

Диагностика магнитного поля в основании короны Солнца методами гирорезонансной магнитографии

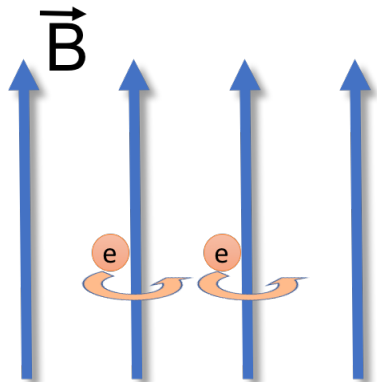
Сергей Анфиногентов^{1,2}

¹Институт Солнечно-Земной Физики, Иркутск

²CFSA, University of Warwick, UK



Явление гирорезонанса



Гирочастота

$$\omega_B = \frac{eB}{m_e c}$$

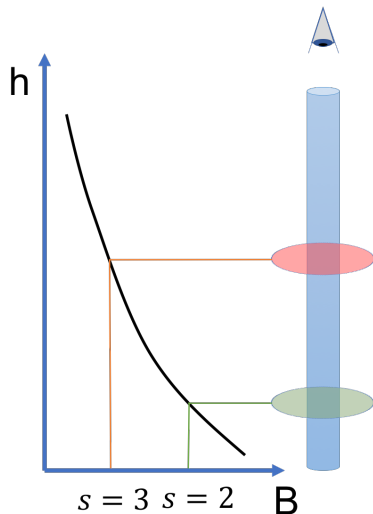
Эффективное
поглощение/излучение

$$f = s\omega_B, s = 1, 2, 3\dots$$

Моды Э/М волн

- Обыкновенная
- Необыкновенная

Гирорезонансные слои, 1D



Особенность

Основной вклад вносит излучение от одного оптически толстого слоя.

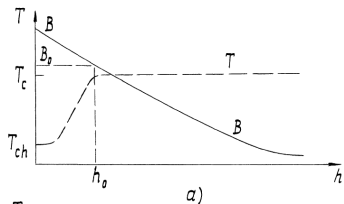
Обыкновенная мода

$$s = 2, B_o = \frac{2\pi f m_e c}{2e}$$

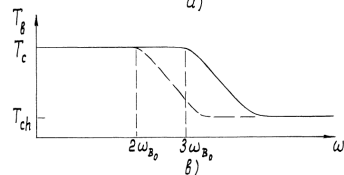
Необыкновенная мода

$$s = 3, B_e = \frac{2\pi f m_e c}{3e}$$

Гирорезонансное излучение — термометр для солнечной короны ¹



a)

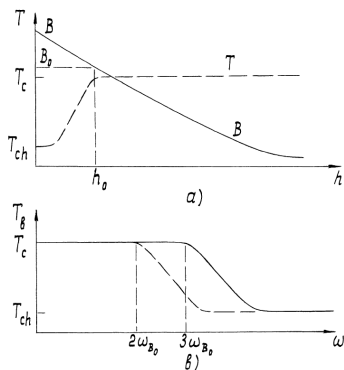


б)

- ГР-излучение как правило оптически толстое
 - ▶ $T_{br} = T$

¹Иллюстрация из Zhelezniakov and Zlotnik (1980)

Гирорезонансное излучение — термометр для солнечной короны ¹

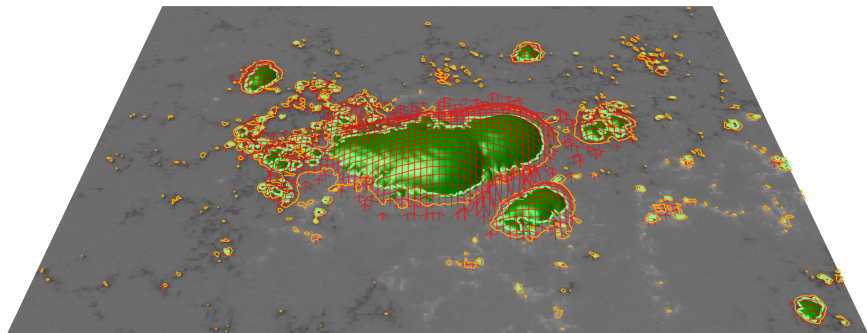


- ГР-излучение как правило оптически толстое
 - ▶ $T_{br} = T$
- ГР-излучение формируется в узких слоях и позволяет измерить
 - ▶ зависимость $T(\mathbf{B})$
 - ▶ поле в переходной зоне

¹Иллюстрация из Zhelezniakov and Zlotnik (1980)

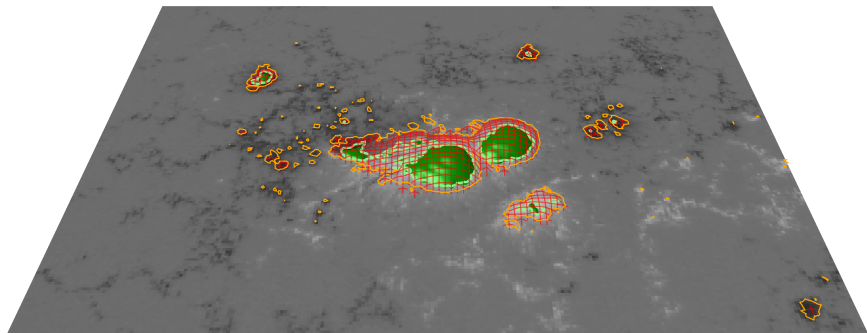
Гирорезонансные слои, 3D

NOAA 11520, потенциальное поле, $f = 5.7$ ГГц



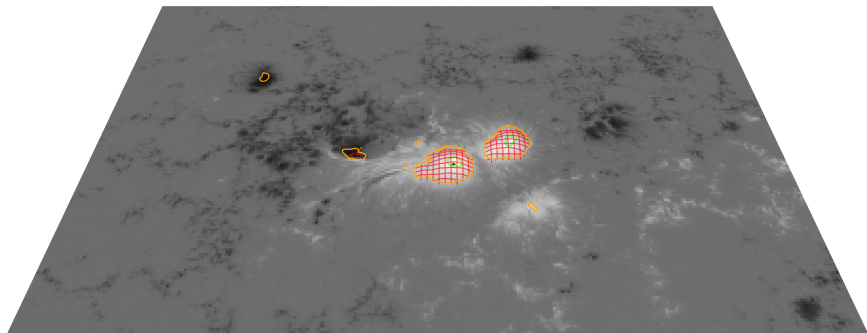
Гирорезонансные слои, 3D

NOAA 11520, потенциальное поле, $f = 10$ ГГц



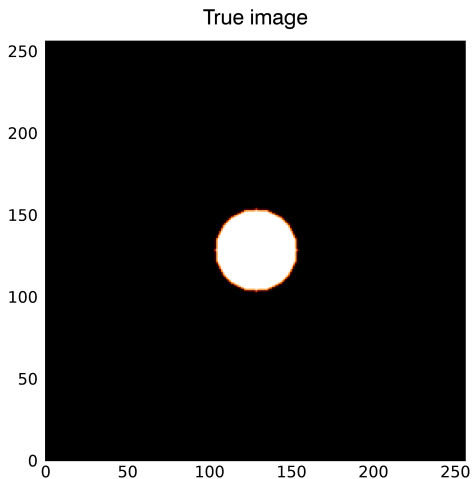
Гирорезонансные слои, 3D

NOAA 11520, потенциальное поле, $f = 17$ ГГц



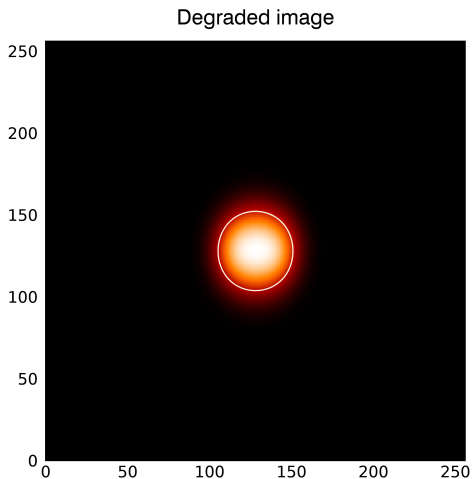
Картографирование магнитного поля

Порог яркости



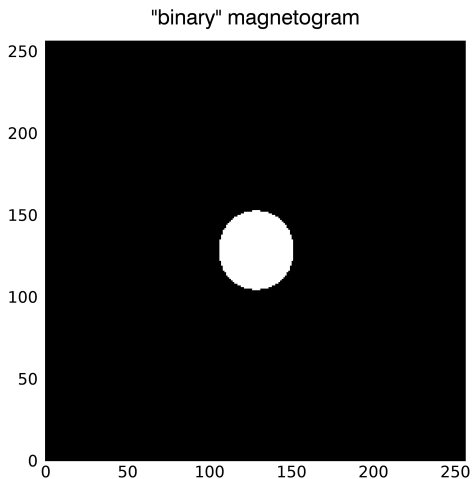
Картографирование магнитного поля

Порог яркости



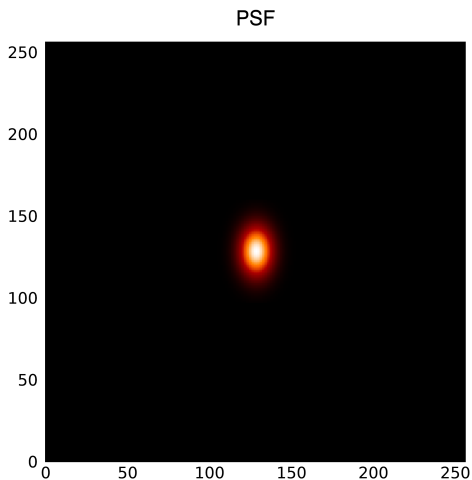
Картографирование магнитного поля

Порог яркости



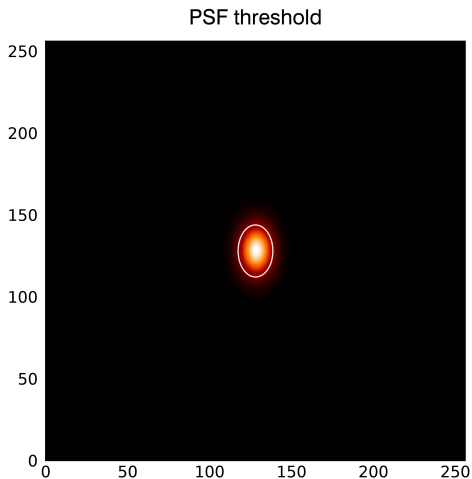
Морфологическая фильтрация

Бинарная PSF



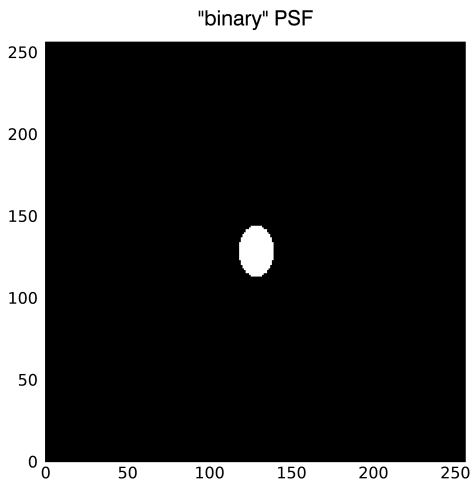
Морфологическая фильтрация

Бинарная PSF



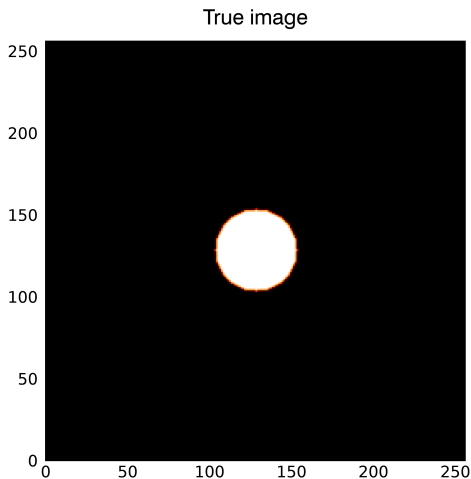
Морфологическая фильтрация

Бинарная PSF



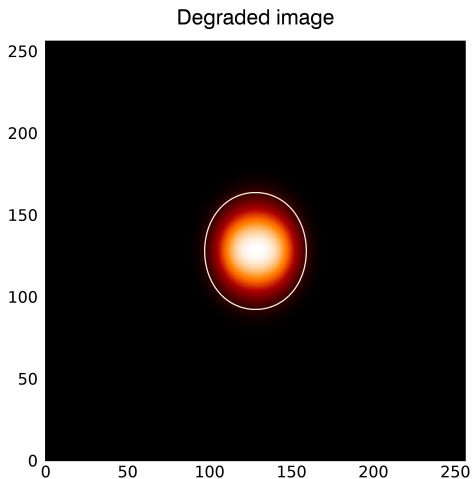
Морфологическая фильтрация

Бинарная магнитограмма, level 0



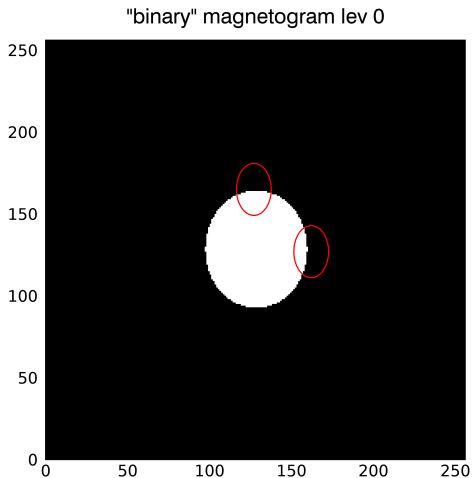
Морфологическая фильтрация

Бинарная магнитограмма, level 0



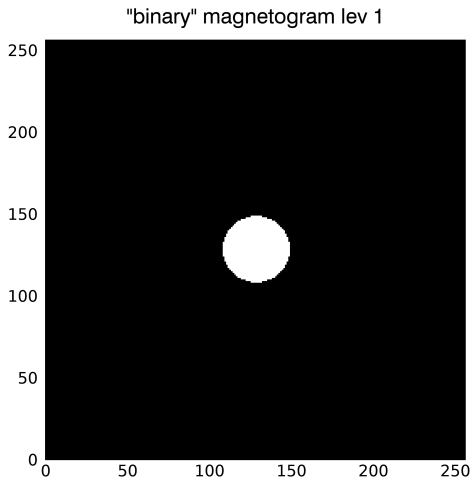
Морфологическая фильтрация

Бинарная магнитограмма, level 0



Морфологическая фильтрация

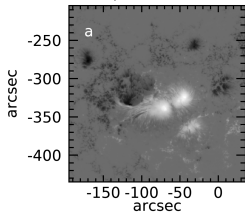
Бинарная магнитограмма, level 0



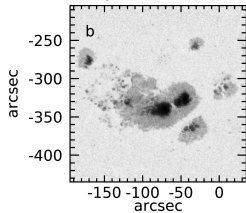
ГР-магнитограммы SSRT + NoRH

NOAA 11520, 2012-07-12

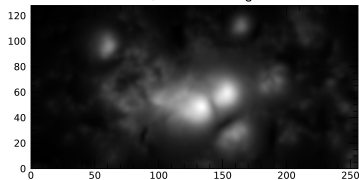
SDO/HMI LOS field



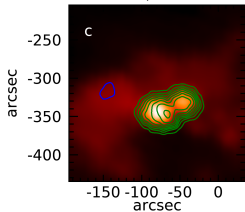
SDO/HMI Continuum



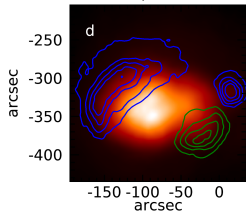
SDO/HMI Field Strength



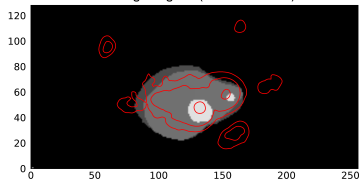
NoRH, 17 GHz



SSRT, 5.7 GHz

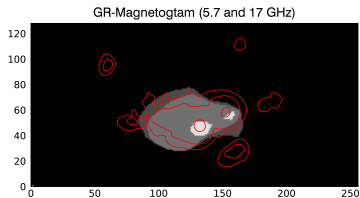
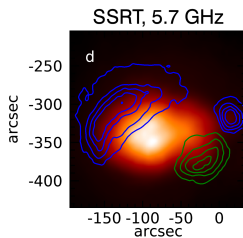
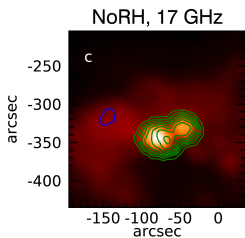
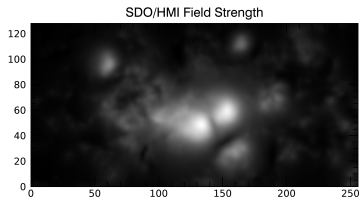
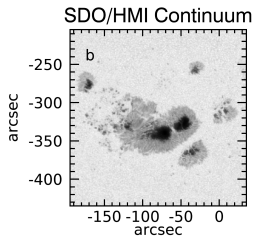
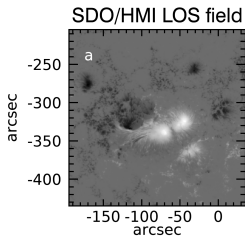


GR-Magnetogram (5.7 and 17 GHz)



ГР-магнитограммы SSRT + NoRH

NOAA 11520, 2012-07-12



Будущее ГР-магнитографии

- MingantU SpEctral Radioheliograph (MUSER)
- Expanded Owens Valley Solar Array (EOVSA)
- Сибирский Радиогелиограф (SRH)

Сибирский Радиогелиограф²

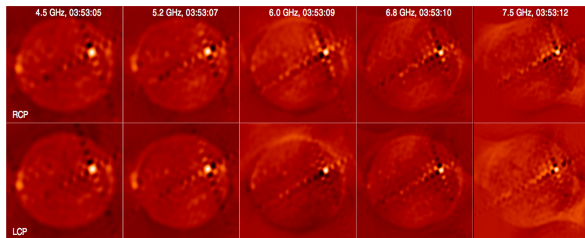
48-антенная решётка, 4 – 8 GHz



²Lesovoi et al. (2017)

Сибирский Радиогелиограф²

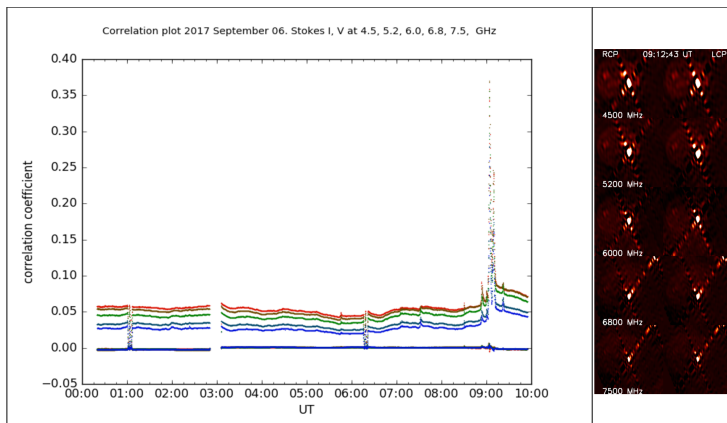
48-антенная решётка, 4 – 8 GHz



²Lesovoi et al. (2017)

SRH-48

Регулярные наблюдения³



³доступны по адресу <http://badary.iszf.irk.ru>

Заключение

- **ГР-магнитография основания корона**
 - ▶ Измерение модуля магнитного поля
 - ▶ Определение 1 – 2 уровней модуля поля на каждую наблюдаемую частоту
 - ▶ Дополнительные условия для реконструкции поля в короне
- **Необходимы наблюдения на многих частотах**
- **Регулярные наблюдения Солнца в диапазоне 4 – 8 ГГц уже ведутся в радиоастрофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН**
 - ▶ Просмотр изображений и корреляционных кривых <http://badary.iszf.irk.ru/srhDailyImages.php>
 - ▶ Данные: <ftp://badary.iszf.irk.ru/data/srh48>
- **Радиогелиографы будущего (SRH, MUSER, EOVSА)**
Кардинально повысят точность измерения магнитного поля

Спасибо за внимание!

References

- Bogod, V. M. and Yasnov, L. V. (2009). On the comparison of radio-astronomical measurements of the height structure of magnetic field with results of model approximations. *Astrophysical Bulletin*, 64:372–385.
- Gelfreikh, G. B. and Shibasaki, K. (1999). Radio Magnetography of Solar Active Regions Using Radio Observations. In Wilson, A. and et al., editors, *Magnetic Fields and Solar Processes*, volume 448 of *ESA Special Publication*, page 1339.
- Lesovoi, S., Altyntsev, A., Kochanov, A., Grechnev, V., Gubin, A., Zhdanov, D., Ivanov, E., Uralov, A., Kashapova, L., Kuznetsov, A., Meshalkina, N., and Sych, R. (2017). Siberian Radioheliograph: first results . *Solar-Terrestrial Physics*, 3(1):3–18.
- Mok, Y., Mikić, Z., Lionello, R., and Linker, J. A. (2005). Calculating the Thermal Structure of Solar Active Regions in Three Dimensions. *ApJ*, 621:1098–1108.
- Wang, Z., Gary, D. E., Fleishman, G. D., and White, S. M. (2015). Coronal Magnetography of a Simulated Solar Active Region from