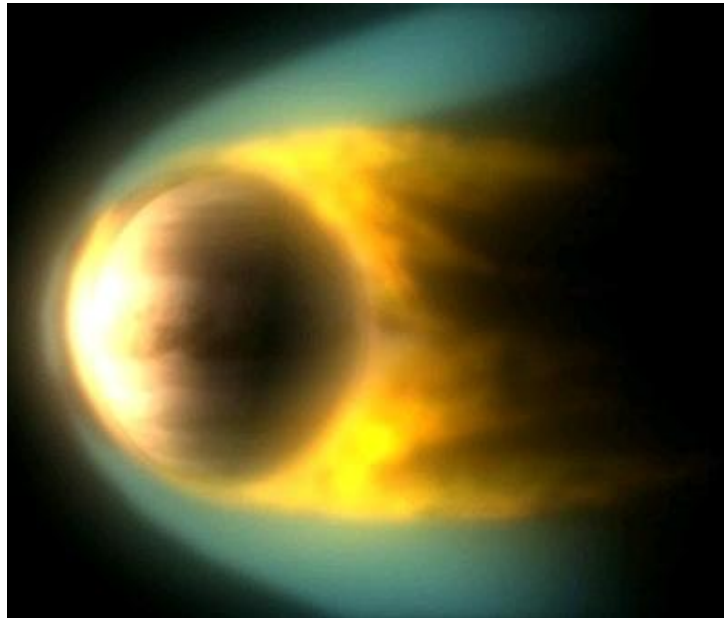


**Конференция Физика Плазмы в Солнечной Системе
Москва, 2014**

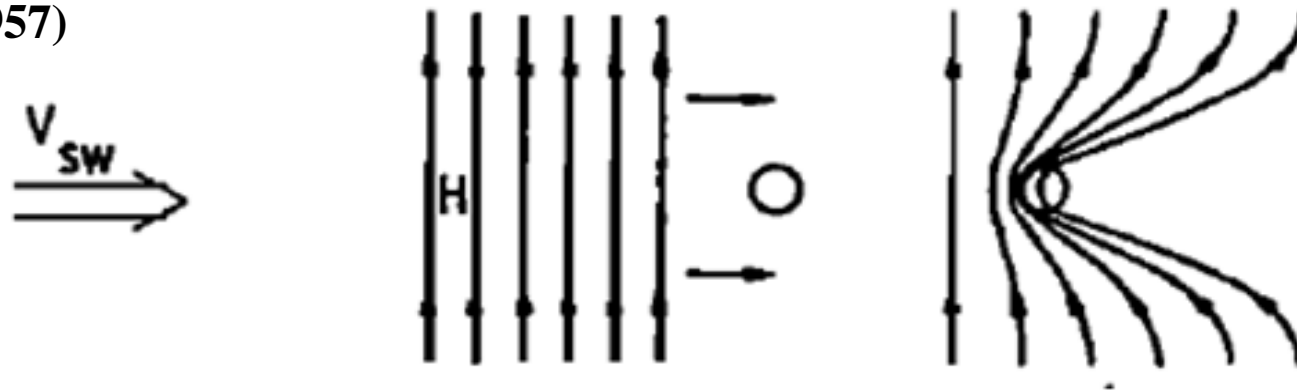
Оценка длины магнитосферного хвоста Венеры

Васько И., Зеленый Л.М., Попов В.Ю. (ИКИ)

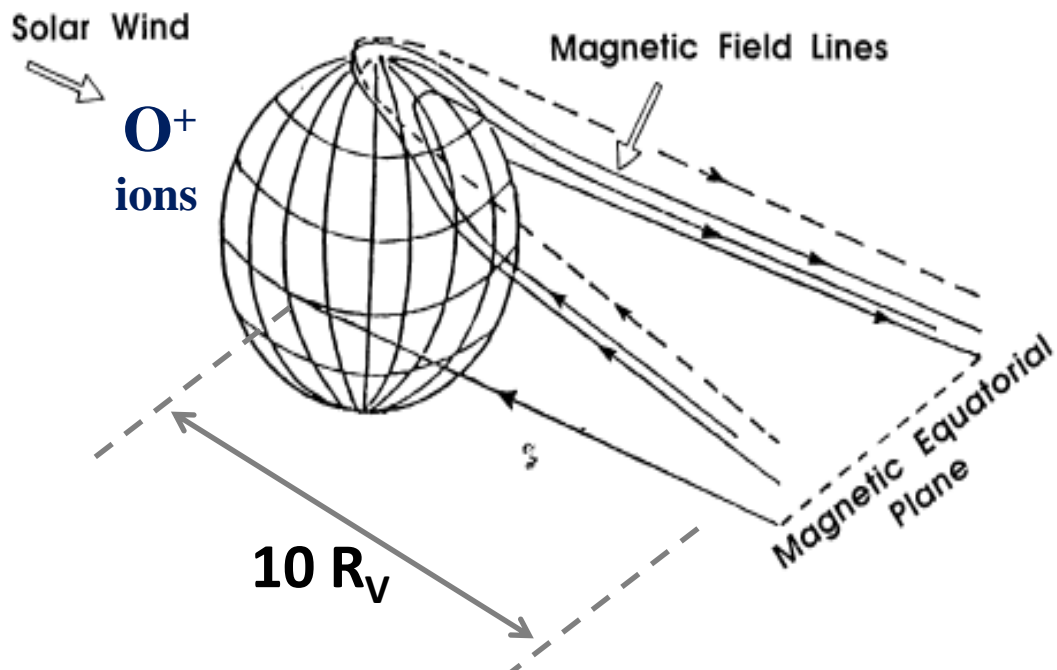


Формирование магнитосферного хвоста Венеры

(Alfven, 1957)



Магнитосферные хвосты комет. Деформация силовых трубок происходит за счет нагружения ионами в коме.

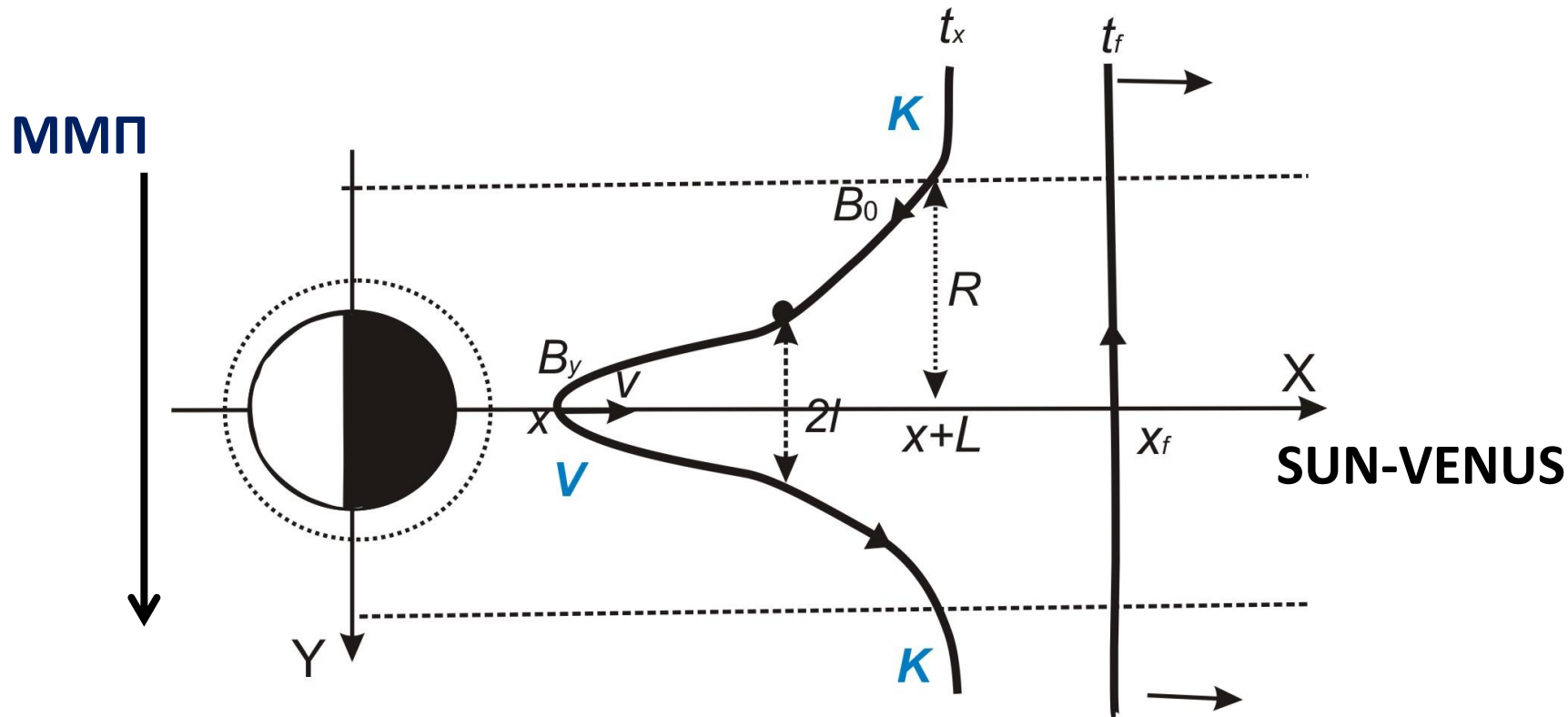


Торможение силовых трубок на магнитном барьере

Нагружение силовых трубок ионосферной плазме в области барьера

(Вайсберг, Зеленый, 1982)

Геометрия силовых трубок в магнитосферном хвосте



Вершина силовой трубки V движется вдоль нейтральной плоскости.

Концы K скользят вдоль границы магнитосферного хвоста.

Начальные условия для движения силовых трубок при $x_0=12 R_V$

$$B_y \sim 4 \text{ нТл} \quad B_0 \sim 15 \text{ нТл}$$

$$R = 2.5 R_V$$

$$L(x_0) \sim 10 R_V$$

$$v(x_0) \sim v_{sw} \sim 400 \text{ км/с}$$

Уравнение движения вершины силовой трубки

$$\rho(\mathbf{v}\nabla)\mathbf{v} = -\nabla\left(p + \mathbf{B}^2 / 8\pi\right) + (\mathbf{B}\nabla)\mathbf{B} / 4\pi$$

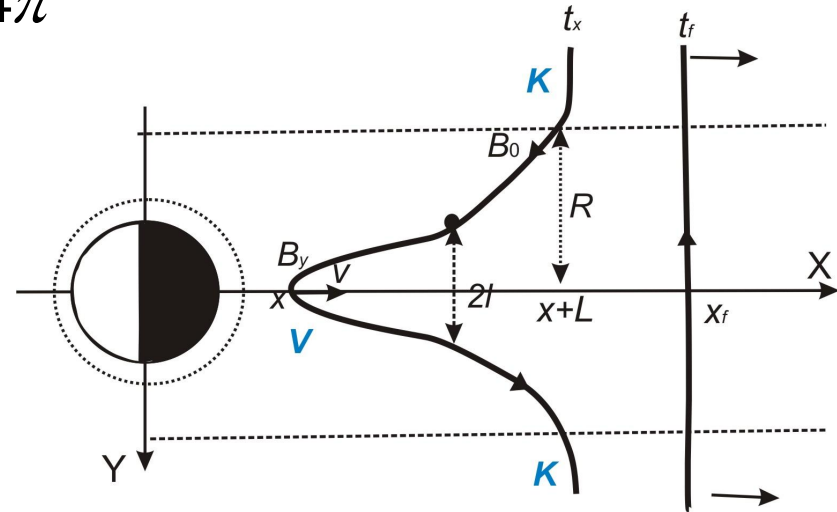
$$\operatorname{div}(\rho\mathbf{v}) = 0$$

$$c\mathbf{E} = -[\mathbf{v}\times\mathbf{B}]$$

$$\operatorname{div}\mathbf{B} = 0$$

$$y=0 \quad \downarrow \quad v_y = 0$$

$$\partial/\partial y \rightarrow 1/l$$



$$\rho v \partial_x v = -\partial_x p_0 + B_y B_0 / 4\pi$$

$$v(x) B_y(x) = v(x_0) B_y(x_0)$$

~~$$p_0 = p_b + B_0^2 / 8\pi$$~~

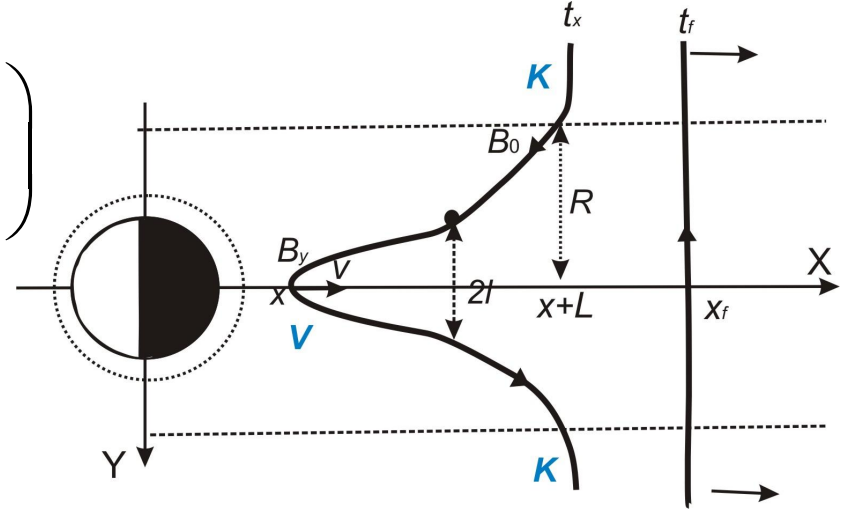
$$\int_{-R}^R \rho B_y^{-1} dy = \text{const}$$

$$B_0 R = B_y L$$

Уравнение для скорости вершины силовой трубки

$$\frac{1}{v_A^2(x_0)v(x_0)} \left(\frac{L^2 l}{R} \right) \frac{\partial v}{\partial x} = \frac{L}{v^2} - \frac{l}{2R} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{L^2}{v^2} \right)$$

$$L(x) = L(x_0) + \int_{x_0}^x (v_{sw} / v - 1) dx$$



Данная система рассматривается в двух предельных случаях
тонкий токовый слой: $l = 0.25 R_V$

широкий токовый слой: $l = R = 2.5 R_V$

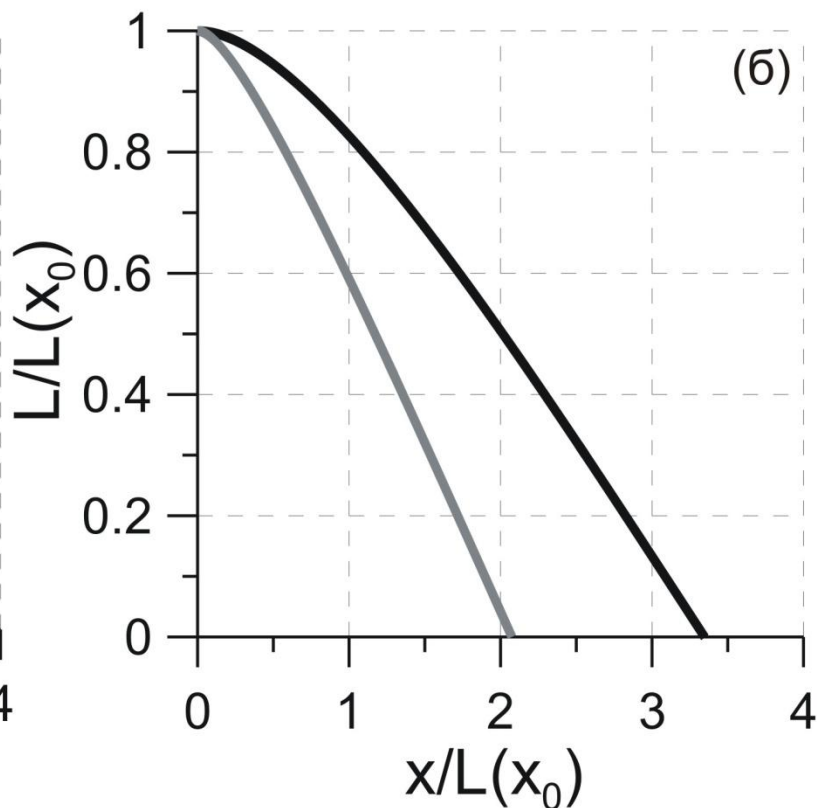
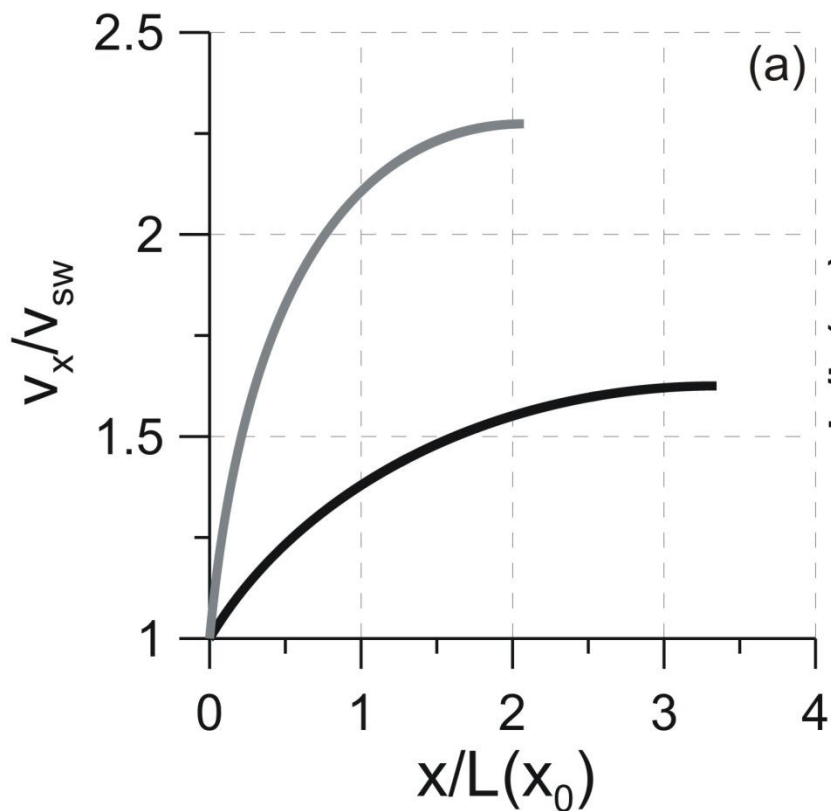
В точке распрямления силовой трубки

$$L(x_f) = 0 \quad v(x_f) > v_{sw}$$

Время распрямления силовой трубки

$$\Delta t = (x_f - x_0 - L(x_0)) / v_{sw}$$

Результаты расчета



широкий ТС

$$x_f \sim 44 R_V$$

$$v_f \sim 620 \text{ км/с}$$

$$\Delta t \sim 360 \text{ с}$$

тонкий ТС

$$x_f \sim 31 R_V$$

$$v_f \sim 920 \text{ км/с}$$

$$\Delta t \sim 160 \text{ с}$$

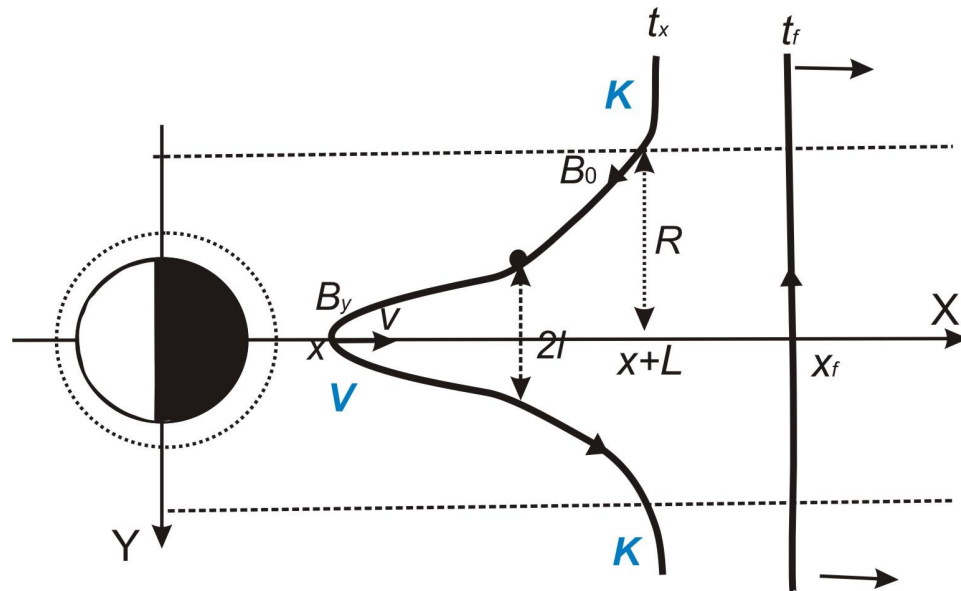
Влияние убегающих частиц на процесс распрямления трубки

$$\int_{-R}^R \rho B_y^{-1} dy = \text{const}$$

Верно в предположении, что частицы заперты между границами трубки

$$\sin^2 \mathcal{G} = \frac{B_y}{\sqrt{B_y^2 + B_0^2}} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + L^2(x)}}$$

\mathcal{G} - питч угол частицы в нейтральной плоскости

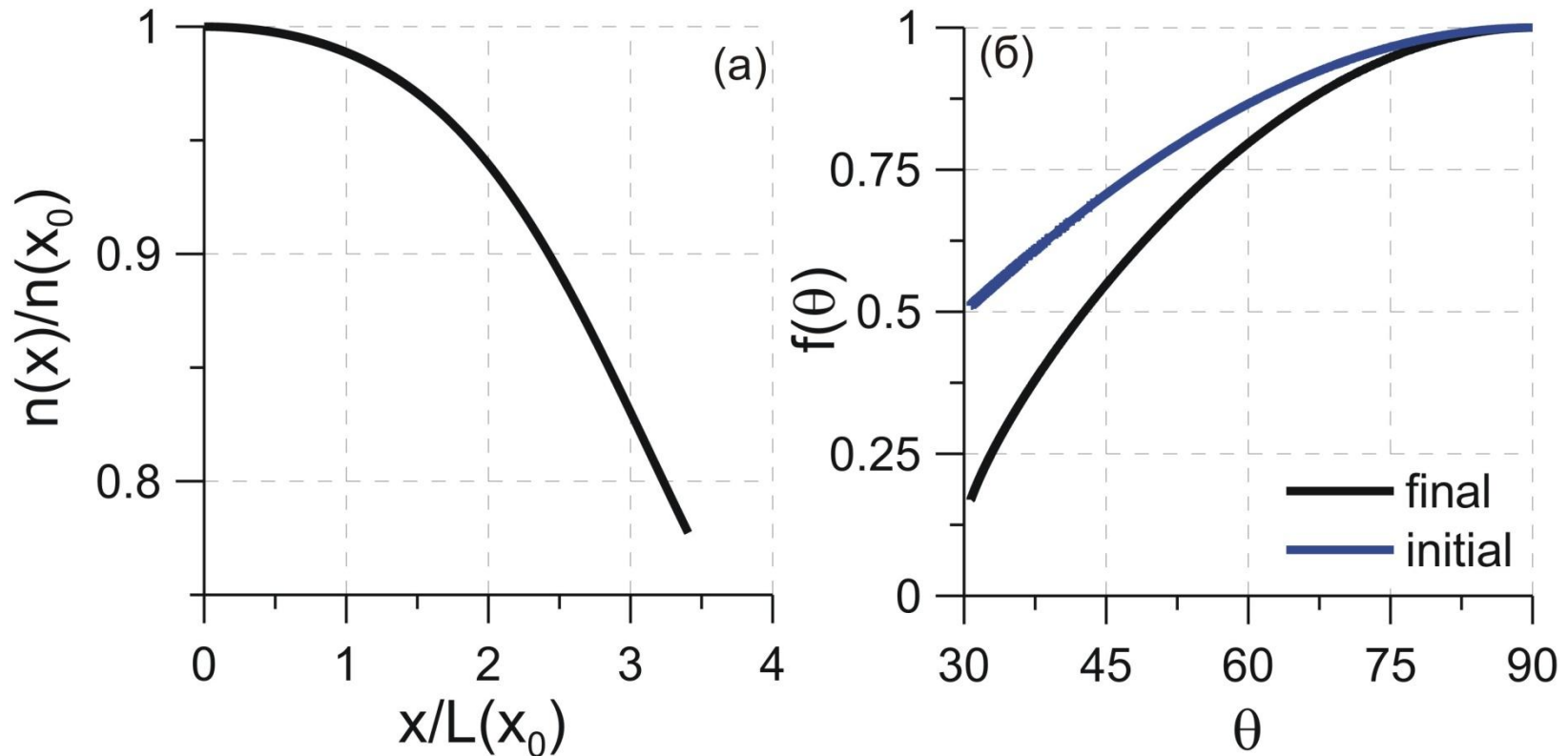


Время баунс колебаний $\sim 2L_0 / v_T \sim 500 \text{ с}$ ($v_T \sim 250 \text{ км/с}$)

Уравнение для скорости вершины трубки

$$\frac{n(x)}{v_A^2(x_0)v(x_0)} \left(\frac{L^2 l}{R} \right) \frac{\partial v}{\partial x} = \frac{L}{v^2} - \frac{l}{2R} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{L^2}{v^2} \right)$$

Результаты расчета для модели с широким ТС



Из трубки убегает не более 25% частиц

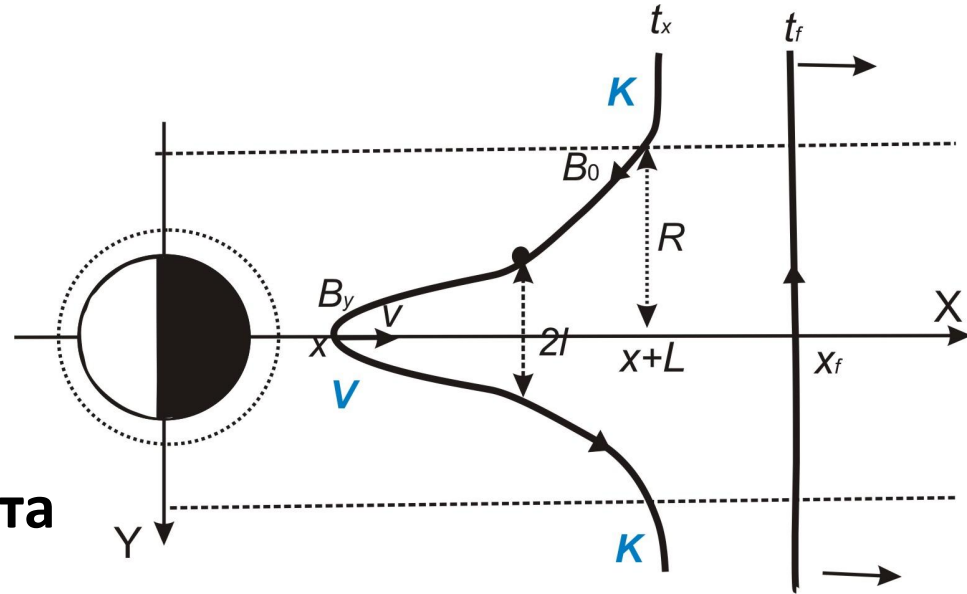
**Эффект убегания практически не влияет
на оценку длины и величину конечной
скорости вершины трубки**

Влияние затекающей в трубку плазмы магнитослоя

$$\Delta y = v_T \int \frac{R}{\sqrt{R^2 + L^2}} \frac{dx}{v}$$

$$(v_T \sim 40 \text{ км/с})$$

Интеграл берется от x_0 до момента распрямления трубки



широкий ТС

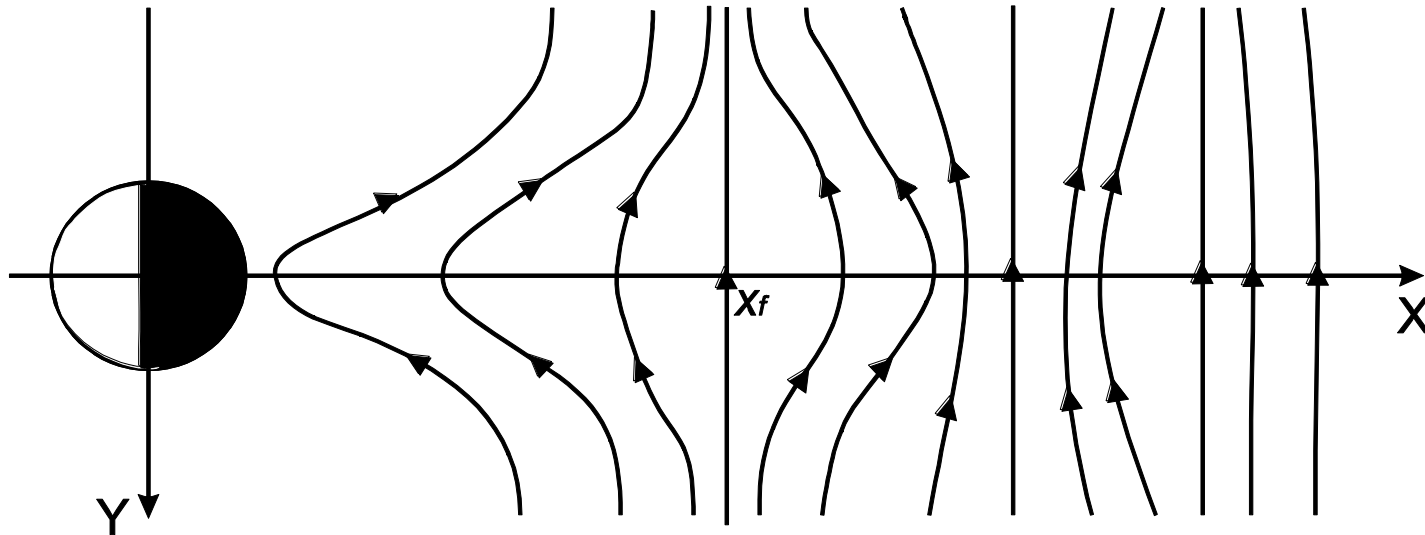
$$\Delta y \sim 1.8 R_V$$

тонкий ТС

$$\Delta y \sim 1 R_V$$

Плазма магнитослоя не заполняет трубку за время ее распрямления

Структура магнитосферного хвоста при $x > x_f$



широкий ТС $v_f \sim 620$ км/с

тонкий ТС $v_f \sim 920$ км/с

За точкой распрямления силовая трубка совершается колебания альфвеновского типа. Колебания являются затухающими за счет затекания плазмы магнитослоя.

Выводы

На основе простой МГД модели дана оценка длины магнитосферного хвоста Венеры

Показано, что длина магнитосферного хвоста лежит в диапазоне от $30 R_V$ до $40 R_V$.