

Институт космических исследований и
аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН



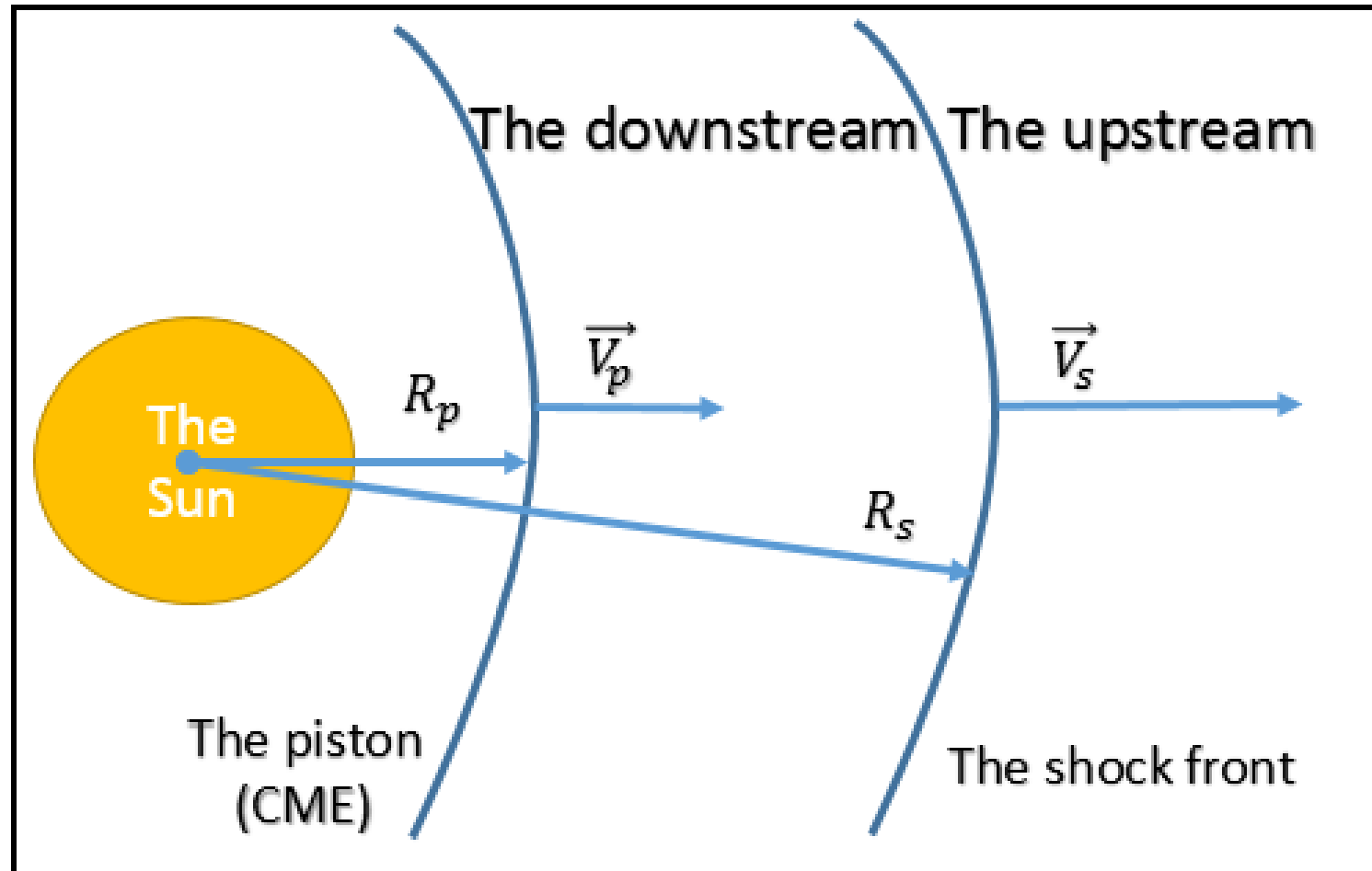
Инжекция солнечных космических лучей в событии 2001 April 15 GLE

Анастасия Петухова, Станислав Петухов, Иван Петухов, Леонид Ксенофонтов

34 Всероссийская конференция по космическим лучам

Август 15-19, 2016

Распространение выброса корональной массы



Модель ускорения частиц

The diffusive transport equation with spherical symmetry

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(\kappa r^2 \frac{\partial f}{\partial r} \right) - w' \frac{\partial f}{\partial r} + \frac{p}{3r^2} \frac{\partial(r^2 w')}{\partial r} \frac{\partial f}{\partial p} + Q_0 \delta(r - R_s)$$

The diffusion coefficient

$$\kappa = \frac{v^2 B^2}{32\pi^2 \omega_B v E_v}$$

The general wave energy

$$E_w(v \geq v_0) = 4.35 \times 10^{-3} \text{ erg/cm}^3 (F_{\odot} \simeq 5 \times 10^5 \text{ erg/(cm}^2\text{s)}), \quad v_0 E_{v_0} = (\beta - 1) \times E_w(v \geq v_0)$$

Energetic wave spectrum

$$E_v = E_{v_0} \left(\frac{v}{v_0} \right)^{-\beta} \left(\frac{r}{R_{sun}} \right)^{-\delta}$$

The low boundary of power law spectrum

$$v_0 = 5 \times 10^{-2} \text{ Hz}$$

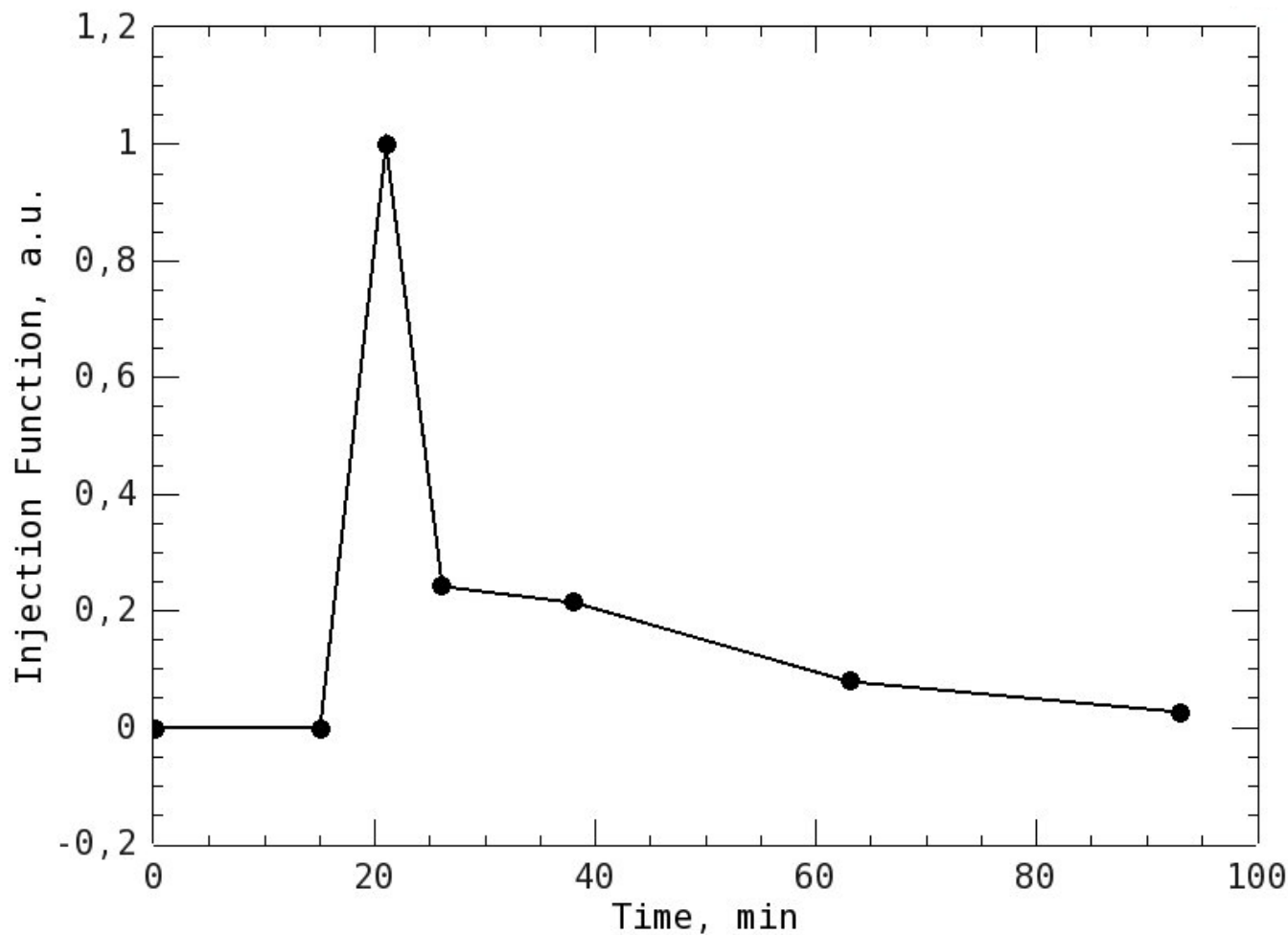
Resonance scattering

$$k = \rho_B^{-1}$$

Модель ускорения частиц

**“Ускорение солнечных
космических лучей ударной
волной в атмосфере Солнца”
(СКЛ-6)**

Функция инъекции во времени



(Bieber et al. 2004)

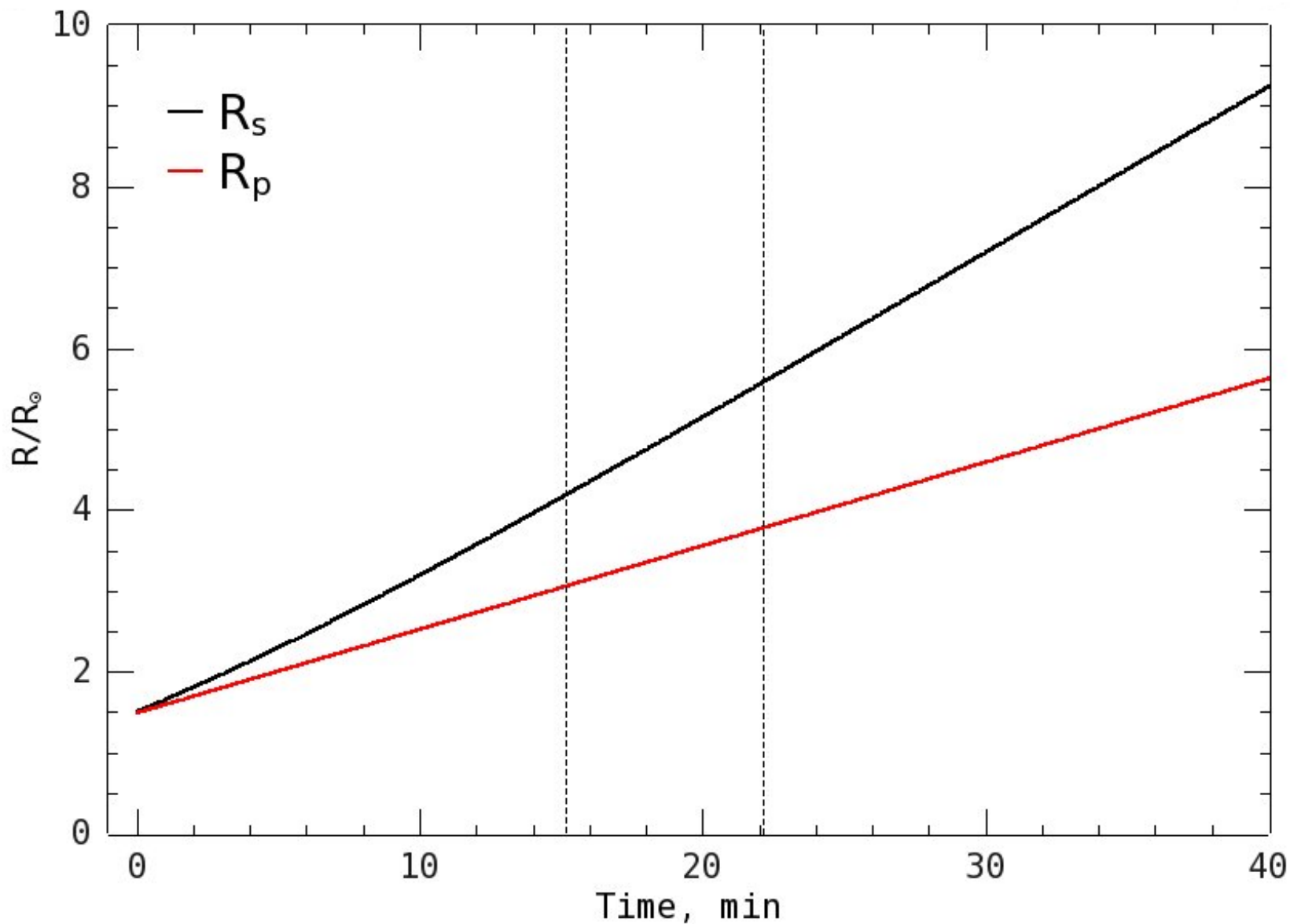
$R_{p0} = 1.5R_{\odot}$;

Скорость
выброса 1200
km/s;

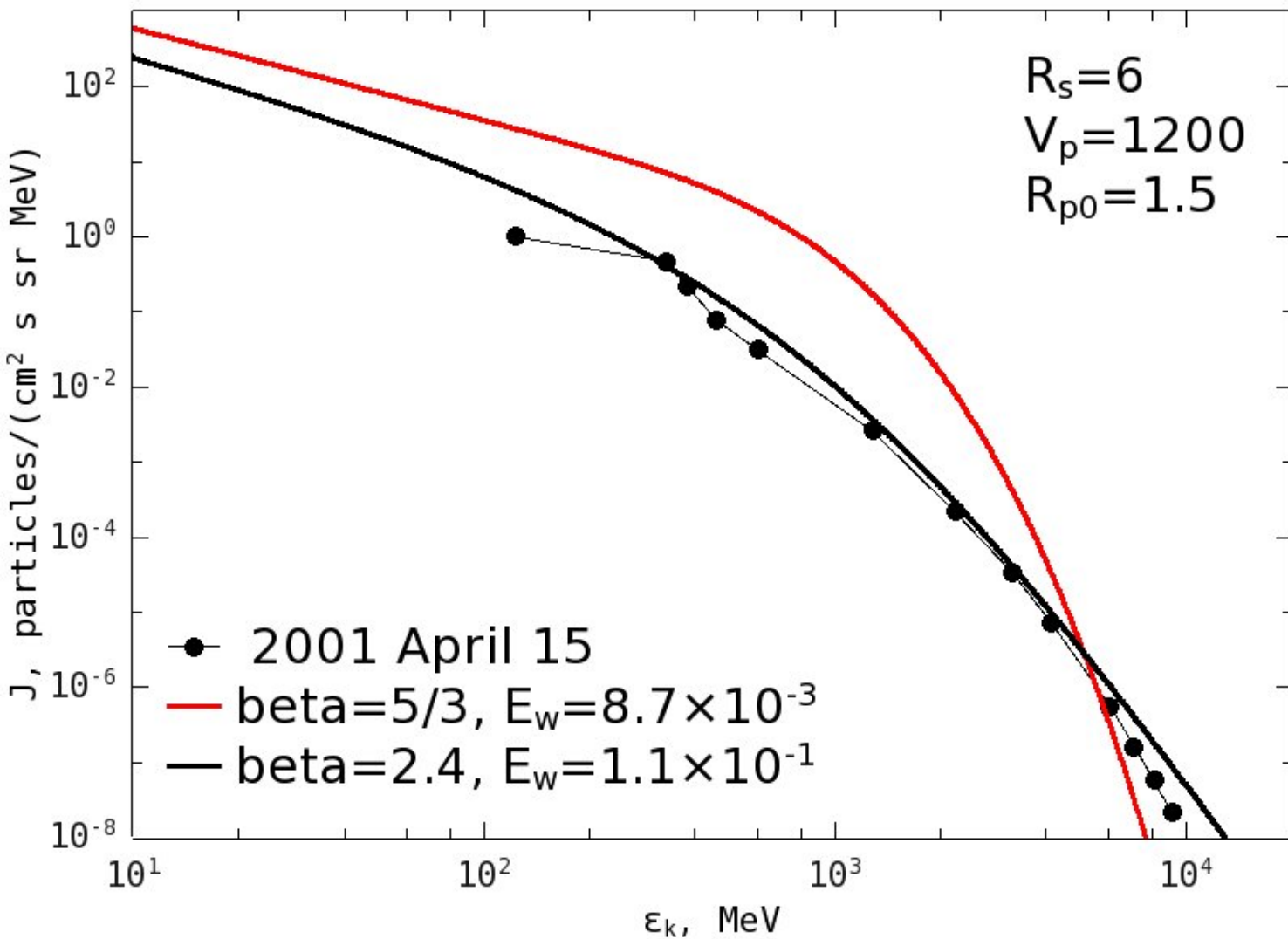
Длина свободного
пробега для ГэВ-
ных энергий в
межпланетном
пространстве 0.34
AU;

Что соответствует
межпланетному
коэффициенту
диффузии $5 \times$

Радиусы выброса и ударного фронта

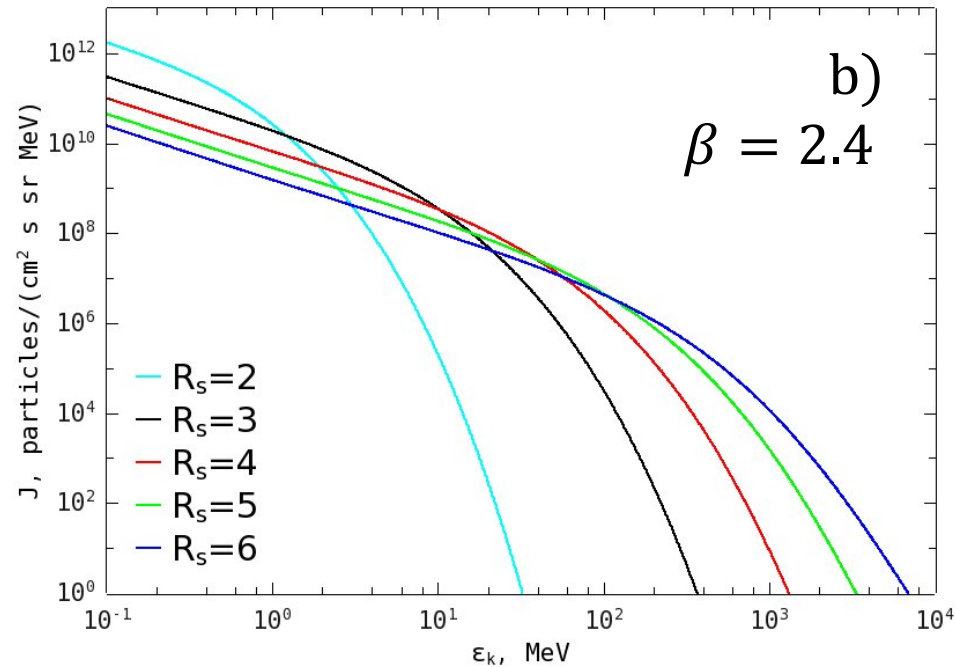
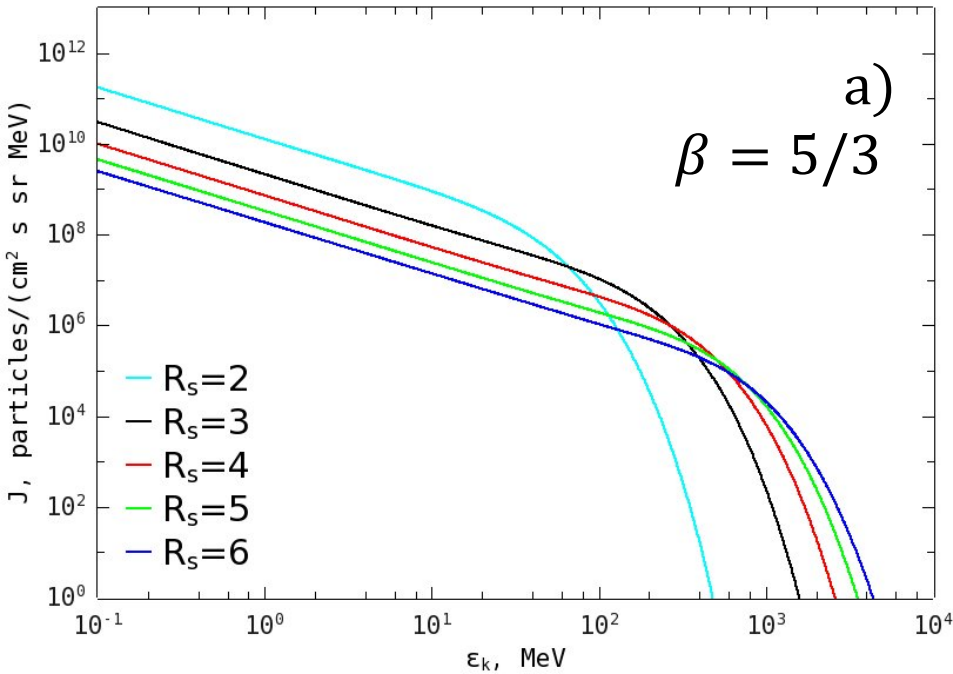


Сравнение с наблюдениями



(Bombardieri
et al. 2007)

Интенсивность частиц на ударном фронте

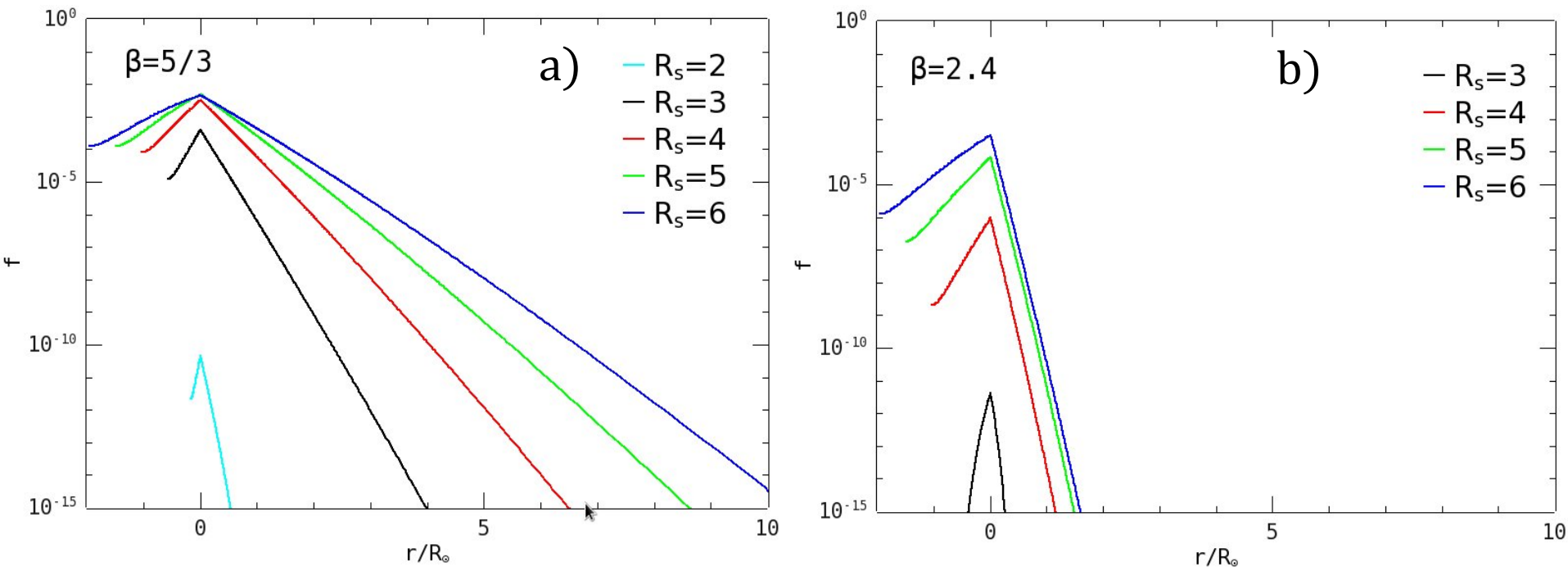


a) $E_w(\nu \geq \nu_0) = 8.7 \times 10^{-3} \text{ erg/cm}^3$ b) $E_w(\nu \geq \nu_0) = 0.1 \text{ erg/cm}^3$

β - показатель степенного спектра

E_w - общая энергия волнового спектра

Пространственное распределения частиц

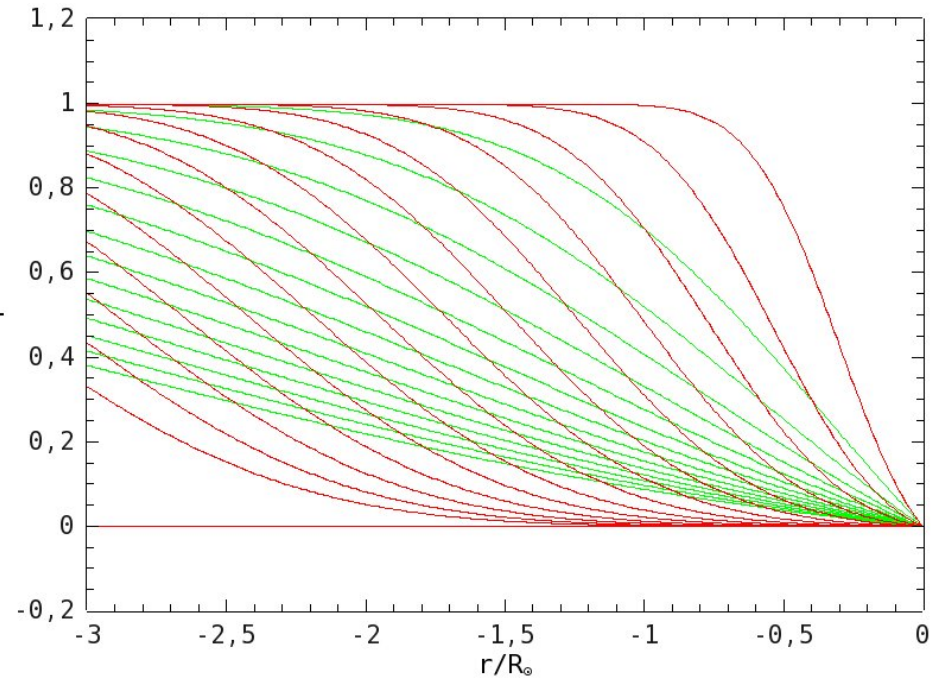
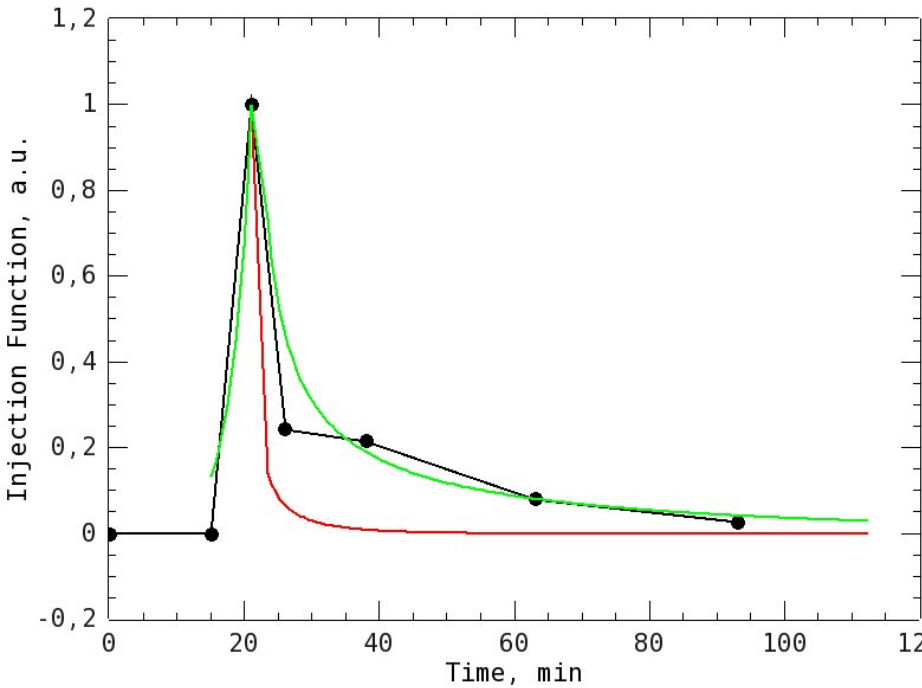


κ – коэффициент диффузии

a) $\kappa (1 \text{ GeV}) = 7.6 \times 10^{18} \text{ cm}^2/\text{s}$ для области перед фронтом;

b) $\kappa (1 \text{ GeV}) = 6.6 \times 10^{17} \text{ cm}^2/\text{s}$.

Функция инъекции и пространственное распределение



Модельное решение: $\frac{\partial f}{\partial t} = \kappa \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + u \frac{\partial f}{\partial x}$, граничные условия : $f(x = 0) = 0, f(x \rightarrow -\infty)$

ограничено

Начальные условия $f(x, t = 0) = F_0(1 - H(x))$, где F_0 постоянная, H функция Хэвисайда;

$f(x < 0, t) = F_0 - 0.5F_0(\operatorname{erfc}(\sqrt{x_*^2/\tau} - \sqrt{\tau}) + e^{-x_*} \operatorname{erfc}(\sqrt{x_*^2/\tau} + \sqrt{\tau}))$,

$j(t) = -\kappa \frac{\partial f}{\partial x} \Big|_0 = 0.5uF_0(e^{-\tau}/\sqrt{\tau} - \operatorname{erfc}(\sqrt{\tau}))$, где $\tau = u^2 t / (4\kappa)$, $x_* = xu/\kappa$,

erfc дополнительный интеграл вероятностей.

Выводы

- Мы предлагаем интерпретацию функции инжекции основанной на диффузионном механизме ускорения;
- Эта интерпретация предполагает, что коэффициент диффузии в солнечной короне значительно отличается от межпланетного и переход происходит на маленьком расстоянии;

Для события Пасха 2001:

1. Момент перехода находится на $5.4 R_{\odot}$;
2. Коэффициенты за и перед фронтом являются одинаковыми;
3. Наблюдаемая форма функции инжекции согласуется с расчетом со стандартными параметрами.