

# Моделирование характеристик 27-дневных вариаций ГКЛ

Галикян Н.Г., Юлбарисов Р.Ф.

НИЯУ МИФИ

# Цель и задачи исследования

- Воспроизведение характеристик 27-дневных вариаций потоков ГКЛ, наблюдаемых в эксперименте PAMELA в период с конца 2007 до начала 2008 года.

# Цель и задачи исследования

- - Воспроизведение характеристик 27-дневных вариаций потоков ГКЛ, наблюдаемых в эксперименте PAMELA в период с конца 2007 до начала 2008 года.
- - Создание алгоритма для моделирования прохождения ГКЛ через гелиосферу путем решения уравнения движения частиц в электромагнитном поле.

# Цель и задачи исследования

- - Воспроизведение характеристик 27-дневных вариаций потоков ГКЛ, наблюдаемых в эксперименте PAMELA в период с конца 2007 до начала 2008 года.
- - Создание алгоритма для моделирования прохождения ГКЛ через гелиосферу путем решения уравнения движения частиц в электромагнитном поле.
  - Проведение моделирования распространения протонов ГКЛ в гелиосфере с характеристиками 2007-2008 гг.

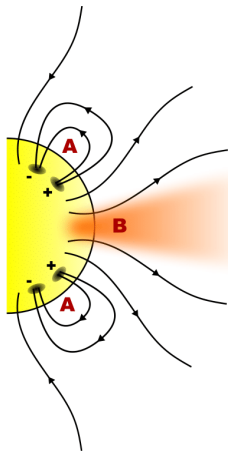
# Цель и задачи исследования

- - Воспроизведение характеристик 27-дневных вариаций потоков ГКЛ, наблюдаемых в эксперименте PAMELA в период с конца 2007 до начала 2008 года.
- - Создание алгоритма для моделирования прохождения ГКЛ через гелиосферу путем решения уравнения движения частиц в электромагнитном поле.
  - Проведение моделирования распространения протонов ГКЛ в гелиосфере с характеристиками 2007-2008 гг.
  - Определение энергетической зависимости амплитуд получаемых вариаций потока протонов на орбите Земли.

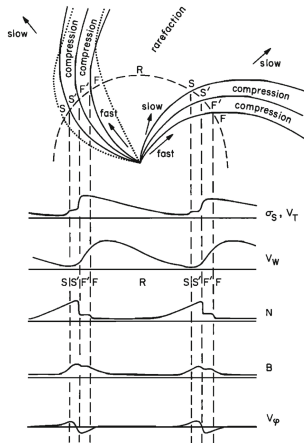
# Цель и задачи исследования

- - Воспроизведение характеристик 27-дневных вариаций потоков ГКЛ, наблюдаемых в эксперименте PAMELA в период с конца 2007 до начала 2008 года.
- - Создание алгоритма для моделирования прохождения ГКЛ через гелиосферу путем решения уравнения движения частиц в электромагнитном поле.
  - Проведение моделирования распространения протонов ГКЛ в гелиосфере с характеристиками 2007-2008 гг.
  - Определение энергетической зависимости амплитуд получаемых вариаций потока протонов на орбите Земли.
  - Сравнение с наблюдениями в эксперименте PAMELA и анализ.

# Природа возникновения вариаций



Силовые линии магнитной индукции в корональной дыре



Вариации в параметрах плазмы в коротирующих областях

# Модель Паркера для магнитного поля

$$\vec{B} = A B_0 \frac{r_0^2}{r^2} \left( \vec{e}_r + \frac{(r - r_s)\Omega}{v} \sin \theta \vec{e}_\phi \right) H(\vec{r})$$

$\Omega$  – сидеральная угловая скорость вращения Солнца.

$v$  – радиальная компонента скорости солнечного ветра.

$r_s$  – радиус поверхности источника.

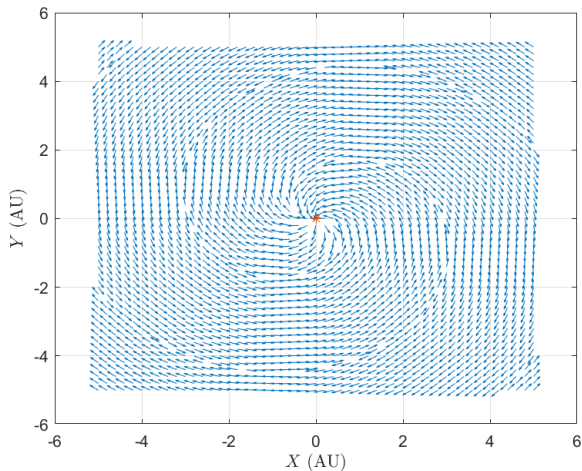
$r_0$  – радиус, где наибольшее значение радиальной компоненты магнитного поля равна  $B_0$ .

$A$  – полярность солнечного магнитного поля.

$H(\vec{r})$  – сигмоида, задающая противоположное направление магнитного поля по разные стороны от ГТС.



# Визуализация магнитного поля

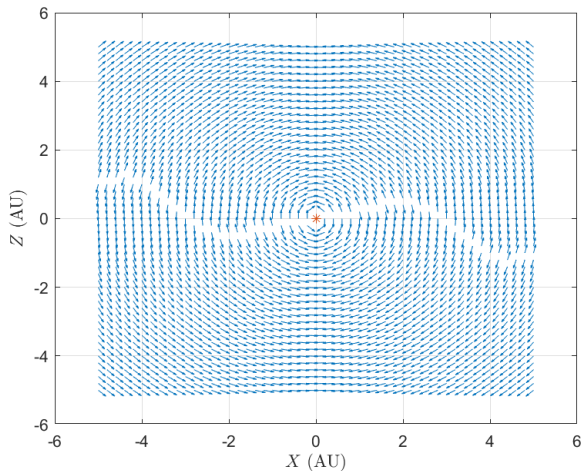


Векторная карта индукции магнитного поля в плоскости магнитного экватора  $Z = 0$

# Модель Паркера для электрического поля

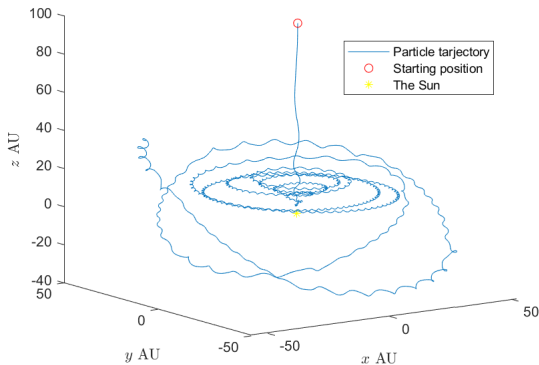
$$\vec{E} = B_0 \frac{r_0^2 \Omega(r_s)}{r^4} (xz\vec{e}_x + yz\vec{e}_y + (x^2 + y^2)\vec{e}_z) H(\vec{r})$$

# Визуализация электрического поля



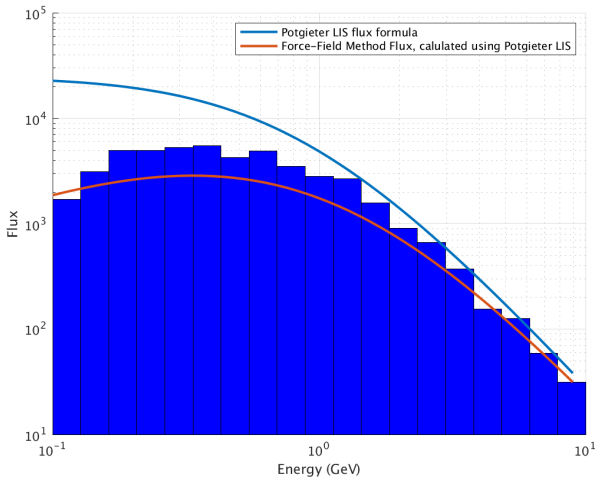
Векторная карта напряженности электрического поля в плоскости  $y = 0$

# Трассировка одной частицы в невозмущенной гелиосфере



Пример траектории протона с энергией 1 ГэВ в гелиосфере

# Модуляция энергетического спектра ГКЛ



Воспроизведение эффекта солнечной модуляции ГКЛ (протонов)

$$\phi(r) = \frac{\Omega \sin \theta}{v_{cir}} (r - r_s(1 + \log \lambda)) + \phi_s$$

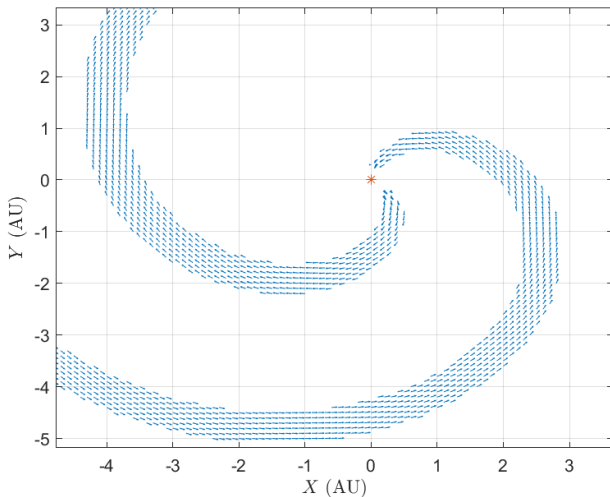
Где  $\lambda = \frac{r}{r_s}$ ,  $v_{cir}$  – скорость солнечного ветра в коротирующей области,  $\phi = \phi_s$  при  $r = r_s$ .

# Добавление коротирующих областей и сравнение с измерениями



Сравнение измерений магнитного поля космического аппарата ACE с получаемой моделью

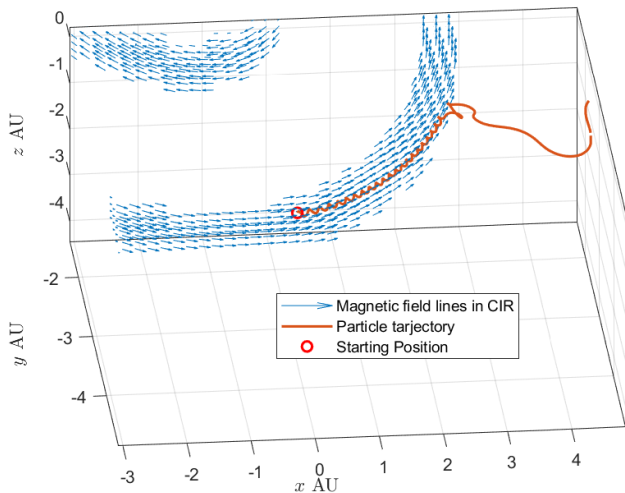
# Визуализация коротящихся областей



Векторная карта индукции магнитного поля в коротящейся области, в плоскости  $Z = 0$



# Захват частиц в коротирующей области

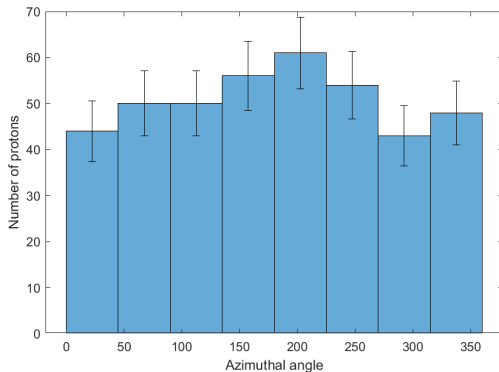


Захват протона энергии 1 ГэВ в коротирующей области

# 27-дневные вариации протонов

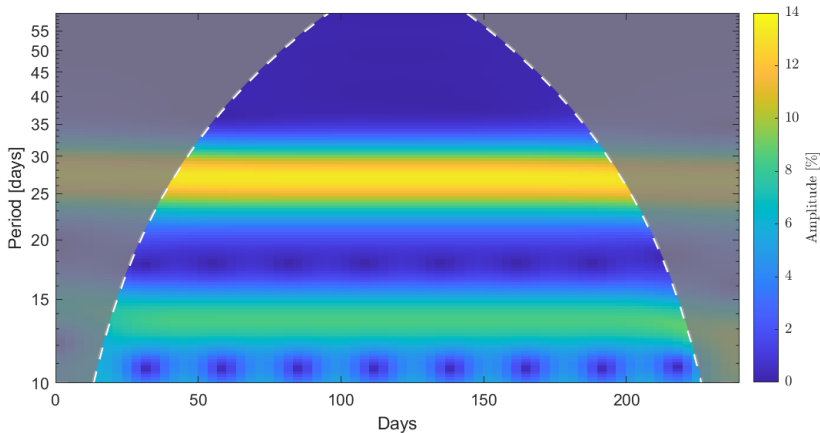
100 ...

1 ...  
1 ...



Распределение протонов по азимутальному углу, что эквивалентно 27 дням.

# 27-дневные вариации протонов энергии 1 ГэВ



Скалограмма вейвлет-преобразования протонов энергии 1 ГэВ, которая соответствует относительной амплитуде  $13 \pm 3\%$

# Результаты

- Построена модель электромагнитного поля в гелиосфере с характеристиками 2007-2008 гг. с учетом коротяирующих областей, в котором специально созданный алгоритм моделирует распространение ГКЛ.

# Результаты

- Построена модель электромагнитного поля в гелиосфере с характеристиками 2007-2008 гг. с учетом коротяирующих областей, в котором специально созданный алгоритм моделирует распространение ГКЛ.
- Для проверки воспроизведен эффект солнечной модуляции.

# Результаты

- Построена модель электромагнитного поля в гелиосфере с характеристиками 2007-2008 гг. с учетом коротящих областей, в котором специально созданный алгоритм моделирует распространение ГКЛ.
- Для проверки воспроизведен эффект солнечной модуляции.
- Промоделирован изотропный поток протонов ГКЛ, распространяющихся от окраин гелиосферы вглубь. Определена азимутальная зависимость потока протонов на 1 а.е.

# Результаты

- Построена модель электромагнитного поля в гелиосфере с характеристиками 2007-2008 гг. с учетом коротяирующих областей, в котором специально созданный алгоритм моделирует распространение ГКЛ.
- Для проверки воспроизведен эффект солнечной модуляции.
- Промоделирован изотропный поток протонов ГКЛ, распространяющихся от окраин гелиосферы вглубь. Определена азимутальная зависимость потока протонов на 1 а.е.
- Получен эффект 27-дневных вариаций для протонов с энергией 1 ГэВ с относительной амплитудой:

$$\delta = 13 \quad 3\%$$

# Результаты

- Построена модель электромагнитного поля в гелиосфере с характеристиками 2007-2008 гг. с учетом коротяирующих областей, в котором специально созданный алгоритм моделирует распространение ГКЛ.
- Для проверки воспроизведен эффект солнечной модуляции.
- Промоделирован изотропный поток протонов ГКЛ, распространяющихся от окраин гелиосферы вглубь. Определена азимутальная зависимость потока протонов на 1 а.е.
- Получен эффект 27-дневных вариаций для протонов с энергией 1 ГэВ с относительной амплитудой:

$$\delta = 13 \quad 3\%$$

- Предсказывается существование вариаций с периодом 14 дней.