

Обнаружение рекордных магнитных полей в короне активных областей солнца

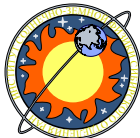
Анфиногентов С.А.¹, Стиупишин А.Г.², Мышьяков И.И.¹,
Флейшман Г.Д.³

¹Ордена Трудового Красного Знамени Институт солнечно-земной физики СО РАН,

²Санкт-Петербургский Государственный Университет,

³New Jersey Institute of Technology

12 октября 2020



Важность информации о магнитном поле в короне Солнца

- Геоэффективные явления [солнечные вспышки, корональные выбросы массы (КВМ)] происходят именно в короне Солнца
- Плазма солнечной короны холодная ($\beta \ll 1$)
 - ▶ магнитное поле — определяющий фактор для большинства физических процессов в короне
 - ▶ магнитное поле — резервуар энергии, которая может выделяться через вспышки и КВМ

Информация о магнитном поле в короне необходима для:

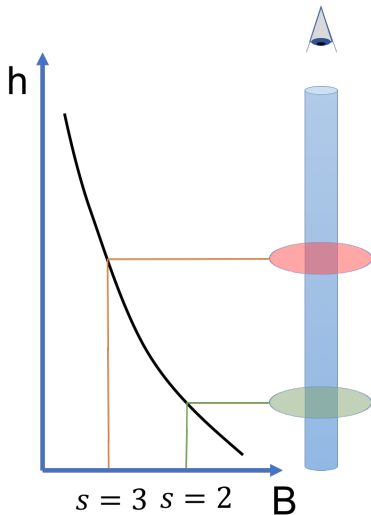
- 1 понимая фундаментальных физических процессов в короне
- 2 для прогноза вспышек и КВМ

Источники информации о магнитном поле в короне Солнца

- Восстановление коронального магнитного поля по фотосферным наблюдениям
 - ▶ Потенциальное поле
 - ▶ Нелинейное бессилое поле (NLFFF)
 - ▶ Data-driven modelling
- МГД-сейсмология (изгибные колебания корональных петель)
- Эффект Ханле (УФ спектрополяриметрия)
- Прямые измерения по радионаблюдениям
 - ▶ Free-free (компонента вдоль луча зрения)
 - ▶ Гирорезонансное излучение (модуль)

Для восстановления полной трехмерной картины необходимо комбинировать всю доступную информацию.

Гиррезонансные слои 1D



Особенность

Основной вклад в носит самый высокий оптически толстый гиррезонансный слой. Яркостная температура излучения близка к температуре плазмы.

Обыкновенная мода

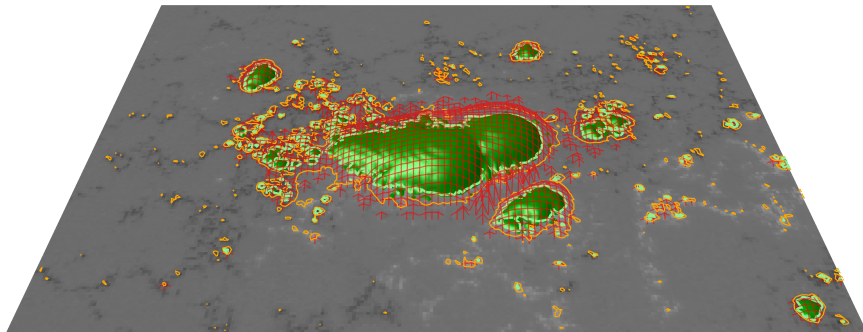
$$s = 2, B_o = \frac{2\pi f m_e c}{2e}$$

необыкновенная мода

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

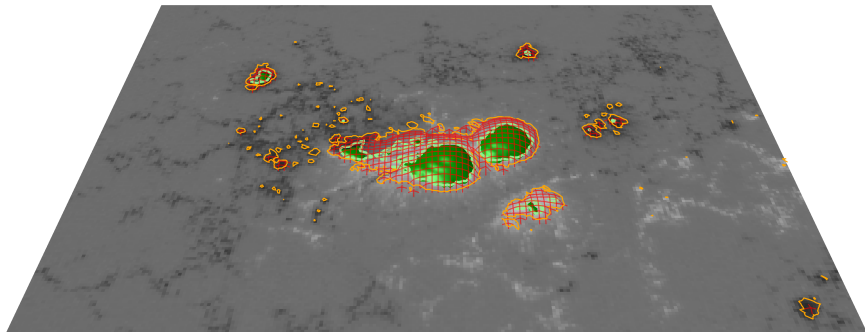
Гирорезонансные слои, 3D

NOAA 11520, potential field, $f = 5.7$ GHz



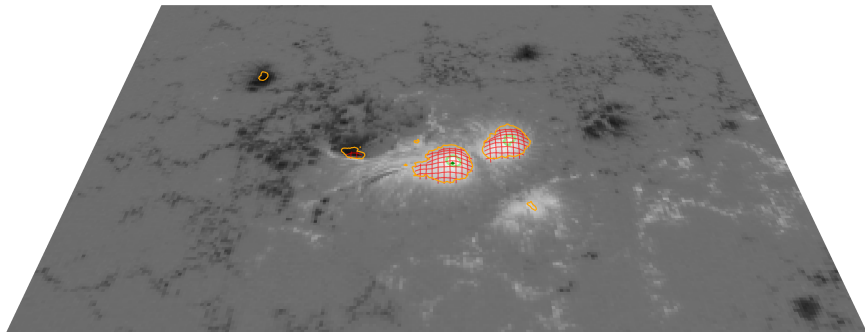
Гирорезонансные слои, 3D

NOAA 11520, potential field, $f = 10$ GHz



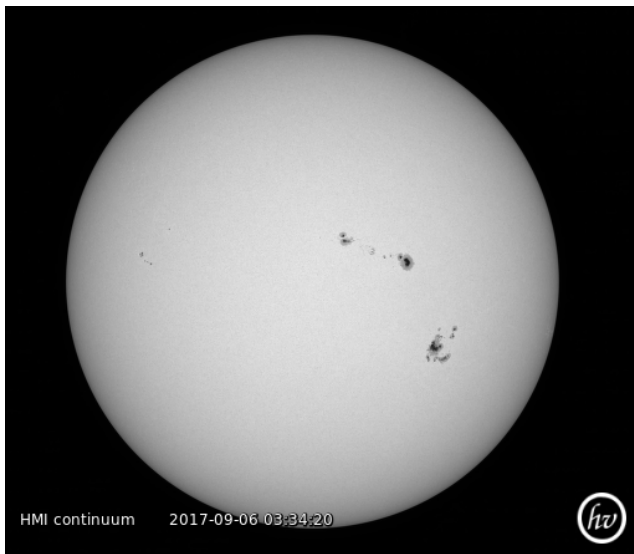
Гирорезонансные слои, 3D

NOAA 11520, potential field, $f = 17$ GHz



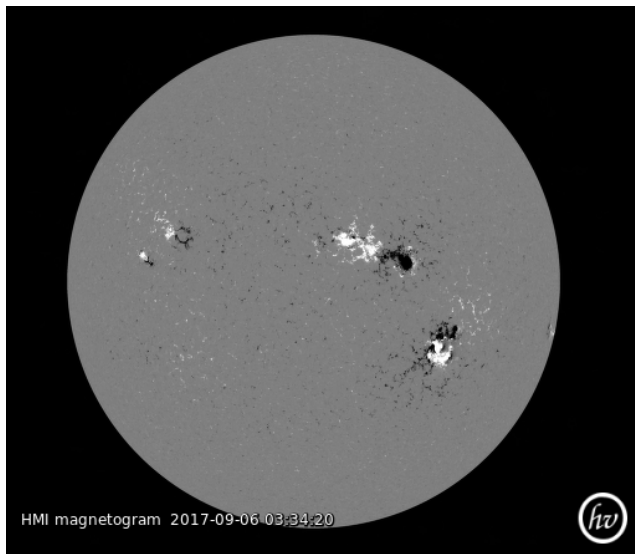
AR 12156. Наблюдения в разных диапазонах

Фотосфера – 6000 К (SDO/HMI, белый свет)



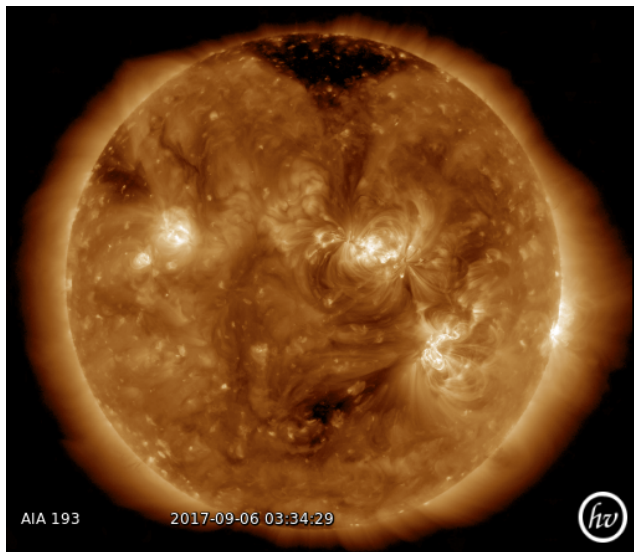
AR 12156. Наблюдения в разных диапазонах

Фотосфера – магнитное поле (SDO/HMI)



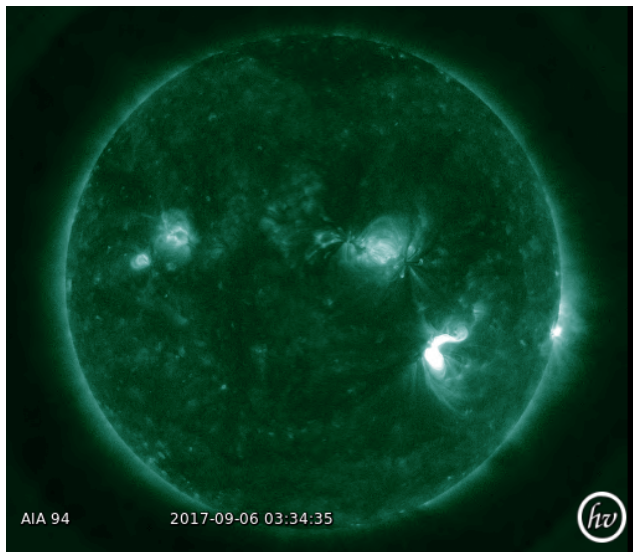
AR 12156. Наблюдения в разных диапазонах

Корона – 1 МК (SDO/AIA 193 Å)



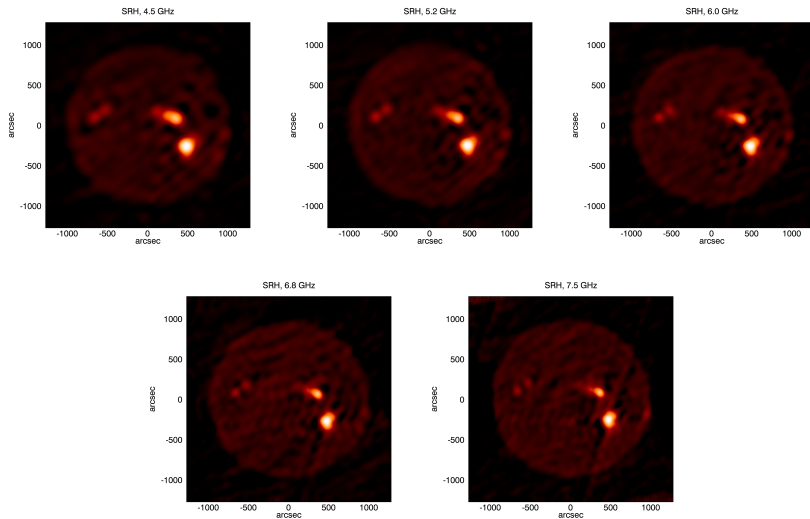
AR 12156. Наблюдения в разных диапазонах

Корона – 7 МК (SDO/AIA 94 Å)



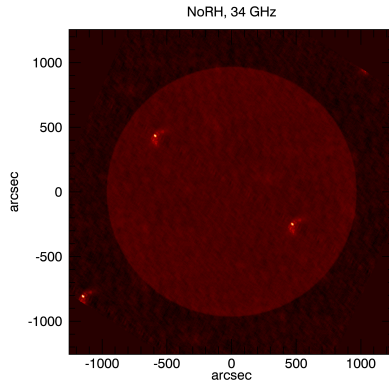
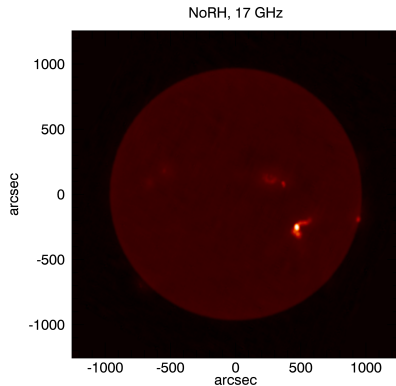
AR 12156. СРГ-48 4-8 ГГц

6 сентября 2017 г. 03:34 UT

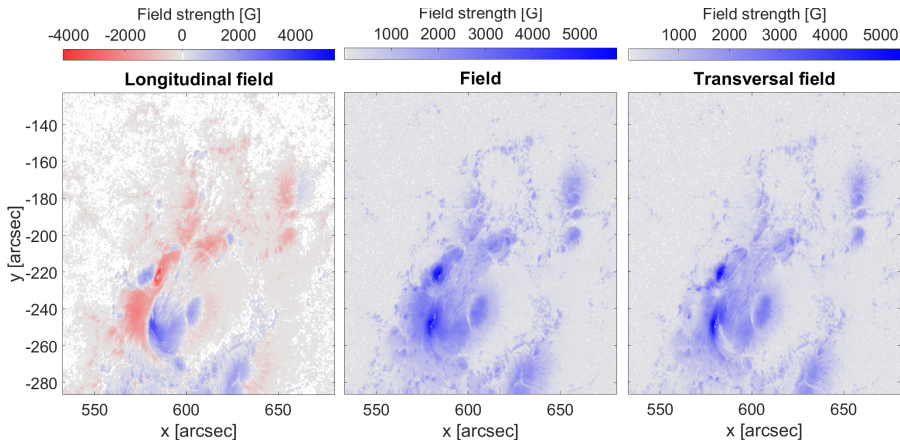


AR 12156. NoRH 17 и 34 ГГц

6 сентября 2017 г. 03:34 UT

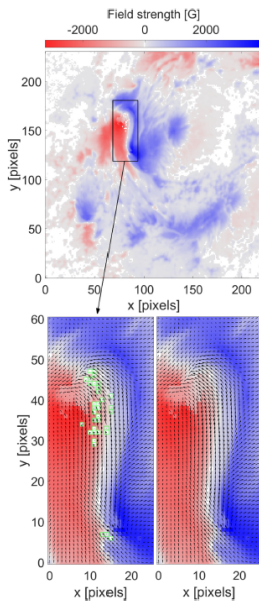


Фотосферная магнитограмма АО 12156

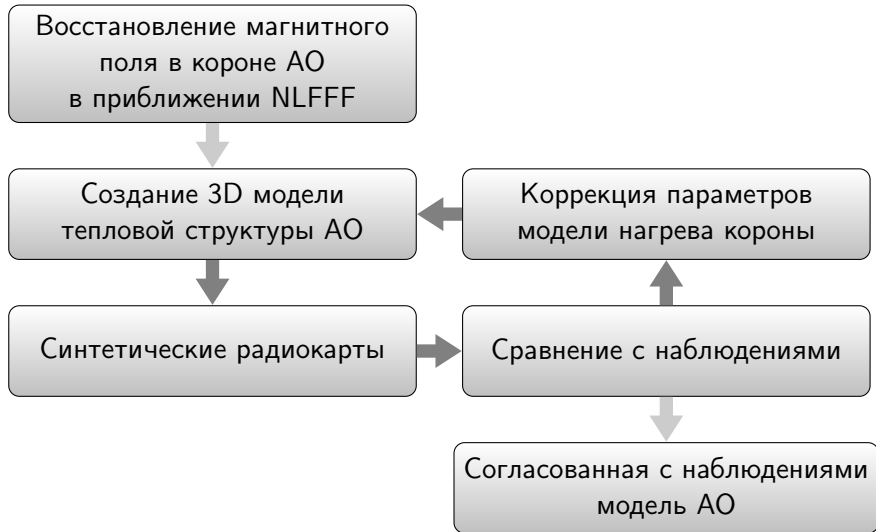


Магнитное поле на фотосфере достигает 5700 Гс, преимущественно за счет горизонтальной компоненты.

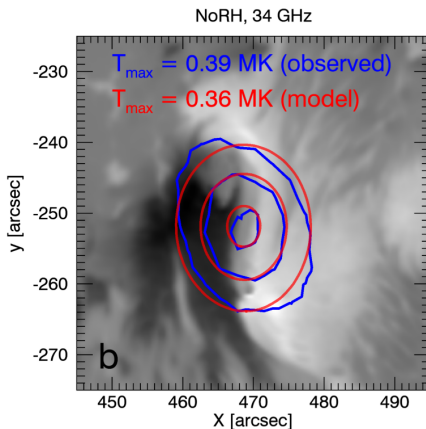
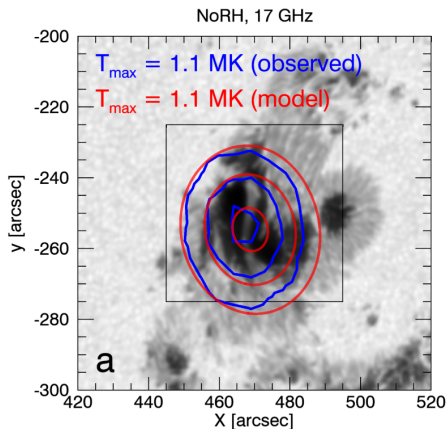
Фотосферная магнитограмма



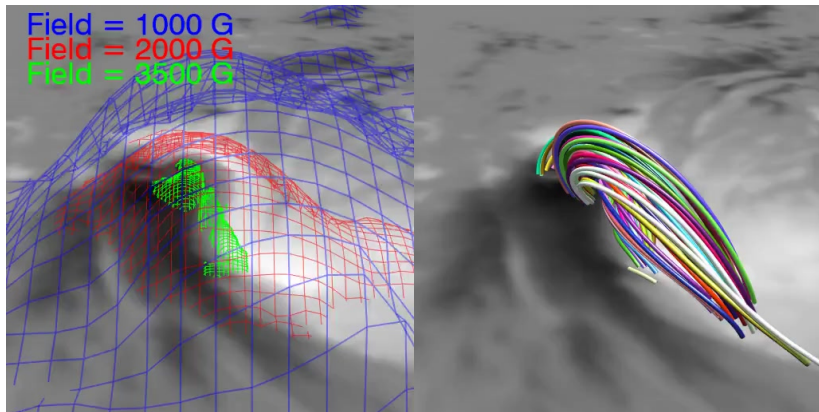
Восстановление магнитной и тепловой структуры активных областей на Солнце



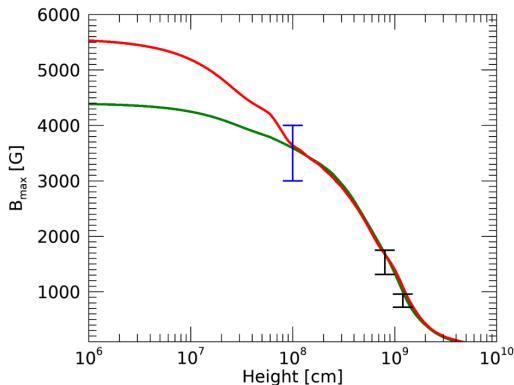
Сравнение наблюдений и модельных данных



Структура восстановленного магнитного поля



Высотный профиль магнитного поля для АО 12673



Синим цветом показаны наблюдения NoRH для данной активной области, черным – ранее опубликованные (Brosius and White, 2006) наблюдения сильнейших корональных полей по данным VLA.

Самое главное

- Впервые обнаружено гирорезонансное излучение на частоте 34 ГГц в активной области NOAA 12673 (сентябрь 2017 г.)
- Магнитное поле в основании короны данной активной области составляло как минимум 4000 Гс
- На фотосфере величина магнитного поля под данным Hinode SOT/SP достигала 5700 Гс.
- Данная активная область произвела самую мощную вспышку в 24 цикле солнечной активности
- Микроволновые наблюдения чрезвычайно важны для мониторинга и прогноза солнечной активности.

Результат опубликован в *Astrophysical Journal Letters* (Anfinogentov et al., 2019).

Работа поддержана грантом РФФИ 8-32-20165mol_a_ved.

Будущее радиомажнитографии

Радиогелиографы, наблюдающие Солнце в микроволновом диапазоне

- Радиогелиограф Нобеяма (Япония) — Отключен с марта 2020 г.
- MUSER (Китай) — данные наблюдений не публикуются, имеются проблемы с калибровкой
- EOVSА (США) — мало антенн, ориентирован на вспышки и яркие АО
- Сибирский Радиогелиограф (Россия, в рамках Национального Гелиогеофизического Центра) — 48-антенный прототип работает с 2016 года. В 2020 г. будет запущена первая решетка полноценного инструмента.

Спасибо за внимание!

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Anfinogentov, S. A., Stupishin, A. G., Mysh'yakov, I. I., and Fleishman, G. D. (2019). Record-breaking Coronal Magnetic Field in Solar Active Region 12673. ApJ, 880(2):L29.
- Brosius, J. W. and White, S. M. (2006). Radio Measurements of the Height of Strong Coronal Magnetic Fields Above Sunspots at the Solar Limb. ApJ, 641:L69–L72.