О гелиосферных характеристиках в коротирующих областях взаимодействия СВ для моделирования поведения ГКЛ

Крайнев[1] М., Базилевская[1] Г., Калинин[1] М., Свиржевская[1] А., Свиржевский[1] Н., Luo[2] Xi, Shen[3] Fang, Aslam[2] O.P.M., Ngobeni[4,5] M.D., Potgieter[6] M.S.

[1]Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия

[2]Shandong Institute of Advanced Technology (SDIAT), Jinan, Shandong, China

[3]State Key Laboratory of Space Weather, National Space Science Center, CAS, Beijing, China

[4]Centre for Space Research, North-West University, Potchefstroom, South Africa

[5]School of Physical and Chemical Sciences, North-West University, Mmabatho, South Africa

[6]Institute for Experimental and Applied Physics, Christian Albrechts University, Kiel, Germany

План доклада:

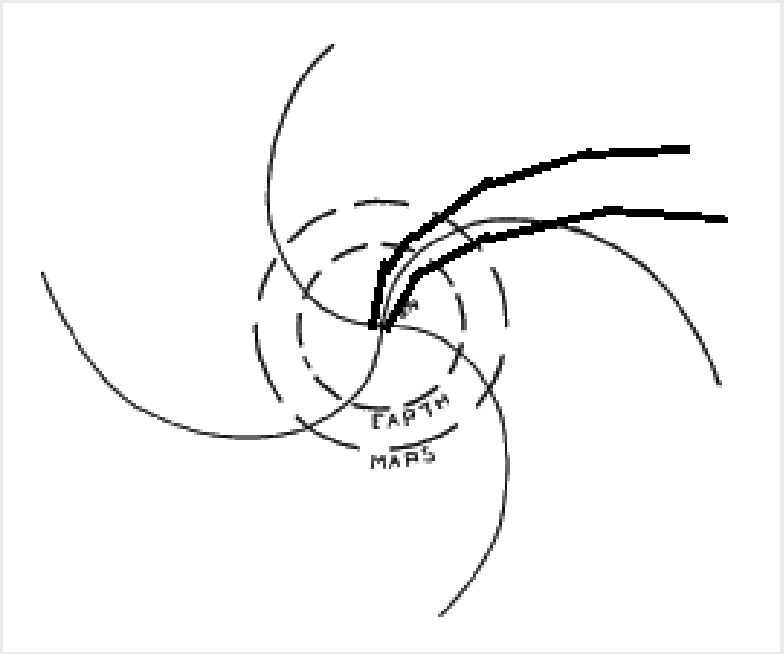
- Влияние коротирующих областей взаимодействия (КОВ) на свойства гелиосферы: прямые наблюдения
- Влияние КОВ по МГД-расчётам
- Модели КОВ изучения для долговременных вариаций ГКЛ

Что такое коротационная область взаимодействия (КОВ, CIR) и почему 27-д вариации?

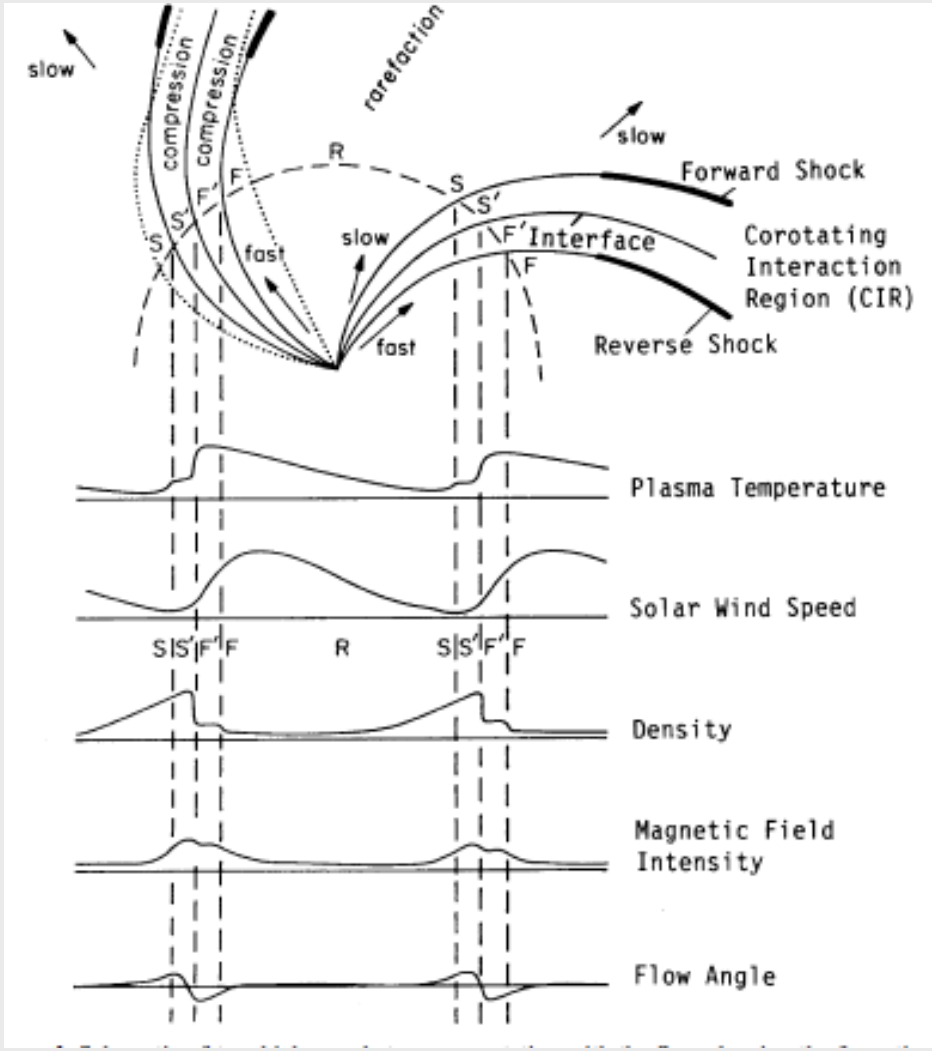
$$B_r(r,\theta,\phi) = B(\theta,\phi_0)\left(\frac{b}{r}\right)^2,$$

$$B_\theta(r,\theta,\phi) = 0\ ,$$

$$B_\phi(r,\theta,\phi) = B(\theta,\phi_0)\left(\frac{\omega}{v_m}\right)(r-b)\left(\frac{b}{r}\right)^2 \sin\theta$$

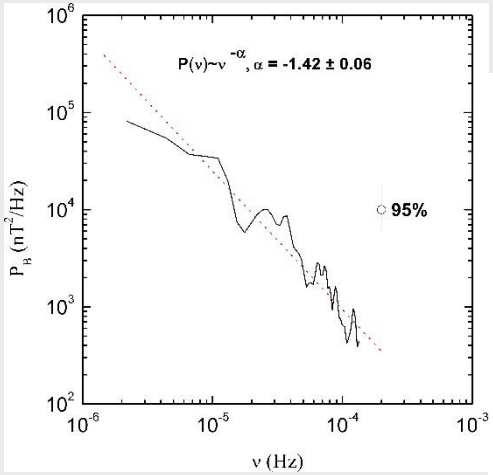


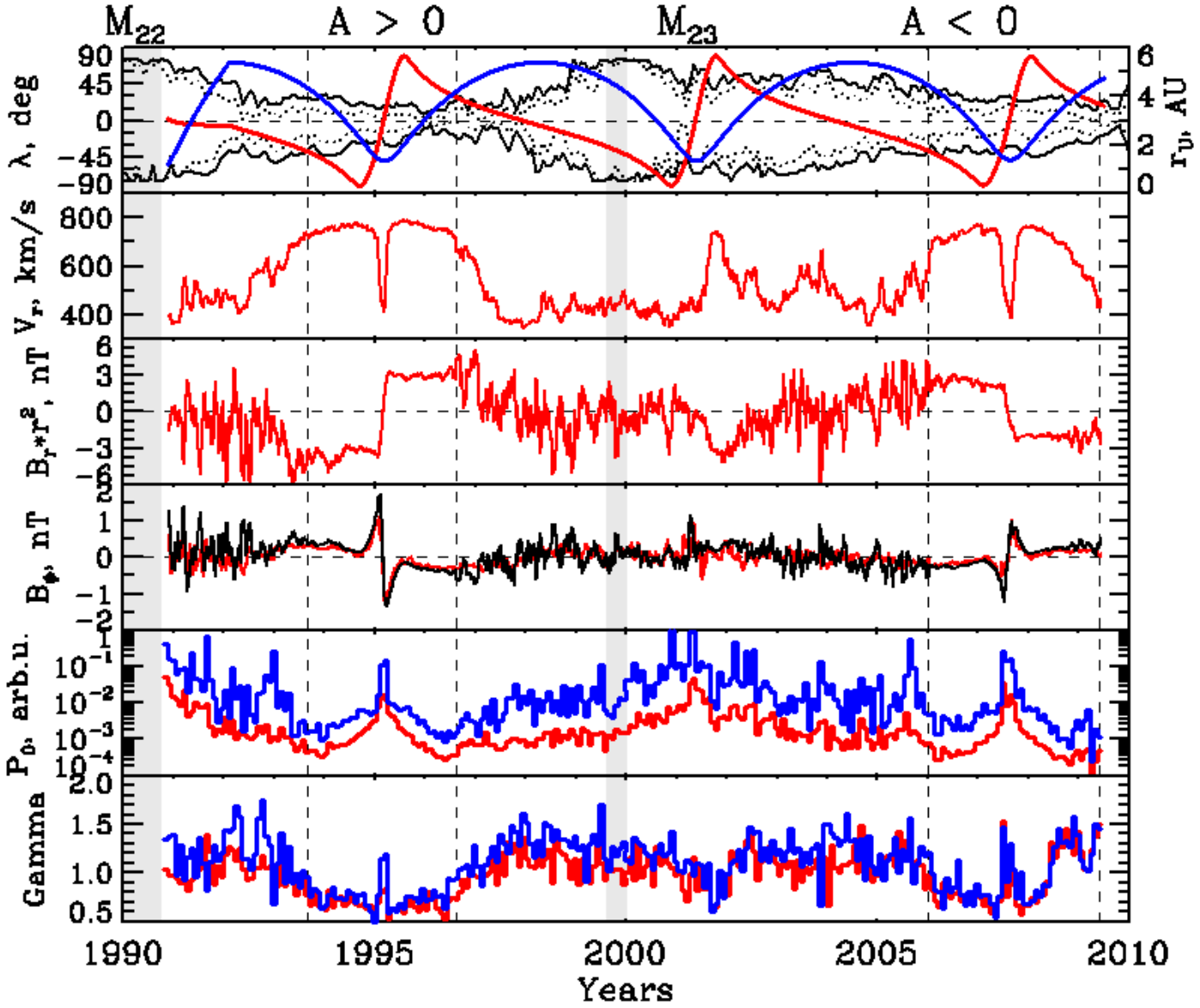
Parker, ApJ,128, 664, 1958



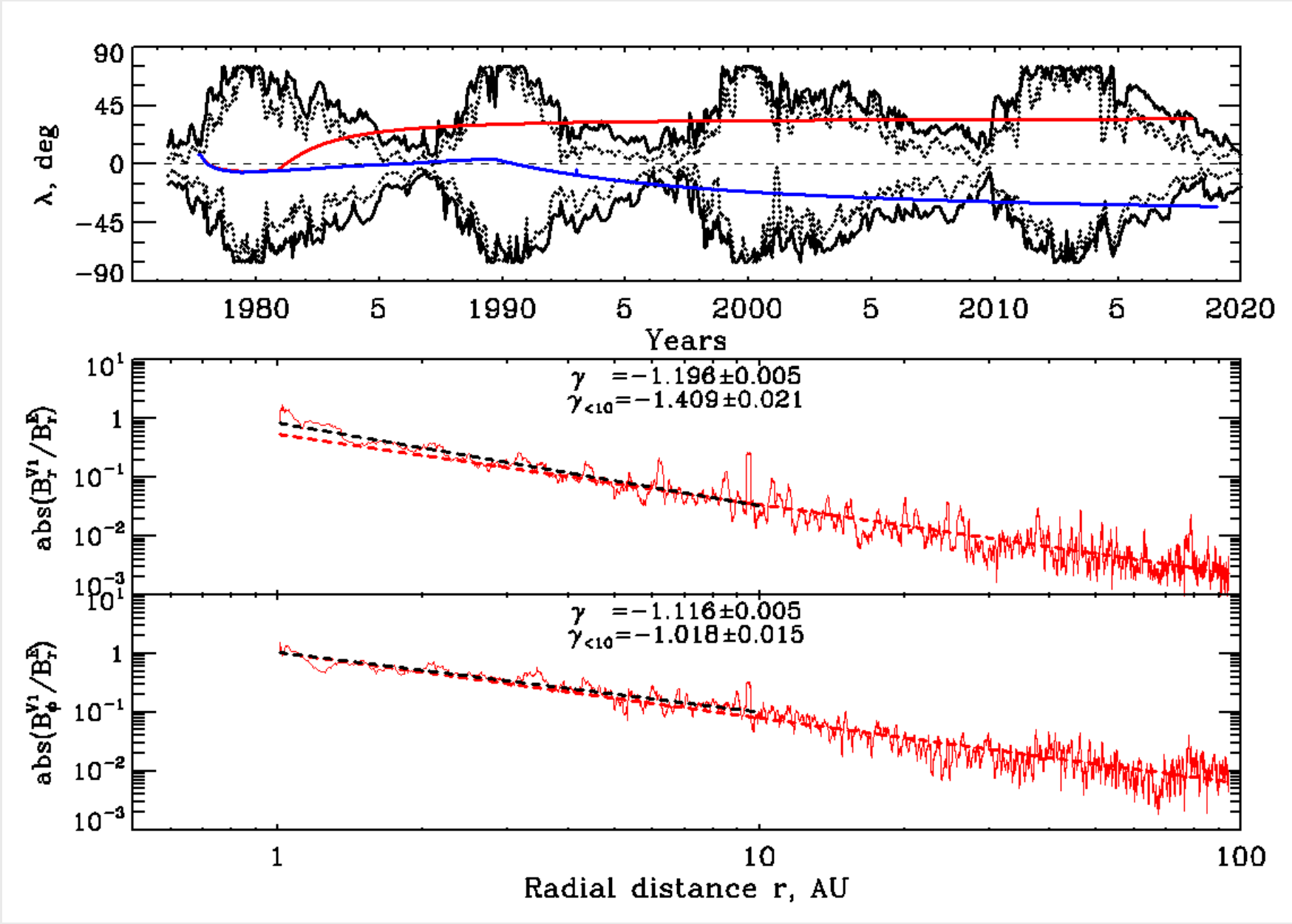
Belcher & Davis., JGR, 1971

Важность КОВ для распространения ГКЛ: Ulysses





Важность КОВ для распространения ГКЛ: Voyager 1-2



3D Stat МГД модели КОВ для симуляции ГКЛ

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho V) = 0,$$

$$\frac{\partial \rho V}{\partial t} + \nabla \cdot \left[\left(P + \frac{B^2}{2\mu_0} \right) I + \rho V V - \frac{BB}{\mu_0} \right] = -\frac{\rho G M_s}{r^2} \frac{r}{r} + V \cdot f,$$

$$\frac{\partial B}{\partial t} + \nabla \cdot (VB - BV) = 0,$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho V) = -(\gamma - 1) P \nabla \cdot V.$$

Вращающаяся система:

$$\mathbf{f}_{\mathrm{cor}} = -2\rho\boldsymbol{\Omega} \times \mathbf{v} - \rho\boldsymbol{\Omega} \times (\boldsymbol{\Omega} \times \mathbf{r})$$

Упрощённые граничные условия

Pizzo, …1990s; Kota, Jokipii, …1990s

Guo, Florinski, JGR, 2014;

Guo, Florinski, ApJ, 2016

Реальные граничные условия

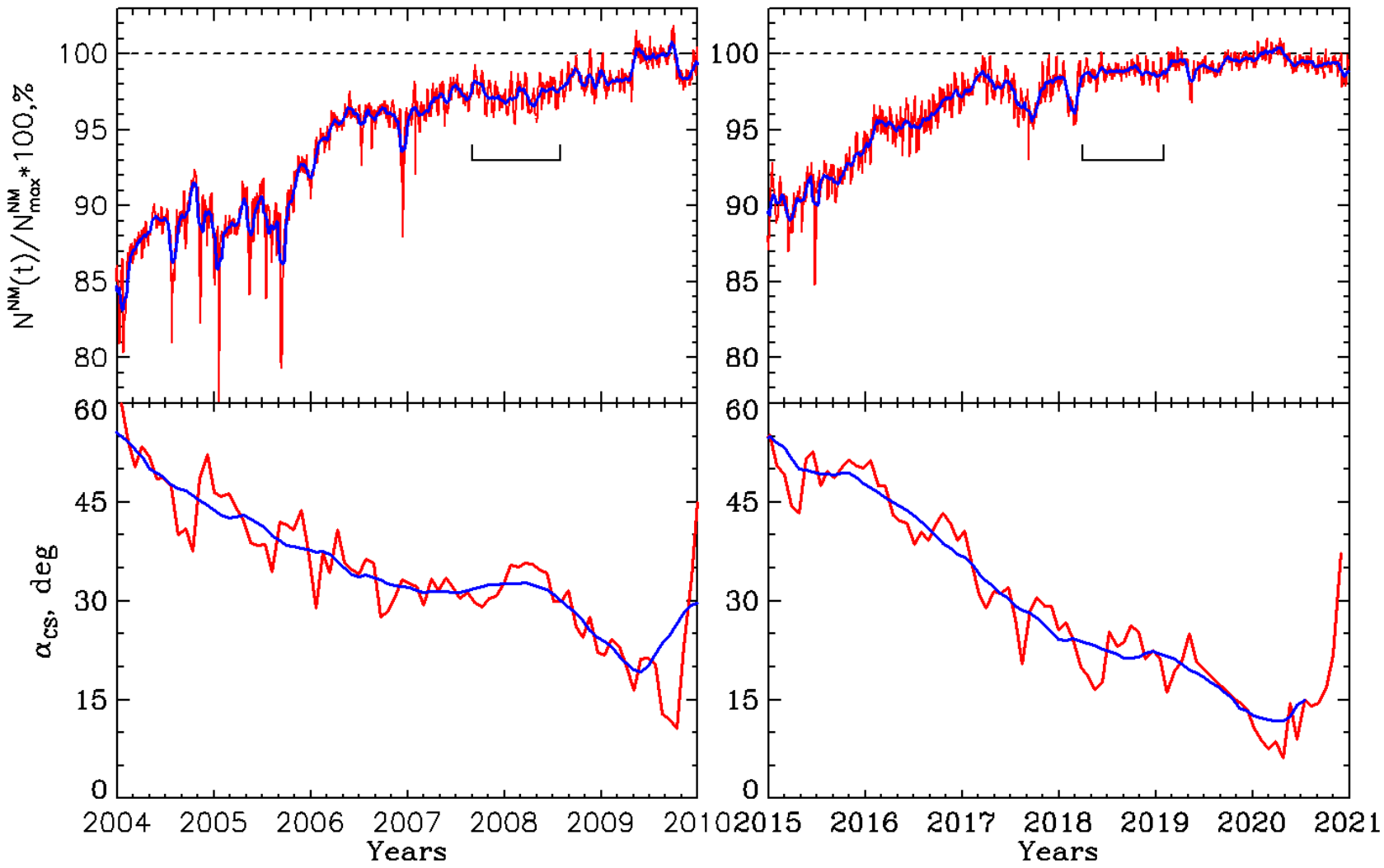
Wiengarten et al., ApJ, 2014;

Kopp et al., ApJ, 2017

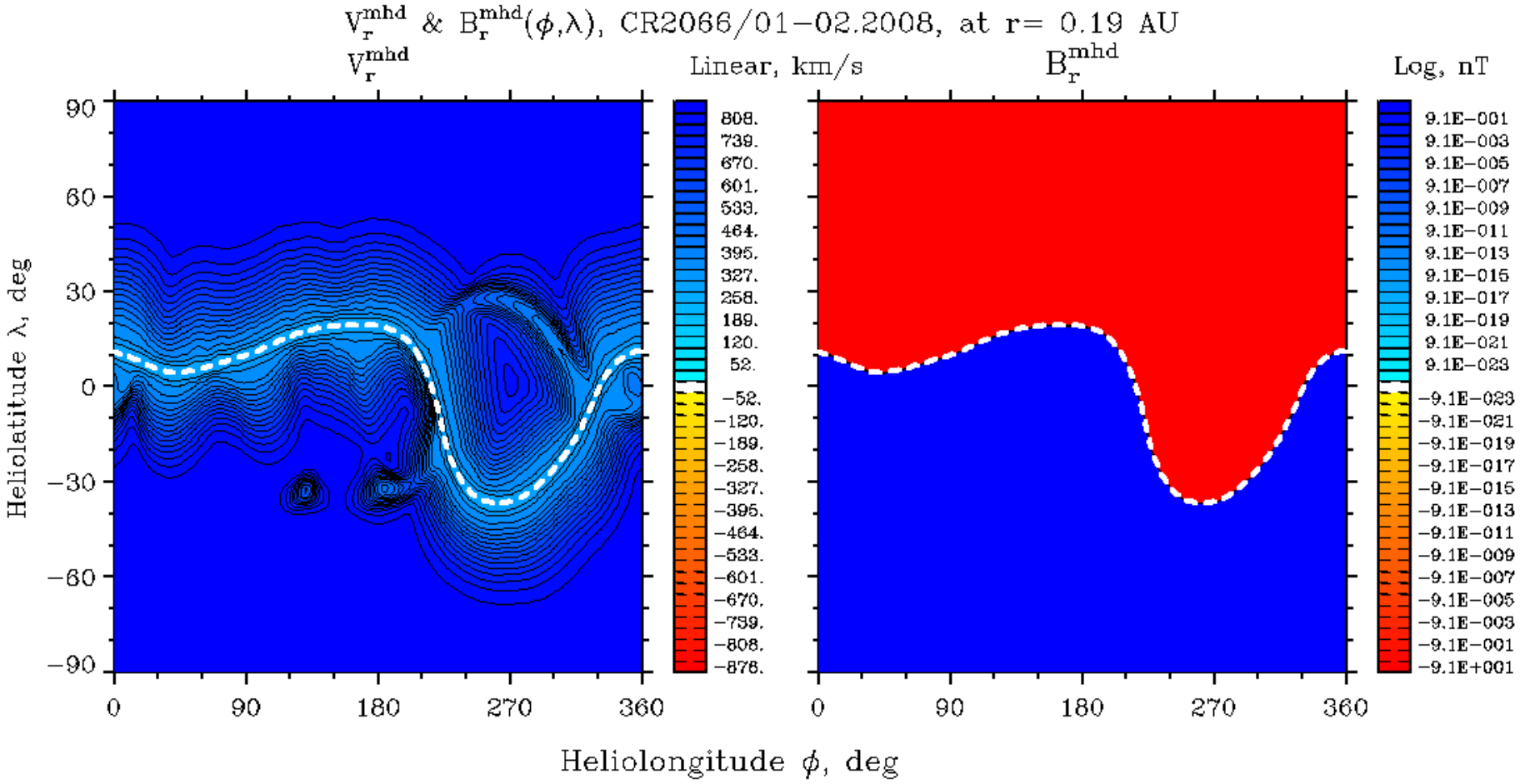
Shen et al., ApJ, 2018;

Luo et al., ApJ, 2020

Квазистационарные периоды времени. CR2066 (2008.1-2)



CR2066 (2008.1), V_r и B_r : внутренняя граница

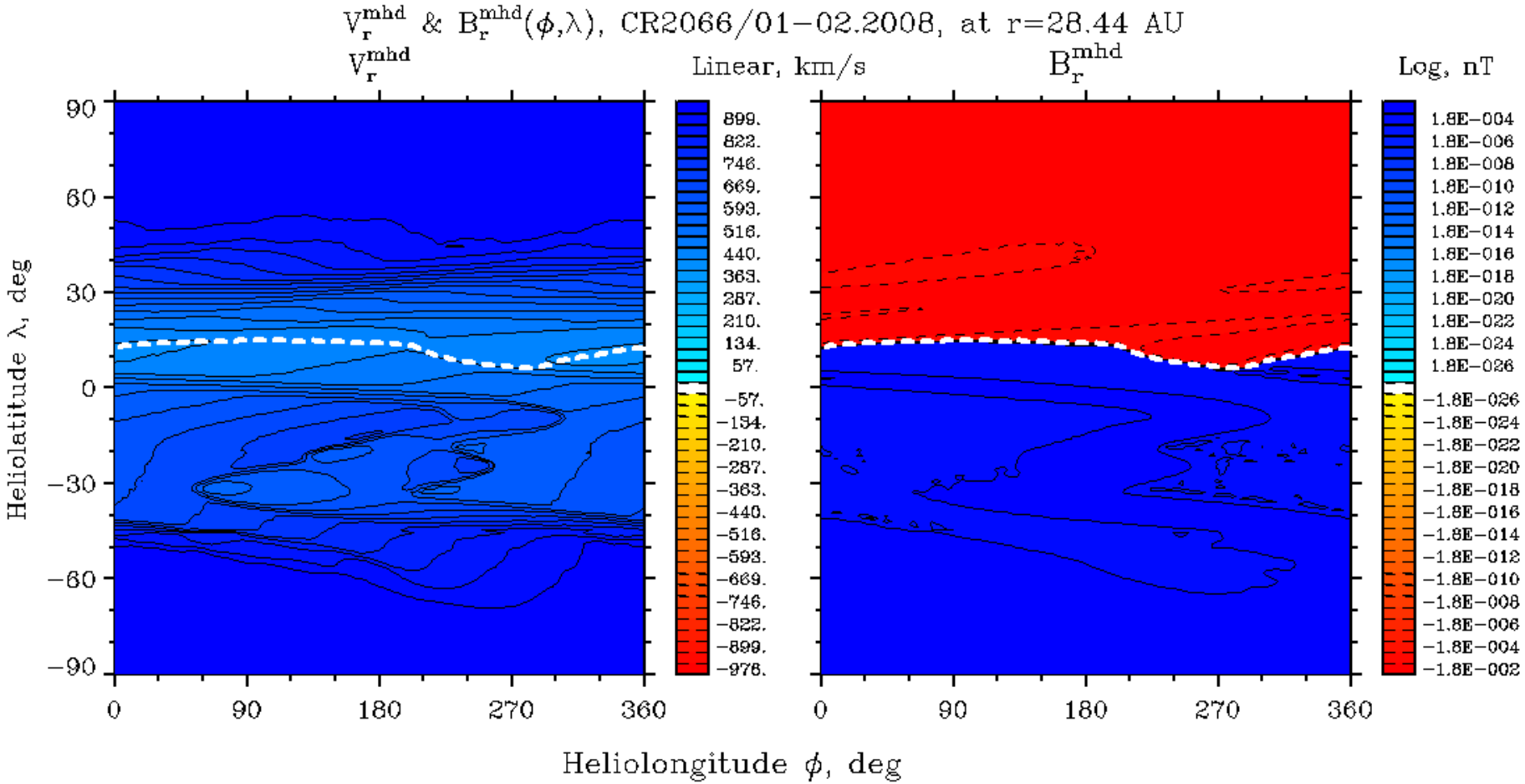


V_r^{HCS}=302±6 km/s

$|B_r|$ =80 ±8 nT

α_{qt}=28.1° λ_{me}=-8.5 °

CR2066 (2008.1), V_r и B_r : наружная граница



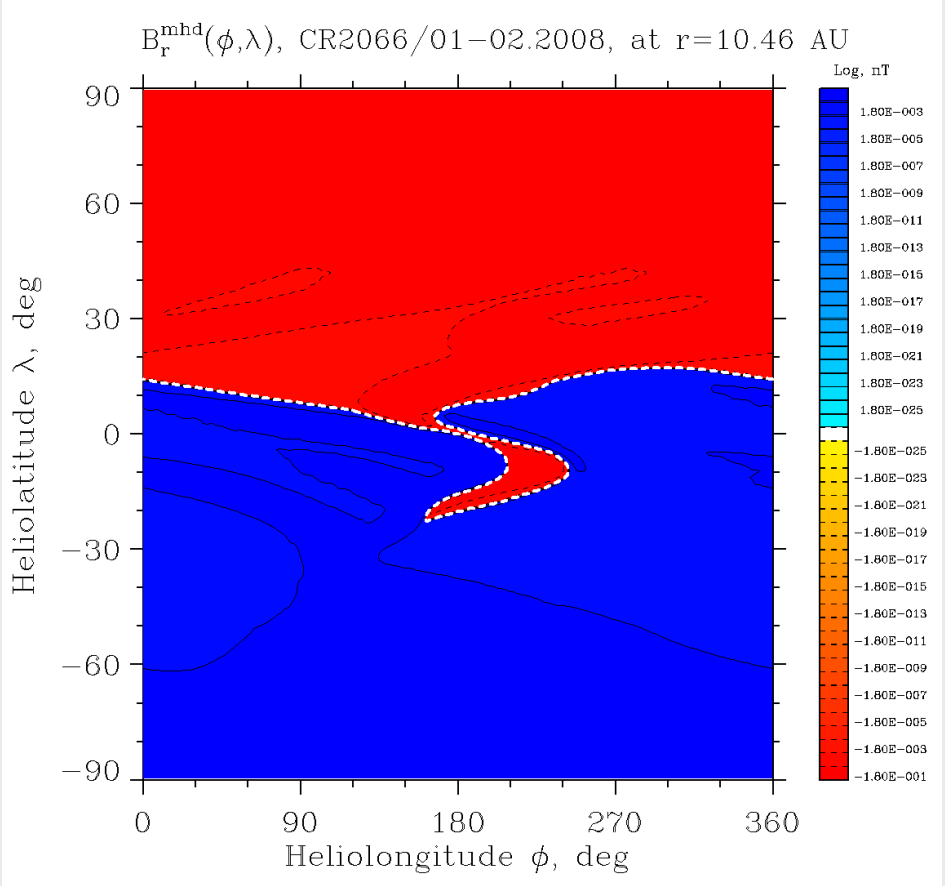
V_r^{HCS}=± km/s

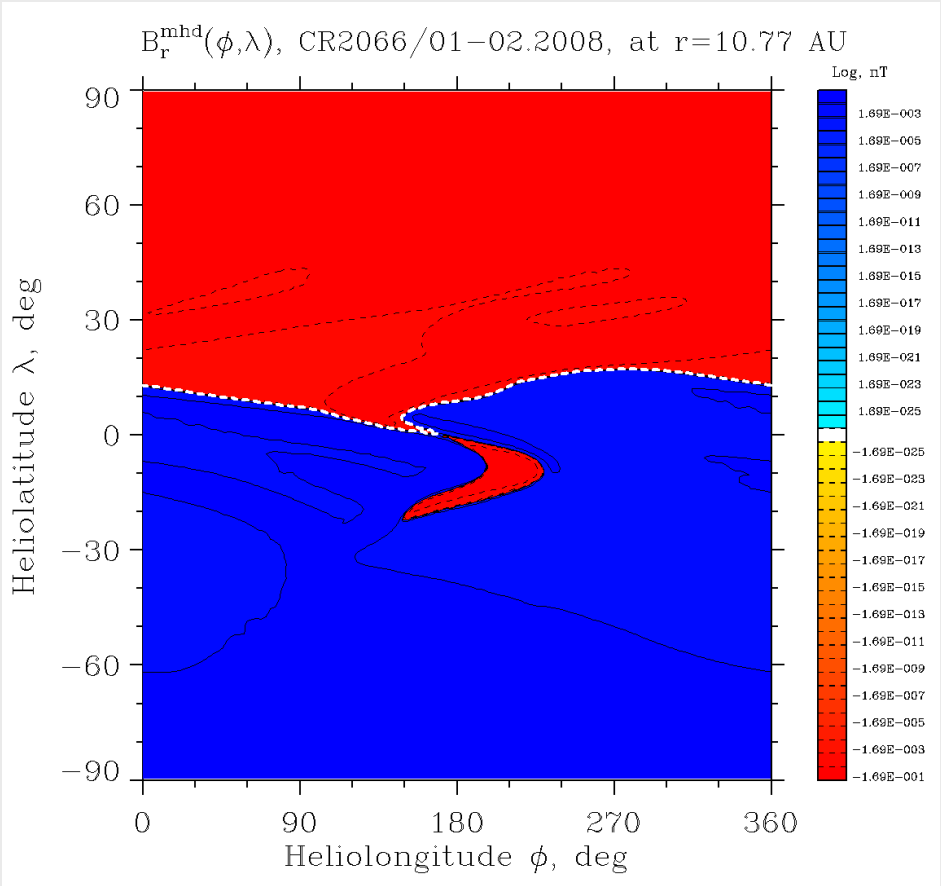
$\partial V_r/\partial\varphi << \partial V_r/\partial\lambda$

$|B_r| = 0.003 \pm 0.002$ nT

α_{qt}=4.4° λ_{me}=10.7 °

К объяснению скачков в ГТС: от r=10.46 а.е. к r=10.77 а.е.

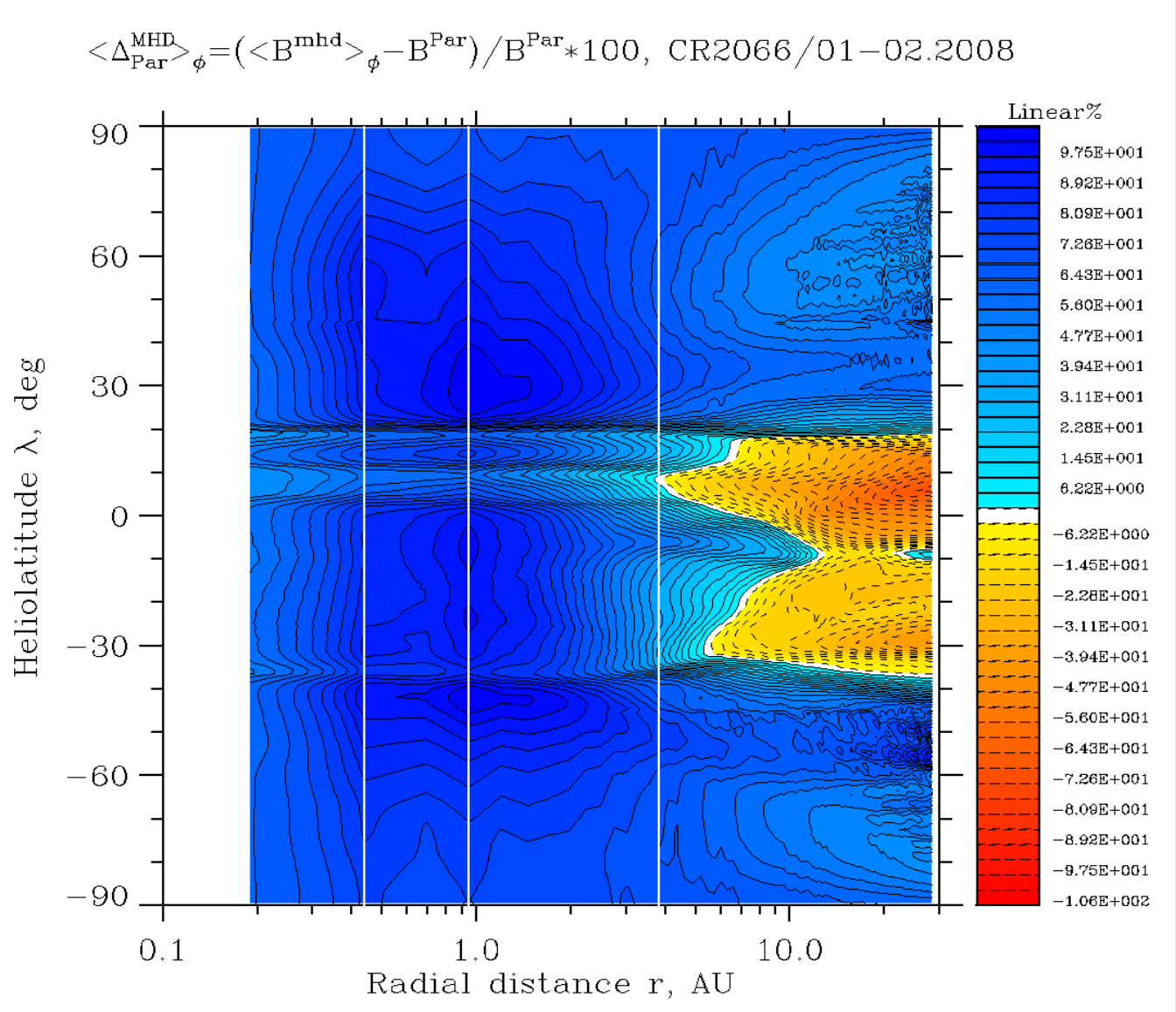




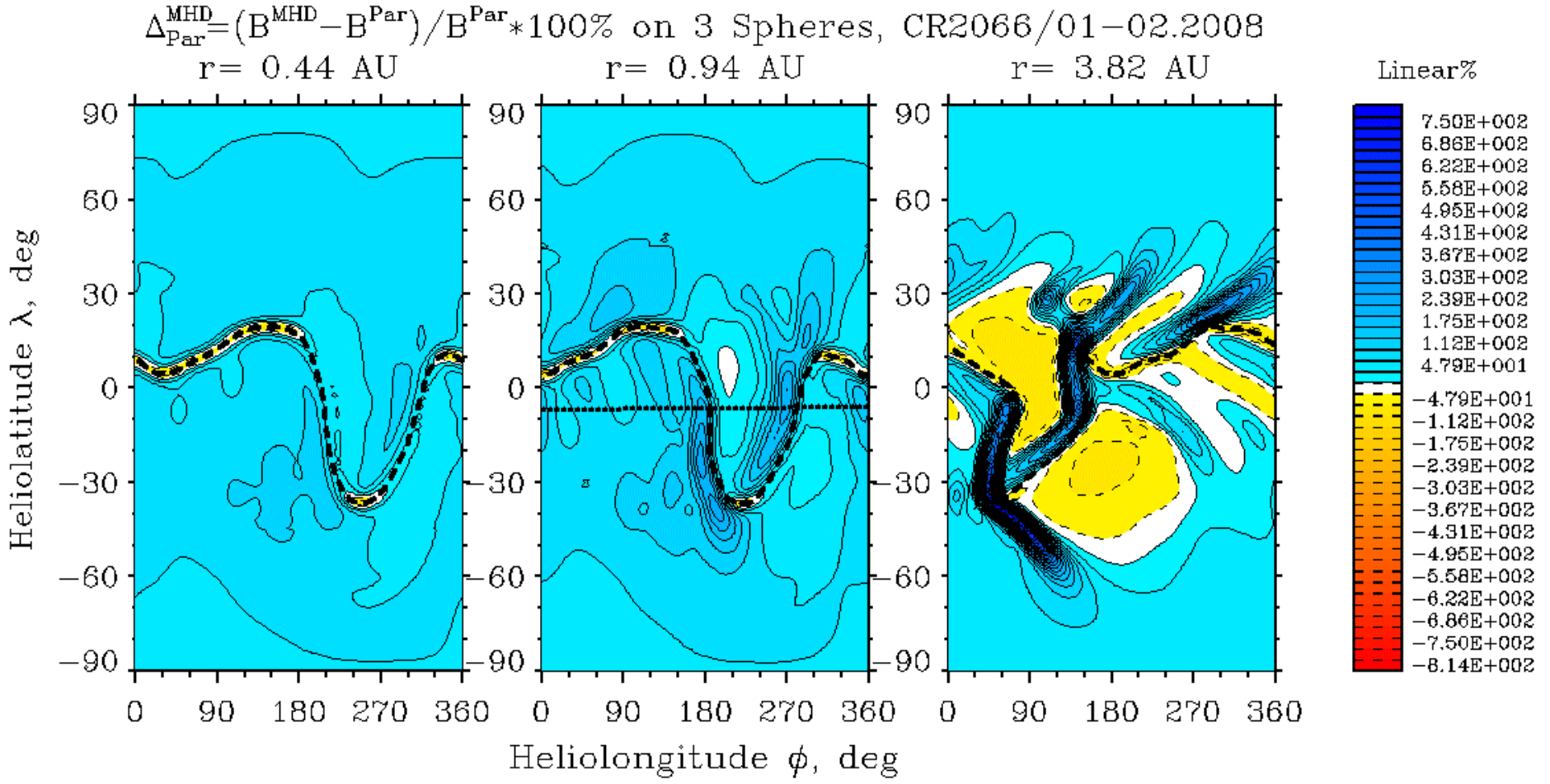
Исчезает часть ГТС: сильно изменяются α_{qt} и λ_{me}

Островок с B_r <0 тоже исчезает к r=20 а.е.

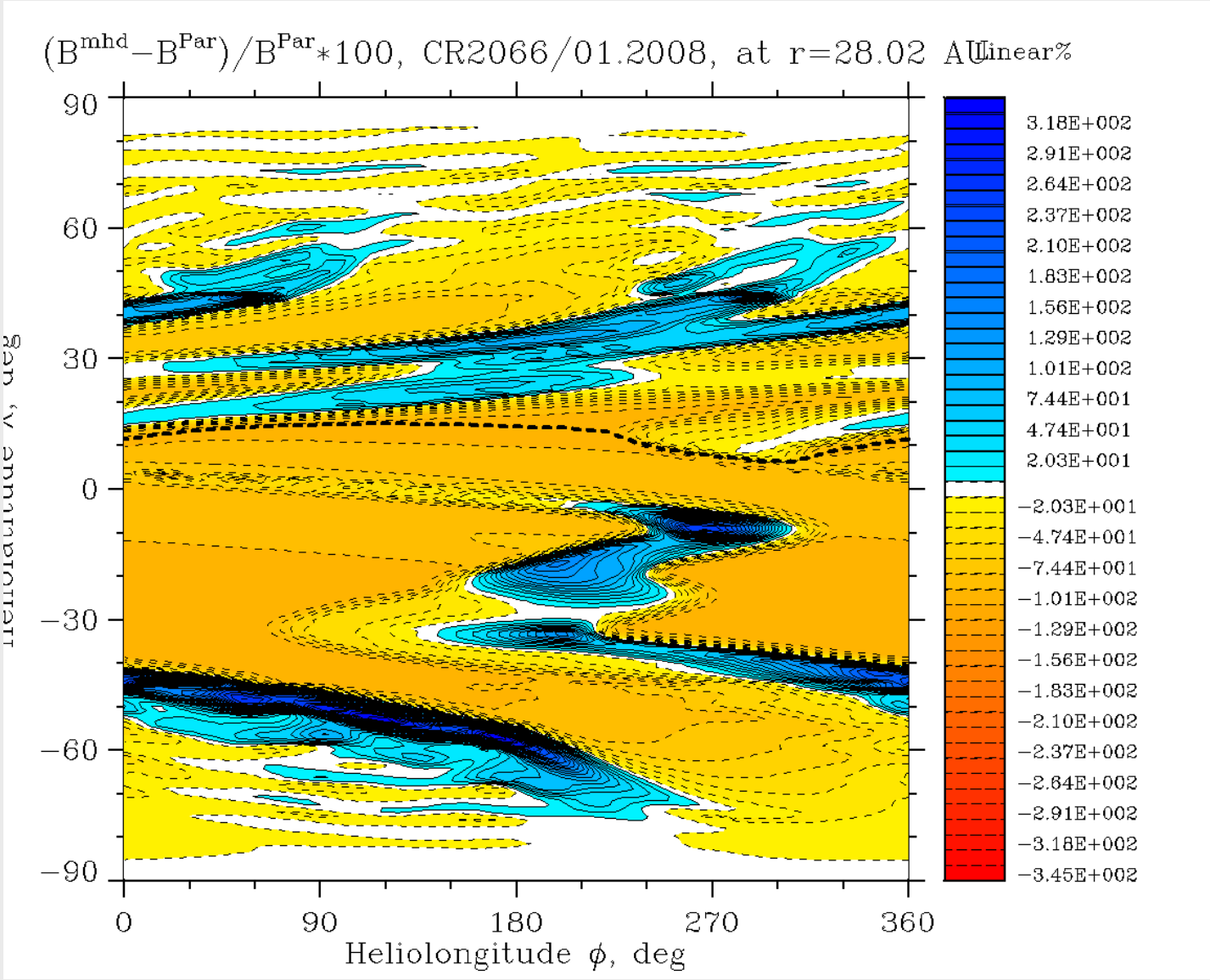
Влияние КВМ по сравнению с паркеровским ГМП: 1. Среднее по долготе $\Delta B(r,\lambda)=(\langle B^{mhd}\rangle_{\varphi} - B^{Par})/B^{par}$



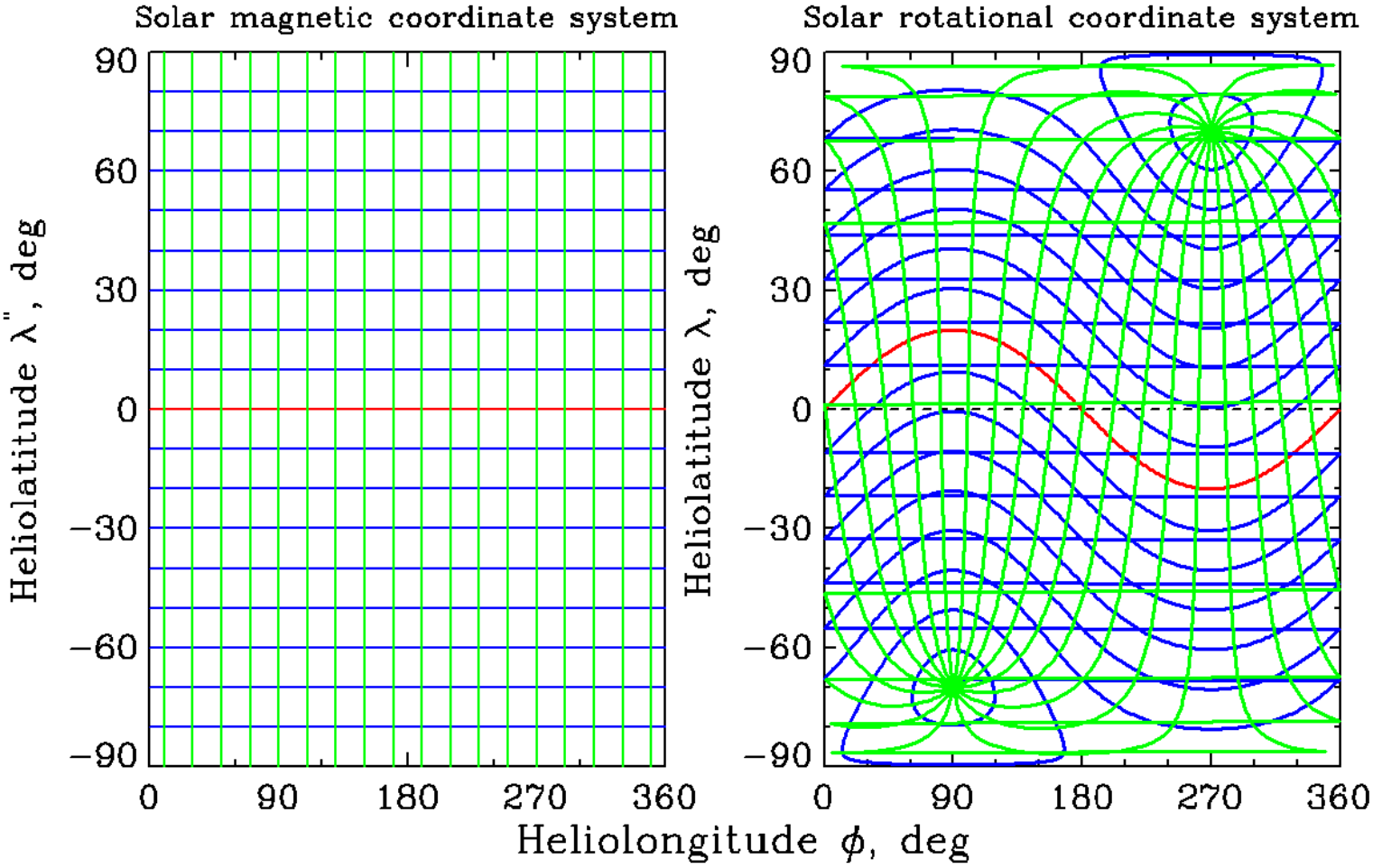
Влияние КВМ по сравнению с паркеровским ГМП: 2. На трёх сферах $\Delta B(\lambda,\varphi)=(B^{mhd}-B^{Par})/B^{par}$



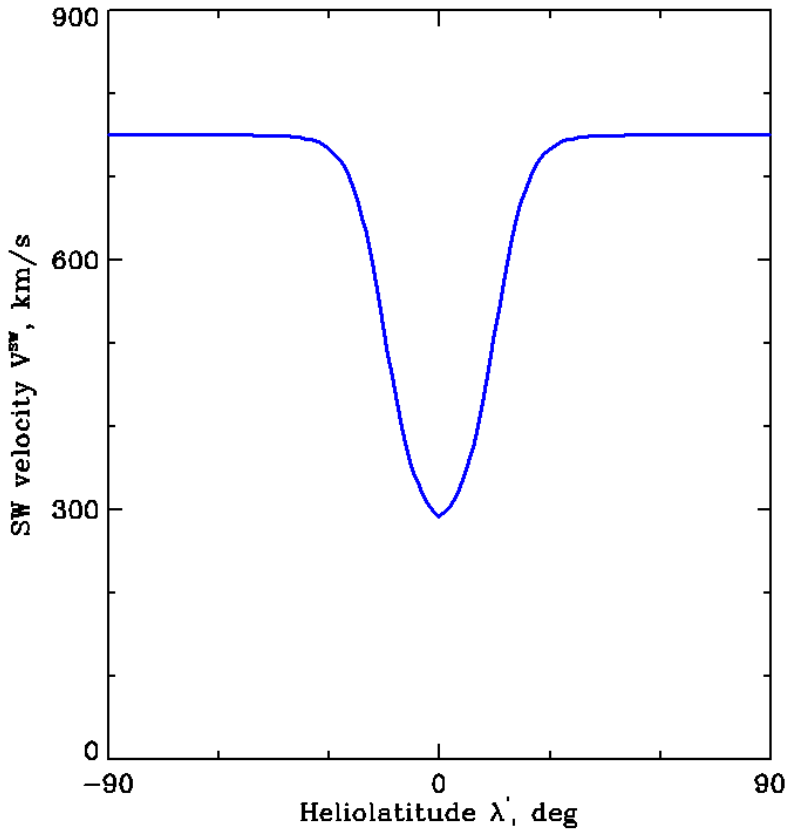
Влияние КВМ по сравнению с паркеровским ГМП: 3. На наружной границе $\Delta B(\lambda,\varphi)=(B^{mhd}-B^{Par})/B^{par}$

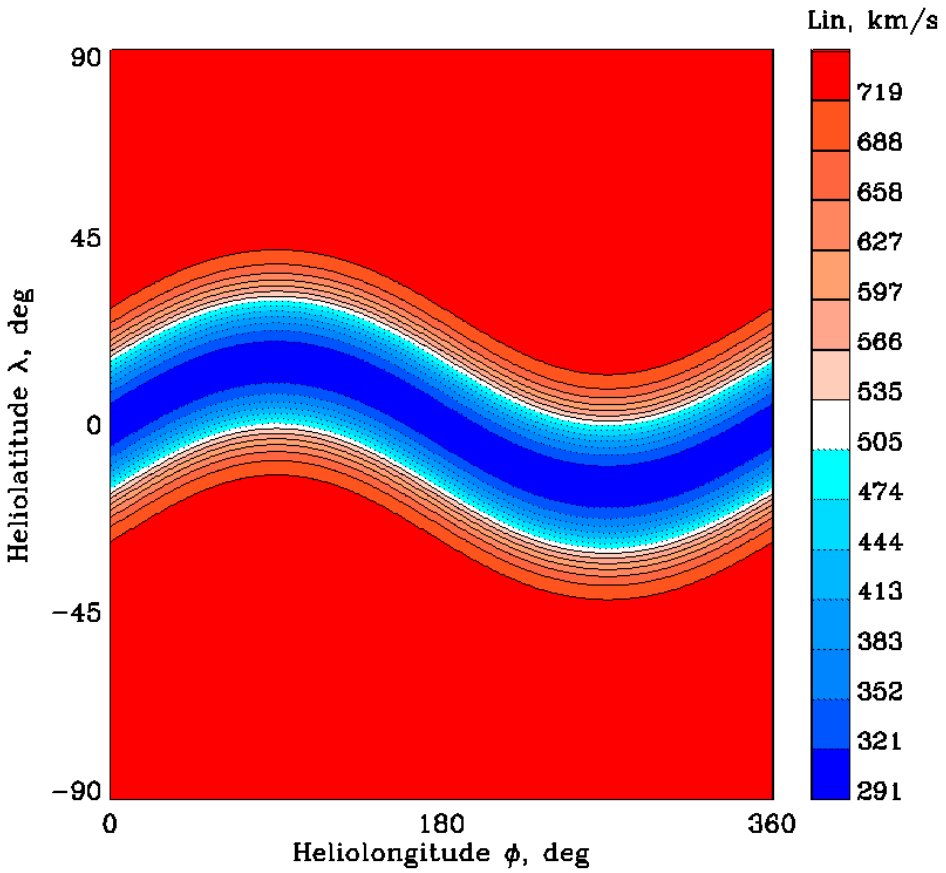


Упрощённые граничные условия.
1. Магнитная и вращательная системы координат



Упрощённые граничные условия.
2. Скорость СВ в двух системах координат





Выводы

- Влияние КВМ на крупномасштабные свойства гелиосферы существенно (но выводы - косвенны!) по прямым наблюдениям:
  - зависимость B_r от r в зоне секторной структуры ГМП;
  - зависимость характеристик спектра неоднородностей ГМП от широты λ и r,
- Влияние КВМ на крупномасштабные свойства гелиосферы существенно и по МГД-расчётам КВМ:
  - изменение $B_r(\lambda,\varphi)$ за областью CIR (форма и положение ГТС, $|B_r|(\lambda,\varphi)$)
- Для учёта влияния КВМ на долговременные вариации интенсивности ГКЛ можно учесть усиление/ослабление ГМП по сравнению с паркеровским ГМП
- Для изучения этого влияния, видимо, лучше подходит МГД-симуляция с упрощёнными граничными условиями