

ФОКУСИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПАРКЕРА

Кичигин Г.Н.

*Институт солнечно-земной
физики СО РАН, Иркутск*

- Решается следующая задача. Пусть имеется сфера, из которой радиально инжектируются энергичные заряженные частицы (КЛ). Предполагается, что внутри сферы имеется источник спирального магнитного поля Паркера. Наша цель – рассчитать траектории движения частиц, вылетающих из сферы и движущихся затем в поле Паркера.
- Основное предположение – отсутствие каких-либо столкновений частиц.

- Компоненты поля Паркера в цилиндрической системе координат:

- $$H_{\varphi}(r, z) = -H_{\odot} \Omega r r_{\odot}^2 / (u R^2),$$

- $$H_r(r, z) = H_{\odot} r r_{\odot}^2 / R^3,$$

- $$H_z(r, z) = H_{\odot} z r_{\odot}^2 / R^3,$$

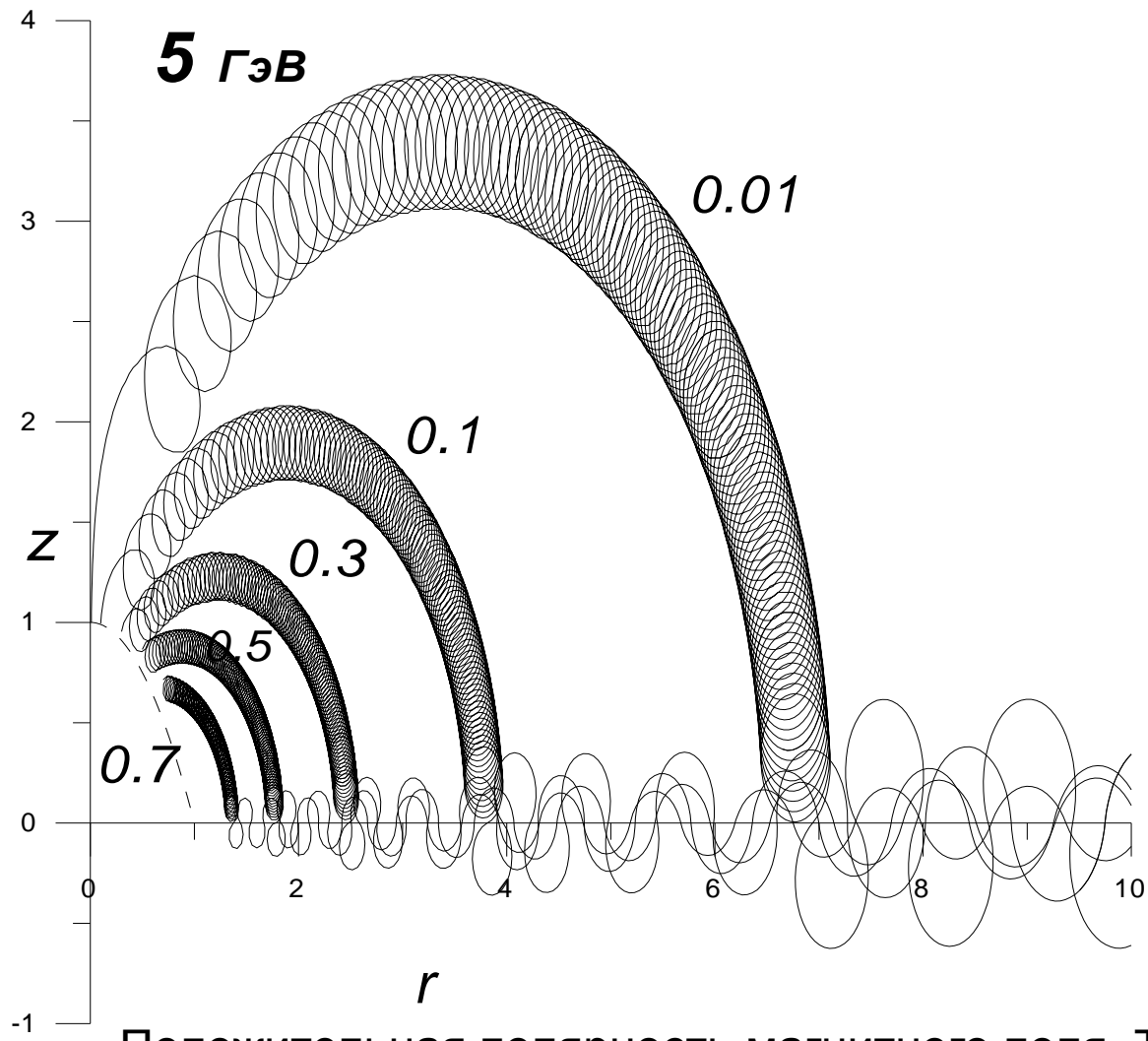
- $$E_r(r, z) = -(\Omega r / c) r z H_{\odot} r_{\odot} / R^3$$

- $$E_z(r, z) = (\Omega r / c) r^2 H_{\odot} r_{\odot} / R^3$$

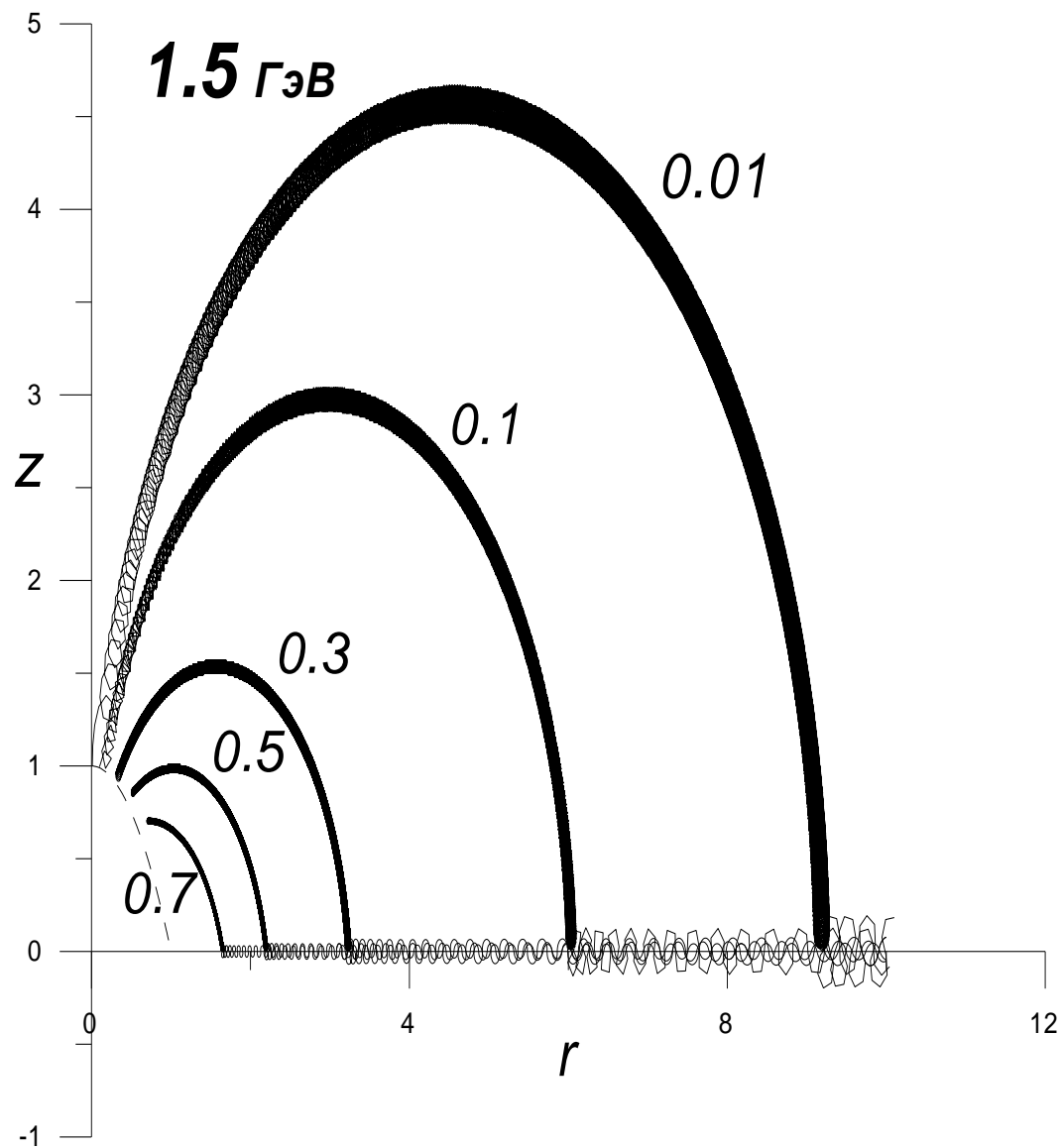
- В этих формулах H_{\odot} , r_{\odot} , Ω , – это, соответственно, магнитное поле на поверхности Солнца, его радиус и угловая скорость вращения, u – скорость солнечного ветра. Магнитное поле считается положительным, если его компонента H_r направлена от Солнца.

- Уравнения, описывающие движение частиц
- (в цилиндрической системе координат):
- $d(\gamma v_r)/dt = \gamma v_\phi^2 / r + qE_r + q[H_z v_\phi - H_\phi v_z]/(mc),$
- $d(\gamma r v_\phi)/dt = q r [H_r v_z - H_z v_r]/(mc),$
- $d(\gamma v_z)/dt = qE_z + q[H_r v_\phi - H_\phi v_r]/(mc),$
- $mc^2 d\gamma/dt = q(E_r v_r + E_z v_z).$
- Здесь q, m – заряд и масса покоя частиц, компоненты скорости $v_r = dr/dt, v_z = dz/dt,$
- $v_\phi = r d\phi/dt, c$ – скорость света,
- $\gamma = [1 - (v_\phi^2 + v_r^2 + v_z^2) / c^2]^{-1/2}$ – безразмерная энергия, нормированная на энергию покоя частицы mc^2 .

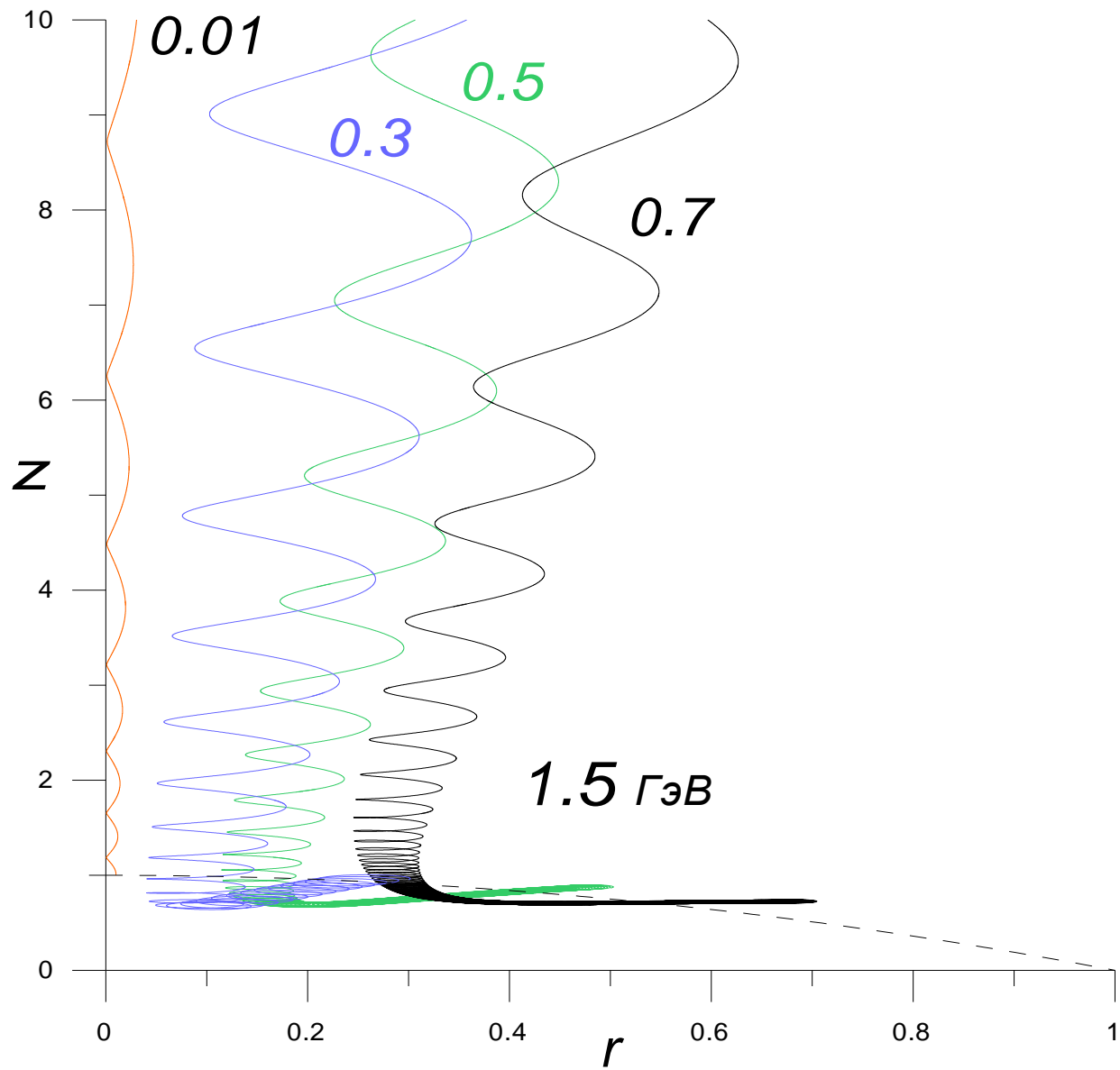
- Эти уравнения решались численно при следующих значениях параметров:
- – начальная энергия протонов $1.5 - 5 \text{ ГэВ}$,
- – радиальная и азимутальная составляющие ММП на орбите Земли $H_o = 2.2 \cdot 10^{-5} \text{ Гс}$,
- – отношение скорости СВ к скорости света
- $\beta = u/c = 0.001$,
- – отношение радиуса гелиосферы к радиусу орбиты Земли $\alpha = R_o/r_o = 10 - 1000$.
- Координаты нормированы на радиус сферы R



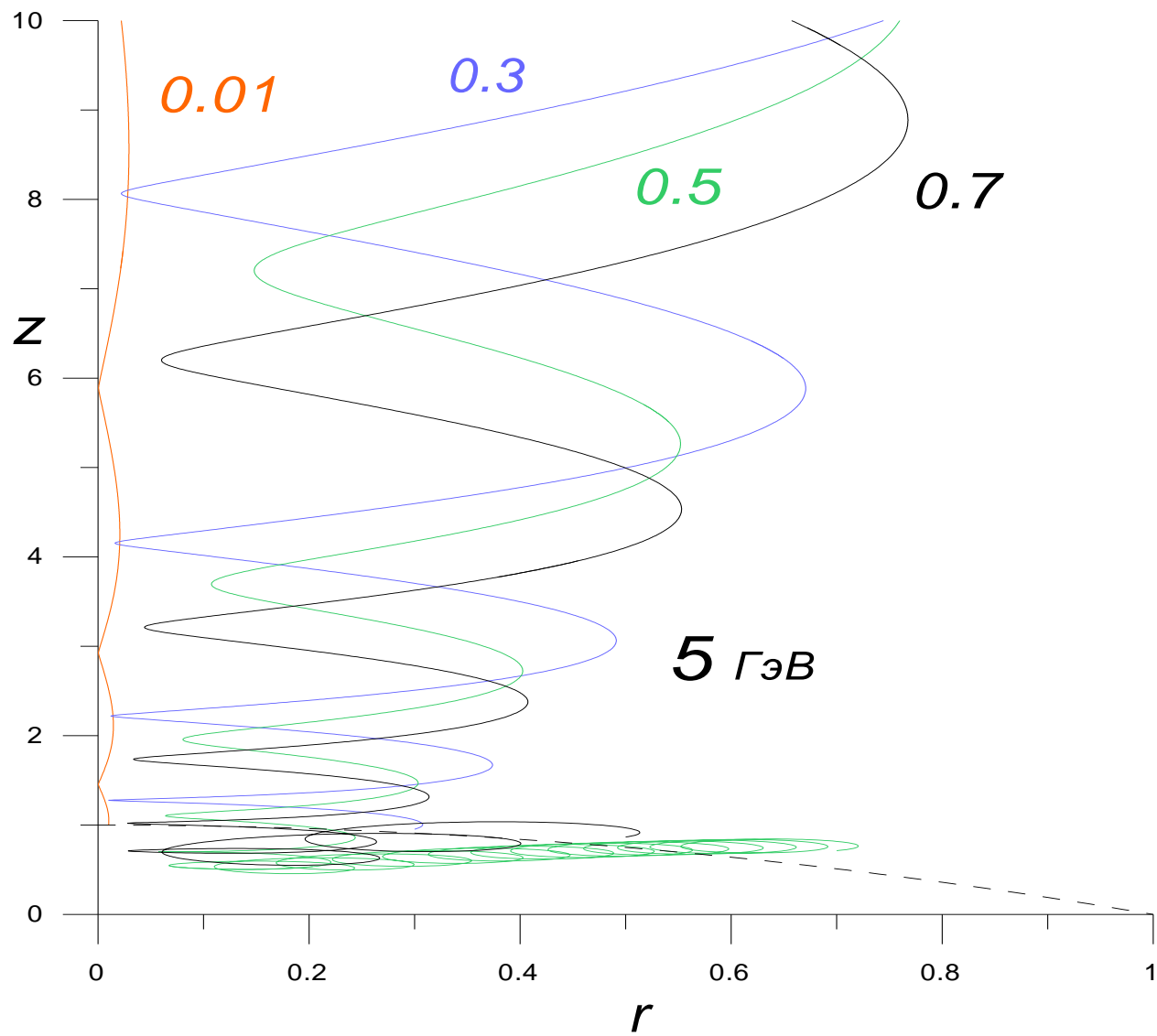
Положительная полярность магнитного поля. Траектории протонов с энергией 5 ГэВ, инжектированных из сферы с начальными расстоянием от оси z , указанными около кривых. Показан один из квадрантов меридионального сечения сферы. В соседних квадрантах изображение траекторий зеркально симметрично.



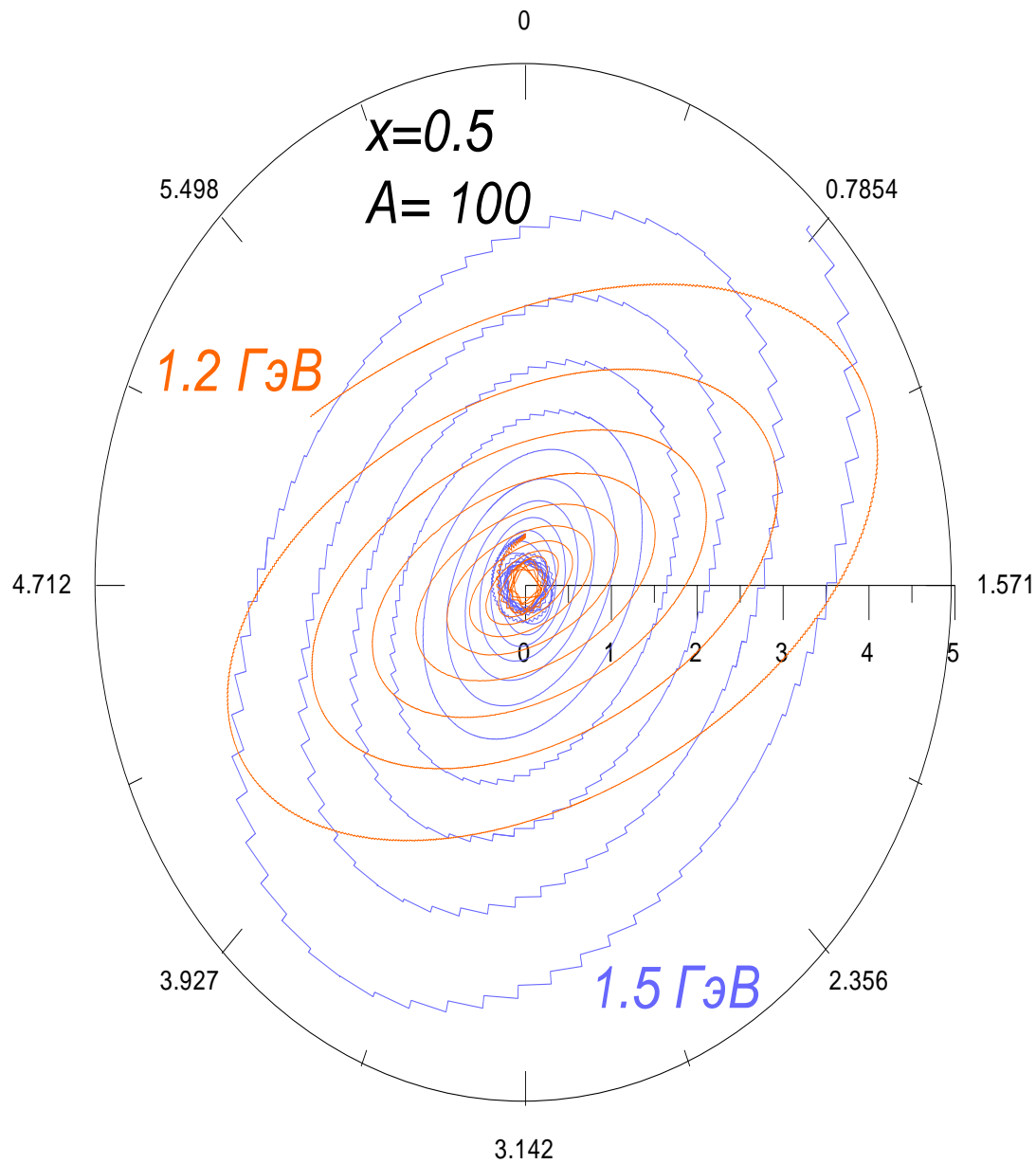
Поле положительно.



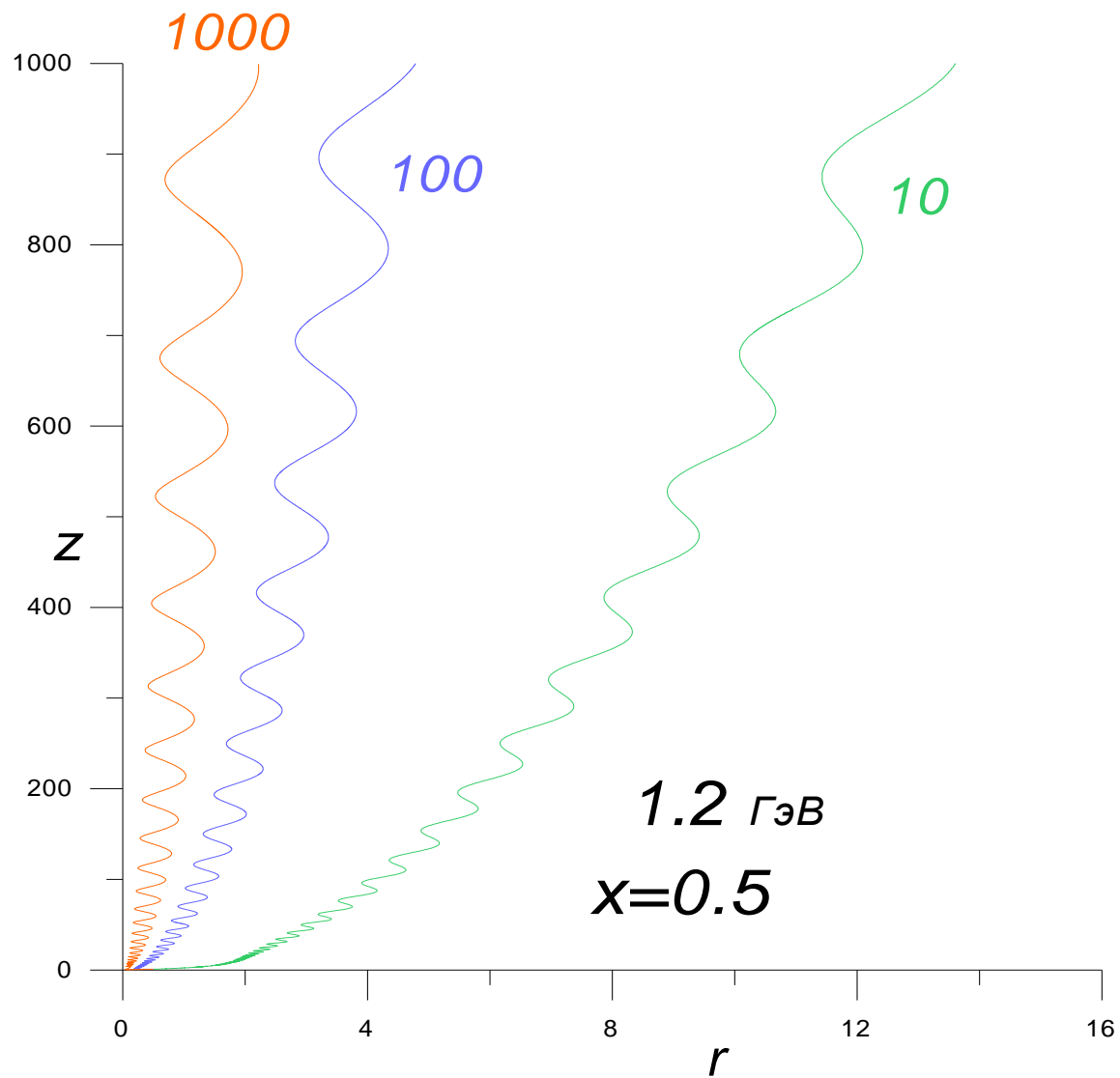
Отрицательное поле.



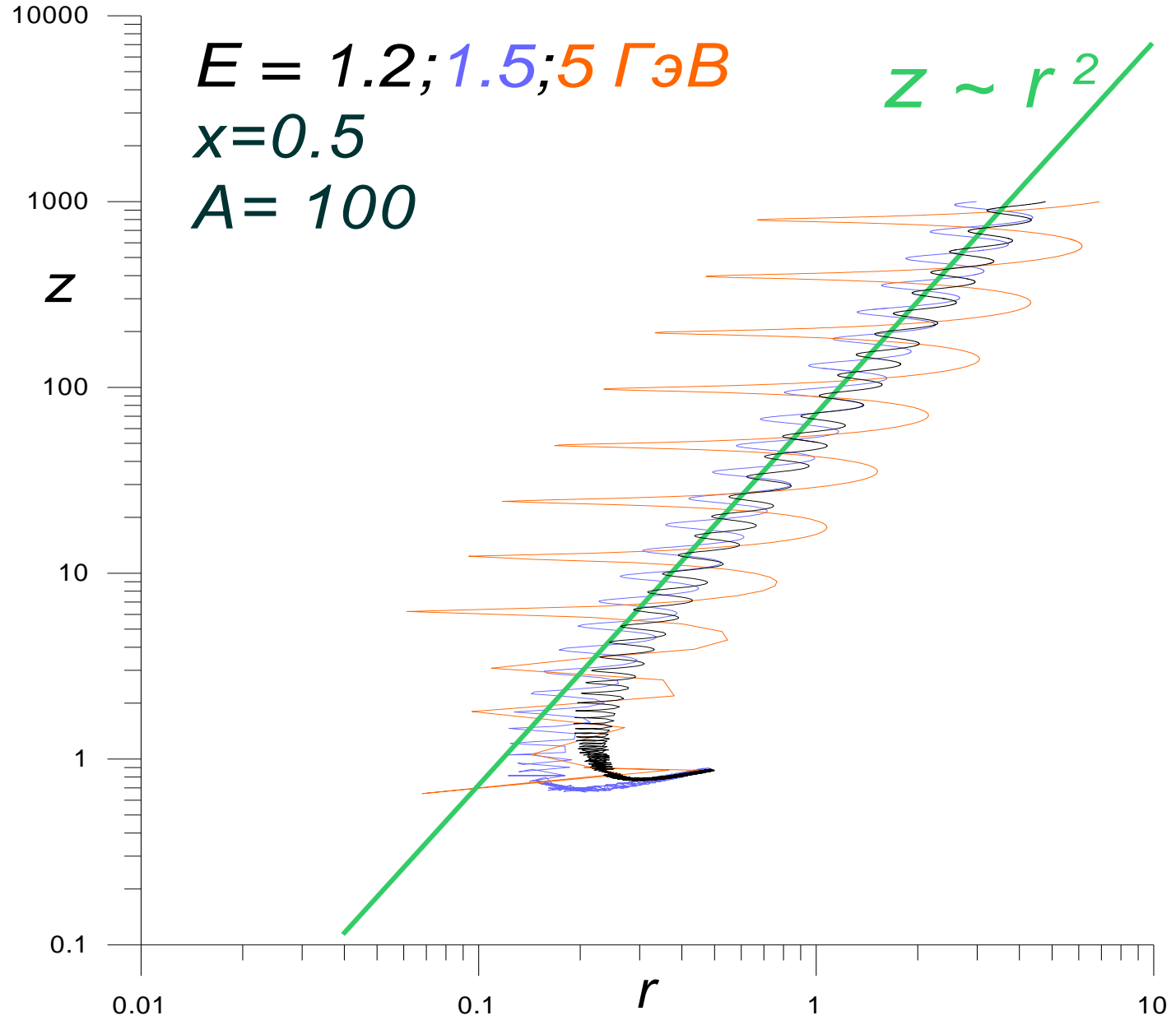
Отрицательное поле.



Отрицательное поле. Экваториальная плоскость.



Траектории протонов с энергией 1.2 ГэВ для отрицательной полярности магнитного поля, инжектированных из сферы с начальным расстоянием от оси z $\chi_0 = 0.5$ для значений параметра $\alpha = 10, 100, 1000$, указанных около кривых.



Отрицательное поле. Оси показаны в логарифмическом масштабе.

- Выводы.
- Паркеро́вское электромагнитное поле для КЛ, инжектированных с поверхности сферы, играет роль линзы, имеющей следующие свойства:
 -
 - 1. Для положительного поля все радиально выпущенные из сферы энергичные заряженные частицы собираются полем в экваториальной плоскости.
 - 2. Для отрицательного поля частицы фокусируются в тонкий луч, направленный вдоль оси симметрии поля (ось вращения звезды).

Вывод 2 позволяет высказать предположение о том, что специфические фокусирующие свойства поля Паркера могут оказаться полезными для понимания процесса формирования релятивистских джетов, которые испускаются из области, в которой произошел гамма-всплеск.

- «Магнитное поле Паркера и релятивистские джеты».
- В печати: ЖЭТФ, 2014, №9.