

Polarizacija Rasejanjem i Hanle efekat u Spektralnim Linijama

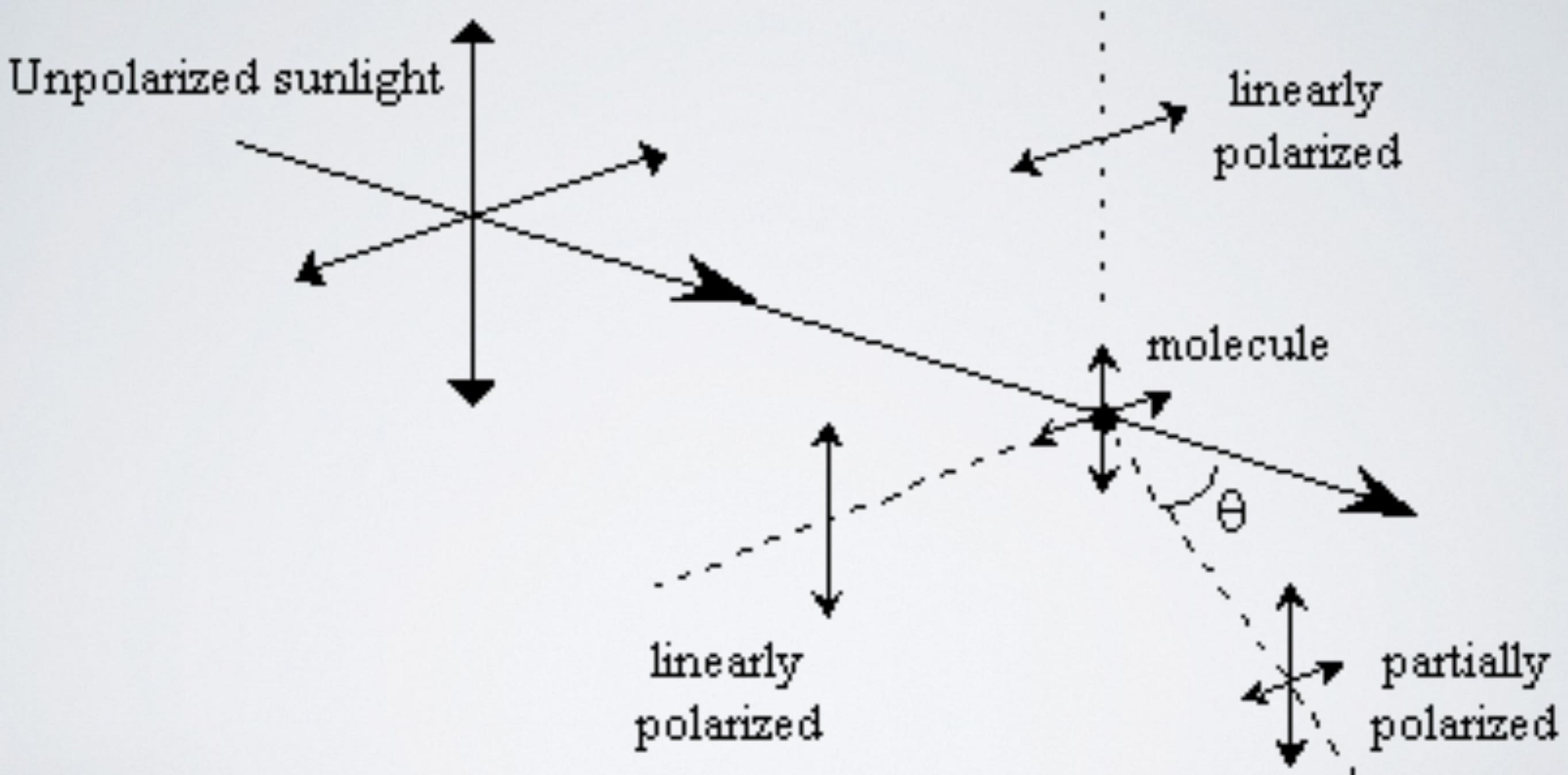
Ivan Milić

Astronomical Observatory Belgrade &
Lagrange Laboratory, OCA, Nice

sa:

Marianne Faurobert (OCA), Olga Atanacković (BU), Irena Pirković (AOB)

PMF UNS, 31. 07. 2014.

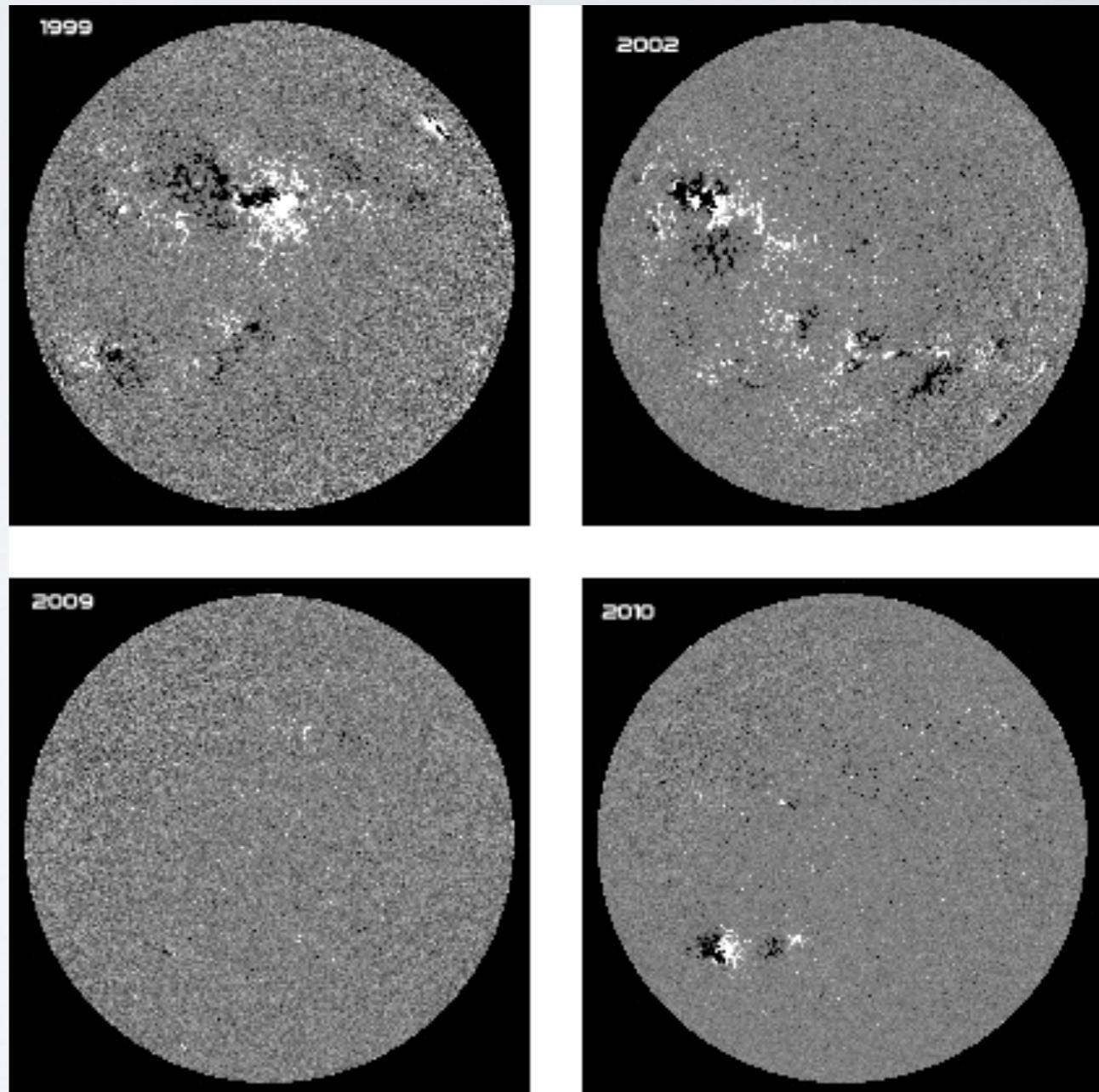


Plan predavanja

- Kondenzovani teorijski uvod
- Hanle inverzija kao metod za dijagnostiku magnetnog polja mirnog Sunca
- Polarizacija rasejanjem u jednostavnim modelima rotirajućih diskova
- “*The subject is challenging, the physical processes fascinating*”
David E. Ress (u “Numerical radiative transfer” ed. by W. Kalkofen 1987)

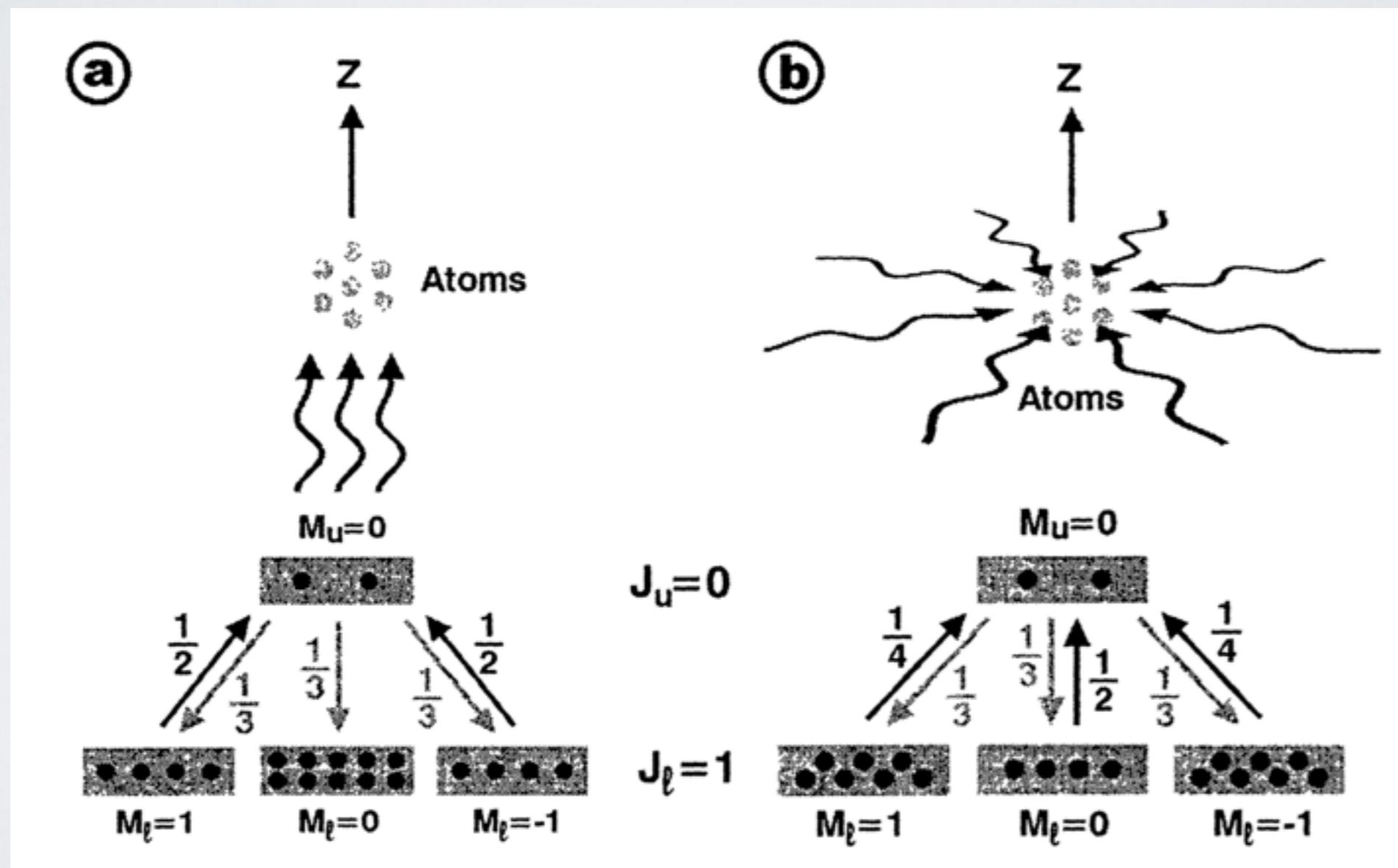
Magnetno polje mirnog Sunca

- Slabo (reda veličine 10 do 100 Gauss-a)
- Sa druge strane, mirno Sunce zauzima ubedljivo najveći deo Sunčeve površine
- Kako izmeriti ova polja? Zeemanov-efekat? Kružna polarizacija?
- **Hanle efekat**



Hanle efekat

Prisustvo magnetnog polja menja stepen polarizacije i ugao polarizacije zračenja u spektralnoj liniji. Deluje isključivo na linije polarizovane rasejanjem.



Rečeno jezikom diferencijalnih i integralnih jednačina:

$$\frac{d\hat{I}(\vec{r}, \hat{\Omega}, \nu)}{d\tau} = \phi(\nu) [\hat{I}(\vec{r}, \hat{\Omega}, \nu) - \hat{S}(\vec{r}, \hat{\Omega}, \nu)]$$

gde je:

$$\hat{S}(\hat{\Omega}) = \epsilon \hat{B} + (1 - \epsilon) \hat{W} \int_{-\infty}^{\infty} \phi(\nu) d\nu \oint \frac{d\hat{\Omega}}{4\pi} \hat{P}(\hat{\Omega}, \hat{\Omega}') \hat{I}(\hat{\Omega}', \nu)$$

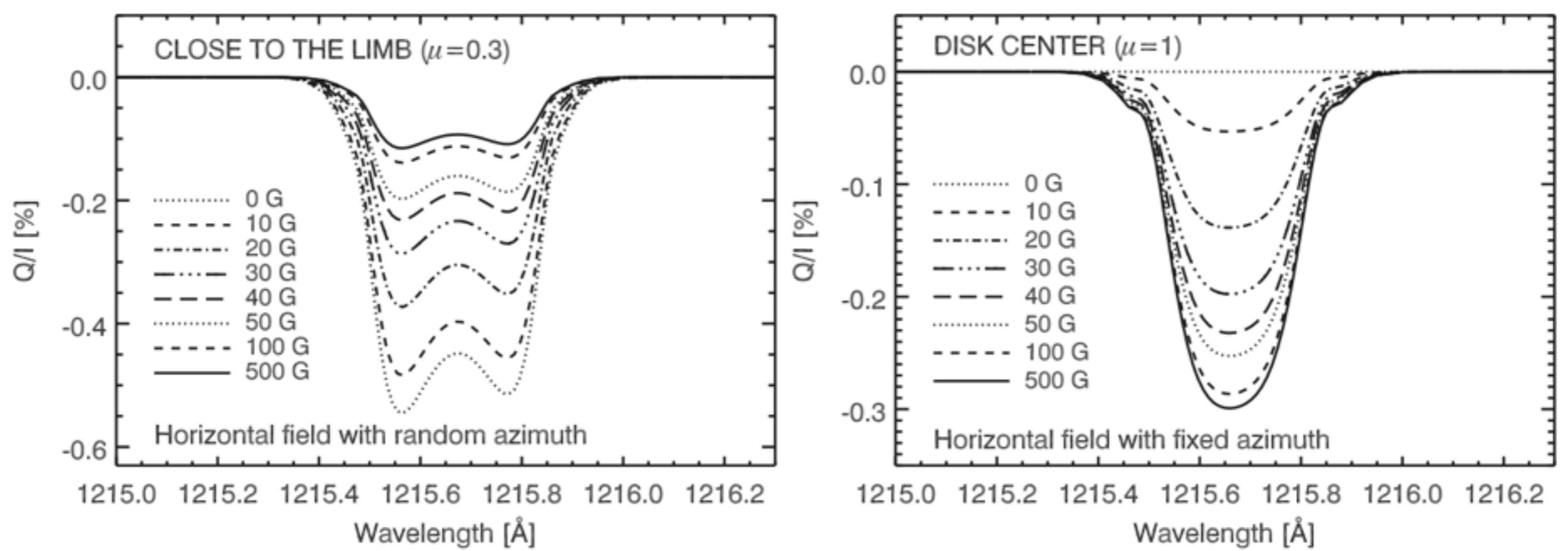
A ukoliko je magnetno polje tzv. mikro-turbulentno:

$$\hat{W} = W_C W_H \hat{W}_Q^K$$

$$W_H = 1 - \frac{2}{5} \left(\frac{\Gamma_H^2}{1 + \Gamma_H^2} + \frac{4 \Gamma_H^2}{1 + 4 \Gamma_H^2} \right)$$

$$\Gamma_H = 0.88 \frac{g B}{\Gamma_R + \Gamma_i + D^{(2)}}$$

Na osnovu zadatog modela, izračunavamo polarizaciju rasejanjem i nalazimo magnetno polje koje najbolje fituje:



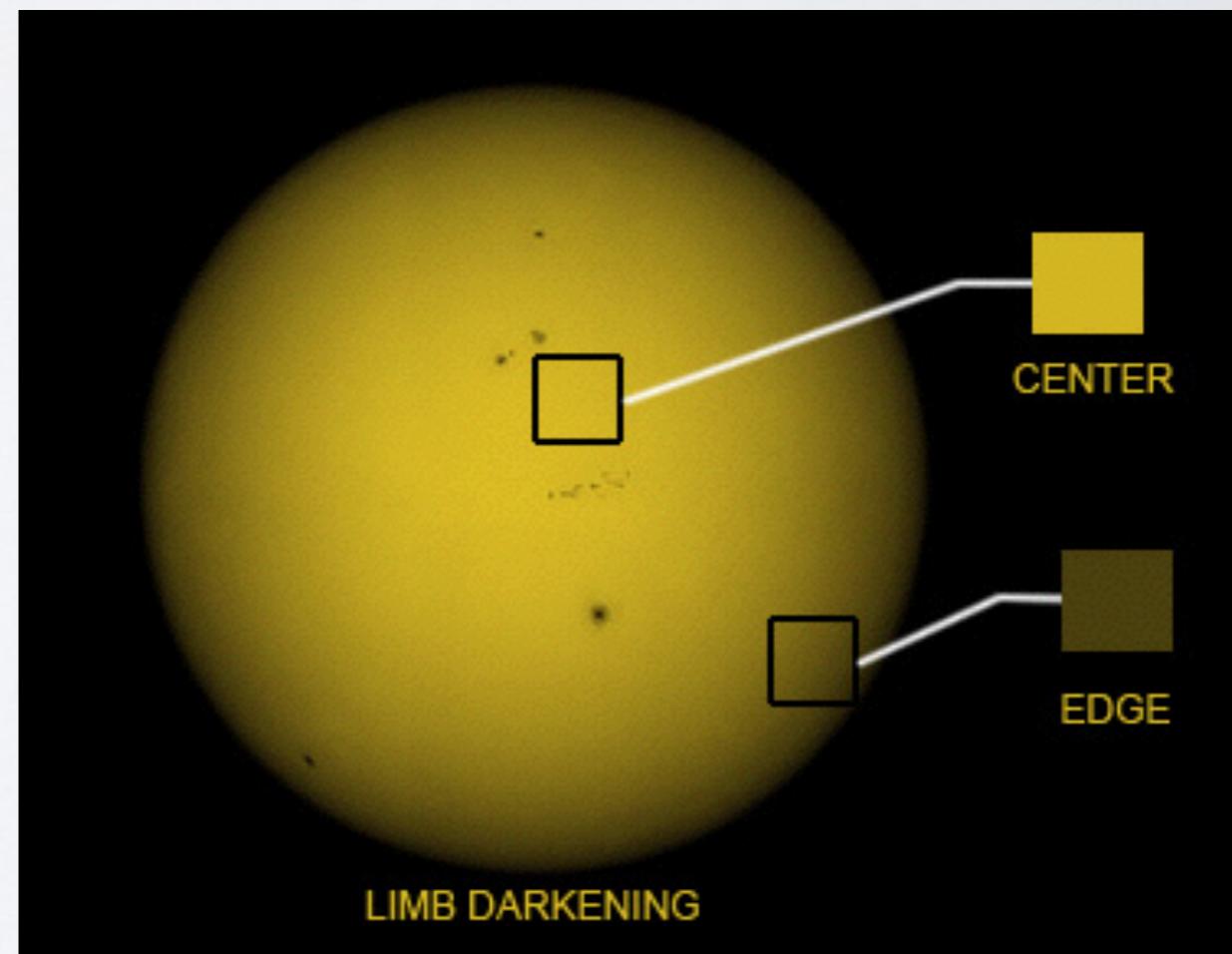
Trujillo Bueno, Stepan & Cassini, “The Hanle effect of the hydrogen Ly alpha line for probing the magnetism of solar transition region”

Šta je uradjeno do sada? Uglavnom spektralne linije koje su lakše za modelovanje:

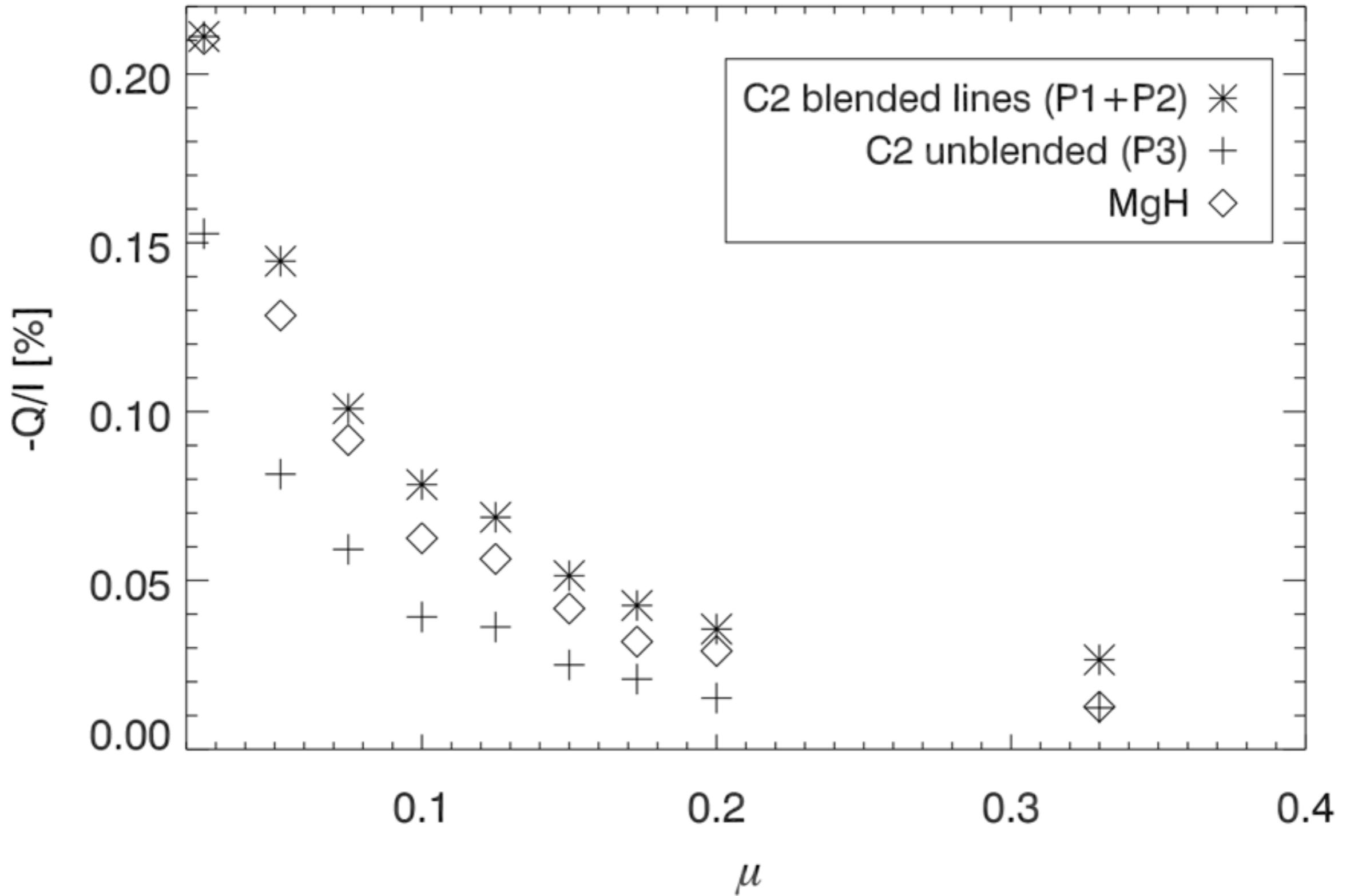
- 60 G (Schukina & Trujillo Bueno, 2003, Sr 4607)
- 15 G (Berduygina & Fluri, 2004, C₂)
- 36-54 G (Bommier et al., 2005, Sr 4607)
- 10 G (Trujillo Bueno & Asensio Ramos, 2005, MgH)
- 30 G (Bommier et al., 2006, MgH)
- 7 G (Kleint et al., 2011, C₂)
- 40-82 G (Shapiro et al., 2011, CN)

Da li postoji objašnjenje za ovo?

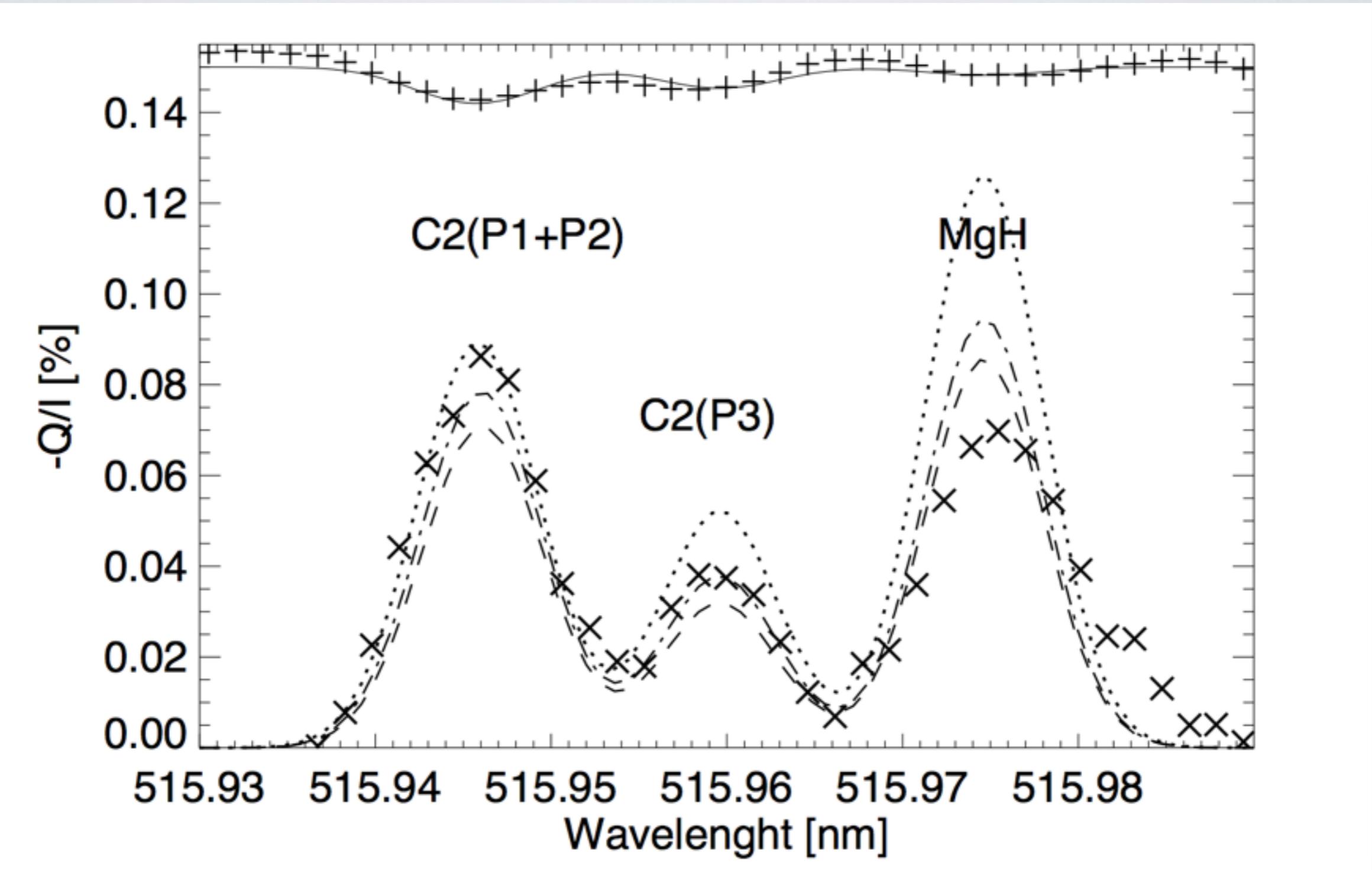
- Generalno gledano, posmatranja na različitim položajima na disku vode ka različitim rezultatima
- Različite linije takođe.
- Ne razumemo proces formiranja?
- Višedimenzionalnost?
- Pogrešni parametri?
- **Magnetno polje koje zavisi od dubine?**



Šta to želimo da objasnimo?



Da li je konstantno magnetno polje stvarno loš izbor?



Pa šta ćemo onda?

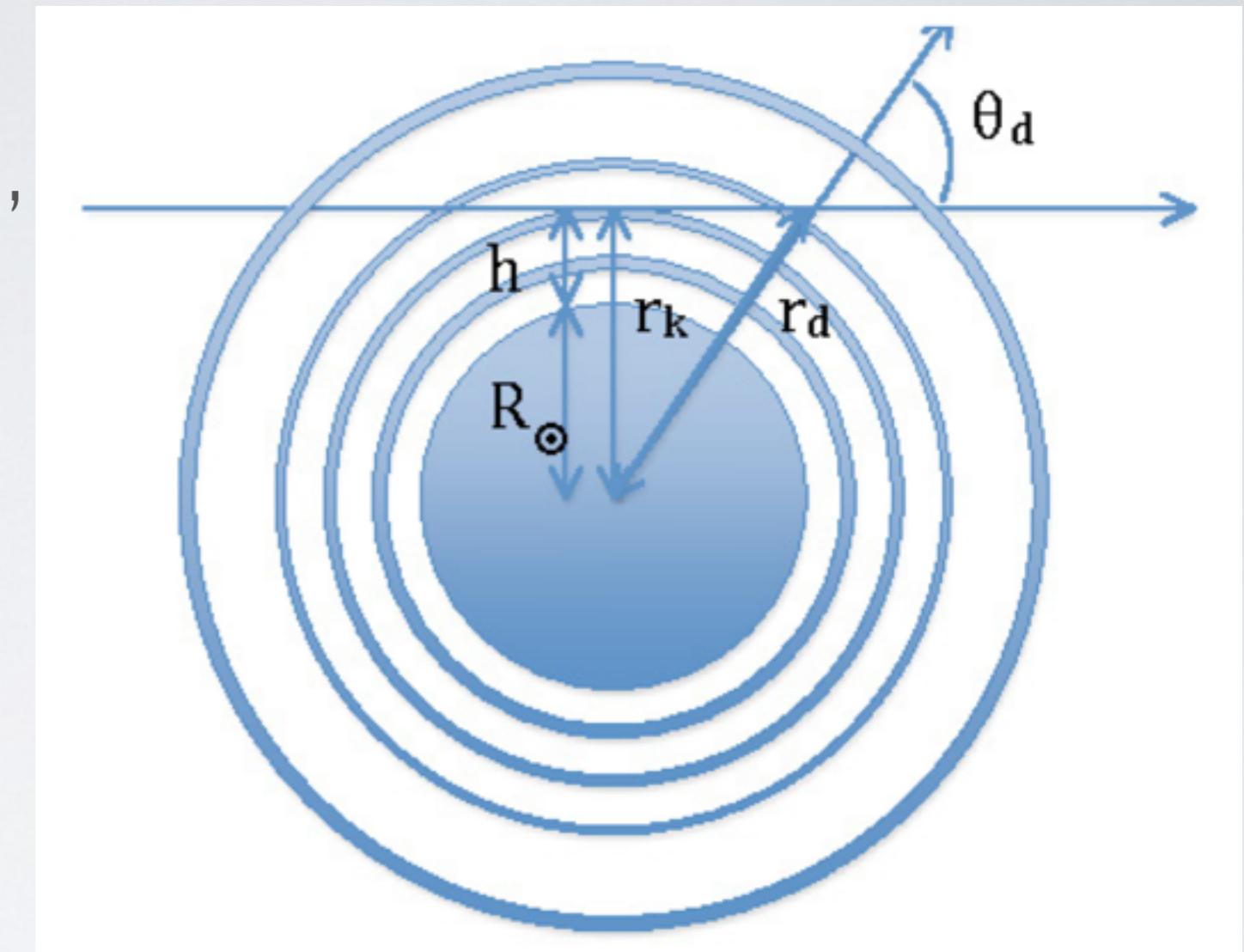
- Fitujmo simultano polarizaciju u centru linije za dva različita elementa za posmatranja na više različitih položaja:

$$\chi^2 = \sum_i \sum_j \frac{(P_{ij}^O - P_{ij}^C)^2}{\sigma_{ij}^2}$$

- Ako su naše pretpostavke o procesu formiranja linije tačne magnetno polje koje zavisi od dubine bi trebalo doneti bolje rezultate!
- Uvešćemo ga korišćenjem “node”-ova, što je već uobičajena praksa u Zeeman dijagnostici.

Model formiranja linije

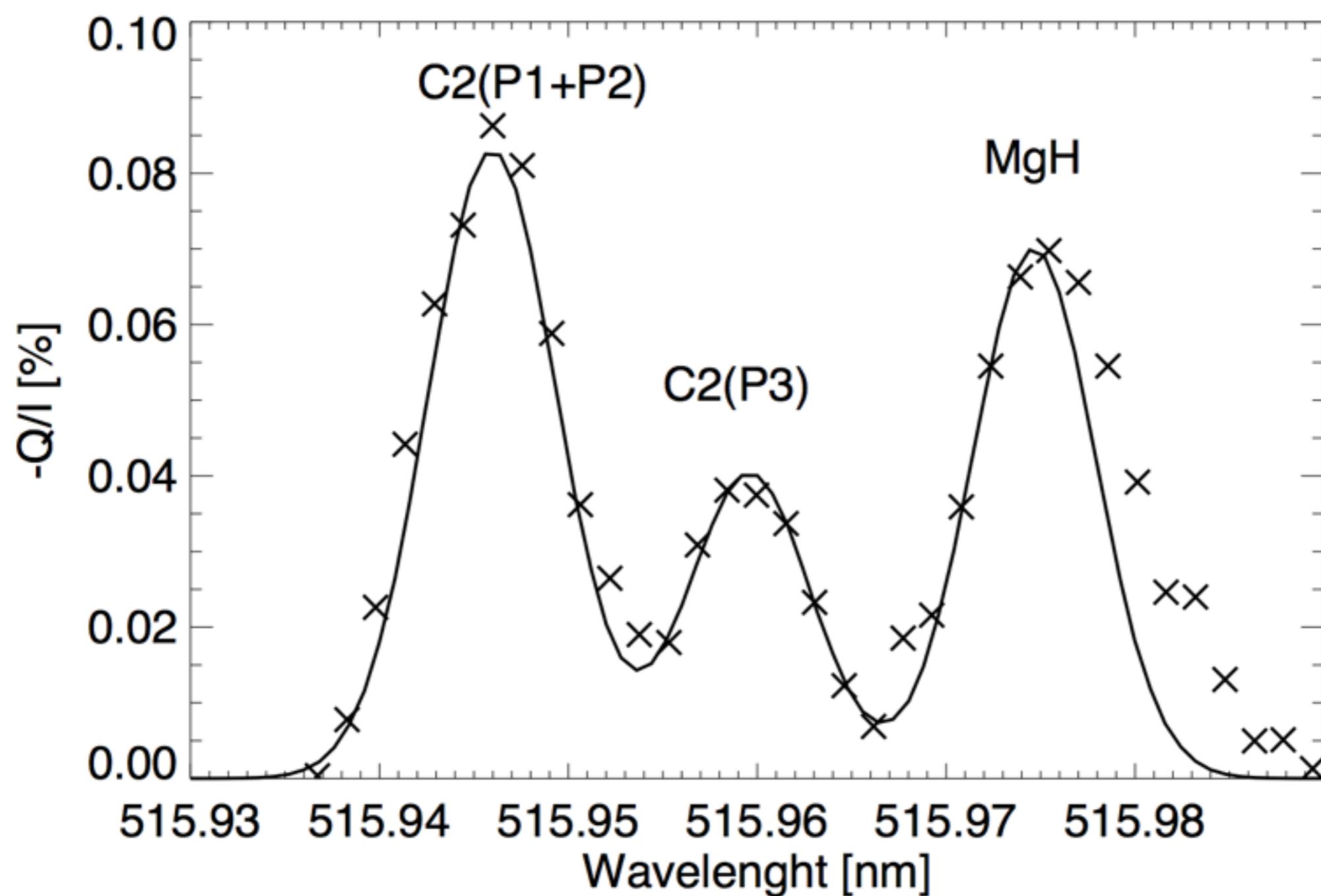
- Prepostavimo da 1D model (famozni FALC), dobro reprezentuje mirno Sunce.
- Rešićemo NLTE problem druge vrste za atom sa dva nivoa za MgH and C₂ molekule prepostavljajući sfernu geometriju (važno za posmatranja jako blizu ruba).



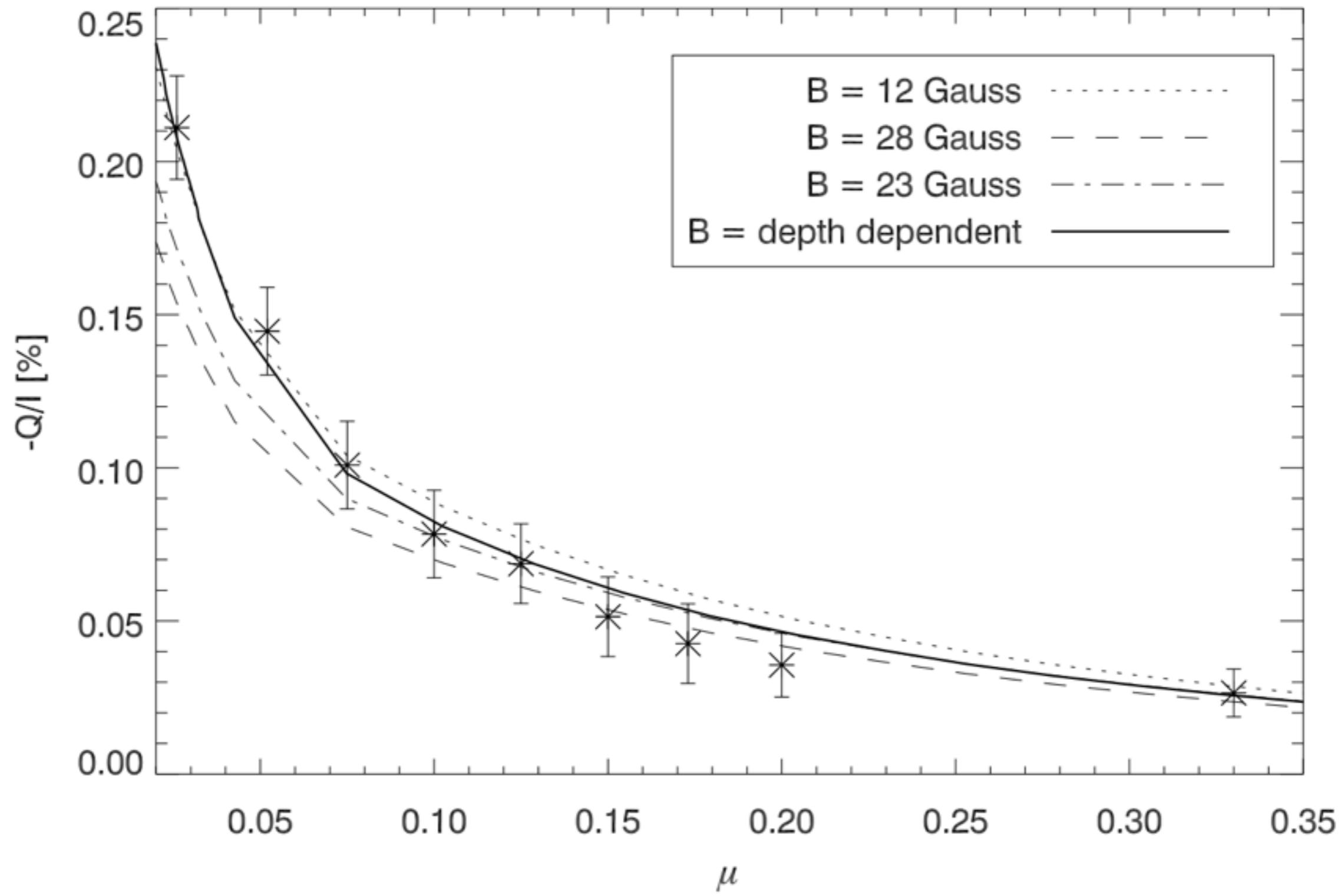
Pazite na sudarnu depolarizaciju!

$$S_Q \propto \frac{\Gamma_R}{\Gamma_R + \Gamma_i + D^{(2)}}$$
$$\Gamma_H = \frac{0.88 g B}{\Gamma_R + \Gamma_i + D^{(2)}}$$

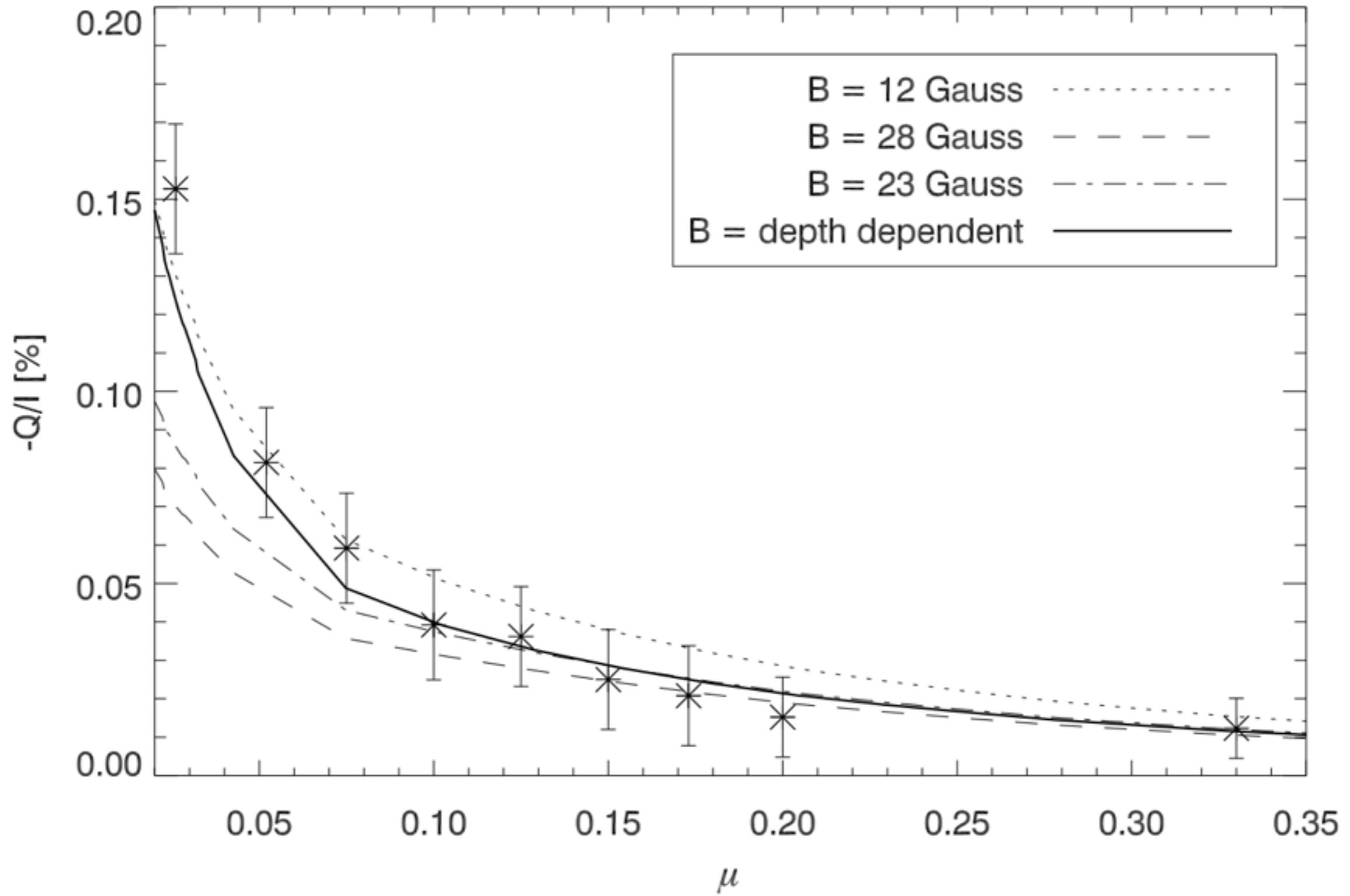
Da li ovo pomaže? Izgleda da da!



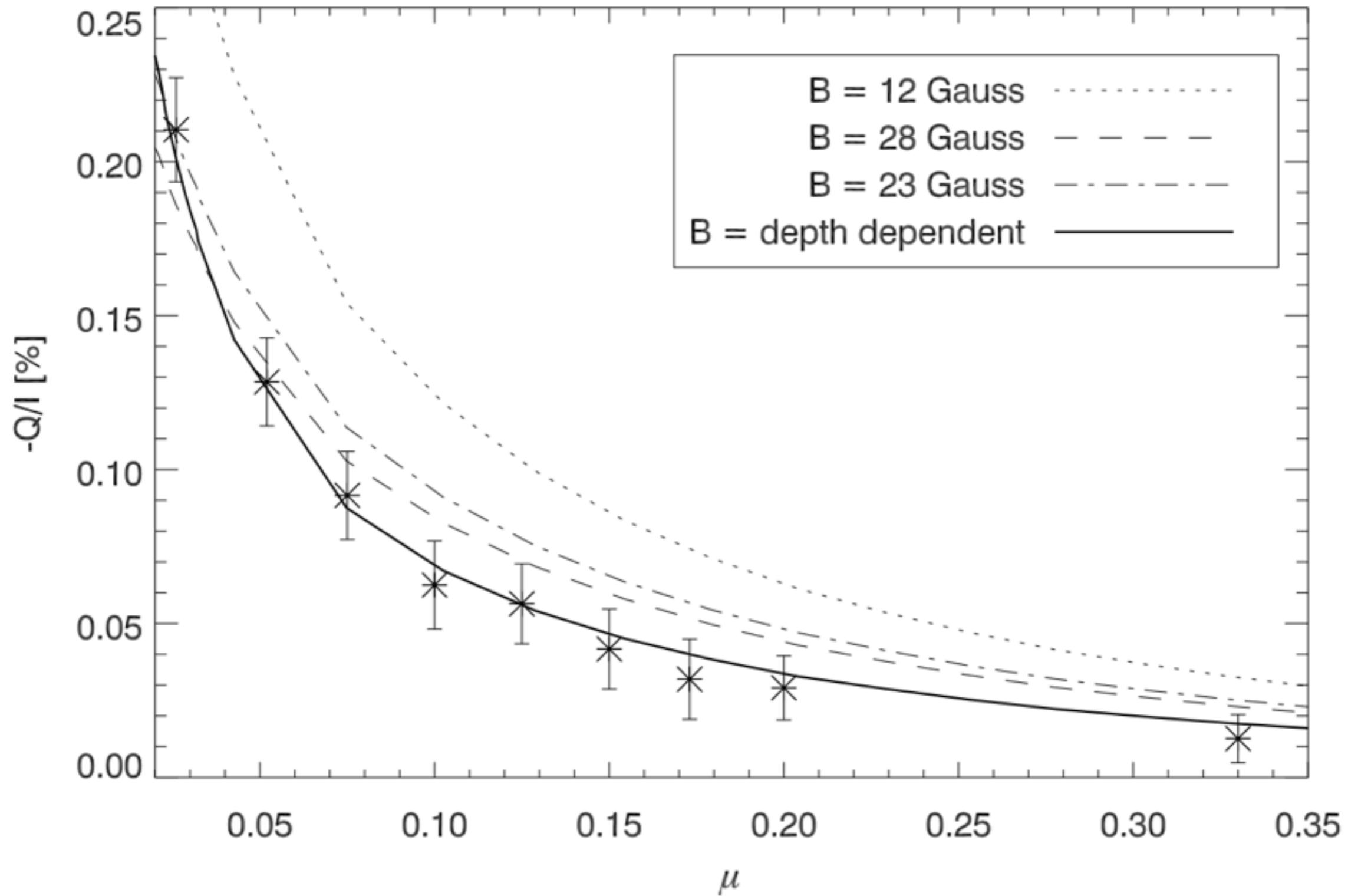
Da li ovo pomaže? Izgleda da da!



Da li ovo pomaže? Izgleda da da!

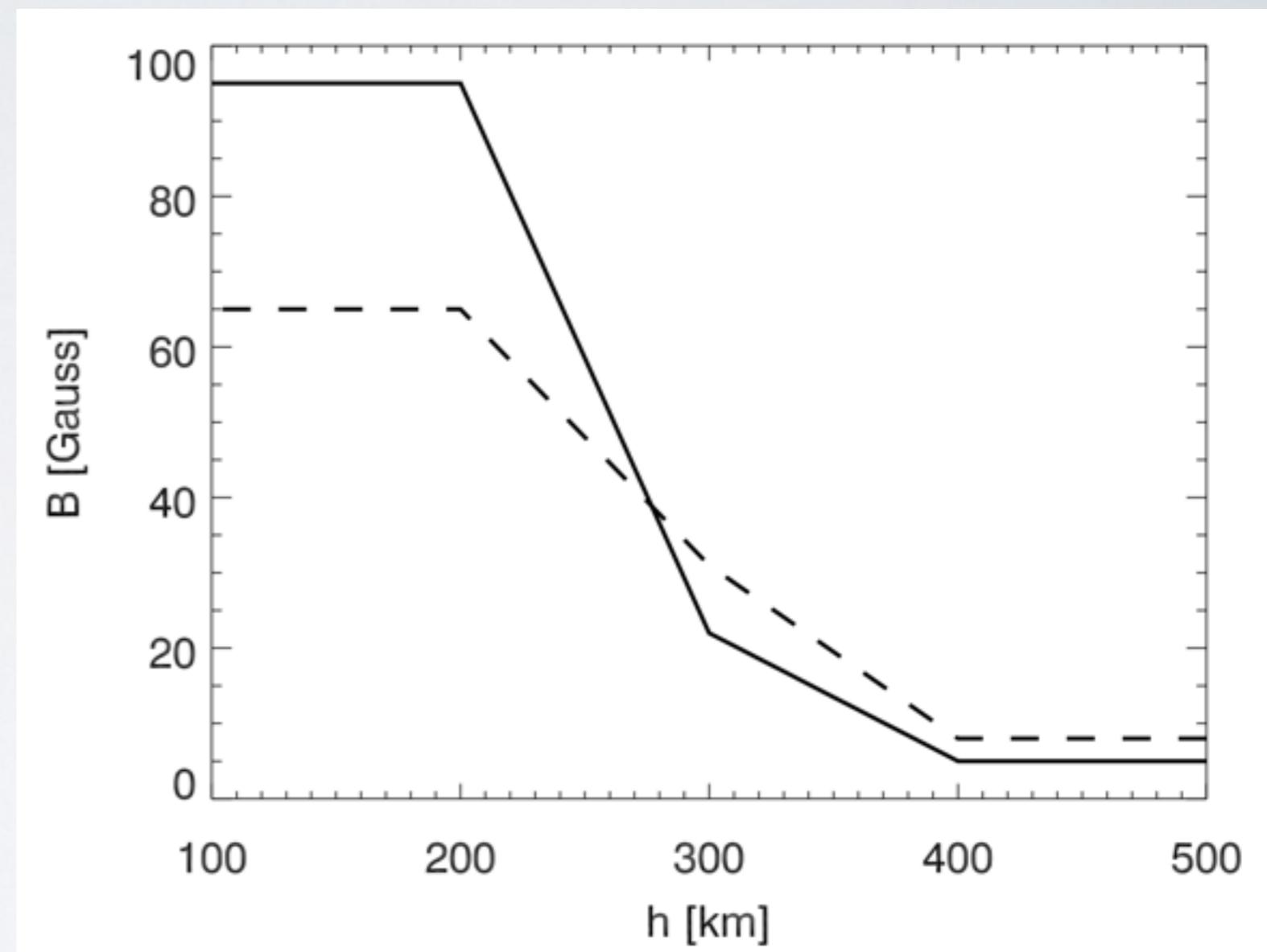


Da li ovo pomaže? Izgleda da da!

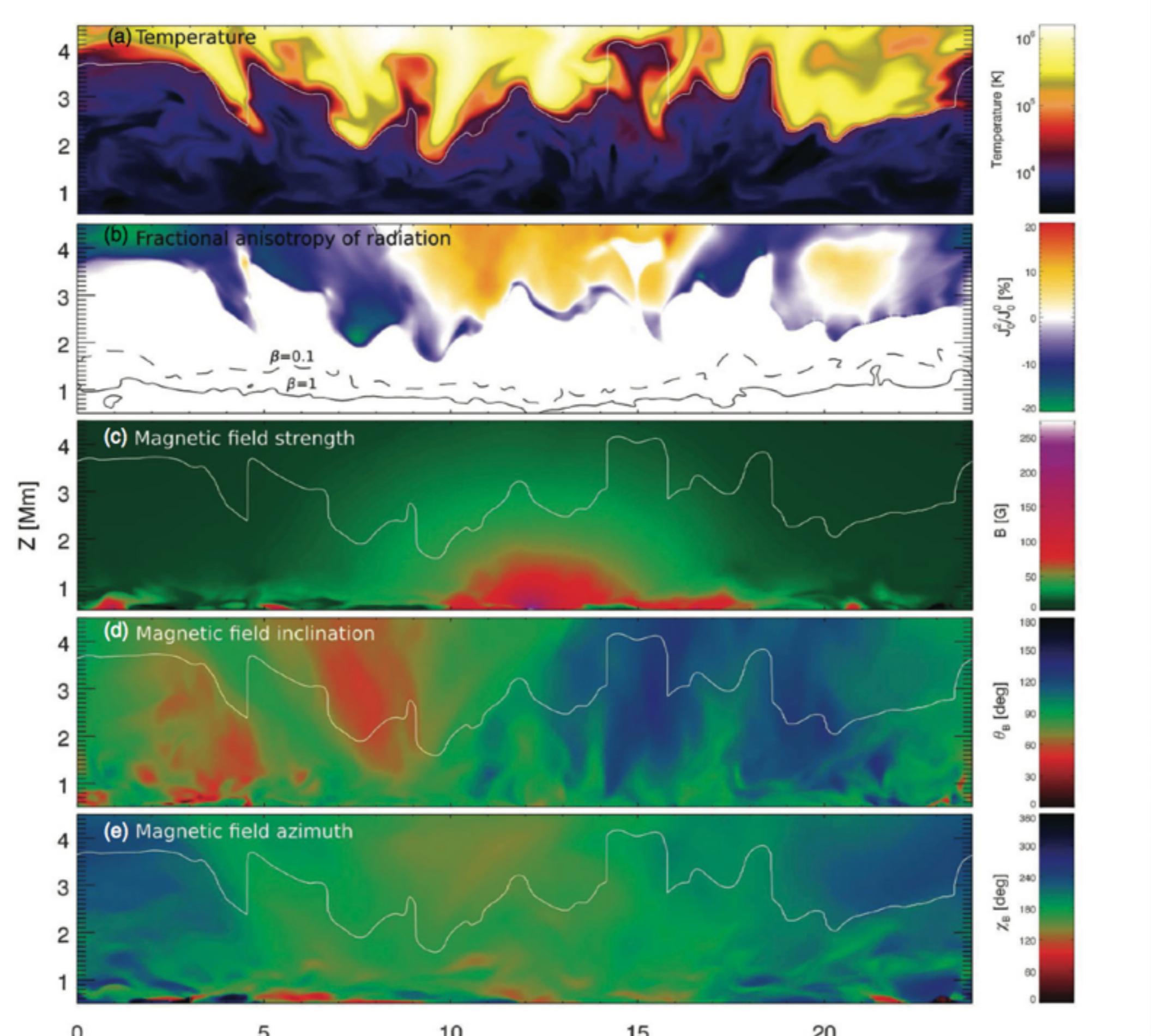


Na šta liči magnetno polje koje dobijamo?

- Vrlo jam gradijent na skalama od svega par stotina km.
- U dubljim slojevima, vrednost se slaže za Sr i MgH rezultatima
- Blže površini slaže se sa rezultatima dobijenim na osnovu C2
- Ima li ovo smisla?
- Ima li boljih/lepših objašnjenja?



Nehomogenosti?



Za dalji rad:

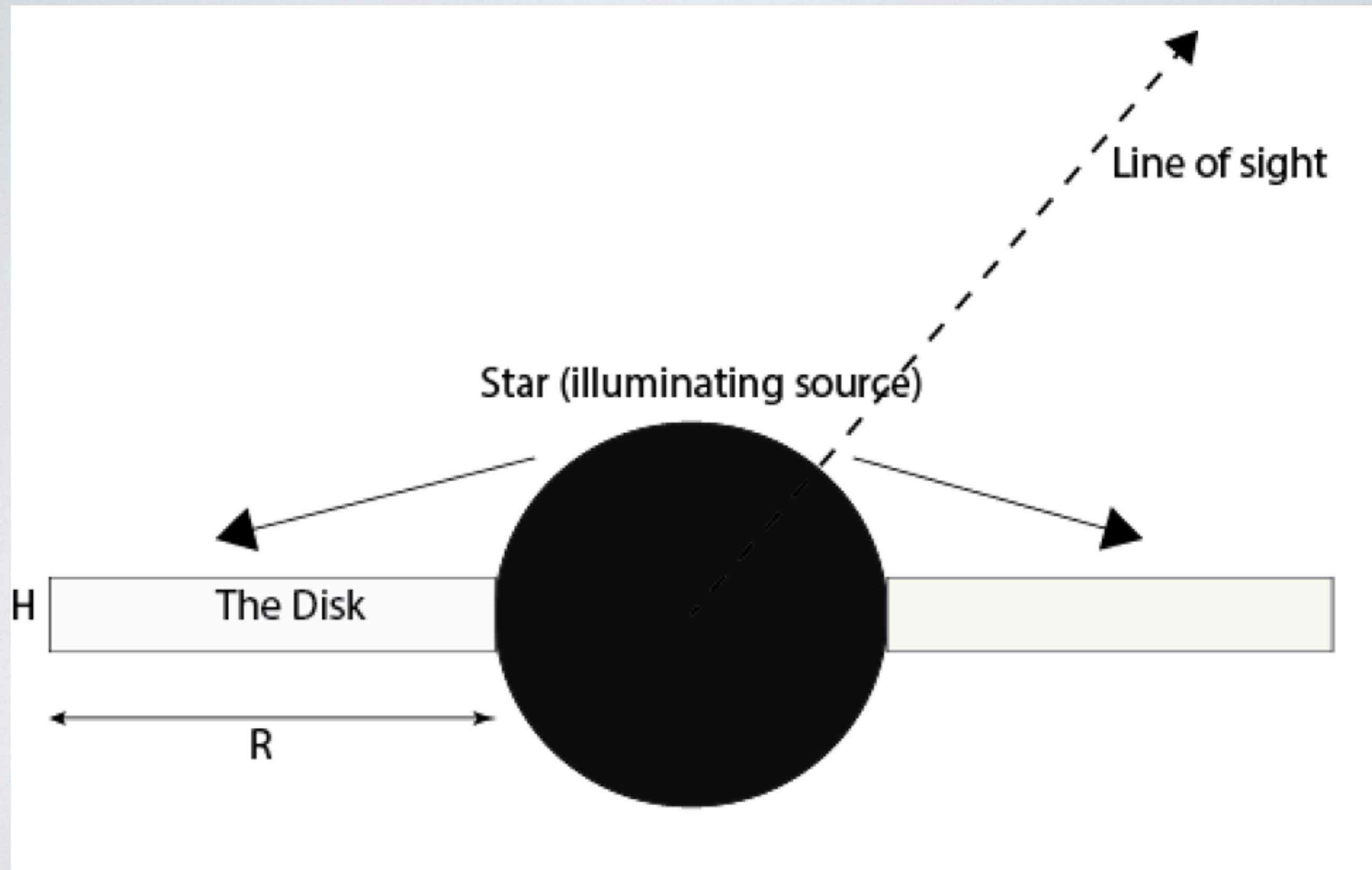
- Iako ovo magnetno polje dobro objašnjava posmatranja, rezultati su u najmanju ruku čudnjikavi (With four parameters I can fit an elephant...)
- Multidimenzionalni modeli: **povećana anizotropija + horizontalne varijacije**
- Posmatranja sa boljom prostornom rezolucijom?
Višekomponentni modeli?
- **Work in Progress:** Ista ovakva analiza, sa dodatkom Sr 4607 linije (I. Pirković)

“And now for something completely different”

–Monty Python’s Flying Circus

Polarizacija rasejanjem u gasovitim diskovima

- Akrecioni diskovi
(setite se Antonucci & Miller 1985)
- Cirkumstelarni i cirkumbinarni diskovi
- Protoplanetarni diskovi
- Ovakvi diskovi mogu da zrače sami od sebe, ali i da rasejavaju zračenje koje dolazi “sa strane”
- Detaljna primena RT formalizma nije preterano česta
(retki primeri: Adam 1990, Papkalla 1995) ali ima puno Monte Carlo modeliranja, naravno, za kontinuum.
- **Za razliku od prošlog primera ovde analiziramo prostorno integraljen signal!**



Još par reči i jednačina

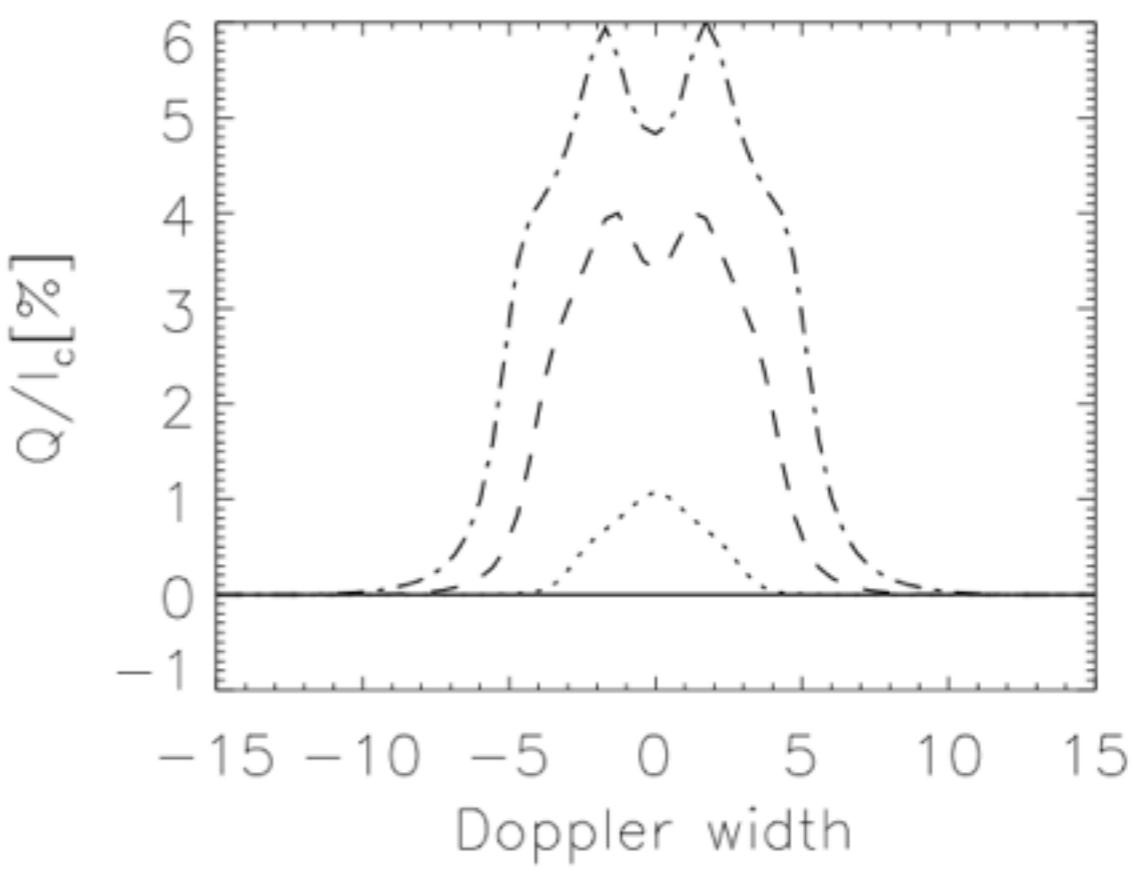
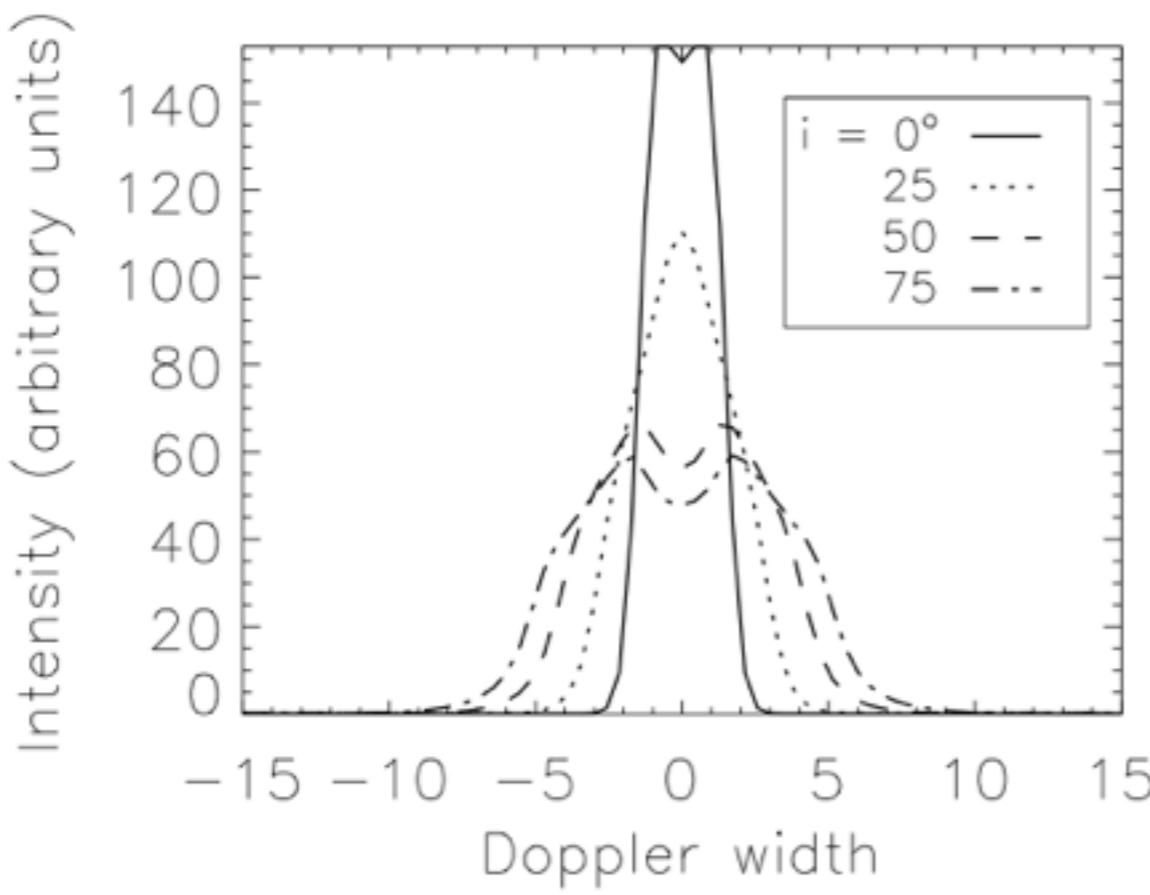
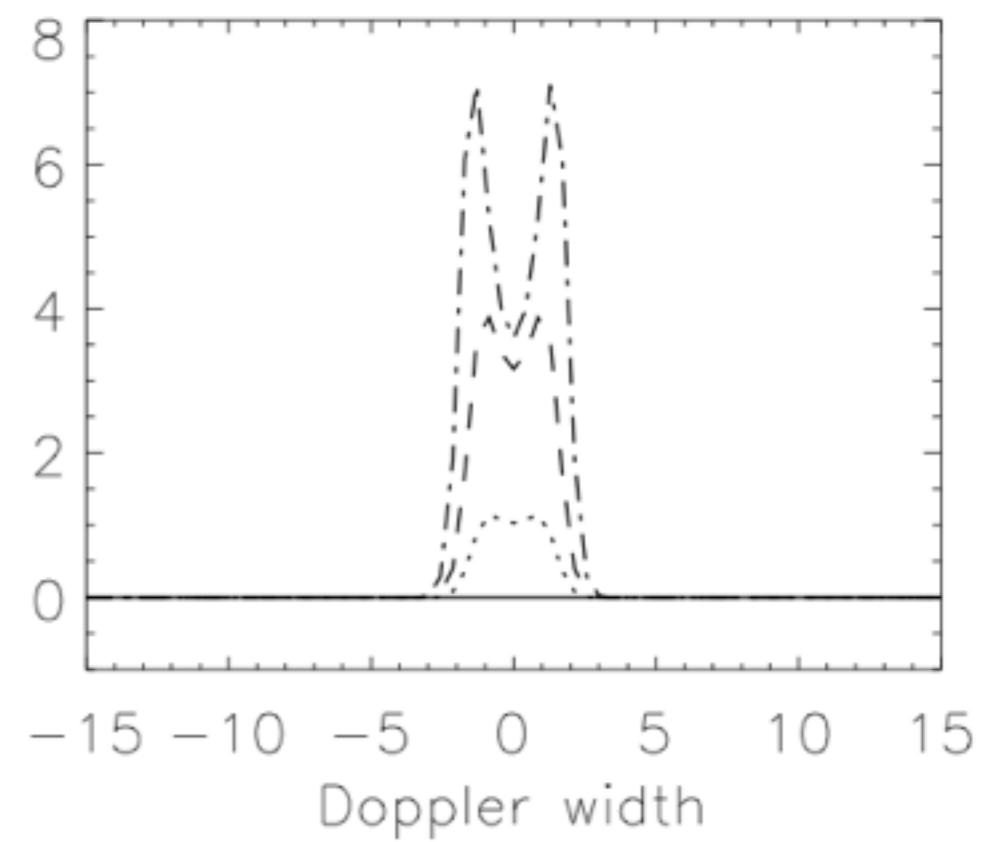
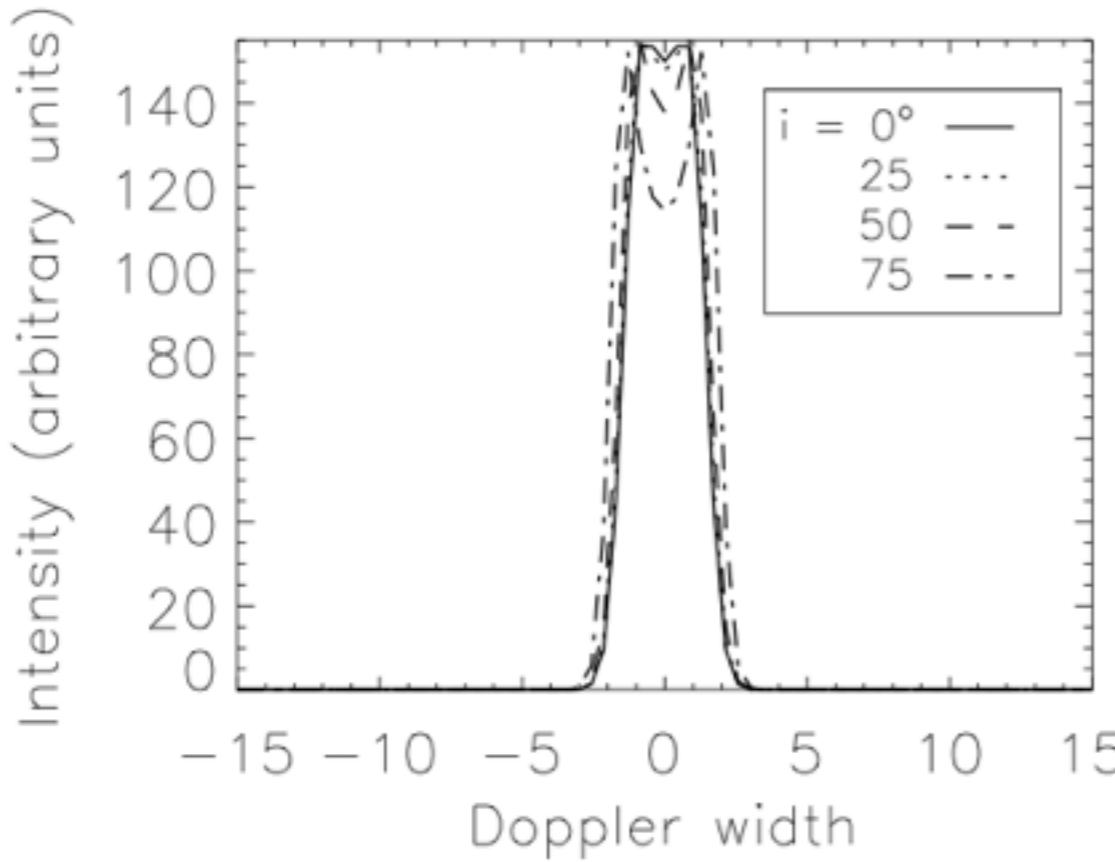
- Striktno govoreći, diskovi su trodimenzionalni (i konačni u sve tri dimenzije).
- Ako pretpostavimo osnu simetriju i iskoristimo cilindrični koordinatni sistem, možemo da smanjimo zahtevnost problem za $O(N)$, gde je N tipičan broj tačaka za prostornu diskretizaciju.

$$\frac{d\hat{I}(z, r, \Omega, \nu)}{d\tau} = \phi(\nu) \left(\hat{I}(z, r, \Omega, \nu) - \hat{S}(z, r, \Omega, \nu) \right)$$

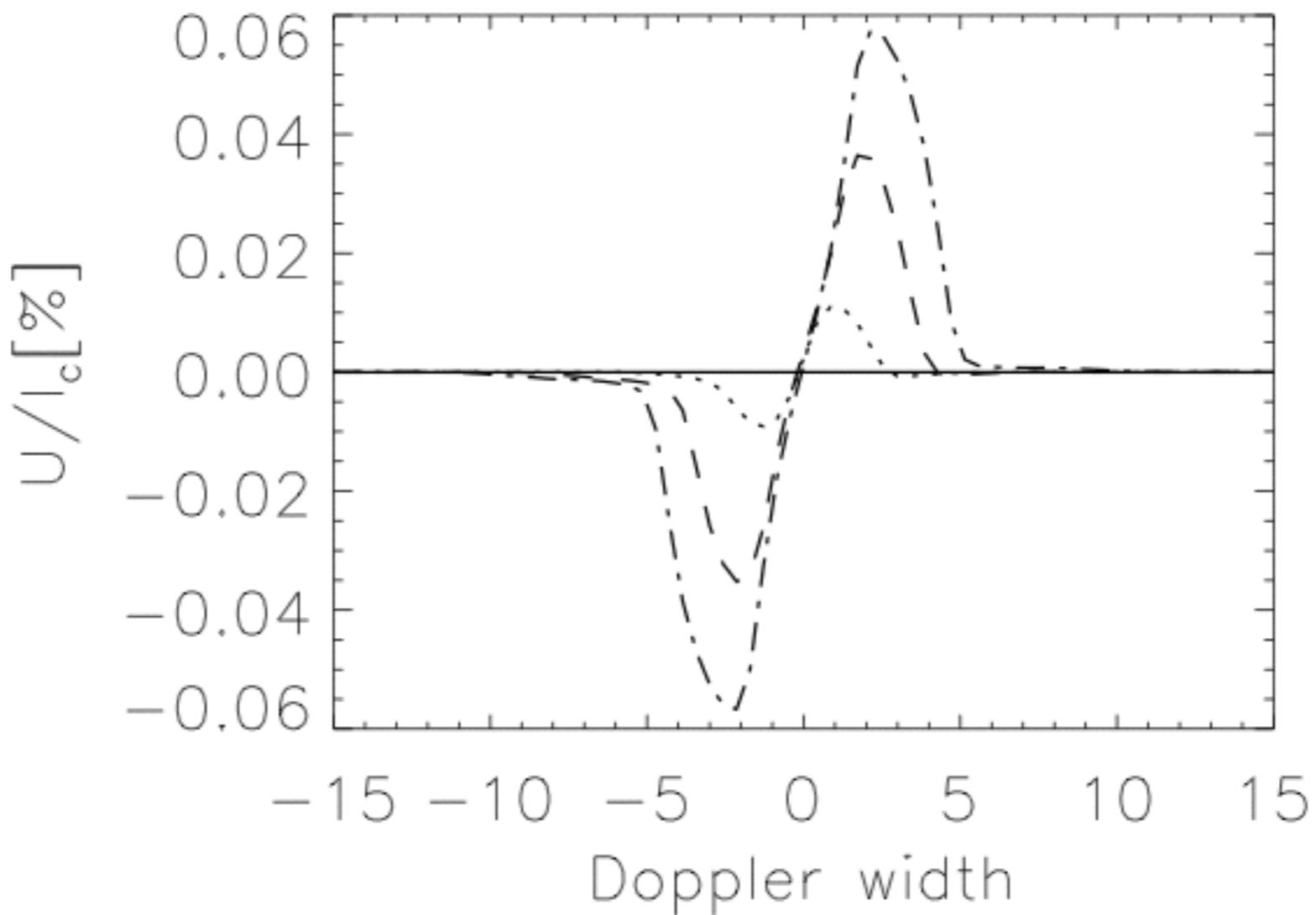
$$\hat{S}(z, r, \Omega) = \epsilon \hat{B}(r, z) + (1 - \epsilon) \hat{W} \int_{-\infty}^{\infty} \phi(\nu) d\nu \oint \frac{d\Omega}{4\pi} \hat{P}(\Omega, \Omega') \hat{I}(z, r, \Omega', \nu)$$

Šta tačno radimo?

- Postavimo model diska: raspodelu temperature, neprozračnosti (i.e. gustine), polje brzina
- Samokonzistentno rešimo JPZ i JSR za polarizovano zračenje
- Integralimo intenzitet po vidljivoj površini
- Igramo se sa poljem brzina i gledamo kako isto utiče na profil linije
- *Sada nas zanima samo kinematika, tj. nema magnetnog polja!*

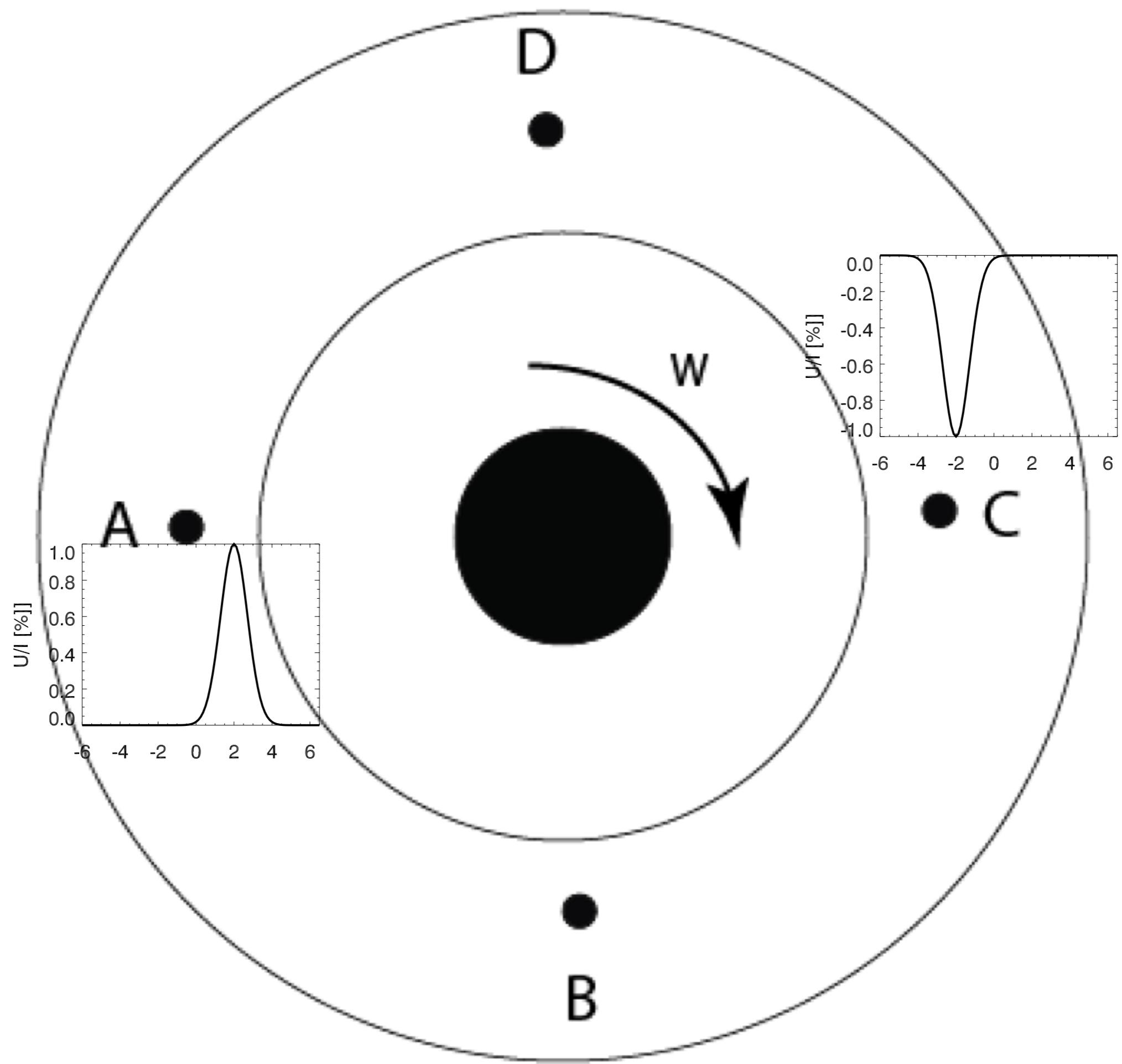


Ali takodje...

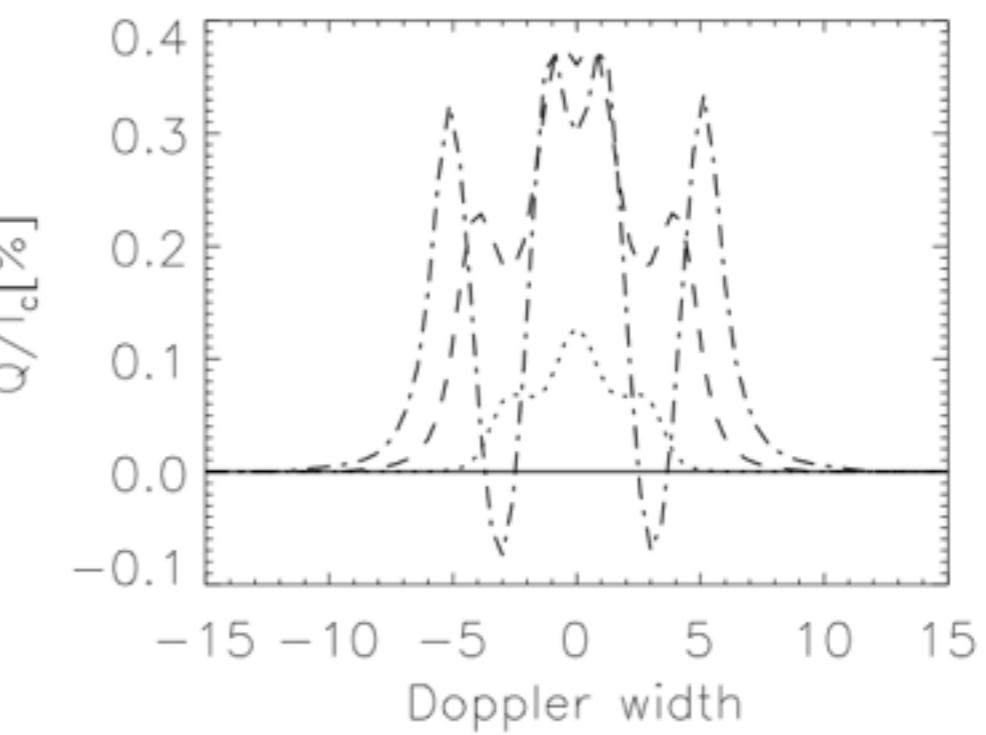
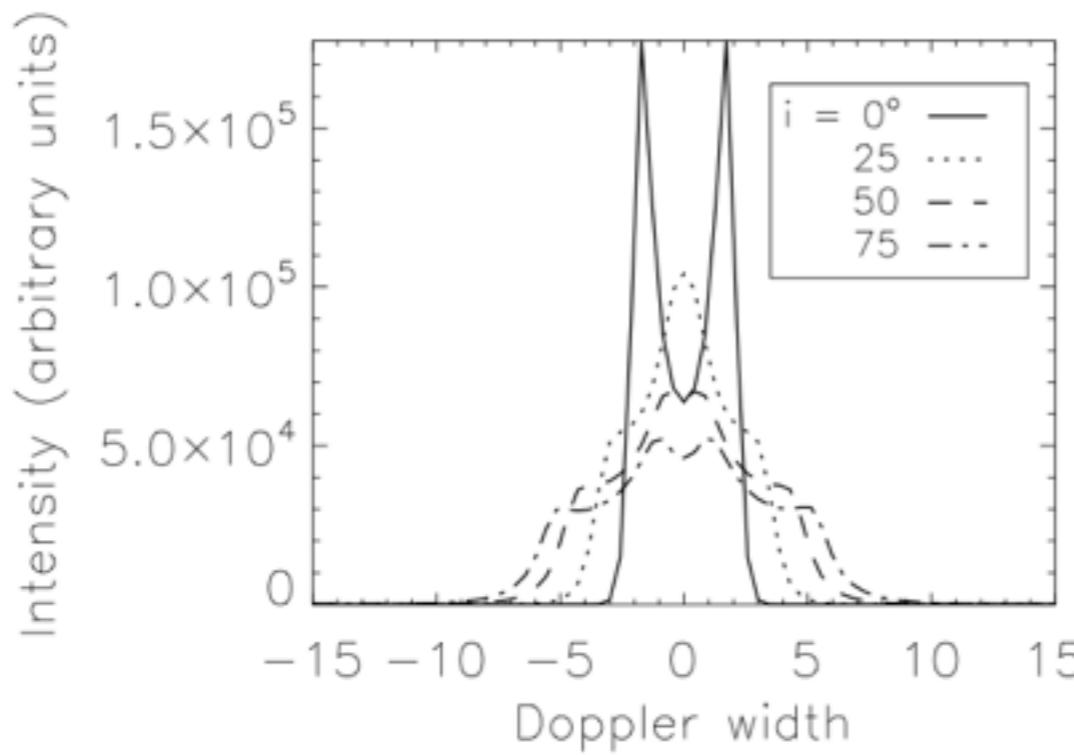
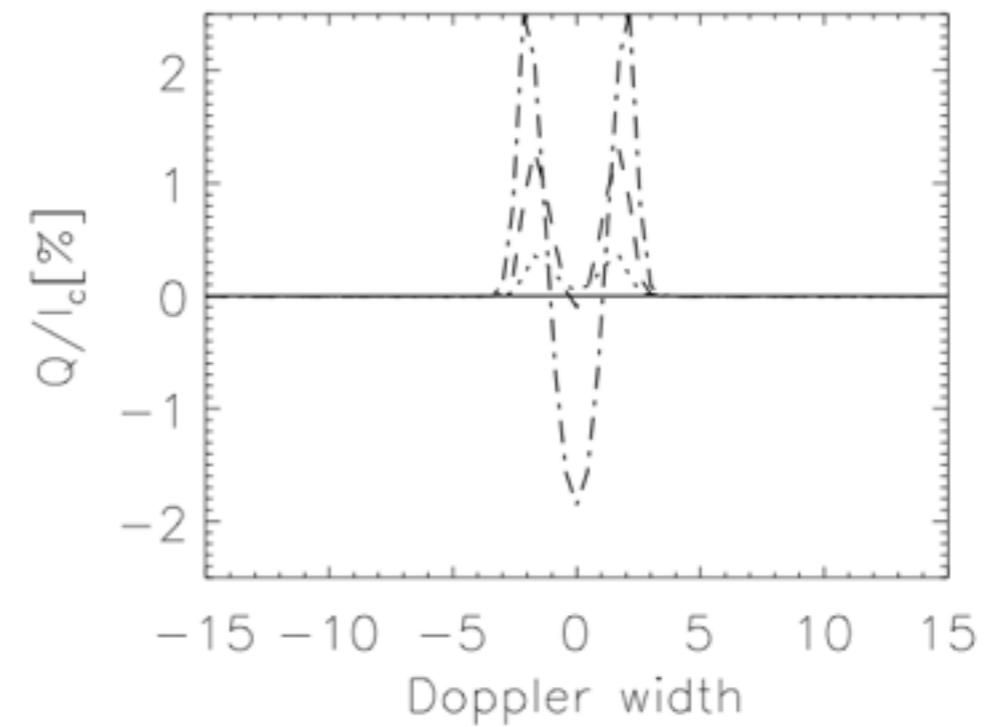
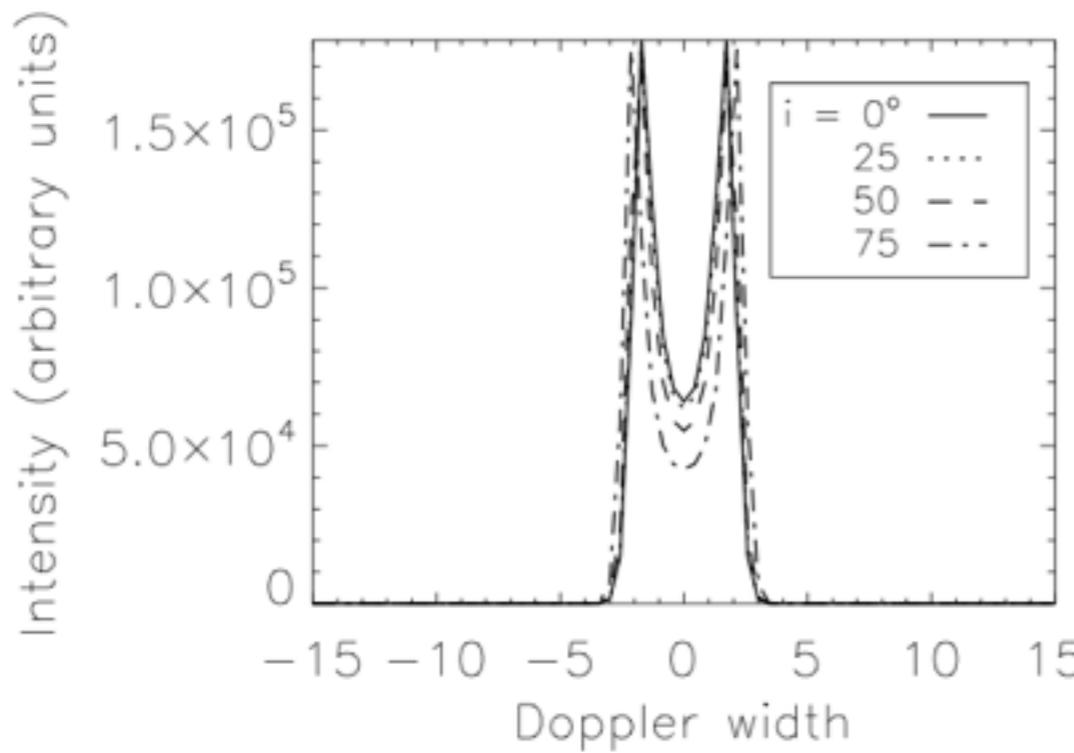


Šta? Kako? Zašto? Greška?

NE! Smith et. al (2005), Vink (2005)

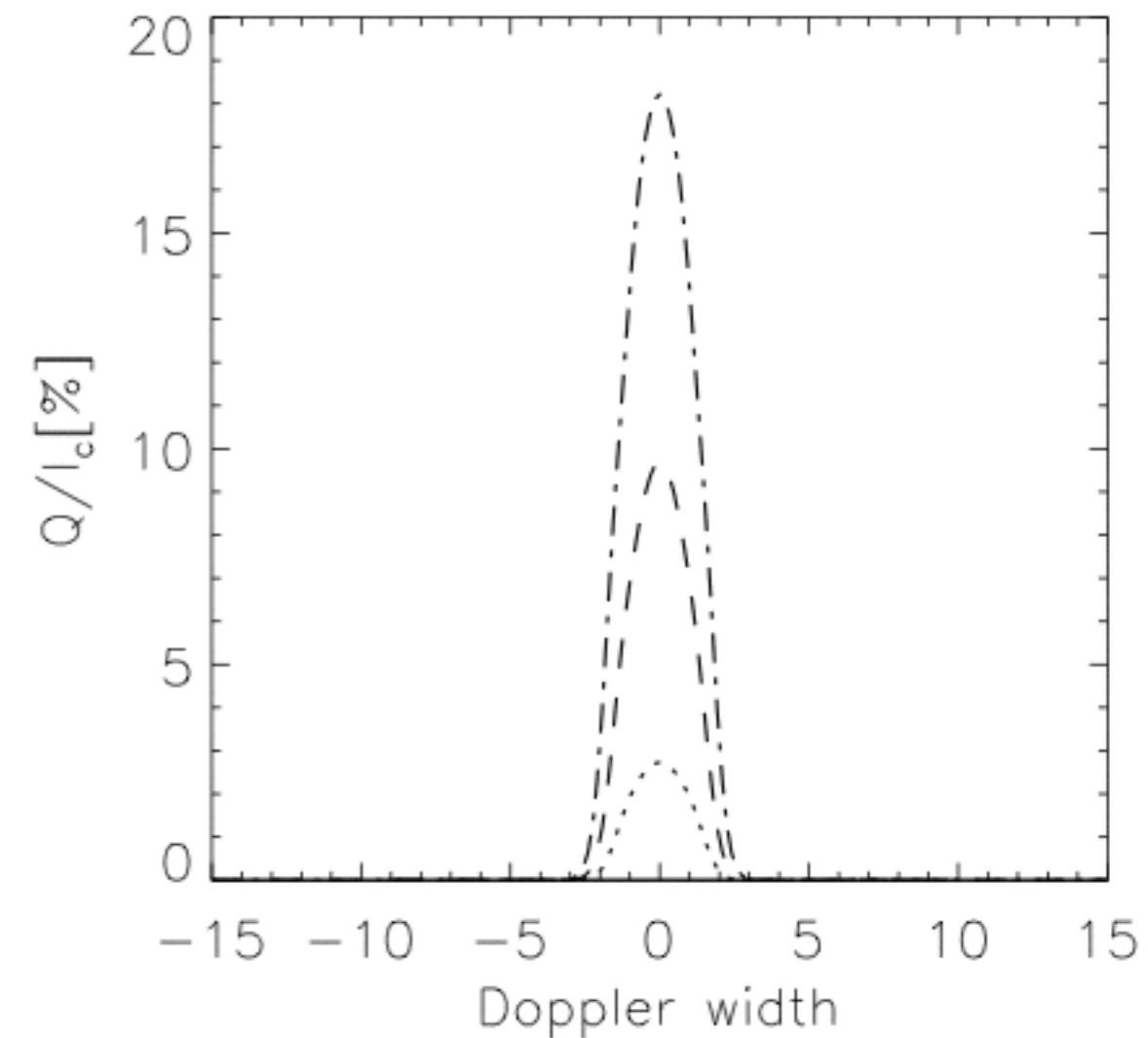
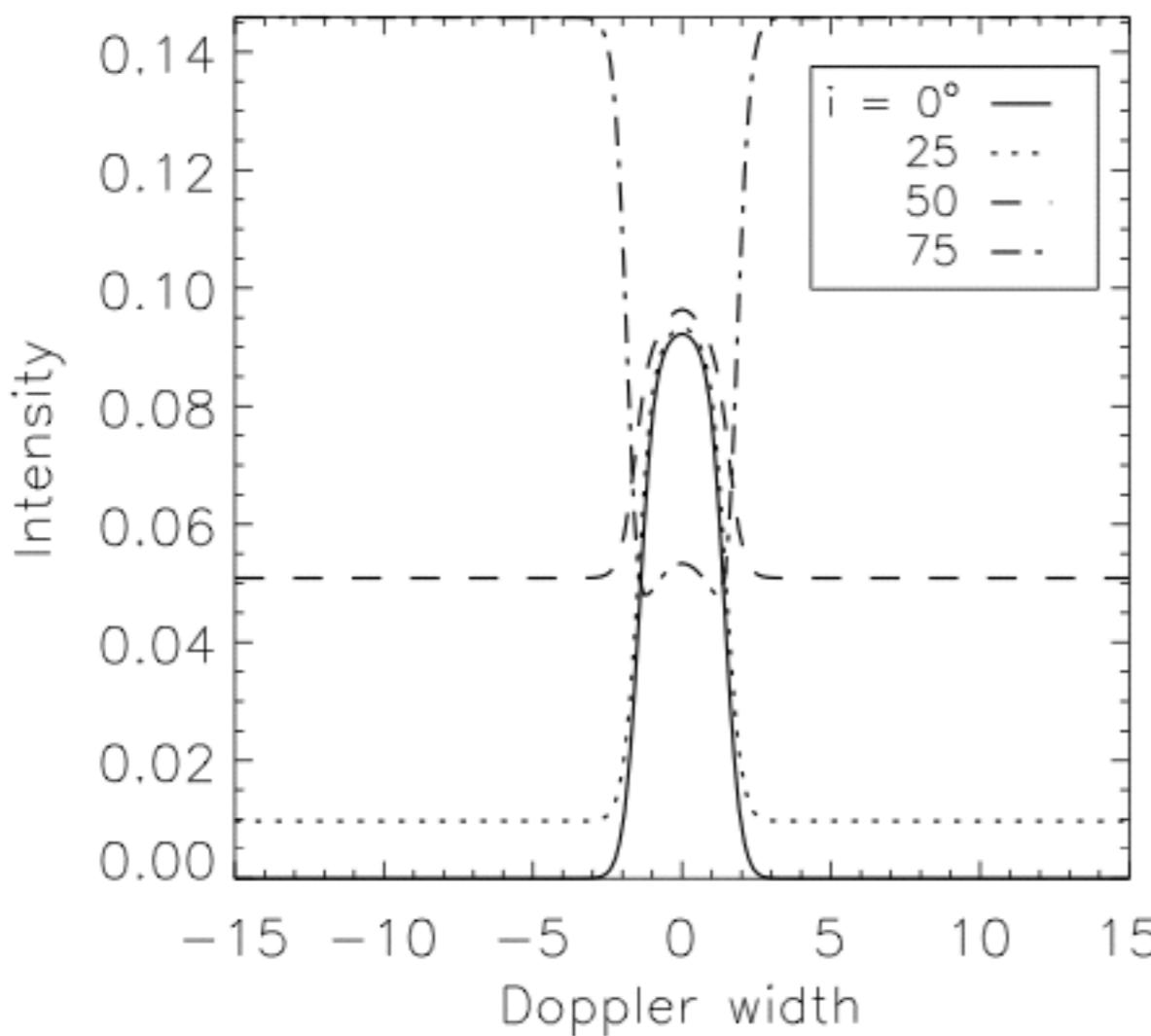


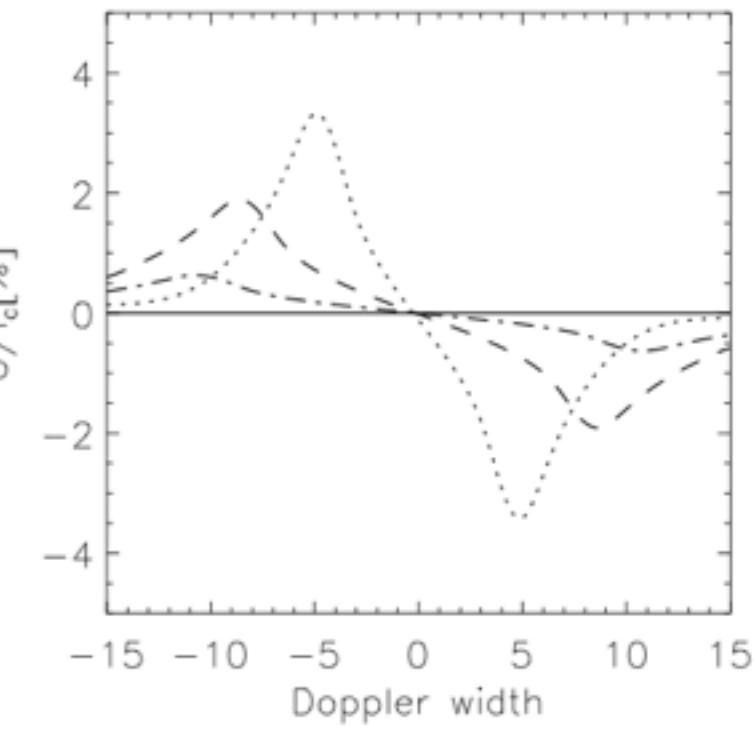
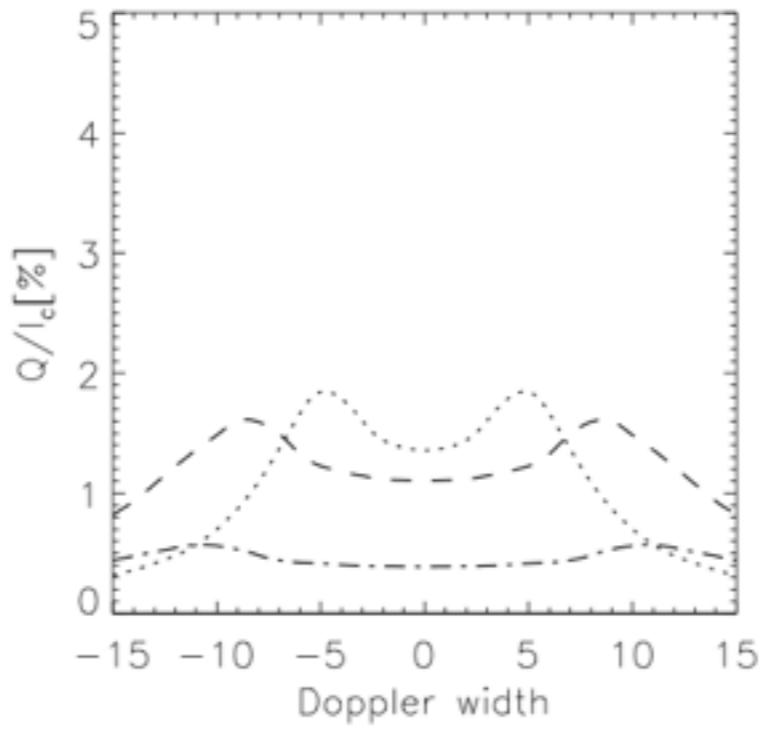
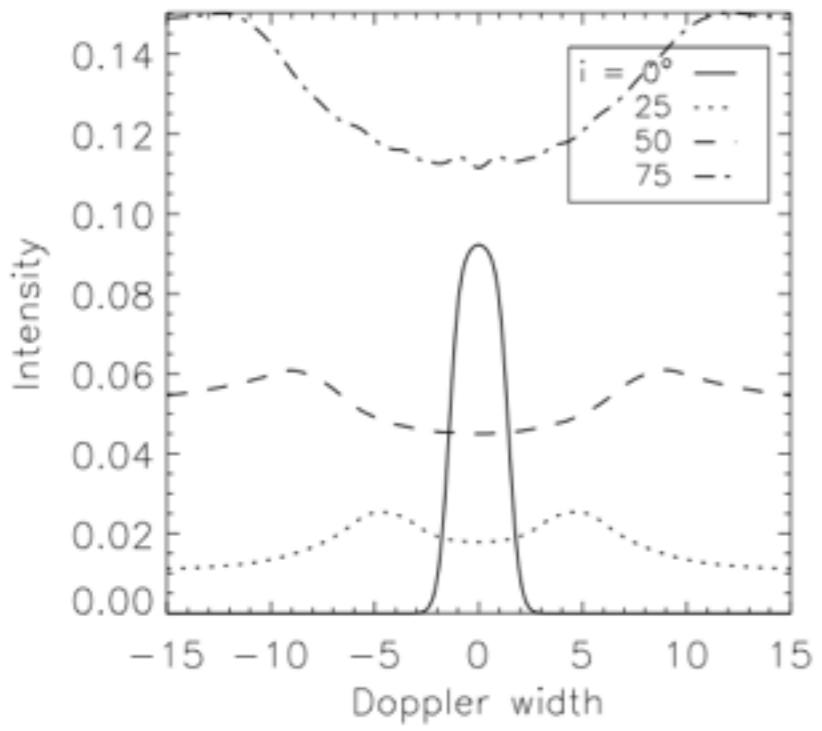
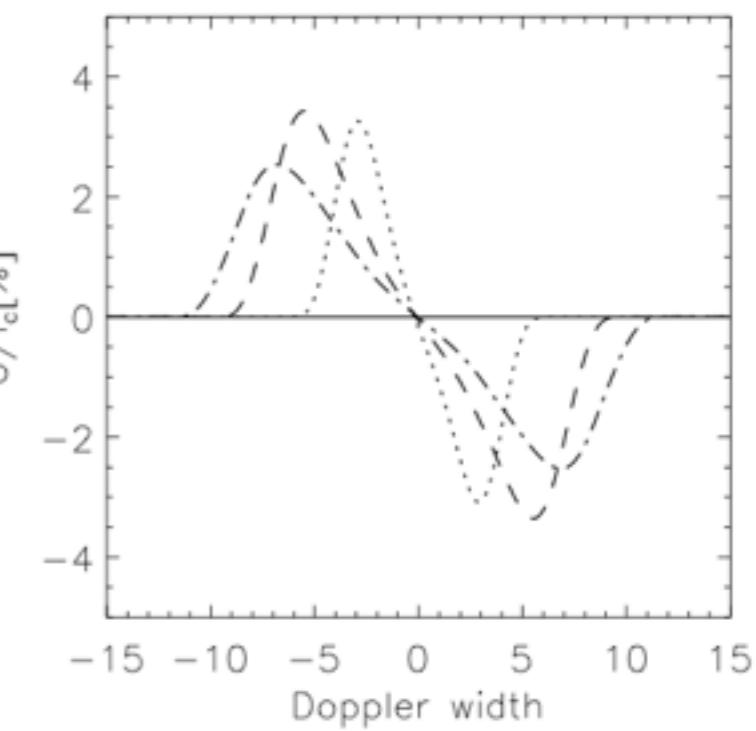
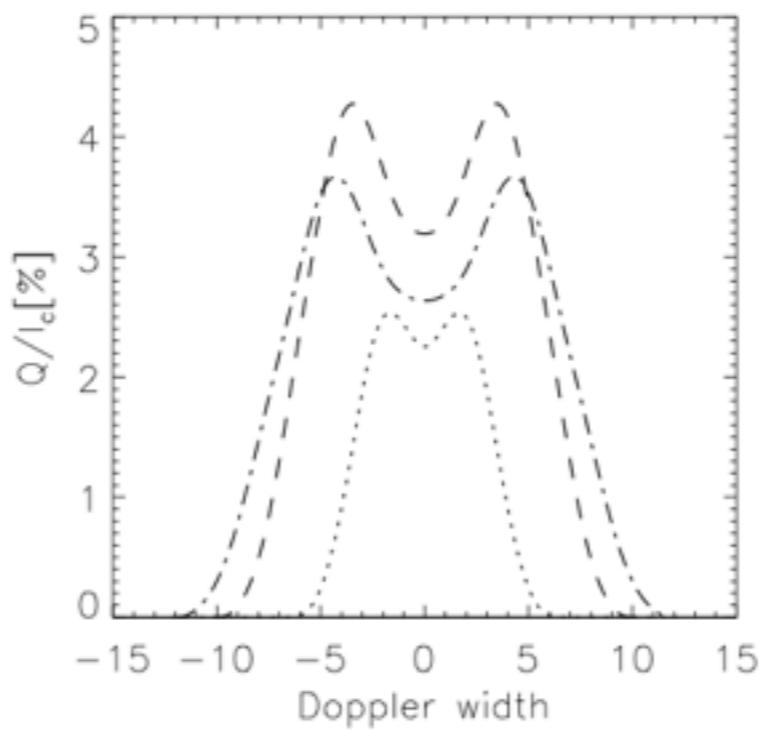
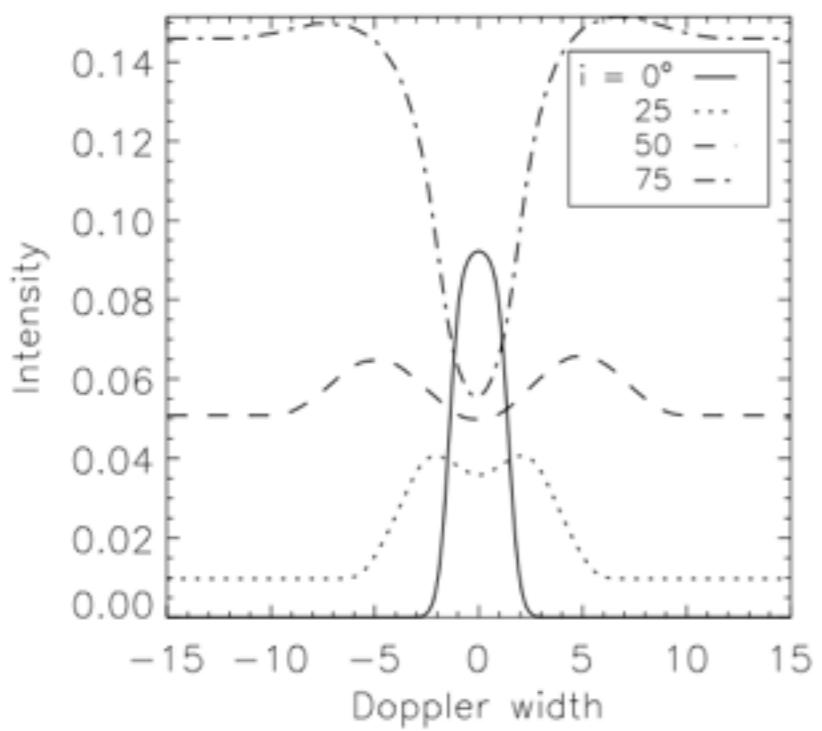
Neprozračniji disk

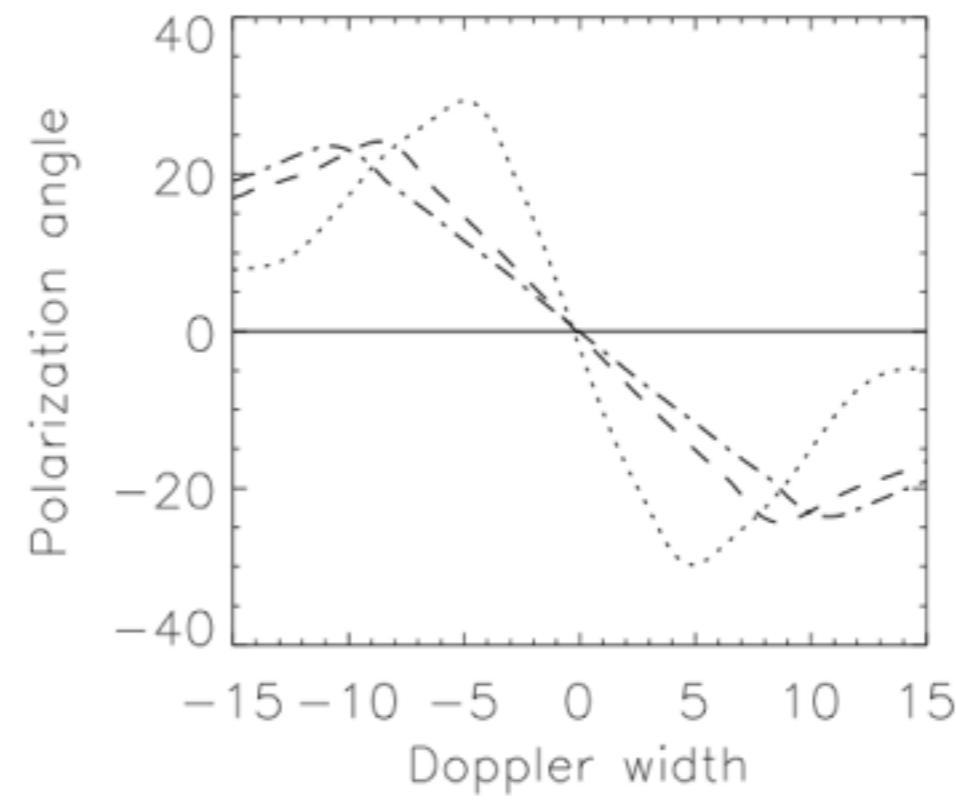
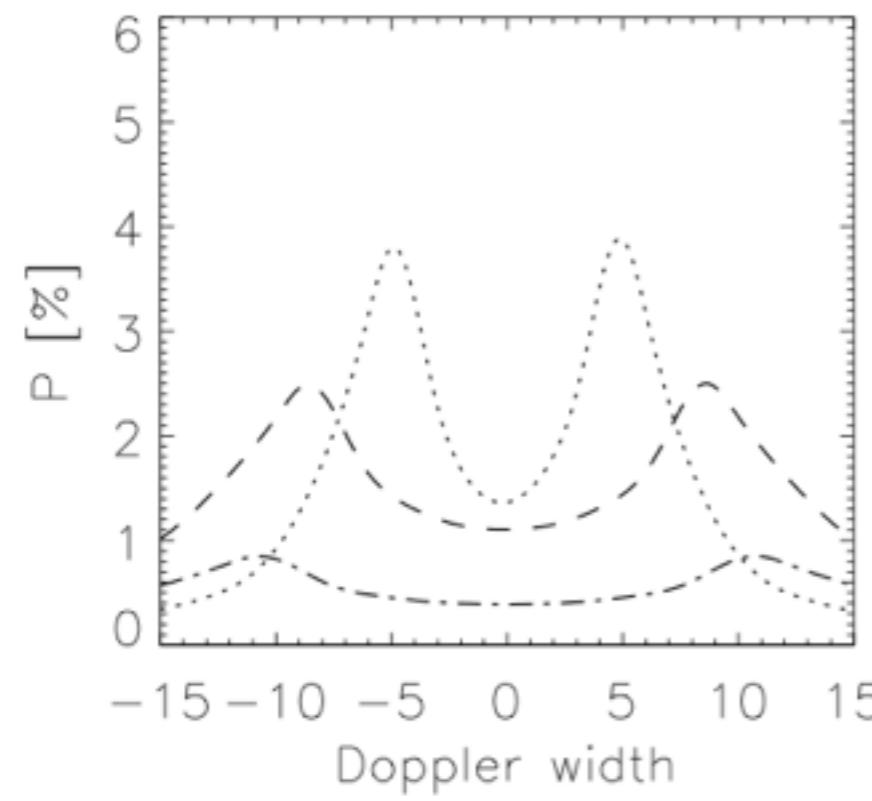
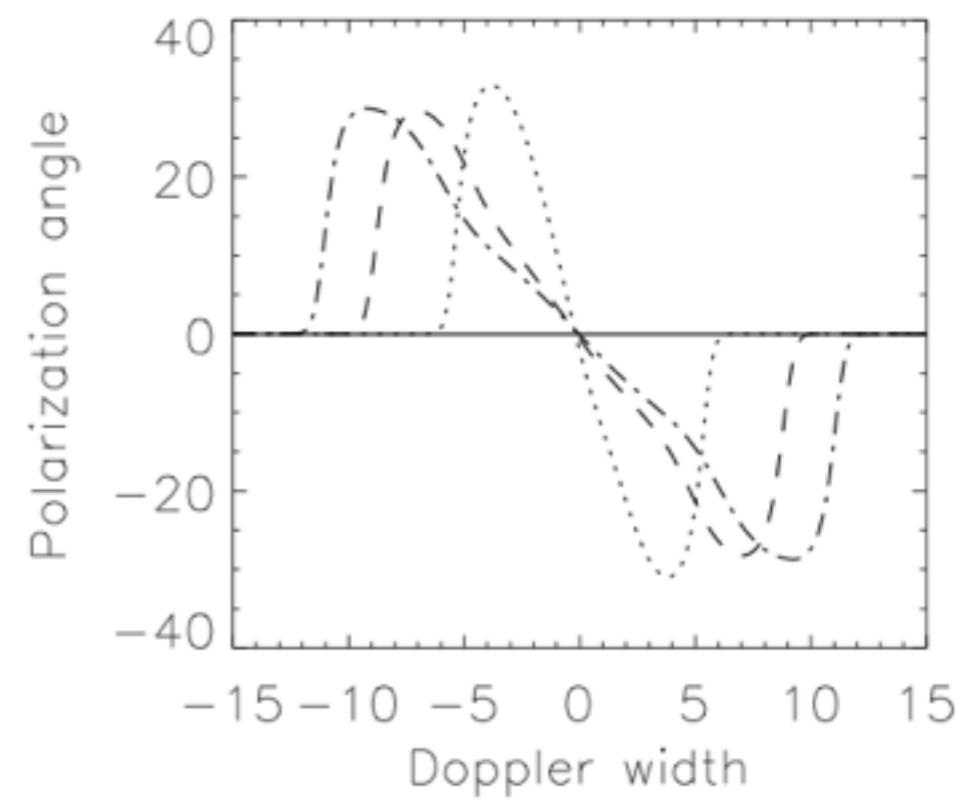
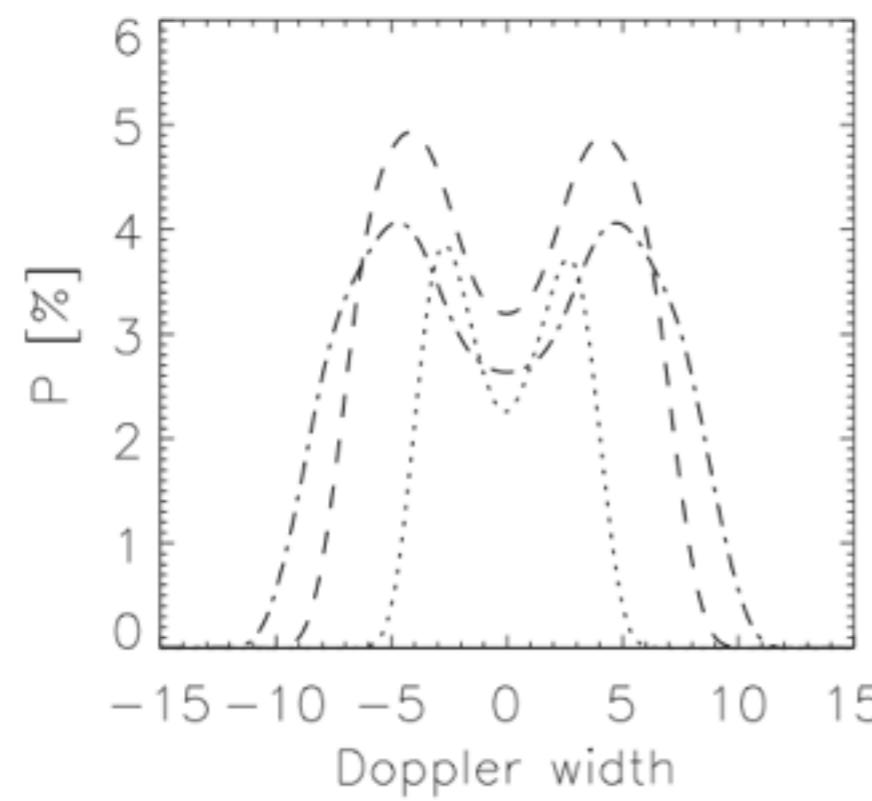


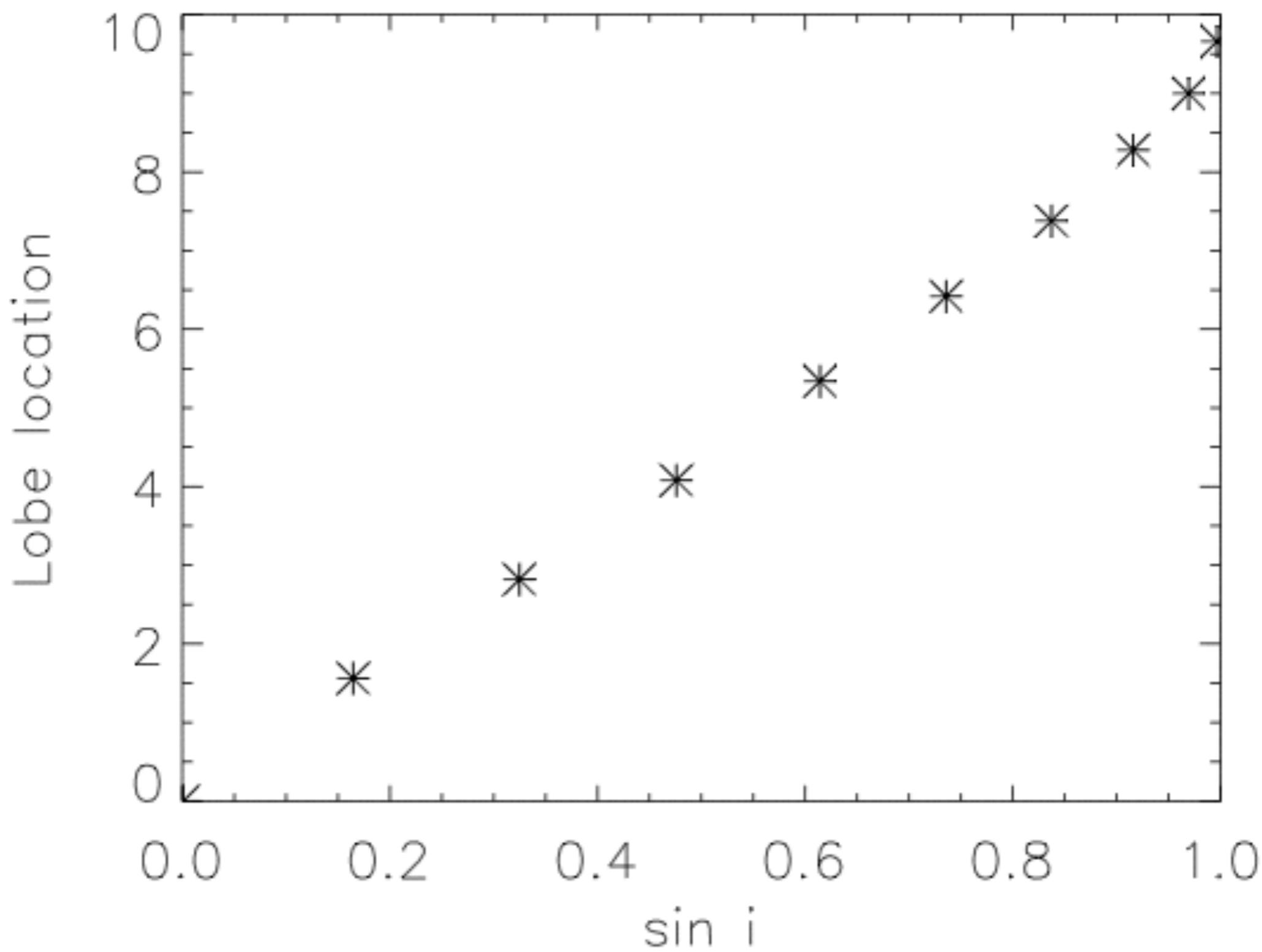
Disk osvetljen iznutra

- Disk je sada anizotropno osvetljen tako da očekujemo više polarizacije









Par misli za kraj...

- Polarizacija rasejanjem je novi prozor u Svemir (*i ovo uopšte nije novo!*)
- Ponekad više efekata stvara/uništava polarizaciju i potrebno ih je pažljivo raspetljati
- Važno je znati “potpise”, kako bismo mogli da interpretiramo podatke i bez detaljnog modeliranja
- Neretko smo suočeni sa time da nam polarizacija daje informacije o nerazlučenim izvorima (čak ni na Suncu ne možemo da razlučimo **sve!**)