

# Istraživanje magnetskog polja u Polarnom plamičku

---

Ina Galić

Prirodoslovno-matematički fakultet

Fizički odsjek

Mentor: dr. sc. Vibor Jelić



# Uvod

## Međuzvezdana tvar

- Područje između zvijezda unutar galaksija
- Termalan plin (hladan, topao ili vruć; u ioniziranom, neutralnom ili molekularnom stanju) + kozmička prašina + visoko energetske kozmičke zrake + magnetska polja

## Molekularni oblaci

- Hladne (oko 10 K) i guste (više od  $10^2$  čestica/cm<sup>3</sup>) strukture međuzvezdane tvari
- Većim dijelom sastavljene od molekula vodika, a manjim od međuzvezdane prašine



# Istraživanje međuzvezdane tvari

Sinkrotronsko zračenje i Faradayeva rotacija

- Mjera rotacije (eng. *rotation measure*, RM):

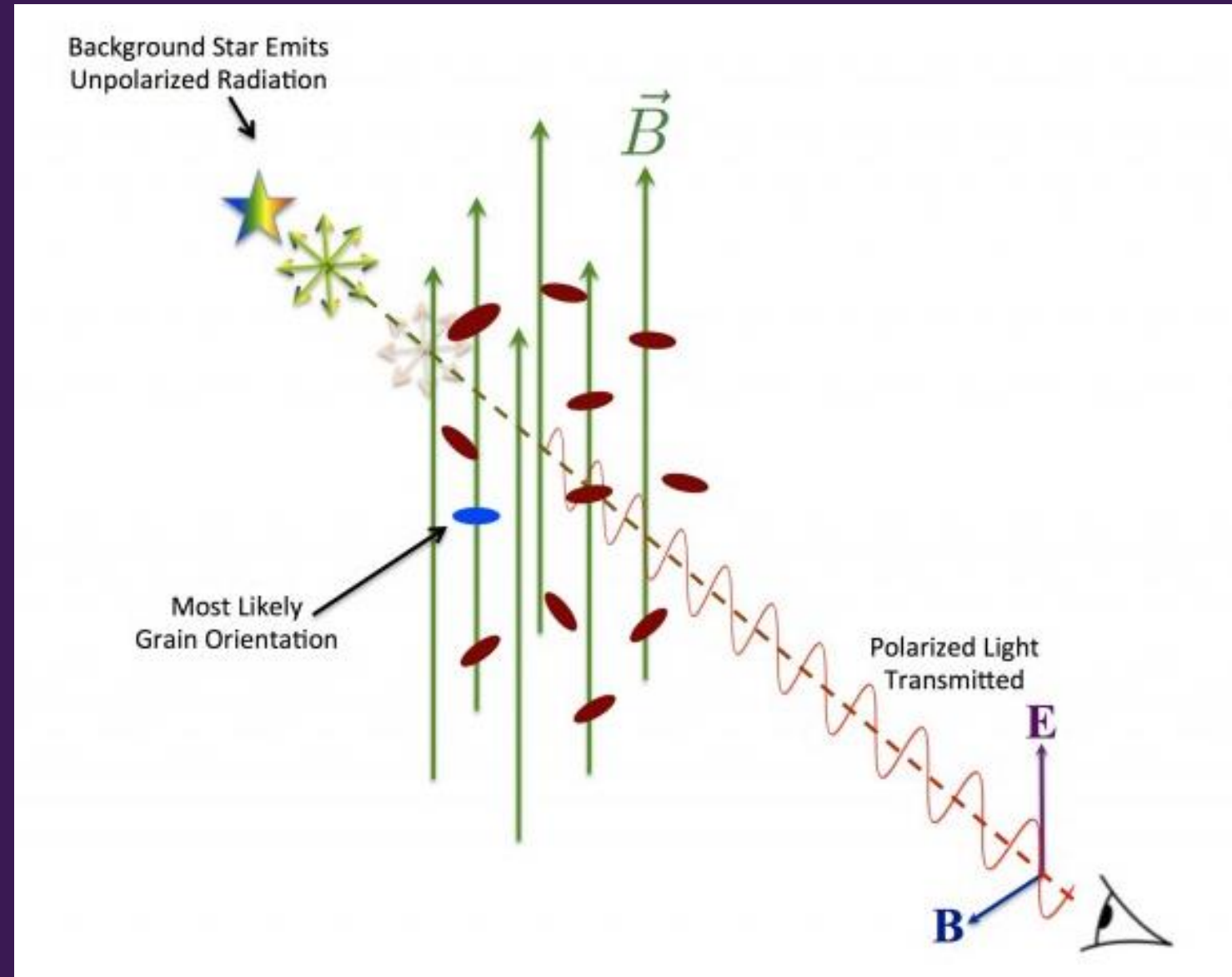
$$RM = \frac{d\chi(\lambda^2)}{d\lambda^2} = \Phi\lambda^2$$

- Faradayeva dubina:

$$\Phi = 0.81 \int_{\text{izvor}}^{\text{opražać}} n_e B_{\parallel} dl$$

# Određivanje smjera magnetskog polja

1. Preko ekstinkcije svjetlosti zvijezda
2. Preko polariziranog termalnog zračenja





# Podaci i metodologija

## Polarni plamičak

- Molekularni oblak koji se nalazi u području sjevernog nebeskog pola
- Zvijezde: Ursa Minor
- Udaljenost:  $\approx 109 - 390$  pc  
( $1 \text{ pc} \approx 3 \times 10^{16} \text{ m}$ )
- Difuznog tipa:
  - atomski i molekularni plin
  - $\approx 3 - 100 M_{\odot}$
  - nekoliko parseka
  - nema stvaranja novih zvijezda



# Podaci i metodologija

## RoboPol

- Optički fotopolarimetar sa 4 kanala i bez pomičnih dijelova osim kotača s filterom
- Johnson-Cousins crveni i infracrveni filteri
- Montiran na 1.3 metarski f/7.7 Ritchey-Cretien teleskop u Skinakas opservatoriju na Kreti
- Vidno polje od  $13' \times 13'$



Izvor: Skinakas opservatorij



# Podaci i metodologija

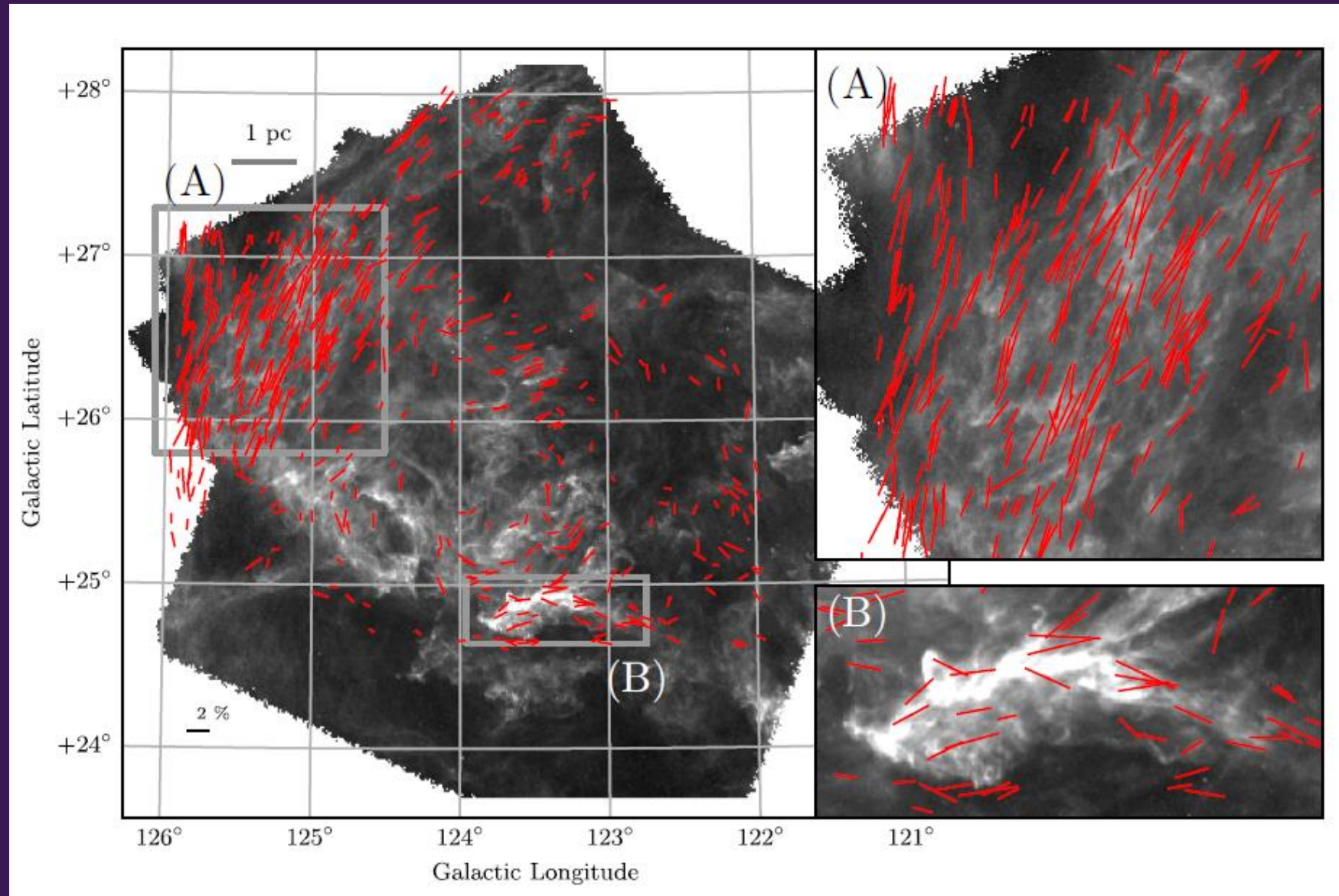
## RoboPol-ova promatranja

- Mapiranje magnetskog polja u međuzvjezdanim oblacima korištenjem ekstinkcije svjetlosti zvijezda
- Mjerenja optičke polarizacije zvijezda na  $10^\circ \times 10^\circ$  području Polarnog plamička
- Napravljena koristeći crveni filter u 25 noći raspoređenih od kolovoza do studenog 2013. god.



Izvor: Skinakas opservatorij

# Podaci i metodologija



Izvor:  
Panopoulou et al., The magnetic  
field and dust filaments in the  
Polaris Flare, v. 462,  
n. 2, p. 1517–1529, out. 2016



# Podaci i metodologija

## Radioteleskop LOFAR

- LOw-Frequency Array
- 20 000 antena i 52 stanice rasprostranjene diljem Europe
- $\approx 10 - 240$  MHz
- LBA (eng. *Low Band Antenna*): 30 - 80 MHz
- HBA (eng. *High Band Antenna*): 110 MHz - 240 MHz



Izvor: van Haarlem, M. P. et al. LOFAR: The LOw-Frequency ARray. , v. 556, p. A2, ago. 2013.

# Podaci i metodologija

## LOFAR-ova promatranja

- L182797
- Napravljena u HBA DUAL INNER konfiguraciji antena u prosincu 2011. na 115 - 180 MHz
- $\approx 9.9^\circ \times 9.9^\circ$  sa sjevernim nebeskim polom (RA =  $0^\circ$  i Dec =  $90^\circ$ ) u centru



Izvor: van Haarlem, M. P. et al. LOFAR: The LOw-Frequency ARray. , v. 556, p. A2, ago. 2013.



# Podaci i metodologija

Sinteza mjere rotacije (eng. *RM synthesis*)

- Ukupni polarizacijski vektor:

$$P(\lambda^2) = Q + iU$$

- Kut polarizacije:

$$\chi = \frac{1}{2} \operatorname{tg}^{-1} \frac{U}{Q}$$

- „Fourierov transformat“:

$$F(\Phi) = \frac{1}{W(\lambda^2)} \int_{-\infty}^{\infty} P(\lambda^2) e^{-2i\Phi\lambda^2} d\lambda^2$$

- Faraday P, Q i U kocke

# Podaci i metodologija

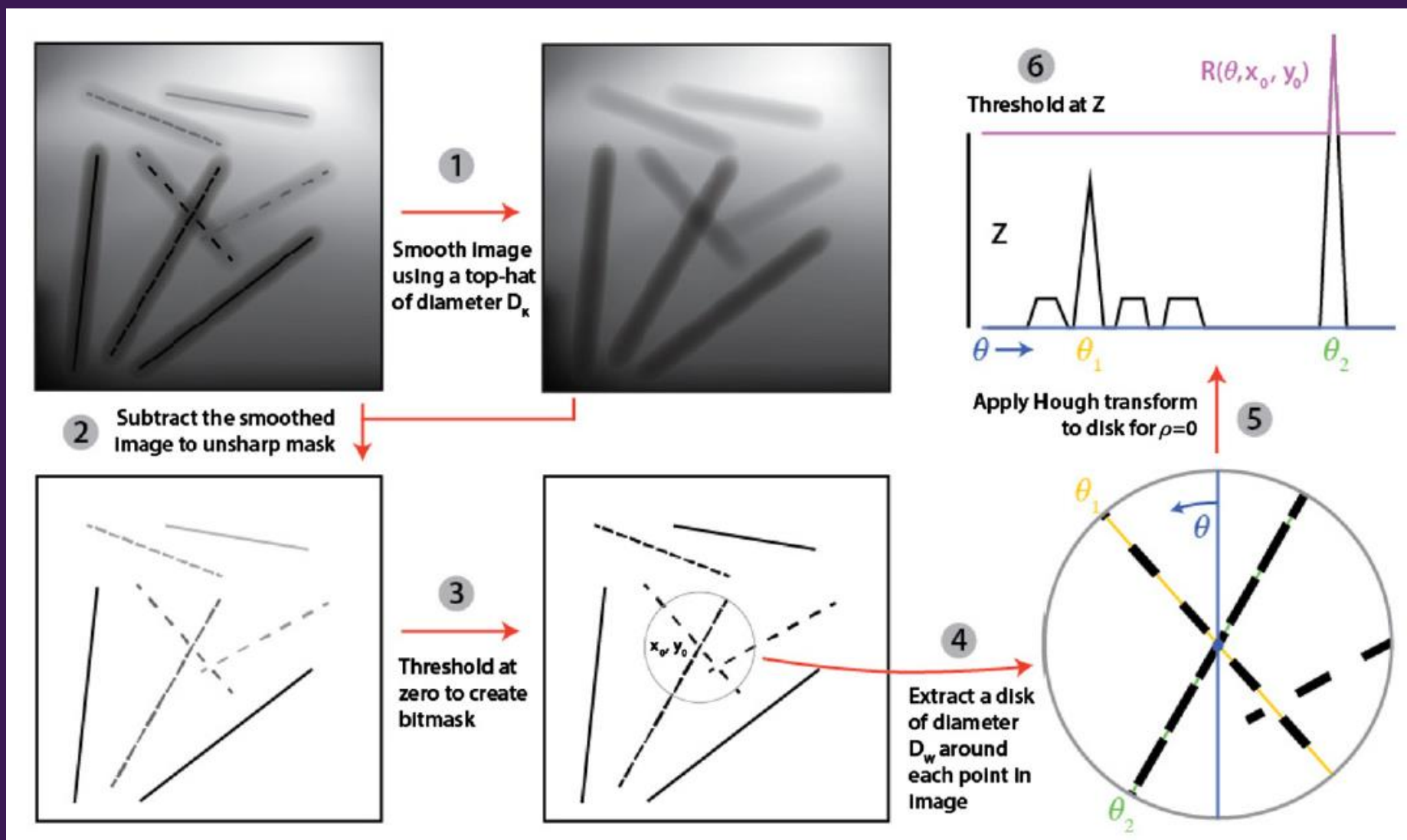
Kotrljajući Hough transform (eng. *Rolling Hough Transform*, RHT) algoritam

- Tri ulazna parametra:

1. Promjer *smoothing kernela*  $D_k$
2. Promjer prozora (eng. *window diameter*)  $D_w$
3. Prag vjerojatnosti (eng. *probability treshold*)  $Z$

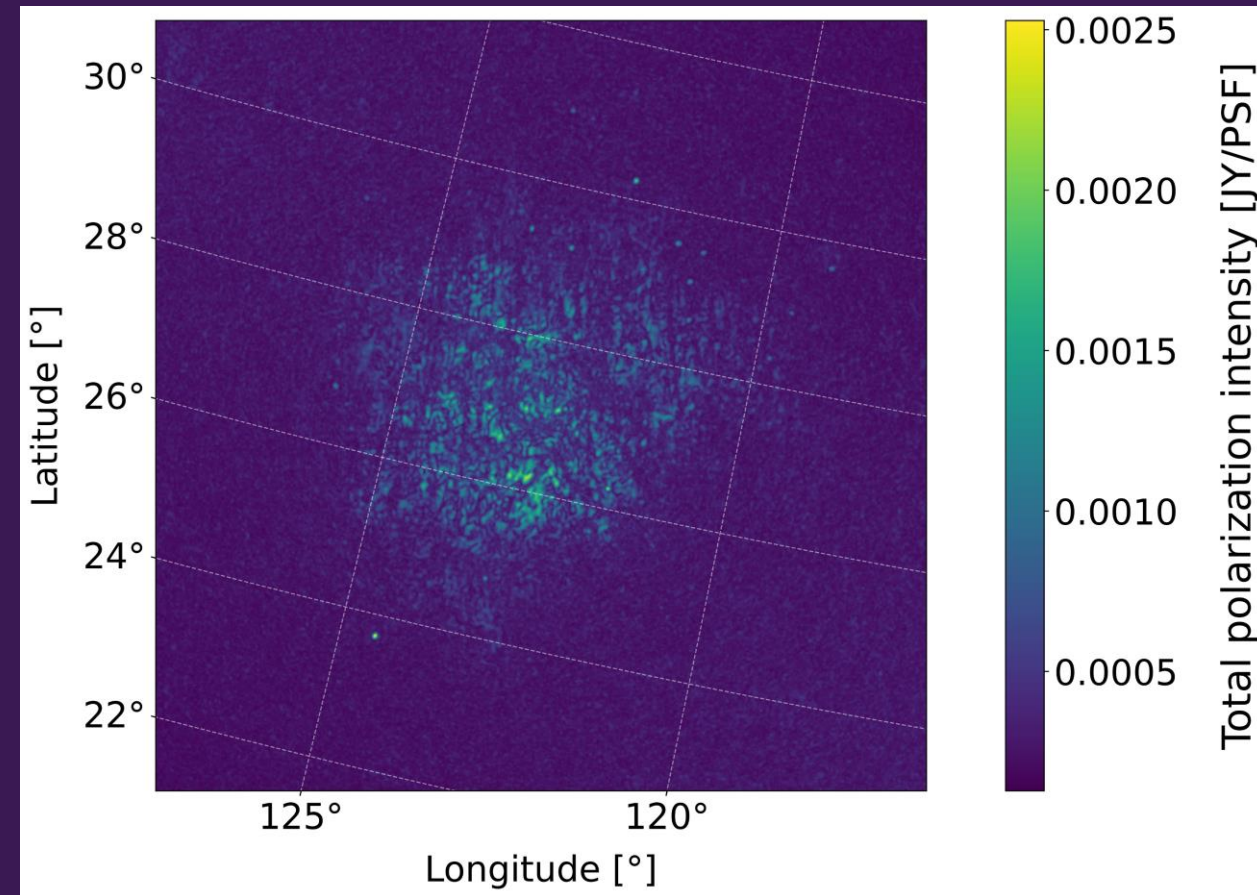


# Podaci i metodologija

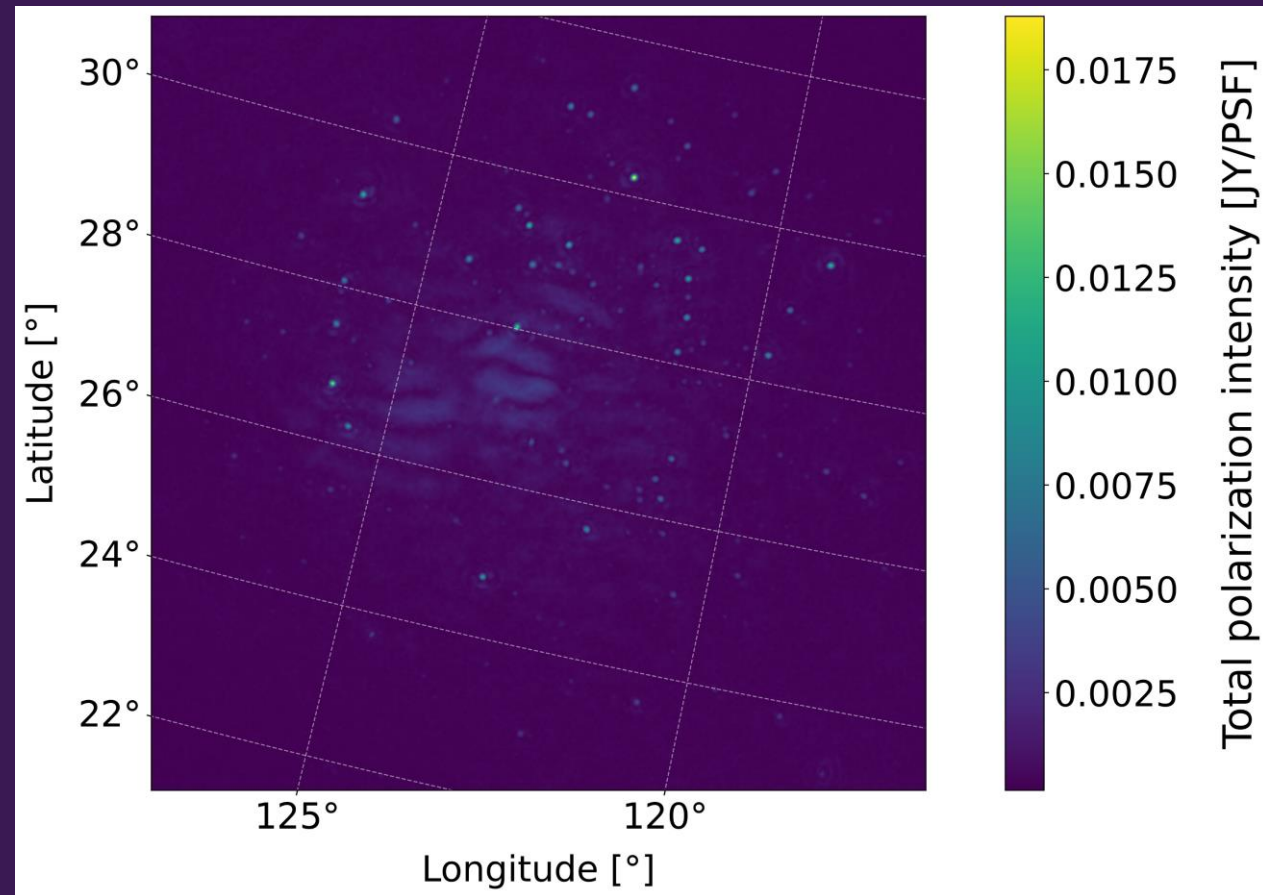


# Rezultati: RM sinteza

Grafovi maksimalnog ukupnog polariziranog intenziteta



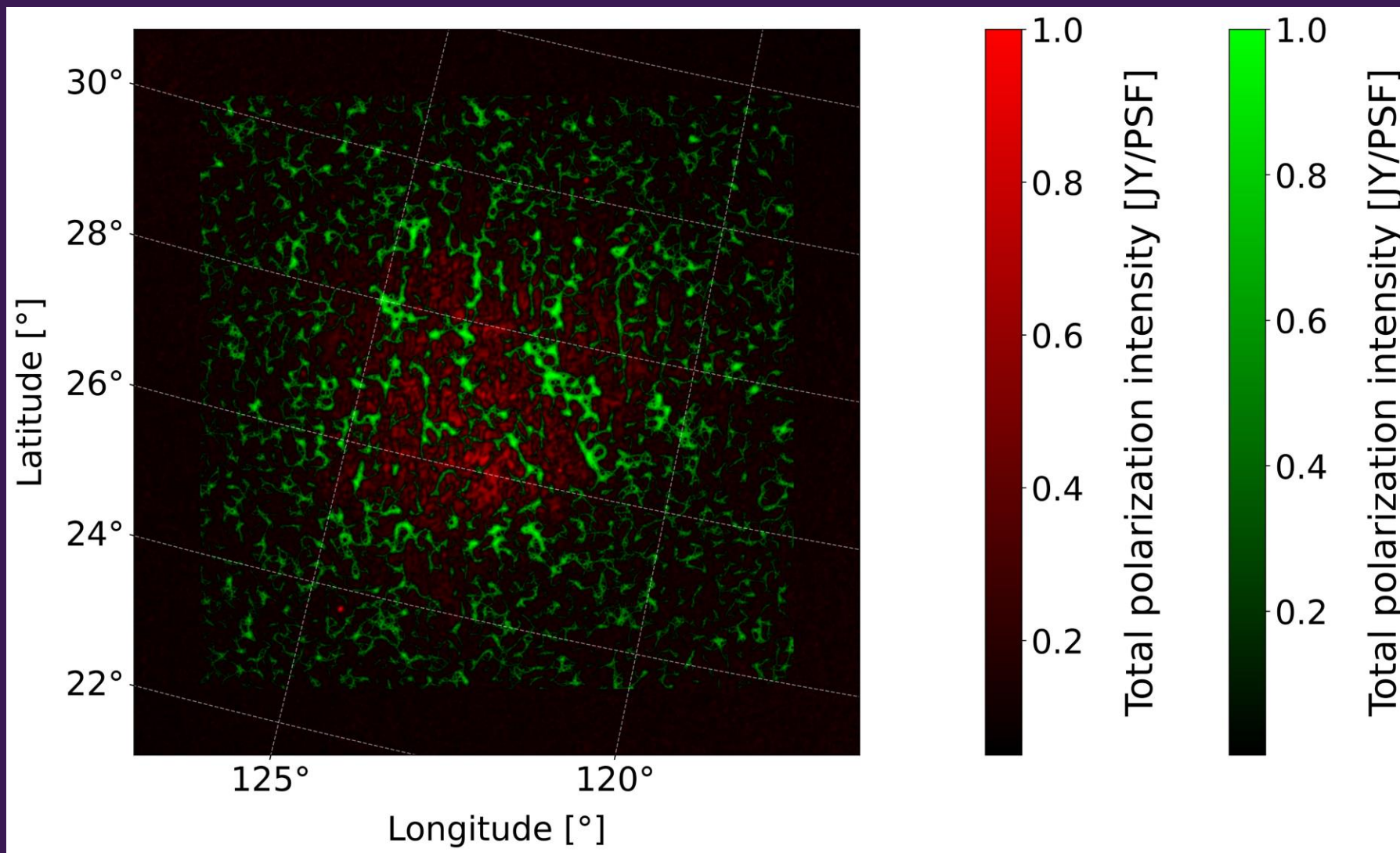
Faradayeve dubine: -50 to -5.75 rad m<sup>-2</sup>



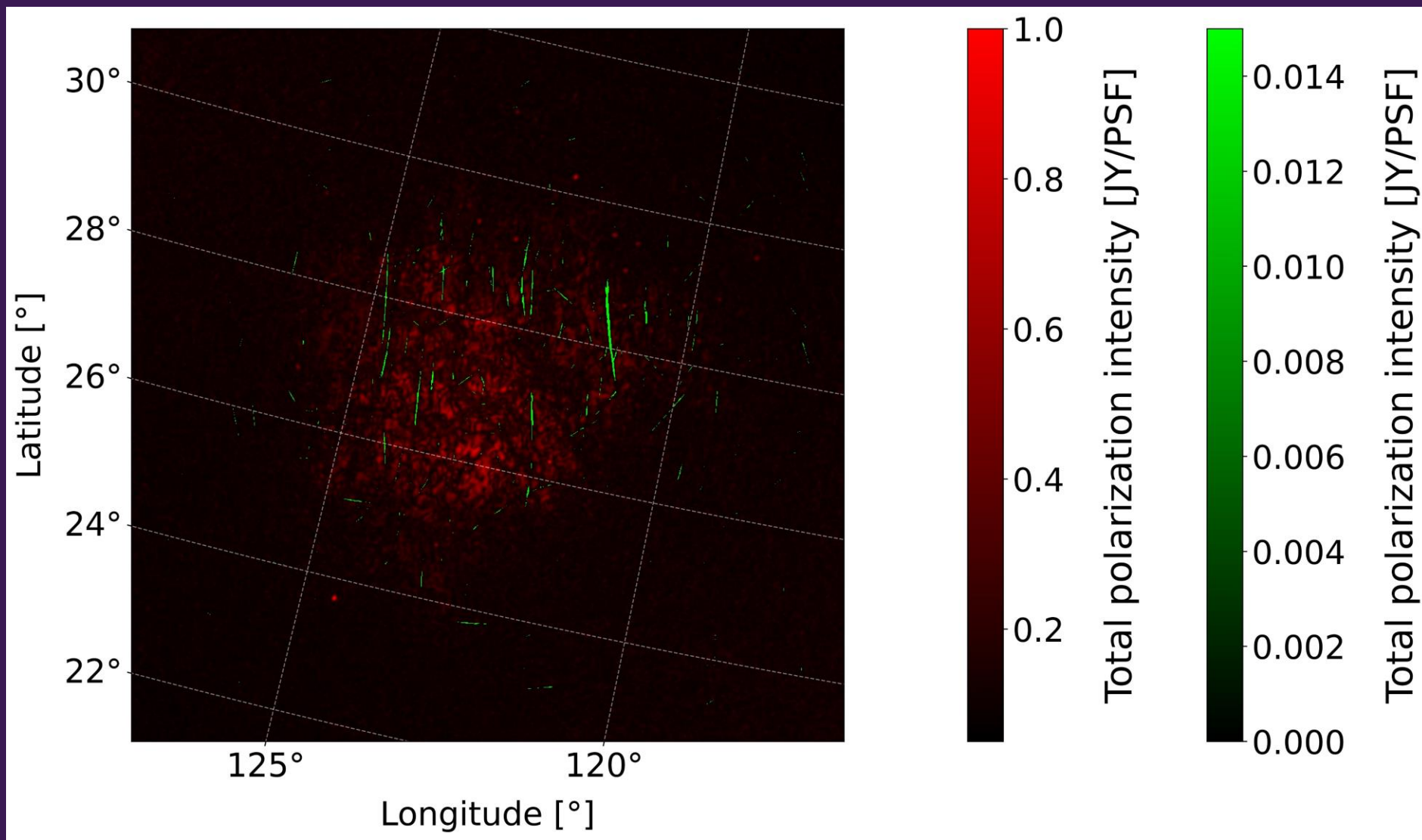
Faradayeve dubine: -5.75 to 50 rad m<sup>-2</sup>



# Rezultati: RHT analiza



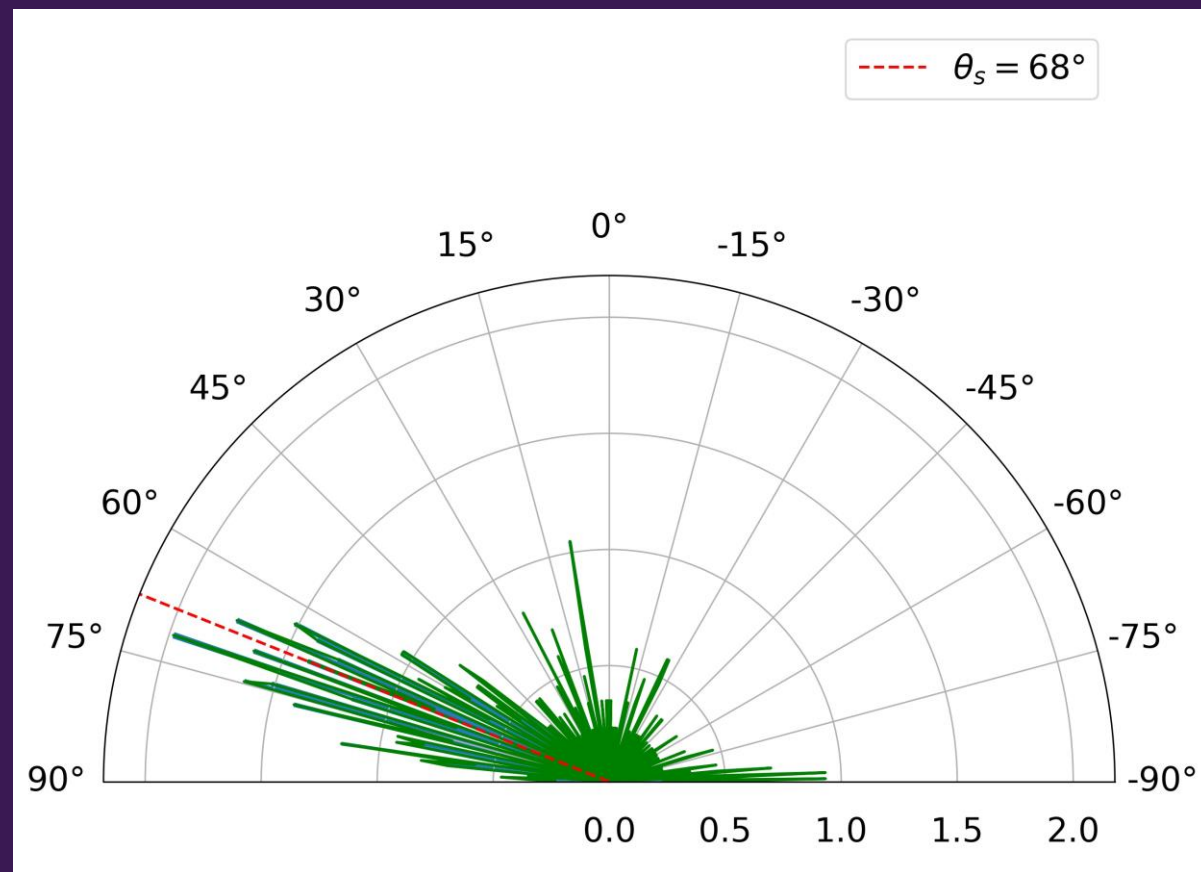
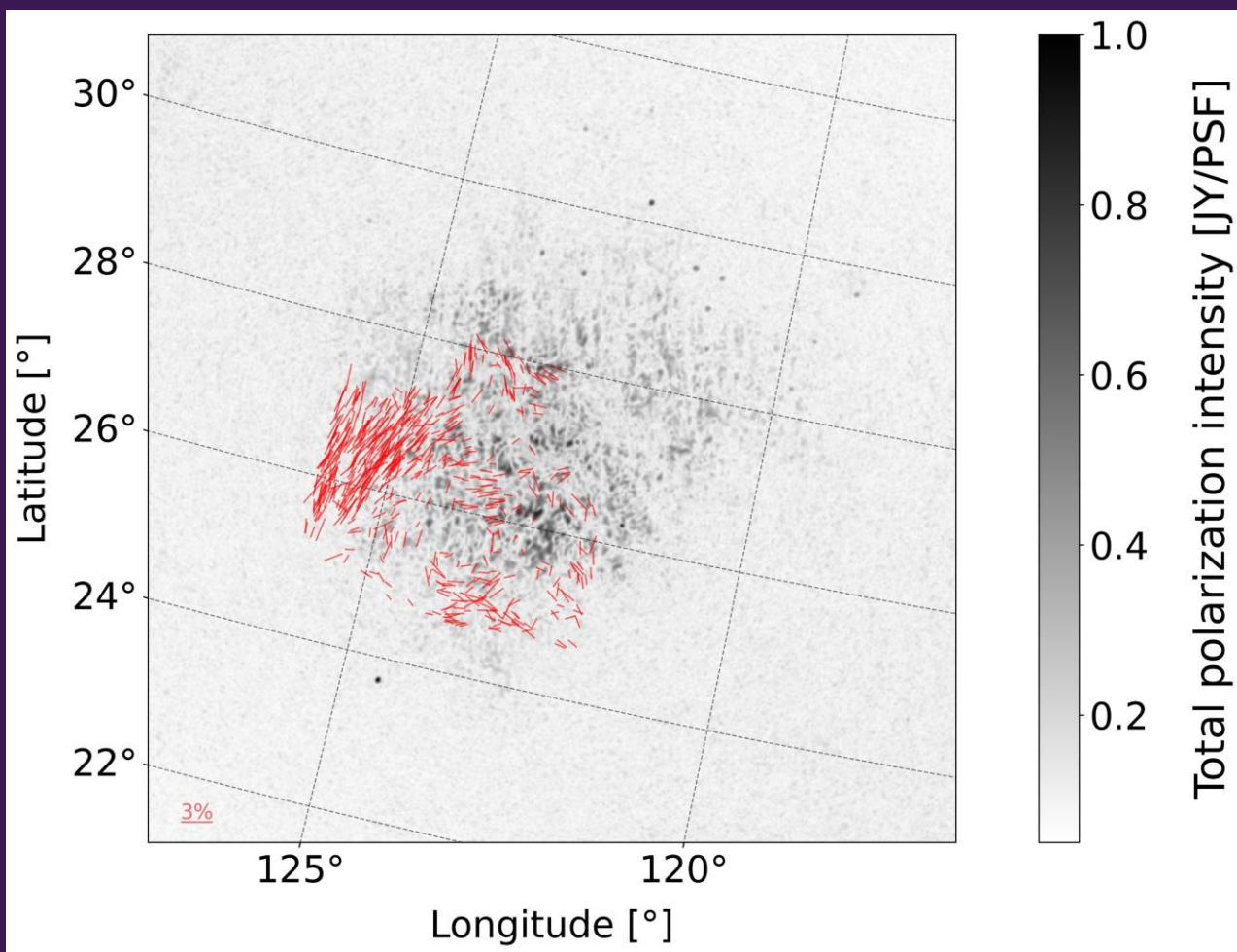
# Rezultati: RHT analiza



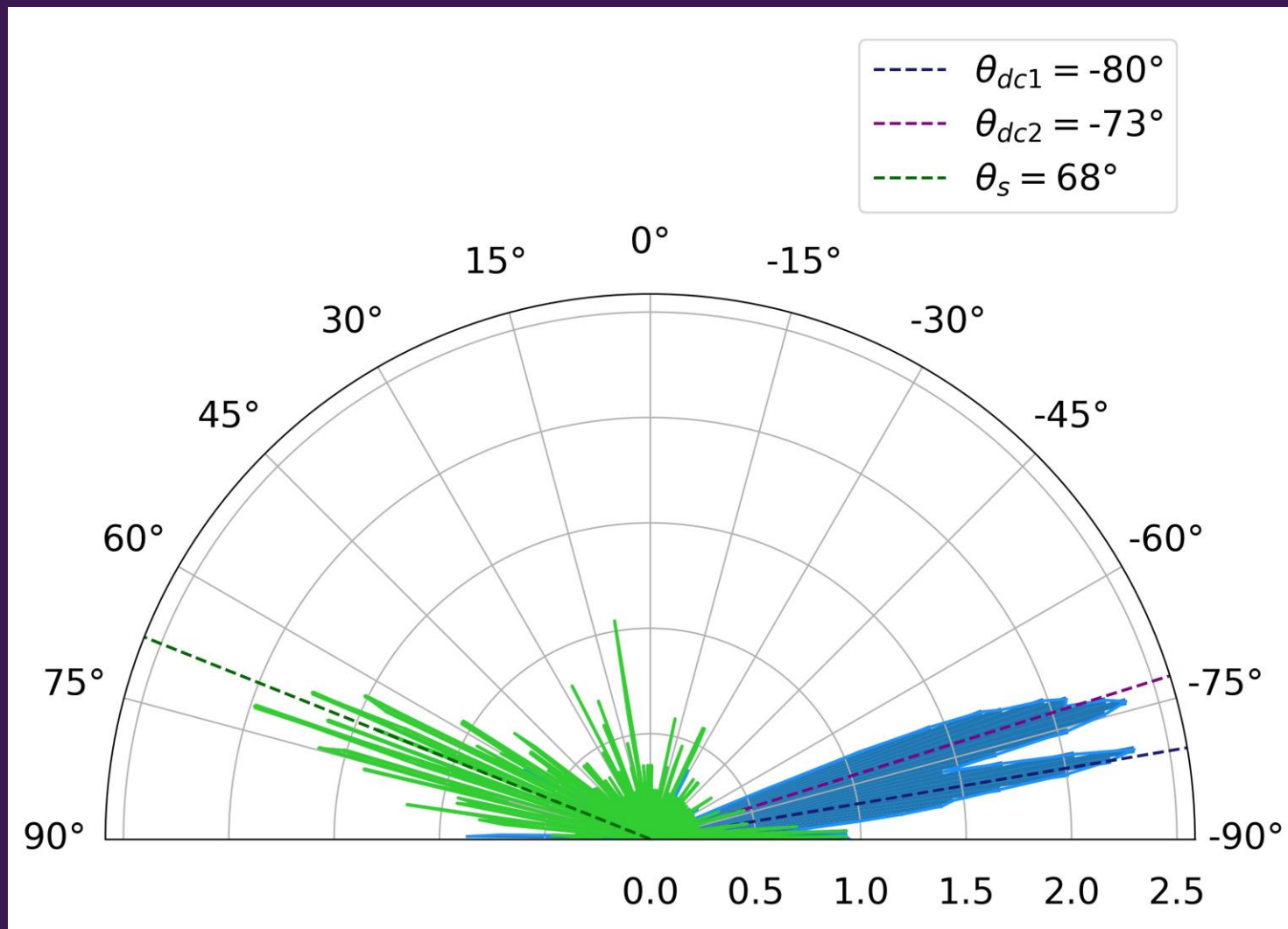
Dw = 50'  
Dk = 4'  
Z = 0.8



# Rezultati: Polarizacija zvjezdane svjetlosti



# Konačni rezultati



# Zaključak i diskusija

- Otkrivene tamne linearne strukture zvane depolarizirani kanali
- Dominantni smjerovi depolariziranih kanala se ne poklapaju sa polarizacijama svjetlosti zvijezda
- $\theta_{dc1} = -80^\circ \pm 2^\circ$  i  $\theta_{dc2} = -73^\circ \pm 2^\circ$
- $\theta_s = 68^\circ \pm 2^\circ$