba 1%

4.5.4 Rádiové spektrum ($\lambda > 1 \text{ mm}$)

používá se I_p místo I_λ (OBR)
slouky: a) formální, klidná 0, ale přechod $T_0 = 10^4 \text{ K} \rightarrow 10^6 \text{ K}$ má $\lambda = 1 \text{ cm} \times 1 \text{ m}$
b) 8-komponente, pomalu se mění, koreluje s 11 letým cyklem, stabilní než a)
c) rychle se mění (1-1 den), často výrazně mění \rightarrow emise na 10,7 cm jako index stability
chyba ~ 10%, závislé obno

4.5.5 UV

do 340 nm absorpční čára (Mg I)
přibližně 200-450 nm (ionizační Al)
pod 450 nm emisní čára (Ly α 486,1 nm)
kde je hranice Lyman série?
Lyman série \rightarrow velmi silná čára, šířka jen 0,1 nm, ale $\int (Ly_\alpha) = 6 \text{ MW/m}^2$!
časově svazky, neregulární rozložení zdrojů
kde $\lambda = \text{variabilní}$: a) 25% během synodické rotace periody 0
b) faktor 2 během 11-letého cyklu
oblaste atmosférickým $O_2 \Rightarrow$ rozptyl, zářivost, chyba \approx 4% kvůli standardům

4.5.6 EUV a X-ray ($\lambda < 100 \text{ nm}$)

vysoká geometrie, emisní čára měřících složek a iontů (až Fe XVI), 8000 K až $4 \cdot 10^6 \text{ K}$
(OBR) 2 % přechodová oblast

4.5.7 kosmické ionty

\rightarrow kvůli porovnání s přímým \Rightarrow
$$U-B = -2,5 \cdot \log \frac{\int_0^\infty S(\lambda) E_0(\lambda) d\lambda}{\int_0^\infty S(\lambda) E_0(\lambda) d\lambda} + C_{00} = 0,195 \text{ mag} \pm 0,005 \text{ (př 0)}$$

přímá B-V = ...
 \Rightarrow $h \nu_{\text{max}} = 11,6 \text{ eV}$

Rydbergova formula: $\frac{1}{\lambda_{\text{em}}} = R_H \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$

střední $E = \frac{11,6 \text{ eV}}{n^2}$

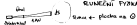
	n_1	n_2	hranice serie	λ
Lyman	1	$2 \rightarrow \infty$	91,3 nm	429 UV
Balmer			364,5	656 V
Paschen			820,7	4675 IR

4.5.8 Potencionální kmitání

\rightarrow dostat spektrum do fyziky?

jak s kmitáním, navíc obdět přes ruč?
Dobří a fyzik: jak fyzika OBR? CIV (200), kap. 2.3.3

3. Přístroje pro pozorování 0



- 3.1.1. **Problém = úlohy:**
- $f = \text{ohnisková} = 0,15 \text{ m}$ (úhel $\approx 1,5 \cdot 10^{-4}$ rad) kružnice: $d \approx 70 \mu\text{m}$
 - $d_s = 0,3^\circ \times 0,1^\circ \approx (4 \mu\text{m} \cdot \frac{0,3^\circ}{180^\circ} \cdot \frac{3 \text{K}}{100})^2 \text{ m}^2 = (3,15 \cdot 10^{-4})^2 \text{ m}^2 \approx 10^{-7} \text{ m}^2$ $d_s \approx 10 \mu\text{m}$
 - $I_2 = 3 \text{ W cm}^{-2} \text{ ster}^{-1} \text{ nm}^{-2}$ (přibližná intenzita) $\approx 3 \cdot 10^4 \text{ W m}^{-2} \text{ ster}^{-1} \text{ nm}^{-2}$ $(7 \cdot 10^4)^2 \cdot 10^{-16}$
 - $I_{\text{obrazu}} = 60 \text{ cm}$, $(10^\circ = 0,17 \text{ rad})$
 - $t_{\text{exp}} = 1 \text{ ms}$ (krátké spojení)
 - počet fotonů 10 mA na $\lambda = 5000 \text{ \AA}$ $\Rightarrow d\lambda = 10^3 \text{ nm}$, $E_p = hf = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{5 \cdot 10^{-7}} \text{ J}$
 - $I_{\text{obrazu}} + \text{rozptyl} + \text{ztráty} = 1\%$ (pouze viz Fig 3.19.) $\approx 3 \cdot 10^{-11} \text{ J}$



$E = \eta \cdot I_2 \cdot d_s \cos^2 \theta \cdot \Delta\lambda \cdot \Delta\Omega = 10^4 \cdot 3 \cdot 10^4 \cdot 5 \cdot 10^4 \cdot 4,5 \cdot 10^{-24} \cdot 10^{-3} = 2,2 \cdot 10^{10} \text{ J}$

$E/E_p \approx 4000$ fotonů (někdy!) $\Rightarrow \text{S/N} \approx 30$ (fotografujeme) \leftarrow ve skutečnosti je 400

\hookrightarrow může to být i horší: pozorování ve skromé $I_2 = 0,3 \dots$, číste polarizace na činnosti $\approx 40\%$

- fotografie:
- a) větší apertura: Meade LX 200 Telescope 0,150, K17 Prox 0,152 m **[DNR]**
in přehledy ATST 0,4 m
 - b) analytická účinnost detektorů: CCD 75%, fotodiody 5-25%, emulze 1% **[DNR]**
 - c) mimo zemskou: OMC-1-S, ATM@ Skylab, SHM, Spektrál Z, Ulysses, Kákos, Kákos, SOHO, TRACE

3.1.2. Seeing - 2. problém, popis **[DNR]** & literatura!
= degradace obrazu plynoucí z θ , θ to horší \Rightarrow číste způsobuje konverze! obřev nepravidlostí, bulvy, ztráta detailů

θ málo závislé na vlnové délce \Rightarrow velké Rayleighovo číslo \Rightarrow turbulence (přechod na klasické - do Newtonských - slabších režimů)

$\theta \approx 1 \approx 2,75 \cdot 10^{-4} \frac{\text{cm}^2}{\text{m}^2}$; $T_0 \approx 293 \text{ K}$ (to je \approx vyrovnání, předčasná fluktuace teploty)

- efekty:
- a) blurring a rozmazání
 - b) image motion a pohybové chyby
 - c) image distortion a skresnutí obrazu
- $\left. \begin{matrix} \text{frekvence až } 80 \text{ MHz} \Rightarrow f_{\text{exp}} < 10^7 \text{ s} \\ \text{málo seeing} \\ \text{význam čísel} \end{matrix} \right\}$

+ PSF a MTF \uparrow frekvence

$I(x,y) = \iint I_0(\xi,\eta) \text{PSF}(x,y,\xi,\eta) d\xi d\eta$... tj. konvoluce (s použitím bodů) **$I = I_0 * \text{PSF}$**

\uparrow utváření skutečného obrazu \uparrow ideální (maximální) obraz

1. zjednodušení: PSF závisí pouze na ξ, x, η, y (stejná rozměrová Ψ)

pak je výhodné přejít Fourierovu transformaci, dekonvoluční teorie **$F = F_0 \cdot S$**

$S(\vec{q}) = \iint \text{PSF}(x,y) \exp[-2\pi i(q_x x + q_y y)] dx dy$... převodní funkce stejně platí 9... pouze frekvence

MTF(\vec{q}) = $|S(\vec{q})|$... modulační transfer function \Rightarrow měnit $\text{rad}(\vec{q})$ MTF

MTF_{tot} = MTF_{objektīvs} · MTF_{okulu}

200: gēljs + Gauss'is

↓
[OBR] mēģina MTF!

2. apskatīsim: rotāciju simetrisku PSF (x,y) = PSF(r); r = √(x²+y²), pik

MTF(q) = 2π ∫₀^∞ r · PSF(r) J₀(2πqr) dr ; q = √(qₓ²+qᵧ²), J₀ - Bessela fcn pāru 0

?) kāpēc?


↳ 1). Hankela transformācija

+ diffraction-limited telescope (tāz. bez sērgu)

definē uz 0 apertūra ⇒ PSF_D(r) = 1/π [J₁(2π/λf r) / r]²

[OBR] tāz. fcn

prāt nūza (PSF_D=0) p. uz r_z = 3.832/λ

D... pl. apertūra 
f... objektivs (caurīti frekvencā!)

! ⇒ ūdā α_z = r_{z}/f = 1.22 λ/D ... „malīšoni daļakābiņi”}

atpazīdējim MTF_D(q) = 2/π [arccos(q/q_m) - (q/q_m)√(1-(q/q_m)²)] ; q_m = 1/λ [OBR] tāz. fcn

✓ frekvence q > q_m nēstāv daļakābiņu pārvērtē (MTF_D = 0)!



skatīsim @
piēkš: gribam 5% kontrastu 45% pārvērtē, vajadzēs malīšoni daļakābiņus (pēc kritērija α_z by jīmā malīšoni)
⇒ kontrast 45% · 0.099 ≈ 4%, t.j. varam ūdā!

↳ (tāz. jūsm mazāki sērgi, ātrāka...)

piēkš: jāzīm apertūra mazāka 2x, tāz. piēkš 60% kontrastu jāzīm vēlreiz 1° uz λ = 500nm

MTF = 0.6 ⇒ q/q_m = 0.3 (da. obr. 2.) q = q/3 α = r/f = 1° q_m = 1/λ
 ⇒ q = 1/λf ; q/q_m = 1/λf · λf/b = 1/ab ⇒ b = 3/λ · q/q_{m} = 3/λ · 1/3 · 1/λ = 3/λ² = 3 · 10⁻⁹ / (500 · 10⁻⁹)² = 3.5 = 0.3 m ✓}

+ sērgu pāz. dīvāns ekspoz. (z. 4s)

⇒ PSF dīvāns apmērojumā Gauss'is fcn PSF_s(r) = 1/(2πσ²) exp(-r²/2σ²) [OBR] PSF (Gausiāna)

↳ 2) ja mēģinām sērgu!

- Fourier transformācija G. je G.: MTF_s(q) = exp(-2σ²q²) S_o = 1/σ² (m-f) · f_{max} je dīvāns sērgu}

- ceturš pārvērtē fcn: MTF = MTF_D · MTF_s [OBR] MTF

pro daļakābiņus D ≤ 20 μm ... diffraction limited

D ≥ 50 μm ... sērgu limited (malīšoni nēstāv, ceturš sērgu, tāz. ātrāki se sērgu kontrast)

✓ - jīmā parametrs pro pāz. sērgu: Freidla parametrs r_k ... apertūra imaginārija daļ. lim. daļakābiņus, sērgu by mēģ. sērgu malīšoni, jīmā ūdā daļakābiņus ceturš sērgu

3.1.4 Aplikovaná optika **OPSR**

- najjednoduchší vektor image multipl. kompresor - skenovať natočiť sa fotobuňka
- aktívator (piezoelektrický)
- isoperimetrový obraz $\sim 5^\circ \times 4, 15^\circ \times 18$ (bez diaľkova)
- korekčný tracker - funguje i bez konštantnej rýchlosti, musí sa pred korekciou ísť v opt. vyhl.
- vektor. opt. diaľkova \Rightarrow redukovat' na $(\frac{D}{F_0})^2$ súčiniteľ, aké je v isoperimetrov.
- frame selection, vždy spojená s množstvom snímkov, redukciou obrazu (kvôli kľúčovej pozícii) \leftarrow Predtým poznate!

3.1.5 Rekonštrukcia obrazu

OPSR

- + Spekt. interferometria (skruškova) \leftarrow špeciálne vlničky pri kľúčovej pozícii 60-90 ms

Laluprie (1990): $|F_0(\vec{q})|^2 = \frac{|F_1(\vec{q})|^2}{|S_1(\vec{q})|^2}$ \leftarrow (1) ak nechcete zväčšať viac pri snímaní, tuhu na záber je akoby sumárne \Rightarrow akúto by? Učba zabraňuje v príslušnej oblasti 2. úlož. diaľkova \times skruškova

Poznať, že sa chystá informácia o fázii \Rightarrow nutná rekonštrukcia obrazu, ALE pri vlničke zabraňuje len opt. diaľkova \leftarrow pri \odot (vlničky zabraňuje, žiadne body publik.) nutná prax

Kein & Thurnau (1994): vypočet autokorelácie \equiv cross spektra \Rightarrow len akúto diaľkova $F_0(\vec{q})$

$$\underbrace{\langle F_1(\vec{q}) F_1^*(\vec{q} + \Delta\vec{q}) \rangle}_{\text{fázia pri opt.}} = F_0(\vec{q}) F_0^*(\vec{q} + \Delta\vec{q}) \cdot \underbrace{\langle S_1(\vec{q}) S_1^*(\vec{q} + \Delta\vec{q}) \rangle}_{\substack{\text{Signal transfer function} \\ \text{nutný} \Rightarrow \text{vlnička fáz.} \\ \text{konštantná (fáz. snímka)}}}$$

- + phase diversity (fázový rozdiel): májme 2 korelácie

$$I_i = I_0 * \text{PSF}_i + N_i \quad i=1,2$$

- práve je, že PSF, a PSF, je od vlničky závislý, títo sa poznať štruktúrou diaľkova (fáz.), kvôli ku vlničke vlnička:

$$\Delta p = \frac{\pi \Delta z}{\lambda} \left(\frac{D}{F} \right)^2$$

REF

Löffler & Scharrer (1994)

- práve to je vlnička \Rightarrow minimalizácia $|I_i - I_0 * \text{PSF}_i|^2$
- opt. funguje práve pre isoperimetrov. diaľkova (číslo obrazu)

3.2 Diaľkova

- veľkosť obrazu e : $\frac{d}{f} = \frac{2F_0}{A}$ vlnička prítom diaľkova 60 $\frac{\text{mm}}{\text{mm}}$ je chci zobraziť 50 km pixel

$\Rightarrow d = 46,5 \text{ cm} \Rightarrow f = 50 \text{ metrov (!)} \leftarrow$ diaľkova diaľkova je diaľkova \Rightarrow D^2 (body)

\Rightarrow fázia diaľkova + zobraziť (codelet)

alebo $(\frac{D}{f})^2$ pre zobraziť diaľkova prítom diaľkova

- 2. možnosť: kľúčová vlnička
- + skruškova optika vyhodnotiť vlnička obrazu čísla vlnička (codelet (vlnička spektra))



prítom vlnička je vlnička zobraziť ku vlnička prítom \Rightarrow vlnička diaľkova vlnička vlnička

- pozn. \odot vlnička by kľúčova ($\delta = \pm 23,5^\circ$)

3.2.2 Zrcadla

- + neobsluh DPR roztok 1 zrcadla, směr do přílohy 10y, obraz @ rohuje konst. rychlostí
Pozor! výsledek je, že úhly paprsků se nemění \Rightarrow konst. instrumentální přesnost!
- + obsluh DPR 2 zrcadla: 1. roztok okolo přílohy 10y, 2. rychlost, sekundě v jednotku
problém se zrcadlem jako plošné; píktel v 2. rohuje
- + úroveň DPR 1. roztok úroveň, kompenzovat, he. rovnováha

--- úroveň úroveň

3.2.3 Sférická zrcadla

- příklad z Kitt Peak DPR $D = 60 \text{ cm}$ (sférické zrcadlo), výkon rozložka 4,25°
 $f = 36 \text{ cm}$
 $N = \frac{f}{D} = 60$
 (váha) (qualis)
 odbojový tok s ohniskem o β 36 cm, 40 cm hloubka

omezení obrazování: - sférická vada - Strehlovův kritérium: kontrastní informace PSF je $\geq 80\%$ PSF₀
 (odlišitelná)
 - v tomto případě se shoduje s Rayleighovým $\lambda/4$ kritériem

$$D \leq 542 \lambda N^2 \quad \text{pro Kitt Peak je } 36 \cdot 2 \cdot 10^3 \cdot 60^2 = 50 \cdot 10^6 \approx 5 \cdot 10^7$$

\Rightarrow používají se sférická zrcadla (kompenzují úhly, snižují odboj)

- koma - Strehlovův kritérium je zde DPR splněno

$$W_0 = 49,2 \text{ rad } \lambda \frac{N^2}{D}$$

to používají tvrdé puky (3°)

- astigmatismus

$$W_0 = \sqrt{2,3 \lambda \frac{N^2}{D}}$$

(= 0,4%) to je největší omezení
kompenzace výtokem rozložkou
(~ 1,2)

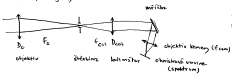
Linnigsten et al (1994): měření MTF pro rozložku „koma“ $MTF(h) \approx MTF_D(3h)$

$$\text{DPR} \text{ proporzionalita „dva“} \quad 0,5 \cdot 0,2 \cdot 0,2 \approx 2\%$$

3.2.4 Krátká zrcadla

- může být pohybliv, výkon se odrazí pro rovinnosti (přesnost je odrazem celkovým)
- nutná sekundární optika, a vlnový sférický obraz @ \Rightarrow Coma
DPR pro velký obraz @
- Gregory kóla obraz vnitřního odrazu vln z teleskopu, obraz na obrazovce disků (jinek by šel v 3L)
 to v 2. rohuje \neq primární obraz (přítup)
- problémy se sovcost & zrcadlem \leftarrow musí souhlasit obraz zrcadla, da Strehlovův kritérium:
 to používá & odraz má jen $\frac{1}{2}$ (zrcadla) od koma
- největší omezení obrazu byje koma DPR splněno $|\Delta| \leq 2 \cdot N^2 \lambda \approx 30 \mu\text{m}$

3.3 Spektrografy



malá apertura, aby nauvážilo světlo
 $\Rightarrow \frac{f_{cam}}{D_{cam}} = \frac{f_o}{D_o}$

- 2 možnosti uspořádání:
- Coumy - Turner - kamera i koncová mají sepařené objektivy (pracují všude minusem \Rightarrow komo, astigmatismus)
 - Littrow - kamera (2. objektiv) je zároveň objektivem kamery ($f_{cam} = f_{cam} =$ „obrázková délka spektrografu“)



2 (1) dráhové rozdíl \Rightarrow podmínka pro konstruktivní interferenci:

$$a (\sin \alpha + \sin \beta) = m \lambda$$

+ úhlové rozlišení spektrografu: derivace dle λ $0 + a \cos \beta \frac{d\beta}{d\lambda} = m \Rightarrow \frac{d\beta}{d\lambda} = \frac{m}{a \cos \beta}$

+ lineární rozlišení: stejný vztah f_{cam} $\frac{dx}{d\lambda} = f_{cam} \frac{d\beta}{d\lambda}$
 (f_o)

\hookrightarrow mění-li dvě rozlišení $a \beta = \alpha \Rightarrow f_{cam} = \frac{d\lambda}{d\alpha} \frac{a \cos \alpha}{m}$

\hookrightarrow typický je mřížka 632 vrypů/mm, 5. řád, $\alpha = 60^\circ$, požadované rozlišení $\frac{d\lambda}{d\lambda} = \frac{4 \text{ nm}}{\lambda}$
 ($a = 1,6 \mu\text{m}$) $\frac{a}{m}$ (detektor s 20 μm pířky, čára 5 nA)

$$f_{cam} = \frac{4 \cdot 10^{-3}}{632} \cdot \frac{1,6 \cdot 10^{-6} \cdot 0,5}{5} = 6,4 \text{ m}$$

- Echle spektrografy \leftarrow ve vyznačených řádech ($m \ll 50$) \Rightarrow velké rozlišení (býří nám umožňuje vidět pl)
- \leftarrow mřížky musí být úzké $\frac{a}{\lambda}$ aby vůbec něco chytily
 - \leftarrow překrývají se spektra \rightarrow čarý z výšších řádů lze zabránit vs. 1. řád
 ale nechtěné překryvy se řeší před disperzí B. filtry

(Lytlové filtry & kompozitní & spektroskopické & naučivé tel) \leftarrow ten objev detekt

Lytův filtr DOKL

+ napřev vše 4 osměmi:

- dopadající vlna má amplitudu A .

- lineární polarizace (polarizátor)

- 2 kolmé vlny s amplitudami: $\frac{A}{\sqrt{2}}$ (kolmé) ← (7) pokud amplitudy má az svícení matematická polarizace?2 různé rychlosti: $\frac{c}{n_0}$ - řasový paprsek $\frac{c}{n_e}$ - nelineární p.

}

↳ rychl. $\Delta = n_e - n_o \dots$ dvojnásobek anizotropie- 2. polarizátor propustí vlny s amplitudou $\frac{A}{2}$ - interferenční dvou vln: $\frac{A}{2} \cos(\varphi + \delta) + \frac{A}{2} \cos \varphi = A \cos \frac{\delta}{2} \cos(\varphi + \frac{\delta}{2})$

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} d$$

$$d = \frac{\lambda}{2} \frac{1}{\sin \alpha}$$

+ n elementů s fázovým $\alpha_n = 2^{n-1} \alpha$:

$$I = A^2 \cos^2 \frac{\delta}{2} \cos^2 2 \frac{\delta}{2} \cos^2 4 \frac{\delta}{2} \dots \cos^2 2^{n-1} \frac{\delta}{2}$$

tato je amplituda vlny
vyššího řádu z kolmé
vlnyintenzita $I = A^2 \cos^2 \frac{\delta}{2}$ má maxima pro $\delta = 2k\pi$
minima $(2k+1)\pi$ DOKL - možná možný $\delta = 2k\pi$ je \forall slova 0

jediná možnost jakou uplatnit dvojnásobek fázů

↳ kolmé vlny odlišují teplotu ($\sim 0,04$ násobek pro viditelné) \rightarrow termometrSpektrální korigent DOKL- spektrogram s vyřazení širšími \rightarrow pohybují se s obzorem 0 se zřetelí s λ fotografickou detekcí
 \rightarrow "non-chronometrický" obraz 0Leighton et al. (1963): objev 3 km rychlosti \rightarrow změně v kódech (zrychl. & zpomal.) (\rightarrow úroveň měření na intenzitě!) \rightarrow DOPPLER GRAM- obzorem. a sídlem MARSOLABY \rightarrow v obzoru má vyřazení (zrychl. a zpomal.)
v obzoru se vyřadí polarizace sledem! (střední teorie)Kosmický DOKL

Lyt (1972)

konice 45° vs 10° kolmé vlny (\rightarrow 2 km od slunce \rightarrow vlny od konice) \rightarrow obzorem pozorovat slunce?

- charakteristický vlnový vlnový (10000 km)

- spektrální a sídlem upřesněním detekce s obzorem, pozn. o 2 vlnách vlnové obzorem

Jak funguje - to je jen vlnový

Neutrinová detektorův detektor DRR

- vyvíjejí se interakce:
 Bohrova hmot. $C_6Cl_6, 10^5 t \rightarrow \nu_e + {}^{37}Cl \rightleftharpoons {}^{37}Ar + e^-$
 Gallium $GeCl_2, NiCl, 10t \rightarrow \nu_e + {}^{71}Ge \rightleftharpoons {}^{71}Ge + e^-$

Superkubekův 3 velké roztoky: $\nu_x + e^- \rightarrow e^- + \nu_x$
 (vnitř. H_2O) \rightarrow 30000 t

Solárny $D, 1000t \rightarrow \nu_e + d \rightarrow p + p + e^-$
 $\nu_x + d \rightarrow p + n + \nu_x$

❓ detektor BOBERKIN? nízký threshold (200 keV) \Rightarrow neutrina 800 keV z ${}^8B\alpha$ /ppř. lze měřit

DRR tek. neutrina (E), 2-12, ckr. 50

pos. o. pop. reakce: $p(p\bar{e}^-, \nu) d$
 (3 částicové)
 $L \rightarrow$

$(E_p > 814 \text{ keV})$
 $(E_p > 233 \text{ keV})$

- detektor se skládá ze 10000 (nebo 3 t) kg
- produkt je neutrina
- a zároveň proudem He (resp. N_2)
- v neutrin. detektoru se monitoruje rozpad

Červenobílé záření, pokud $V_{elektr.} > \frac{dE}{dt_{10}}$
 záření v křištle s vysok. účinn. $\cos \theta \approx \frac{c}{v}$
 \leadsto TRAJEKTORIE!

$(E_p \approx 5 \text{ MeV}) \Rightarrow$ pouze 8B neutrina z β rozkladu ppř!
 $\left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\}$ umožňuje měřit poměr toků $\frac{\Phi(\nu_e)}{\Phi(\nu_x)} < 1$

\leadsto OSCILACE ν

pro energie obzvláště ν se mění

(anomální vyfázování $\nu_e/\nu_x \rightarrow$ neutrinu se vlní, ale pro produkci ν má význam, když ned. má CL. oper.)
 $L \rightarrow$ obvyklé reakce je $p(p, e^+ \nu) d$, ale zde je E_p malá

$L \rightarrow$ také je možná

5. FOTOSFÉRA

zbo: velmi teplejší prostředí s obřími vlnami
hydrodynamické (turbulentní) struktury
přeměnou vlnivosti, nízká hustota, omezená

OPR fotosféra: vrstevnatá, skvrny, fáze při otáčení, obří vlnění, granule

OPR UV 400nm (vlnová délka fotosféry / chromosféry): silná struktura, fáze v
Lo vlnivost

5.1.1 Obří vlnění

- polárka T s výškou \Rightarrow vrstevnatá T(z)!
- málo vypočetit pohyb částic (obří vlnění i seing)

OPR vlnivost na λ : pro vlnu λ málo vlnění, minimální bude pro λ odpovídající T_{min} ,
vlnivost minima je větší než u gradientu, faktor!
(+): větší je s klesající (pro? tam se party
soustřeďují v vlnivosti odlišně) ②

- polárka na výšce velmi prudky (problém se seingem, difúzí) \Rightarrow vlnivost při záhybech 0 Místem
100 km \approx 0,1°

jednoduchý model

$\vec{F}_g + \vec{F}_b = 0$
 $-\rho g dh + \rho g dh + dF_p - dF_p = 0$
 $\frac{dF_p}{dh} = -\rho g$ k $F_p = \frac{\rho g}{\rho \omega} \rho T \Rightarrow \frac{dT}{dh} = -\frac{\rho g}{\rho \omega} \rho$
 $\rho = \rho_0 \exp\left(-\frac{\rho g}{\rho \omega} h\right)$
 $6.6 \cdot 10^{-4} \text{ pro } T = 5000 \text{ K}$
 $\approx 150 \text{ km}!$ (polárka na $\frac{1}{2}$)

ρ proud! toto platí pro T=konst!

$T = 10^4 \text{ K}^2$

5.1.2 Granule

OPR

- jasná granule přibližně 1000 km, šedé tavné prostředí, šedá 1000 km, kontrast 40 až 20% (ke seingem!)
- kontrast spektrum \Rightarrow granule doplněny potměšilými do vody (obří vlnění) Pozor na 5-min
ouška! Ty je
tím odlišit
- vlnivost \sim 2 km/s \Rightarrow vlnivost vlnění

TAH 5-1 vlastnosti granule, megagranule a supergranule

OPR 5-9 doplněná fotosféry \Rightarrow SUPERGRANULACE, \approx 30000 km velké, horizontální $V \approx 0.5 \frac{km}{s}$

vln p

tyto vlnivosti vlnění

tyto vertikální vlnění!

$(\rho v = konst.)$
 $\frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \cdot (\rho v) = 0$

kompenzace s chromosférickou vlnivostí (obří vlnění)

... ale jen vlnění
 Pozn. a to kontinuita

5.2 Model fotosféry

- předpoklady:
 - 1) plocha paralelu, homogenní (bez gravit.)
 - 2) hydrostatická rovnice
 - 3) zánub rovnice (bez konvekce, vln)

- model:
 - 1) odhad měřit T(z)
 - 2) vypočítat p(z) z hydrost. rovnice
 - 3) pro dané chem. složení vypočítat opacitu K(p, T)
 - 4) řešení ra přenosu záření v LTE aproximaci \Rightarrow tok F = σT_{eff}^4

Lo součtu pozorování měření: P, vlni dekvenci, vlni profilu zář. spektra

5.2.2 Inverze obzajevé tlamění \Rightarrow T(z)

Řeš. ra přenosu záření:

$$\frac{1}{\mu} \frac{dI}{dz}$$

$$I_{\lambda}(0, z + dz) - I_{\lambda}(0, z) = [E_{\lambda}(z) - K_{\lambda}(z) I_{\lambda}(0, z)] dz$$

cos $\theta = \mu$

$$\mu \frac{dI_{\lambda}}{dz} = E_{\lambda} - K_{\lambda} I_{\lambda}$$

$$\text{Zjednod. } \frac{dI_{\lambda}}{dz} = -K_{\lambda} I_{\lambda}$$

$$\mu \frac{dI_{\lambda}}{dz} = I_{\lambda} - S_{\lambda}$$

$$\text{pro LTE: } dI_{\lambda} = 0, \quad I_{\lambda} = B_{\lambda} = S_{\lambda}$$

(Kirchhoffův zákon)

$$\text{pro vrstvu: } \frac{I_{\lambda}(0, z) - I_{\lambda}(0, z + dz)}{dz} = K_{\lambda} I_{\lambda}$$

integrací

$$\text{množ. integrálu zář. jako: } I_{\lambda}(z_1, \mu) = I_{\lambda}(z_2, \mu) \cdot \exp\left(-\frac{z_1 - z_2}{\mu}\right) + \int_{z_2}^{z_1} S_{\lambda} \exp\left(-\frac{z_1 - z}{\mu}\right) dz$$

li. proto, že bez zář. by ra přenos vypadalo jako $\frac{dI_{\lambda}}{dz} = -K_{\lambda} I_{\lambda} \Rightarrow I_{\lambda}(z) = \exp(-z)$

pro slunci na vstupu:

$$I_{\lambda}(0, \mu) = \frac{1}{\mu} \int_0^{\infty} S_{\lambda}(z) \exp\left(-\frac{z}{\mu}\right) dz$$

! viz 4

pro LTE to málo záleží jakou profil chem. tlamění:

$$\Phi_{\lambda}(h) = \frac{I_{\lambda}(0, h)}{I_{\lambda}(0, 1)} = \frac{1}{\mu} \int_0^{\infty} \frac{B_{\lambda}(z_2)}{I_{\lambda}(0, 1)} \exp\left(-\frac{z_2}{\mu}\right) dz_2$$

normalizovanou fci zdeje rozvinu jako polynom:

$$\frac{B_{\lambda}(z_2)}{I_{\lambda}(0, 1)} = a_2 + b_2 z + c_2 z^2 + \dots$$

! detadine & polynomiale aproximace: $\frac{1}{\mu} \int_0^{\infty} z^n \exp\left(-\frac{z}{\mu}\right) dz = \mu^n$

$$\Phi_{\lambda}(h) = a_2 + b_2 h + c_2 h^2 + \dots$$

+ tyto koef. se určí měření (LM fitem)

$$\downarrow$$
$$B_{\lambda}(z_2) \text{ , pokud znám } I_{\lambda}(0, 1)$$

$$\downarrow$$
$$T(z_2)$$

! One's kL a 9km (profil tlamění) nebo PS

: 200

záměr rovnice (H⁻) BSE 4.5 \Rightarrow kL (vzrostl BSE? kap 2.3.3

chem. složení \Rightarrow důležitá pro vlni! \Rightarrow kL a 2.5 km

slavnosti

generování sp. zář. BSE 4.9

vlnění optické vlnění (H⁻ jako vlni přenos) dr. BSE

v kap. 4.4.3 - porovnání vlni měř. a kalkulace vlni

! vlnění SWM? \Rightarrow popis vlni, co se děje v vlni (přechod jako SWM)

! H⁻ chem. BSE 4.9

v kap. 2.5.1 - slavnosti vlni vlni

tedy SWM: kap. 4.5 ve Fuldner: $\nu, \lambda, \mu, \beta, \beta_2, \text{atd.}$

SWM \Rightarrow dr. vlni

homogenní chem. složení, slavnosti \Rightarrow vlni

SWM na SWM zc slavnosti? \Rightarrow vlni

H⁻ H⁻ \Rightarrow vlni p₁ \Rightarrow vlni p₂ \Rightarrow vlni p₃ \Rightarrow vlni p₄

+ metoda synetického spektra

kos ní máte profily nekýje čer vyvalit!

- konstanta n_j jsou velmi parametry, spolu s $T(\tau)$, parametrem mikroturbulence

→ vyšetřování co největšího počtu (term, slabých) spektrálních čer

profil čer je vícen řádním 2 jay:

• kontinuum je vícen velkou (n_{ul}), čer je; měřit n_{ul} je rovnání ob dvoum n_j/n_{ul}

1. - Dopplerův je kvůli Maxwellovskému rozdělení rychlostí: $\phi_D(\Delta\nu) = \frac{1}{\sqrt{\pi} \Delta\nu_D} \exp\left[-\left(\frac{\Delta\nu}{\Delta\nu_D}\right)^2\right]$

$$\text{kde } \Delta\nu_D = \sqrt{\frac{2R^2T}{\mu} \frac{v_c}{c} + \xi_c^2} \quad (\text{mikroturbulence})$$

↳ Gaussův profil ↑

2. - blízké rozšíření $\phi_C(\Delta\nu) = \frac{1}{(2\pi \Delta\nu^2 + \frac{\xi_c^2}{4})} \leftarrow \text{H. Lorentzův profil}$

kde μ je parametru útlumu
(~ blízké frekvenci)

1. dominuje v jádru čer, 2. v křídlech

konotice těchto výrazů dšd:

$$\phi(\nu) = \frac{1}{\sqrt{\pi} \Delta\nu_D} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\exp\left[-\frac{(\nu-\nu')^2}{\Delta\nu_D^2}\right]}{[2\pi(\nu'-\nu_c)^2 + \frac{\xi_c^2}{4}]} d\nu' \quad \leftarrow \text{tj. Voigtův profil}$$

SOOP 4.9 = 3.100

SOOP Asplund et al. (2005)

* slavná literatura, přehledy... → viz 8. zkušební

základní chyby: - u libovolné různé profily čer, konstantní mikrokonstanty?

- např. různé směrné úhy oscilátoru f (prot. přechodu)

- non-LTE metody

+ problémy s héliem

čer He ($D_1, S\&T, E \text{ nm}$) objeveny 1848, Norman Lockyer; izolován Ramsayem (1895) z minérale čistit
zkušebna ze synetického spektra, MLE s velkým chybov! ($0,2 \text{ v } \log A = 12 + \log \frac{M}{n}$)

problemy He včr v UV, IR čerách \leftarrow chemofóra B kvantů \leftarrow non-LTE!

určit γ z helioseismologie! \leftarrow frekvence oscilací $\sim c_{\text{sound}} \sim$ adiabatický exponent $\sqrt{\frac{P}{\rho}}$
 \sim podíl specifických tepel $c_p/c_v \sim$ mění se teplota He
(E se scitřuje vs i. \rightarrow T namste $\rightarrow c \propto \frac{G}{\Delta T}$ rube)

$$\gamma = 0,248 \pm 0,002$$

tj. stejný výsledek jako u SSM zahrnujícího dílně He k centru! (bez dílně by muselo být $\gamma \approx 0,28$)

↑

gubitva zkušebna, že těle praty sdělujejí dšd, kaci notan
 $\tau \approx 10^8$ sčrř \odot , sta přelo má výman

(7)

STANDARDNÍ MODEL ⊙

jak se konstruuje? viz roz

REF: Sackmann et al (1993) OBR H-R diagram

- + zhmotlen, homogenní chem. složení
- + střed ⊙ = unruhová

- P... pro MS, začne veslece, E pokračí v kumulaci
- A... po zstavení H je kumulace již zanedbatelná ($T = 12 \cdot 10^4 K$, $\rho = 20 \text{ g/cm}^3$) = ZAMS
- B... Jasně ⊙ $\leftarrow H + He \rightarrow$ růst $\rho \rightarrow$ pokles pressure scale height \rightarrow růst $\rho, T_c \rightarrow$ růst z, L_{\odot}
 ρ dosáhne 7 Gyr ↓
- C... nejvyšší T_{eff} (za 3 Gyr)
- D... spotřebovává H v jádře (za 4,8 Gyr), ale ještě stále v mládí
- E... konec MS ($L = 2,2 L_{\odot}$, věk 11 Gyr) \leftarrow již na $1,1 L_{\odot}$ se vyprší H_2 (velký státníkový jev)
 kumulace jádra \rightarrow unruhová $E_G \rightarrow$ expanze oběhů při $1,4 L_{\odot}$ úplné vyprášení oceánů (přibližně z. j.)
- F... začátek RGB, kulení H ve slupce je hlavní zdroj (ale možná započten vše oběhů)
- G... dlejší pokles L_{\odot} kvůli dlejšímu modrému záření kumulací
- H... nejvyšší luminance $L_{\odot} = 2349 L_{\odot}$, konec RGB
 $T_c = 10^8 K$ začátek He, ALE mimo střed (!) kvůli chlazení E neutřiny při určitých kumulacích
 $n(M_{\text{He}} = 0,1 M_{\odot})$

TAB 3 čtyř tvárné fáze

min. testy SSM: (nezávisle na R_{\odot}, L_{\odot})

- neutrinové detektory \rightarrow tak \downarrow , např. Cl detektor (^{37}Cl), gallií detektor (^{71}Ga)
 L_{\odot} závisí na detektu SSM, nikoli jen na L_{\odot} ↓
 (kdyby ve ⊙ byl CNO cyklus místo p-p řetězce, neznamenalo by to nic jiného než neutřiny)
- Li & Be : Li je v atmosféře málo (v porovnání s neutřinami) $T_{\text{atm}} = 2,6 \cdot 10^4 K$
 Be, B je ve slupce 35 K
 \rightarrow předpokládá by se spíše na MS, díky konvekční zóně (přeskládání)
 kde jsou deuteriové klustery! OBR
- slunce a jiní x, x hvězdy
- klimatické modely ⊕ - sdílely střed 3,5 Gyr, ⊕ možná spíše bouře! (problém s oběhů)
 předpokládání koloběh ω, R slunce
- $V = -\frac{GM}{r} \left[1 - \int_0^r \frac{\rho(r')}{r'} dr' \right]$ $\downarrow \approx 10^4$ $\left\{ \begin{array}{l} \text{Lunar ranging} \\ \text{du měření } \odot \text{ Jitro} \\ \text{přesná Měsíční} \\ \text{radiometrie (splitting of p-modes)} \end{array} \right.$

pat. úkta (H) : normálně by zážehnutí He způsobilo expanzi & ochlazení jádra, pakles, ALE zde se volněně E spotřebovuje na zvýšení vnitřní E (zvlnění degenerace) ^{vnitřní}
 ⇒ žádná expanze, T dále roste, E přikotně roste (zř. část jádra se zř.čha vřt degenerovaně)

ovšem není vidět na povrchu ⇒ héliový záblesk, výkon až $10^{10} L_{\odot}$!
 ⇒ zř. poději ustátna expanze jádra, rozepnutí H slupky u pakles s. L trváni 10^5 yr & pak oscilace

J ... ZAMB (kromě úkta horizontální korekce), zážehnutí pohlcování helií He v jádre, $44 L_{\odot}$, 0,16 Gyr

K ... konec HB, zbudování He v jádre molá, kontrakce jádra ⇒ kontrakce H slupky ⇒ zvýšení L

L ... $Y_c = 0$, zážehnutí He ve slupce ⇒ ve x jnu 2 slupky!

(E-AGB) ⇒ rozepnutí H slupky ⇒ dvojný pakles L

ALE přiblížení He slupky k H slupce ⇒ ohřev H slupky ⇒ růst L (tj. fáze E-AGB) trváni 0,02 Gyr

jádro C,O (bez záruje) kulobuje, normálně by to způsobilo ohřev, ALE stráta E neutry

⇒ ochlazení, pakles T_c ⇒ jádro se opět stane degenerovaně ⇒

⇒ smetení (zmačtení) vnějších slupek

TP-AGB (M) ... další nestabilita : tenčí slupka He ⇒ první lokální expanze, ohavní pakent. (pukny) (pafT)

⇒ T slupky roste ⇒ E roste přikotně, zrakovní až když je slupka tlustě; ořekování po kontaktu slupky L_{\rightarrow} až $40^6 L_{\odot}$, ale na povrchu proud $10^{10} L_{\odot}$

+ na povrchu se to projevuje jinak : expanze He slupky ⇒ zmačtení H slupky (slupky)

⇒ pakles L_{surf} ; L_{\rightarrow} pak se k povrchu dostane E volněně při záblesku ⇒

⇒ růst L_{surf} (400 yr); zmačtení L_{\rightarrow} potlačení záblesku ⇒ pakles $L_{(H)}$

Znovu zážehnutí H slupky ⇒ růst L

+ celkem \odot He záblesky, výkon 400 tisíc L_{\odot}

(M)... ztráta hmoty, růst T_{eff} až k $120000 K$, $L = 3000 L_{\odot}$, $\sim 40^5$ yr, planckovní intenzita

ale by měly být tečky

