

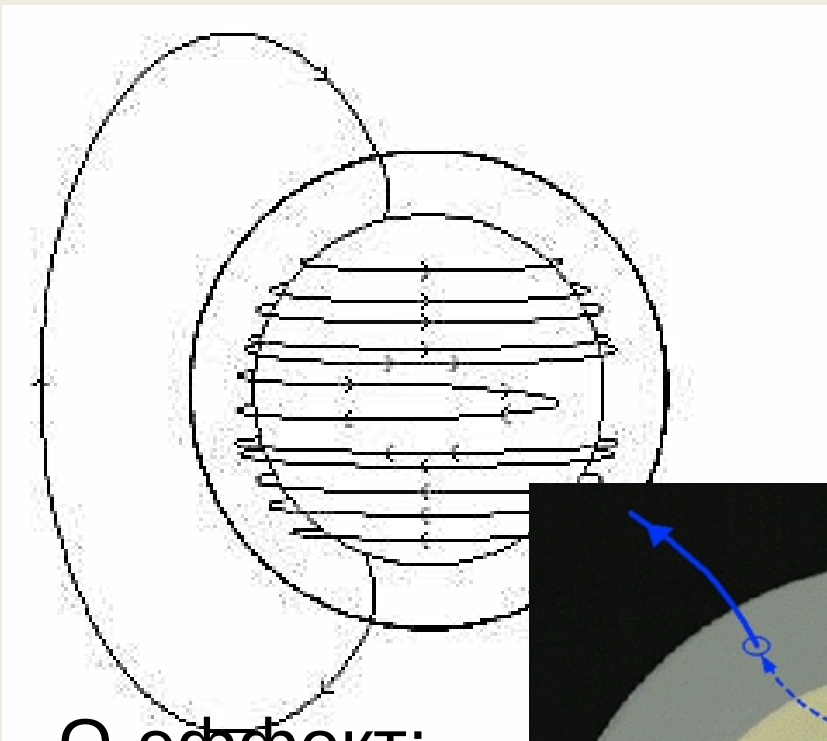
Об основных причинах и механизмах образования долговременных вариаций интенсивности ГКЛ в гелиосфере

Крайнев М.Б., ФИАН, mkrainev46@mail.ru

Основные вопросы:

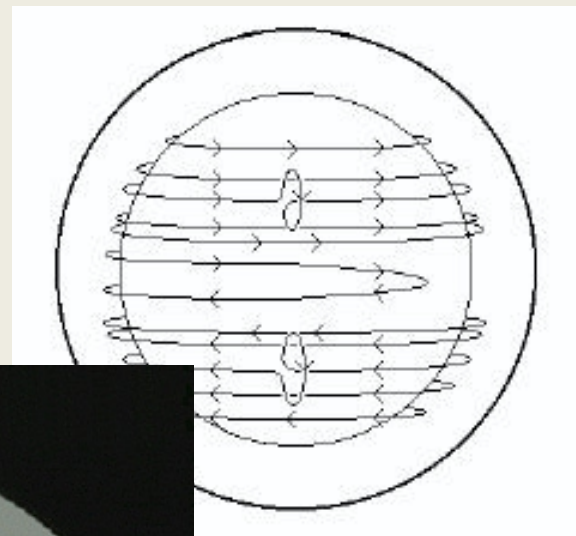
1. Тороидальная и полоидальная ветви активности на Солнце и в гелиосфере.
2. 11-летний и 22-летний циклы в интенсивности ГКЛ в гелиосфере – общераспространенное и альтернативное представления о причинах этих вариаций.
3. Расчётное обоснование альтернативной точки зрения.
4. Как проверить, какое из представлений правильно, и важно ли это?

Полоидальные и тороидальные магнитные поля на Солнце



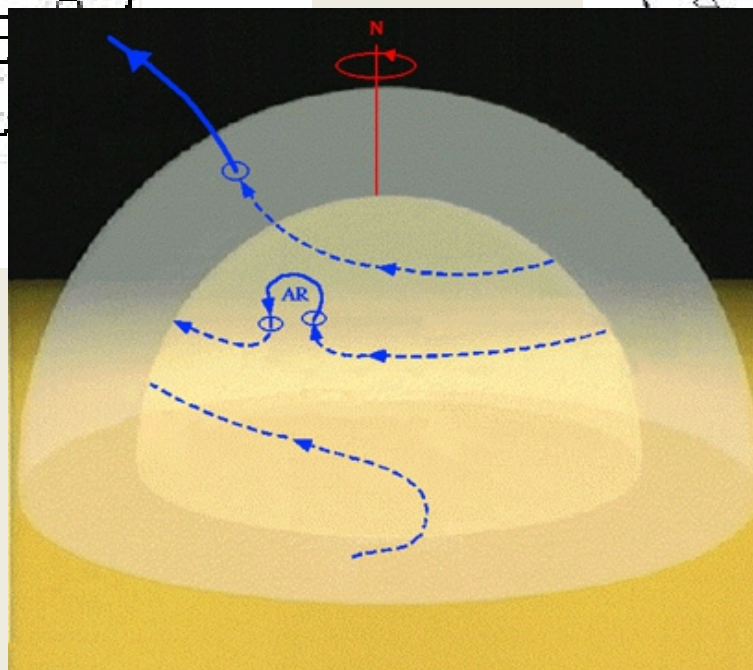
Ω -эффект:

$$B_{pol} \rightarrow B_{\varphi}$$

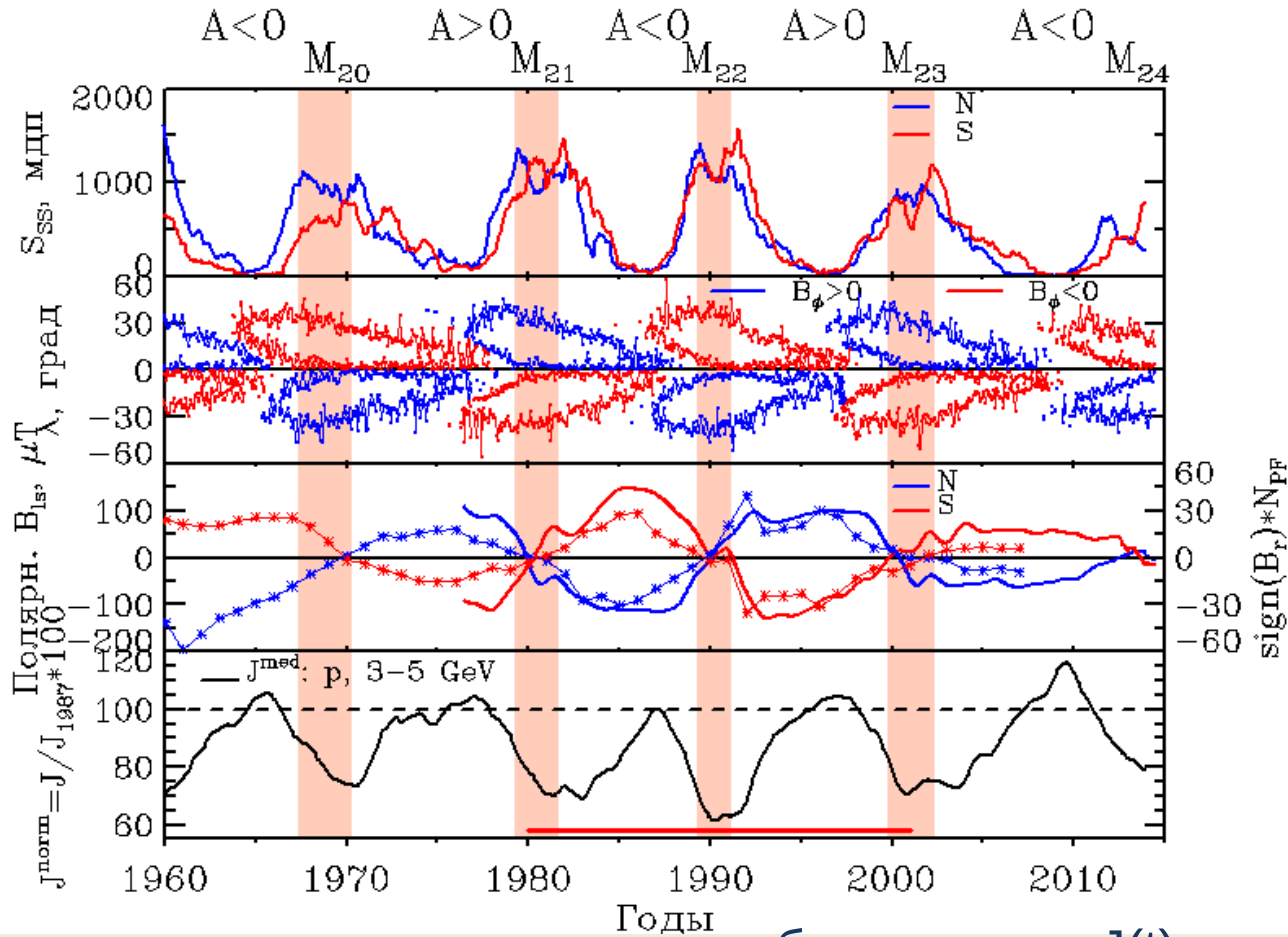


α -эффект:

$$B_{\varphi} \rightarrow B_{pol}$$



Две ветви активности на Солнце и в интенсивности ГКЛ



Sunspots –
сильные МП, но
размер $\ll r_s$

$$A = \text{sign}(B_{r,N}) = \text{sign}(M_z)$$

$$j_{11} = (j^+ + j^-) / 2$$

$$j_{22} = j - j_{11}$$

Можно выявлять зависимость наблюдаемого $J(t)$ от множества измеряемых характеристик Солнца и ГС (много эмпирических моделей; ИЗМИРАН).

Чтобы исследовать отдельно J_{11} и J_{22} по данным наблюдений, надо сделать предположение, чем определяется, например, J_{11} .

О причинах образования J_{11} и J_{22} . 1.

- **Общераспространенная точка зрения:** причина образования J_{11} – пятенный цикл на Солнце и в гелиосфере, а J_{22} – цикл в полярности ГМП

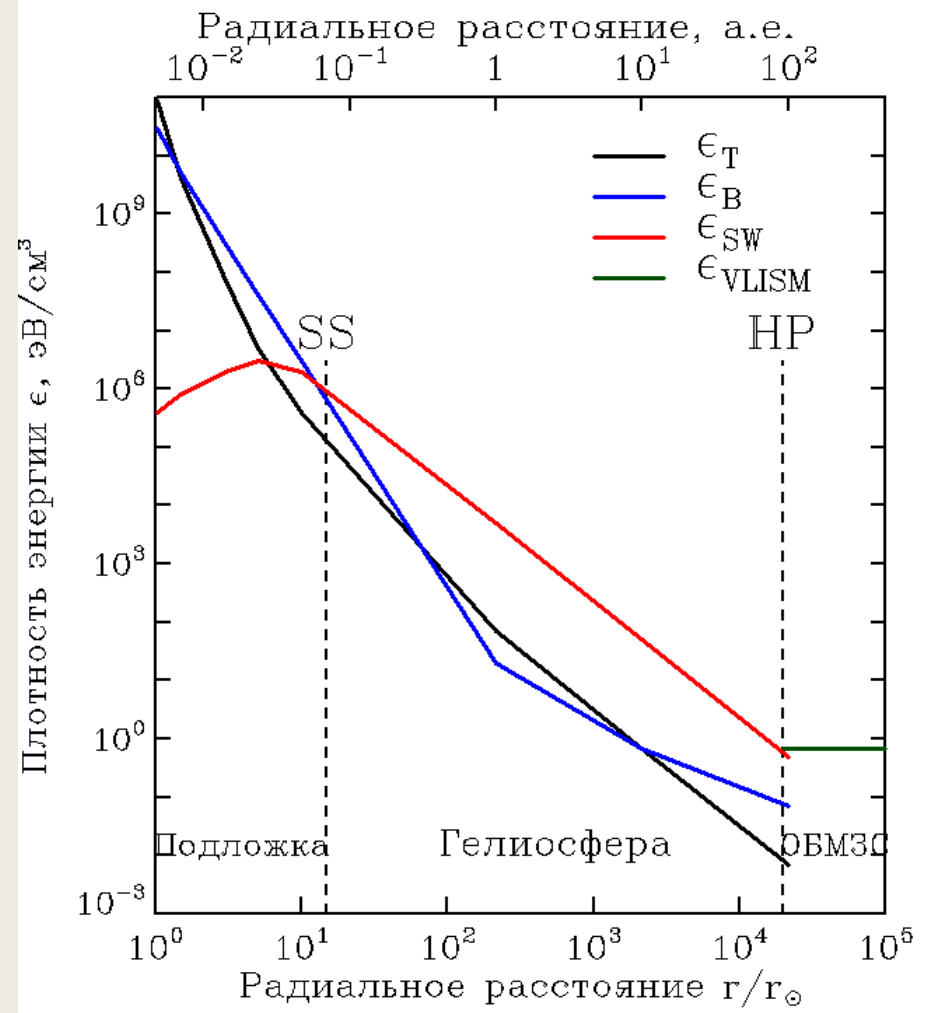
- **Причины:**

1) **Историческая:** первые ~25 лет (1950-1975 гг.) считалось, что в гелиосфере есть только пятенный цикл, а в ГМП преимущественной полярности нет. После 1975 г. – вариация J_{22} есть, но она мала.

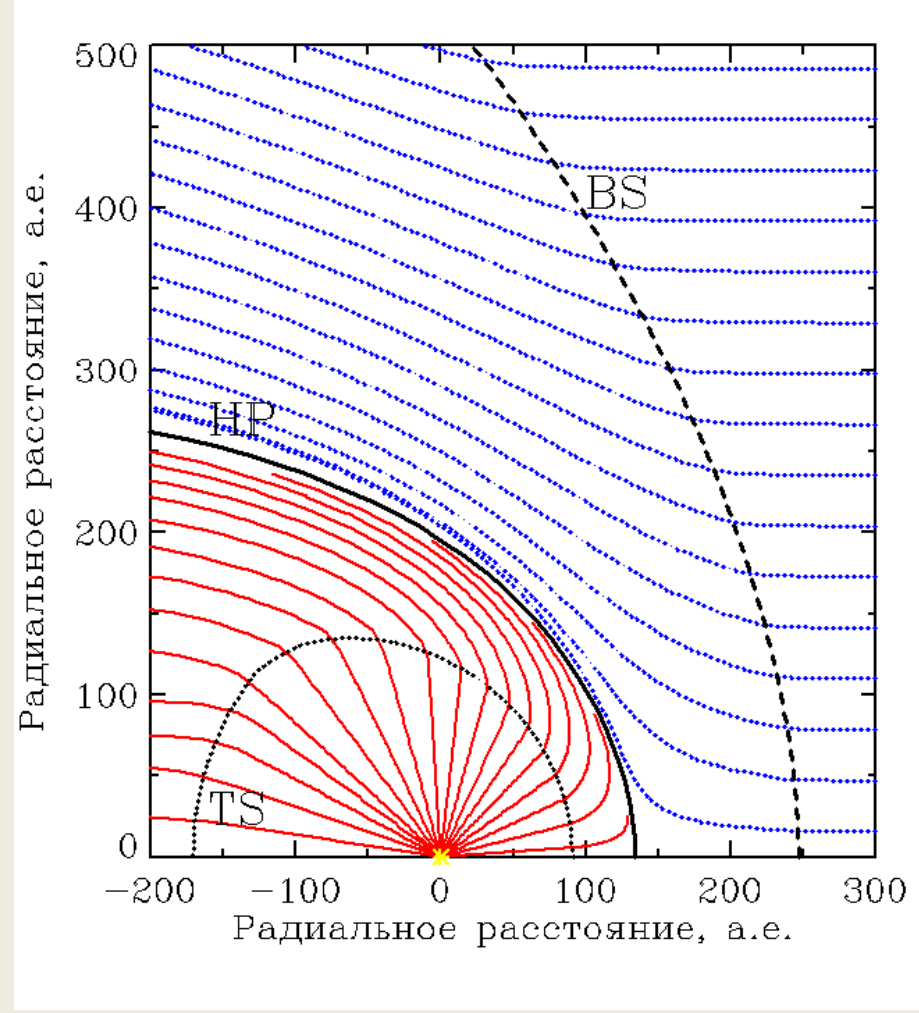
2) **Методические (психологические?):**

- 1) Нет необходимости искать другие факторы (т. к. сильная антикорреляция с W , V_{hmf}, \dots);
- 2) По мощности причины: чем мощнее вариация модулирующего фактора, тем сильнее эффект. Если меняется только направление поля слабой полоидальной ветви, вариация интенсивности ГКЛ должны быть слабее, чем от сильной вариации сильной тороидальной ветви;
- 3) По периоду вариации причины: 11-л и 22-л вариации интенсивности ГКЛ должны вызываться изменением факторов с теми же периодами.

Образование и структура гелиосферы

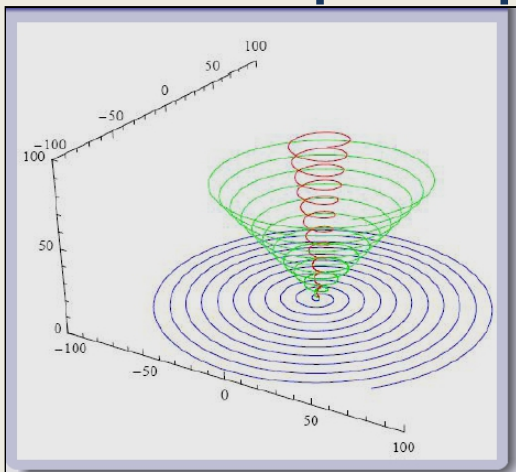


Rossi, Olbert, 1970



Baranov et al., 1970-2014

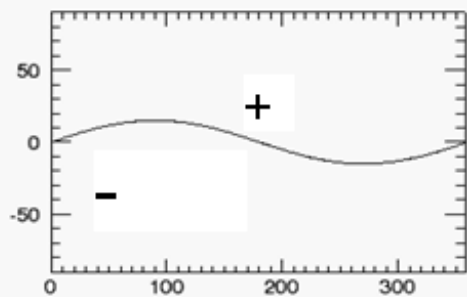
Типы распределений S_{hmf} по полярности V_r



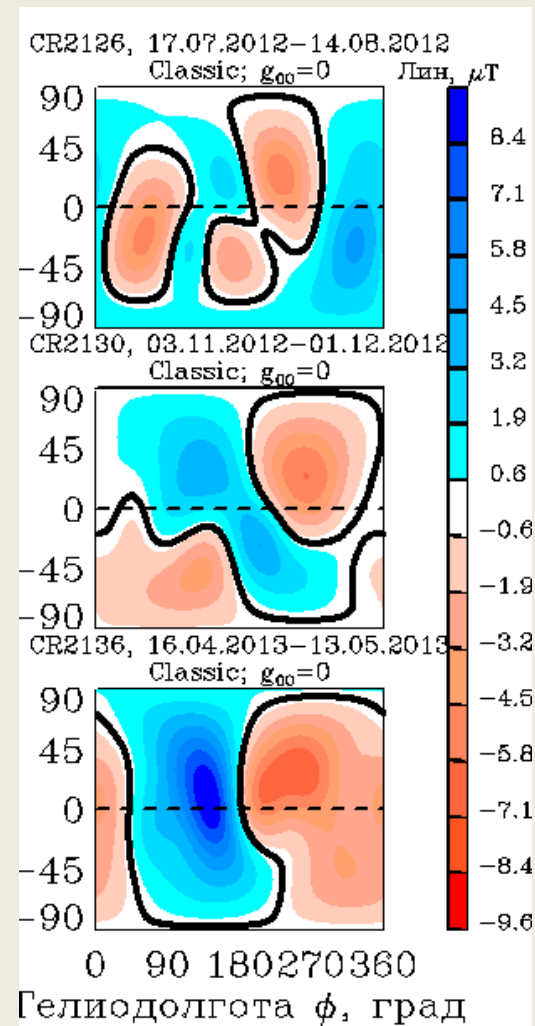
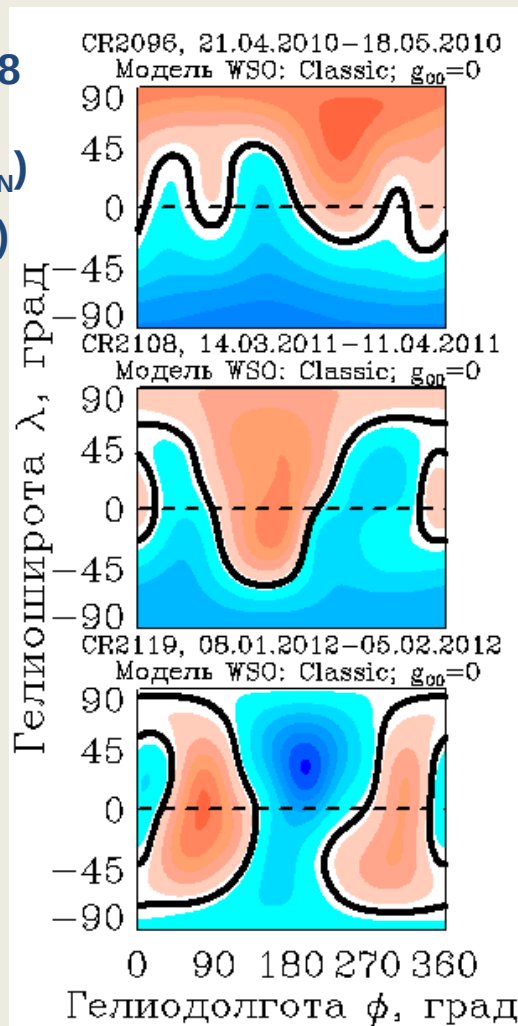
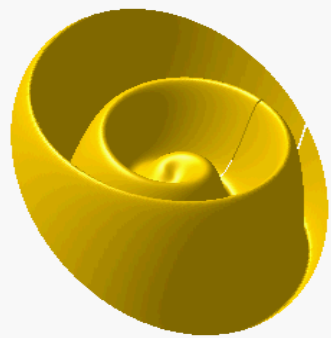
ГМП
Parker, 1958

$$A = \text{sign}(B_{r,N})$$

$$= -\text{sign}(B_{\phi,N})$$

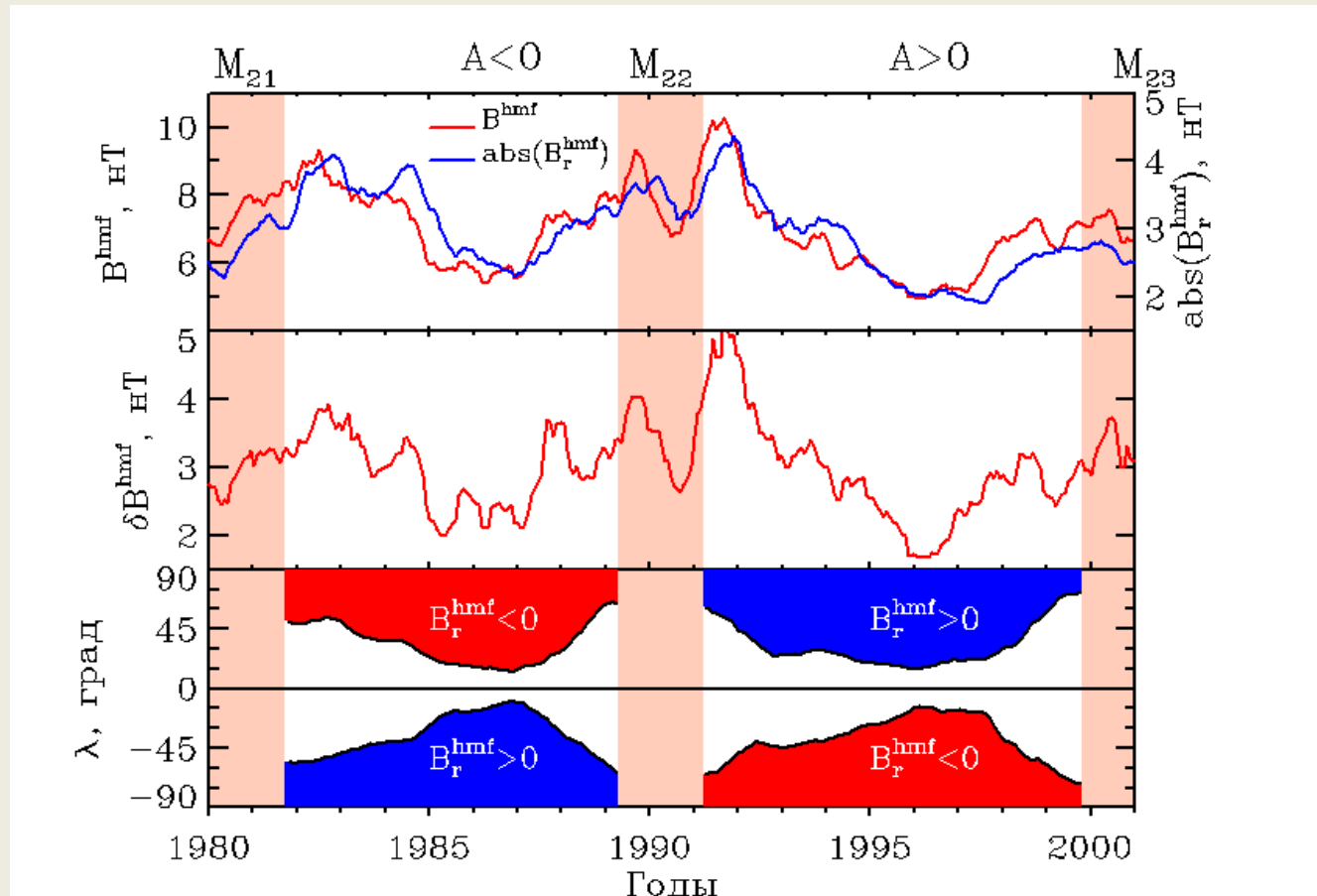


ГТС
Schulz, 1973



Kraivev, Kalinin, 2013

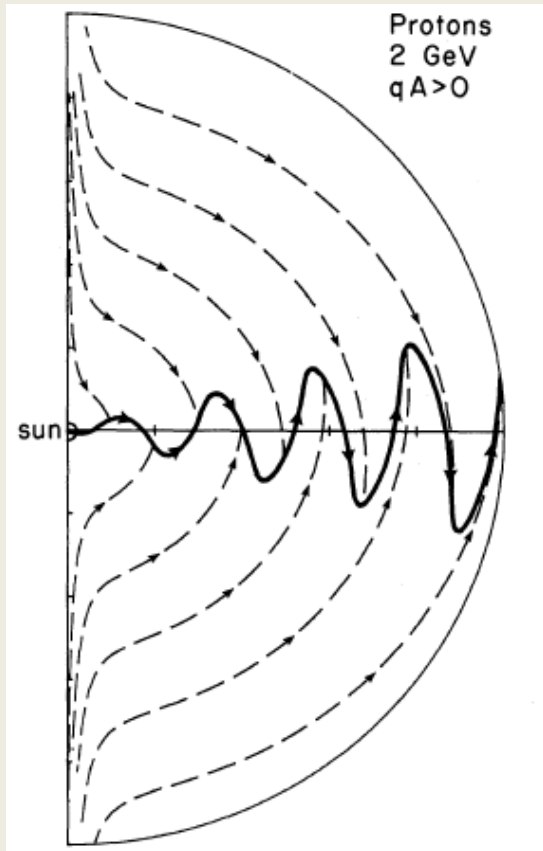
ГМП, ГТС и две ветви гелиосферной активности в 1980-2000



Итак, почти всё время гелиосфера разделена по полярности ГМП на две полусферы. Если бы существовали механизмы модуляции интенсивности, зависящие от направления магнитного поля, влияние этих механизмов на интенсивность ГКЛ могло бы быть значительным.

Механизмы модуляции ГКЛ, зависящие от полярности ГМП

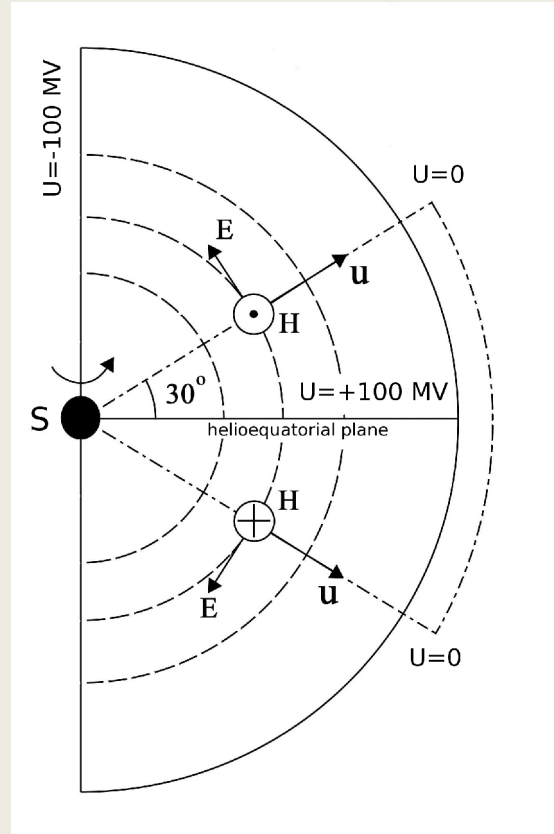
Магнитный дрейф



Jokipii, Thomas, 1981

11.08.2014

«Наружная» модуляция



Kraivev et al. (1979-2003)

Krymsky et al. (2007-2014), доклад С.Герасимовой

ВККЛ-2014, Дубна

А также

Магнитная
спиральность

Bieber et al, 1987

О причинах образования J_{11} и J_{22} . 2.

- **Альтернативная точка зрения:** как J_{11} , так и J_{22} образуются при совместном действии пятенного цикла в гелиосфере и цикла в полярности ГМП, причём роль последнего в образовании обеих вариаций интенсивности ГКЛ может быть велика.
- **Возможные механизмы образования 11-л вариации как 2-ой гармоники 22-л:**
 - 1) Последовательное действие двух механизмов, действующих с 22-л периодом (например, наружная модуляция, затем дрейф): $J \sim \sin^2(\omega_{22}t) = (1 - \cos(\omega_{11}t))/2$.
 - 2) Одновременное изменение двух факторов в одном механизме, действующем с 22-л периодом (например, направление скорости и канал поступления частиц в механизме магнитного дрейфа).
 - 3) Модуляция 22-л механизма 11-л циклом (например, дрейф зависит от полярности ГМП (22-л), его напряжённости и формы токового слоя (обе 11-л)).

Моделирование интенсивности ГКУГ-1. Транспортное уравнение и граничные условия.

Стационарность; 2D (r, ϑ) ТУ для $U(r, \vartheta, p) = J/p^2$

$$-\frac{\partial U}{\partial t} = \underbrace{-\nabla(K\nabla U)}_{\text{diffusion}} + \underbrace{\vec{V}^{sw}\nabla U - \frac{\nabla\vec{V}^{sw}}{3}p\frac{\partial U}{\partial p}}_{\text{convection+adiab.loss}} + \underbrace{\vec{V}^{dr}\nabla U}_{\text{drift}} = 0$$

$$\left. \frac{\partial U}{\partial r} \right|_{r=r_{min}} = 0, \quad U|_{r=r_{max}} = U_{um}(p)$$

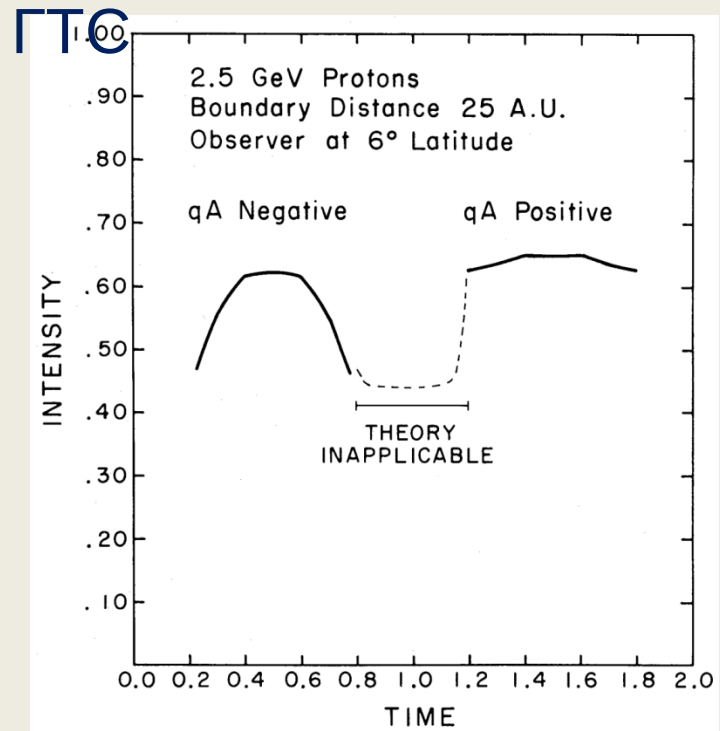
$$\left. \frac{\partial U}{\partial \vartheta} \right|_{\vartheta=0} = 0, \quad \left. \frac{\partial U}{\partial \vartheta} \right|_{\vartheta=\pi} = 0$$

$$U|_{p=p_{max}} = U_{um}(p_{max})$$

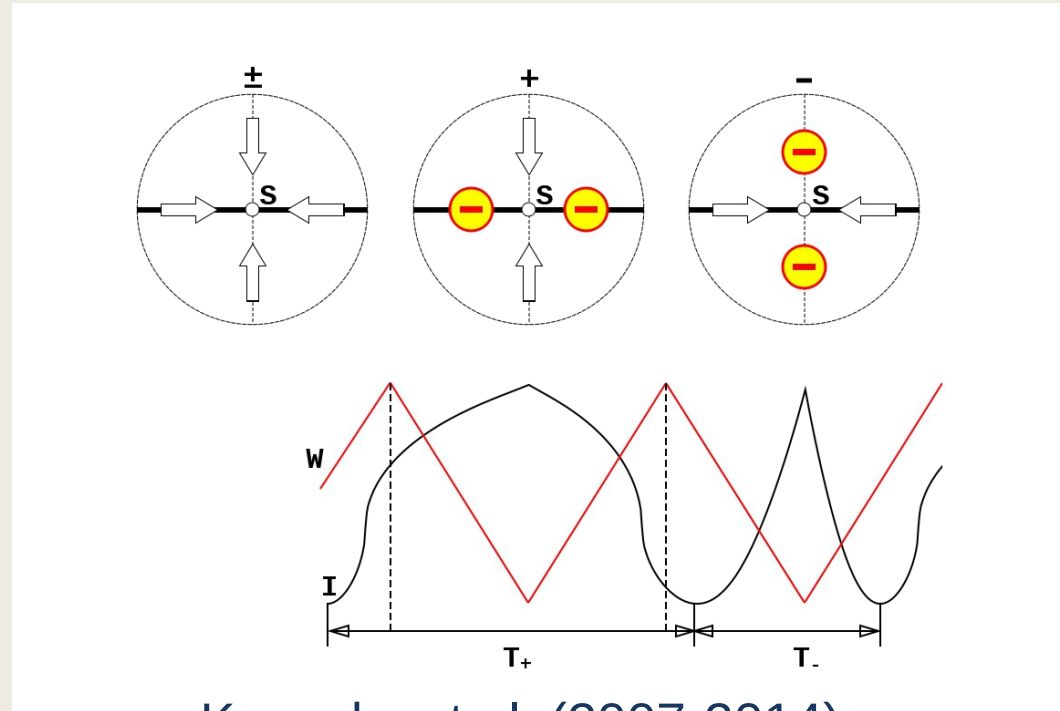
Результаты других моделей

Только дрейф;
изменяется только наклон

Дрейфом определяются каналы
доступа ГКЛ; наружная модуляция



Жокириі, Thomas, 1981



Krymsky et al. (2007-2014)

См. доклад Герасимовой и др.

Но: «основная, наиболее мощная вариация КЛ, обусловлена проявлением 11-летней солнечной активности!»

Моделирование интенсивности ГКЛ - 2. Коэффициенты транспортного уравнения.

$$\vec{V}^{sw} = V_r^{sw}(\vartheta) \cdot \vec{e}_r \quad \rightarrow \quad \tan \chi = \frac{r\omega \sin \vartheta}{V_r^{sw}}$$

$$\vec{B} = \underbrace{\langle F \rangle}_{\langle \mathcal{F} \rangle_\varphi} \cdot \vec{B}^m = F |B_{r,E}| \underbrace{\left(\frac{rE}{r} \right)^2 (\vec{e}_r - \tan \chi \vec{e}_\varphi)}_{\text{Parker, 1958}} \cdot \underbrace{\sqrt{1 + (r \cos \chi \cdot \delta_{JK})^2}}_{\text{Jokipii, Kóta, 1989}}$$

$$\vartheta^{cs} = \vartheta^{cs}(r, \varphi), \quad \mathcal{F} = A \cdot [1 - 2H(\vartheta - \vartheta^{cs})]$$

$$\vec{V}^{dr} = K_0^{dr} \cdot pv/3q \left[\nabla \times \frac{\vec{B}}{B^2} \right] = K_0^{dr} \cdot \left\{ \underbrace{F \frac{pv}{3q} \left[\nabla \times \frac{\vec{B}^m}{B^2} \right]}_{\vec{V}^{dr,reg}} + \underbrace{\frac{pv}{3qB} \left[\nabla F \times \vec{b}^m \right]}_{\vec{V}^{dr,cs}} \right\}$$

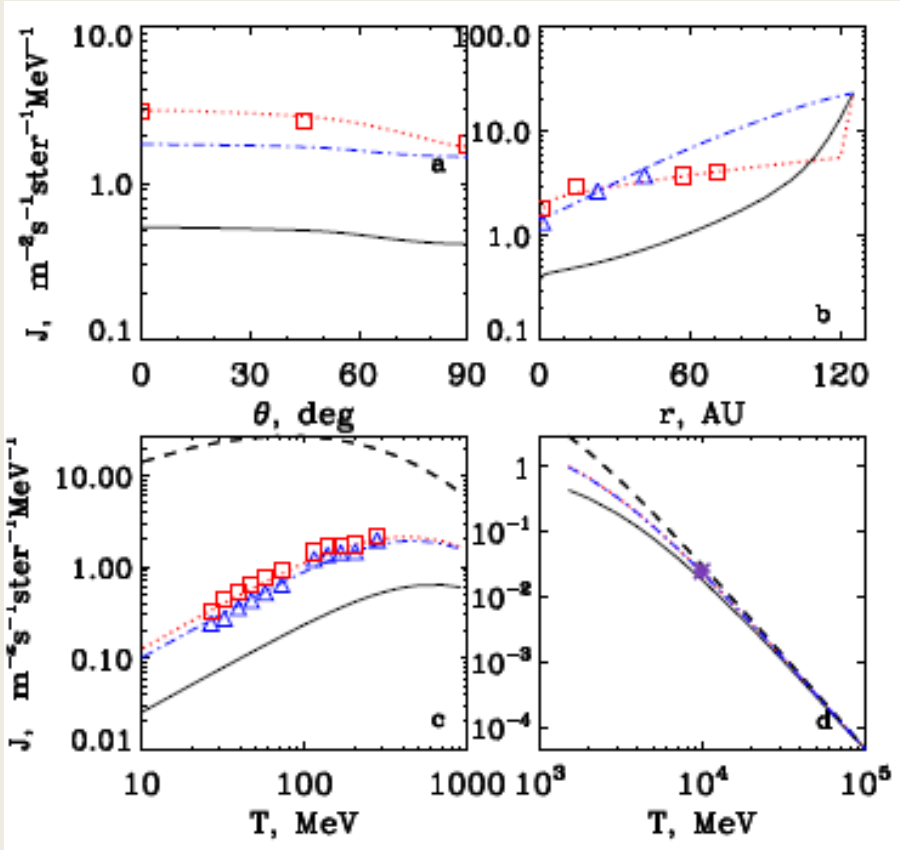
$$\mathcal{K} = K_{||} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \alpha_{\perp, \vartheta} & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_{\perp, r} \end{vmatrix}, \quad \underline{\alpha_{\perp, \vartheta} \gg \alpha_{\perp, r}}$$

$$K_{||} = K_0^{diff}(t) \cdot K_{\vec{r}}(\vec{r}) \cdot K_p(p), \quad K_{\vec{r}}(\vec{r}) = \frac{5}{B(\vec{r})}, \quad K_p(p) = pv \cdot R^{\gamma(R)}$$

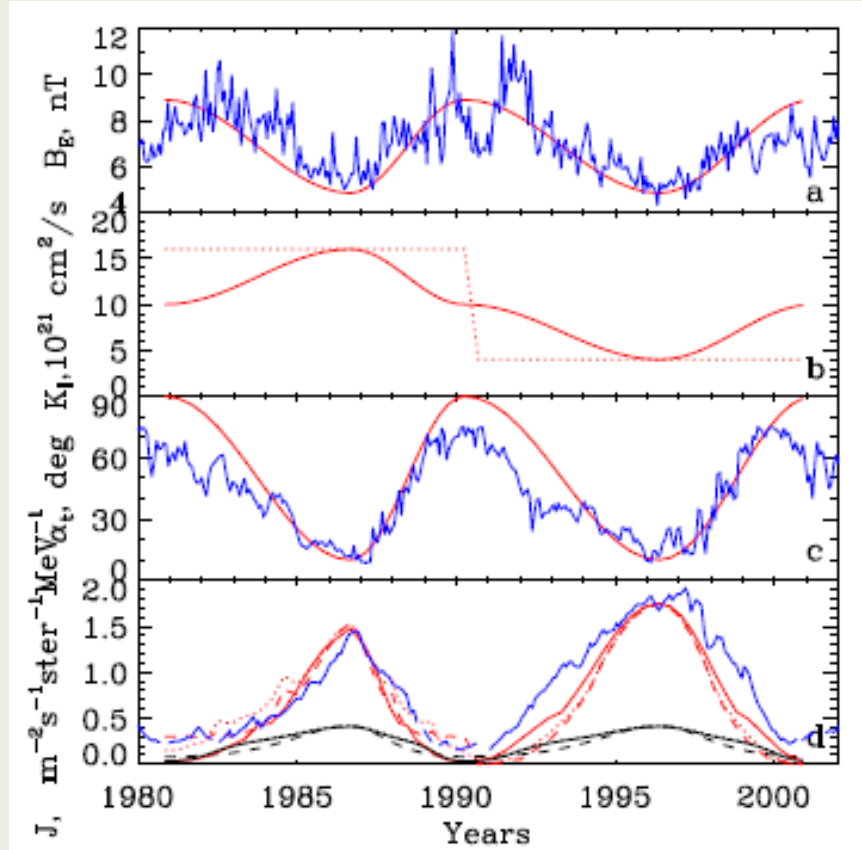
$$K_0^{diff} = K_0^{ss} + K_0^m \cdot \text{sign}(qA), \quad \text{for } q > 0 \quad K_{0,+}^{diff} < K_{0,-}^{diff}$$

Только V^{dr} и $K_{||}$ зависят от преимущественной полярности (A), которая может быть включена ($A > 0$, $A < 0$) и выключена ($A = 0$) при решении граничной задачи.

Расчётная $J(r, \theta, T; t)$ для $A > 0$, $A < 0$, $A = 0$



Kalinin, Krainev, JoPCS, 2013



Krainev, Kalinin, JoPCS, 2013

При выбранных параметрах модели в основном описываются J_{11} и J_{22} .
 При выключении преимущественной полярности ГМП ($A = 0$) расчётная интенсивность (чёрные линии) почти везде падает в 3-5 раз, т. е. вклад дрейфа составляет 70-80% от полной интенсивности как при $A > 0$ (красные), так и при $A < 0$ (синие линии), а значит и в J_{11} и J_{22} !

Как проверить, какое из представлений правильно, и важно ли это?

- Возможно ли проверить, какое из представлений правильно: а) из наблюдений и б) расчётным путём?
 - а) Возможно (по данным об интенсивности и анизотропии как ГКЛ, так и электронов и АКЛ), **но я не знаю, как это сделать** (гелиосфера в целом и её изменение во времени исследованы довольно плохо);
 - б) Рассчитать можно многое, но **количественные результаты сильно зависят от модели**. Надо исследовать разные модели гелиосферы и взаимодействия ГКЛ с электромагнитными полями.
- Важен ли выбор из этих представлений для нашей рутинной работы (подходы к анализу данных и интерпретации)?
 - **На мой взгляд, несомненно**. Например, при альтернативном взгляде на причины долговременных вариаций в интенсивности ГКЛ надо искать другие индексы, ответственные за дрейф (кроме тилта); нельзя серьёзно относиться к сферически симметричным моделям модуляции ГКЛ (например, приближению силового поля) и т. д.