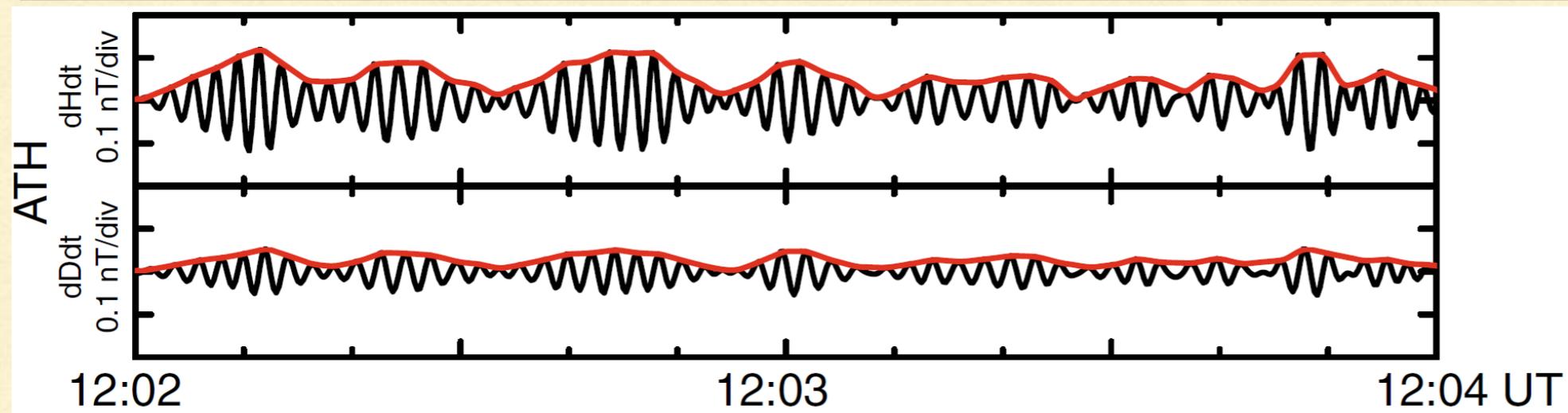




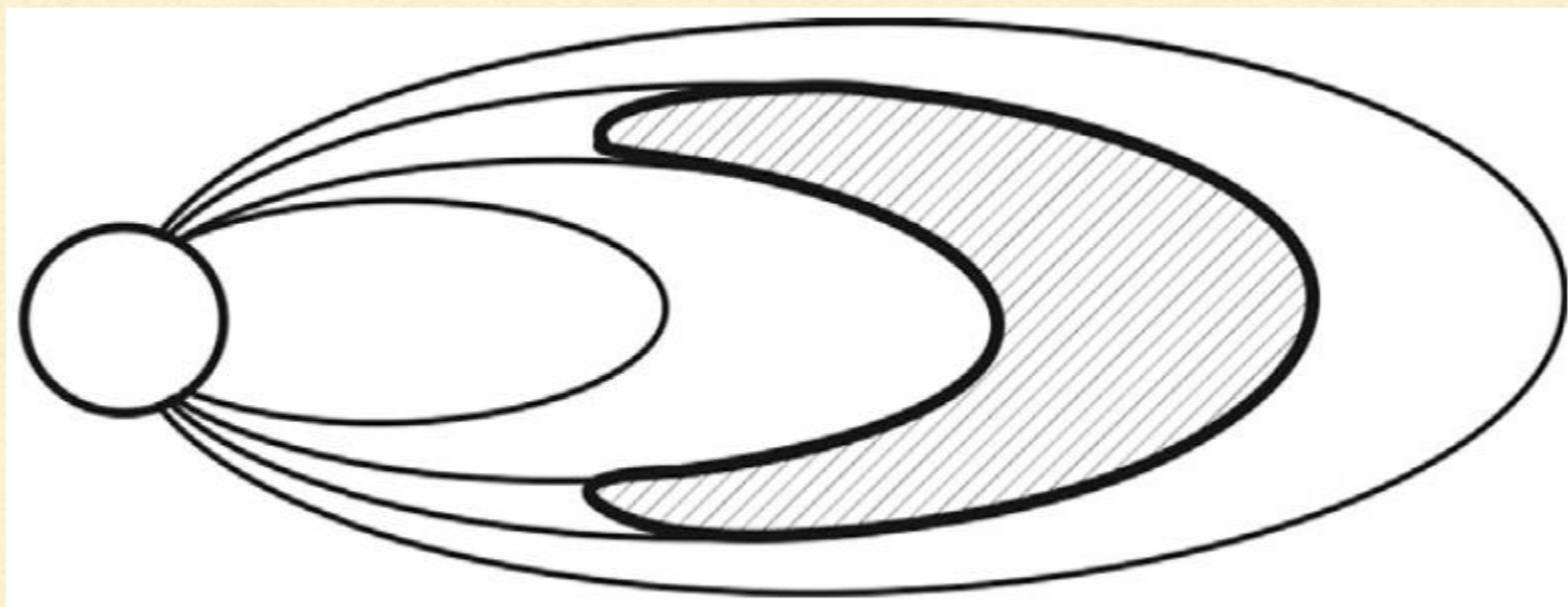
ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА ИОННО-ИОННЫХ ГИБРИДНЫХ ВОЛН ДИАПАЗОНА РС1 В МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ МАГНИТОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЕ

Ольга Михайлова,
Д.Ю. Климушкин, П.Н. Магер

ПУЛЬСАЦИИ РС1



Liu et al., 2016



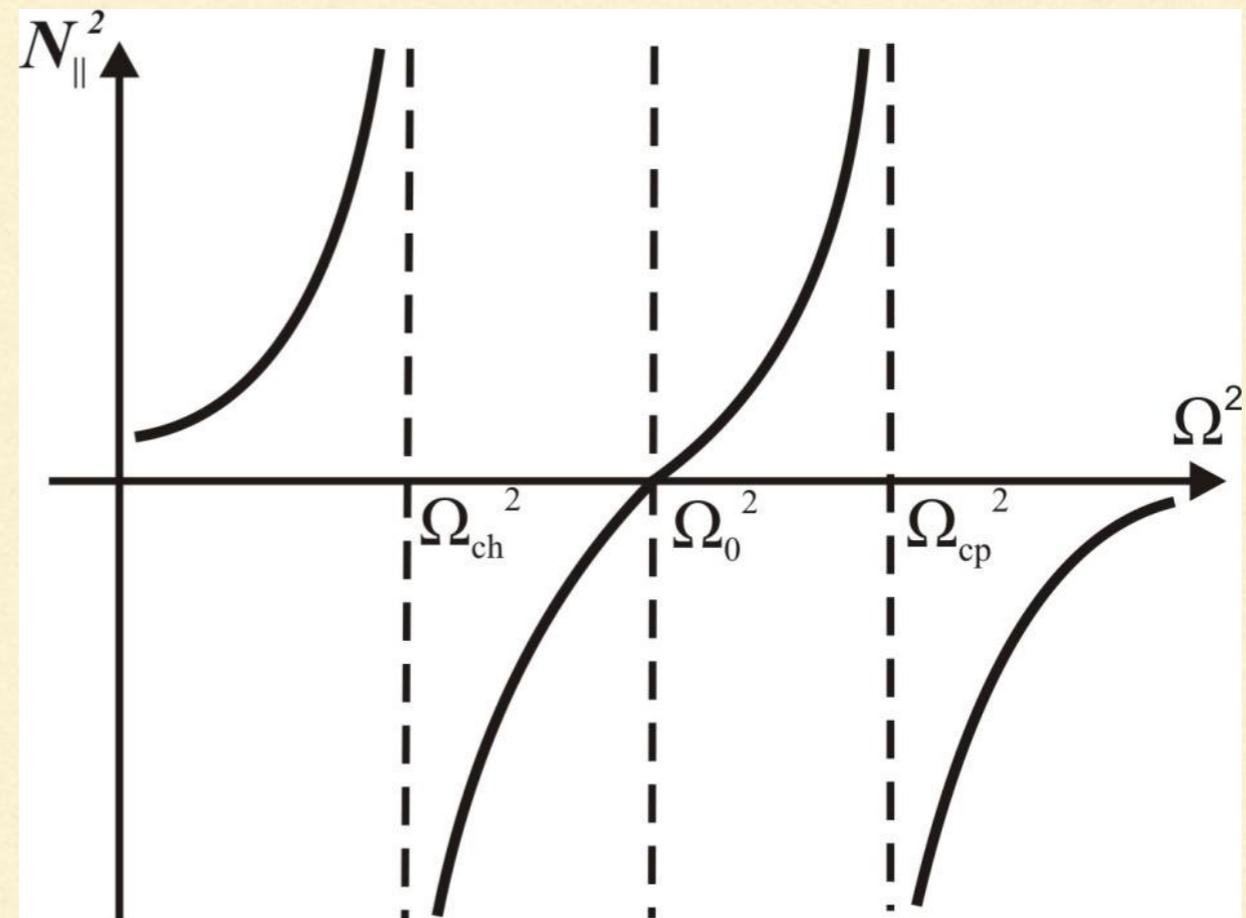
ПОДХОДЫ

- Квазипродольное приближение → круговая поляризация

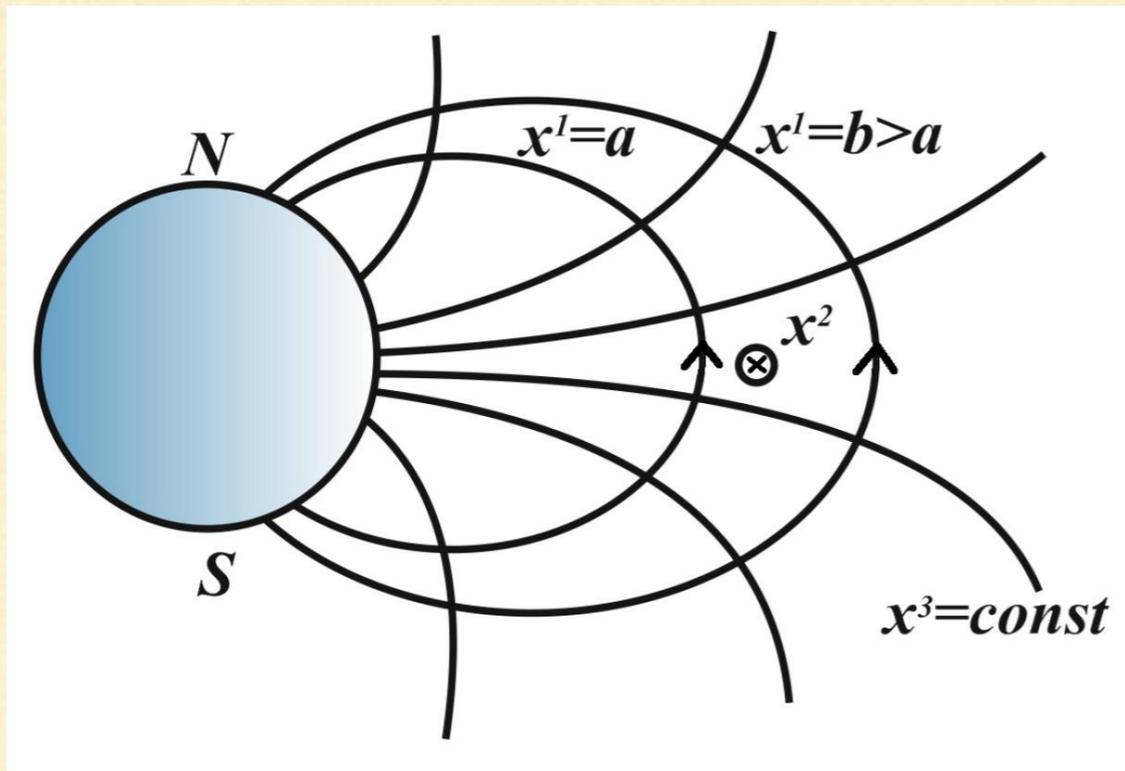
$$k_{\parallel} \rightarrow \infty$$

- Квазипоперечное приближение → линейная поляризация

$$k_{\perp} \rightarrow \infty$$



СИСТЕМА КООРДИНАТ И ОСНОВНЫЕ УРАВНЕНИЯ



$$\varepsilon_{\parallel} \rightarrow -\infty,$$

$$\varepsilon_{\perp} = \frac{\Omega_{pp}^2}{\Omega_{cp}^2 - \omega^2} + \frac{\Omega_{ph}^2}{\Omega_{ch}^2 - \omega^2},$$

$$\eta = \frac{\Omega_{pe}^2}{\omega \Omega_{ce}} - \frac{\Omega_{cp}}{\omega} \frac{\Omega_{pp}^2}{\Omega_{cp}^2 - \omega^2} - \frac{\Omega_{ch}}{\omega} \frac{\Omega_{ph}^2}{\Omega_{ch}^2 - \omega^2}$$

$$\nabla \times \nabla \times \vec{E} = \frac{\omega^2}{c^2} \hat{\varepsilon} \vec{E}$$

$$\vec{E} = -\nabla_{\perp} \Phi + \nabla_{\perp} \times \vec{e}_{\parallel} \Psi$$

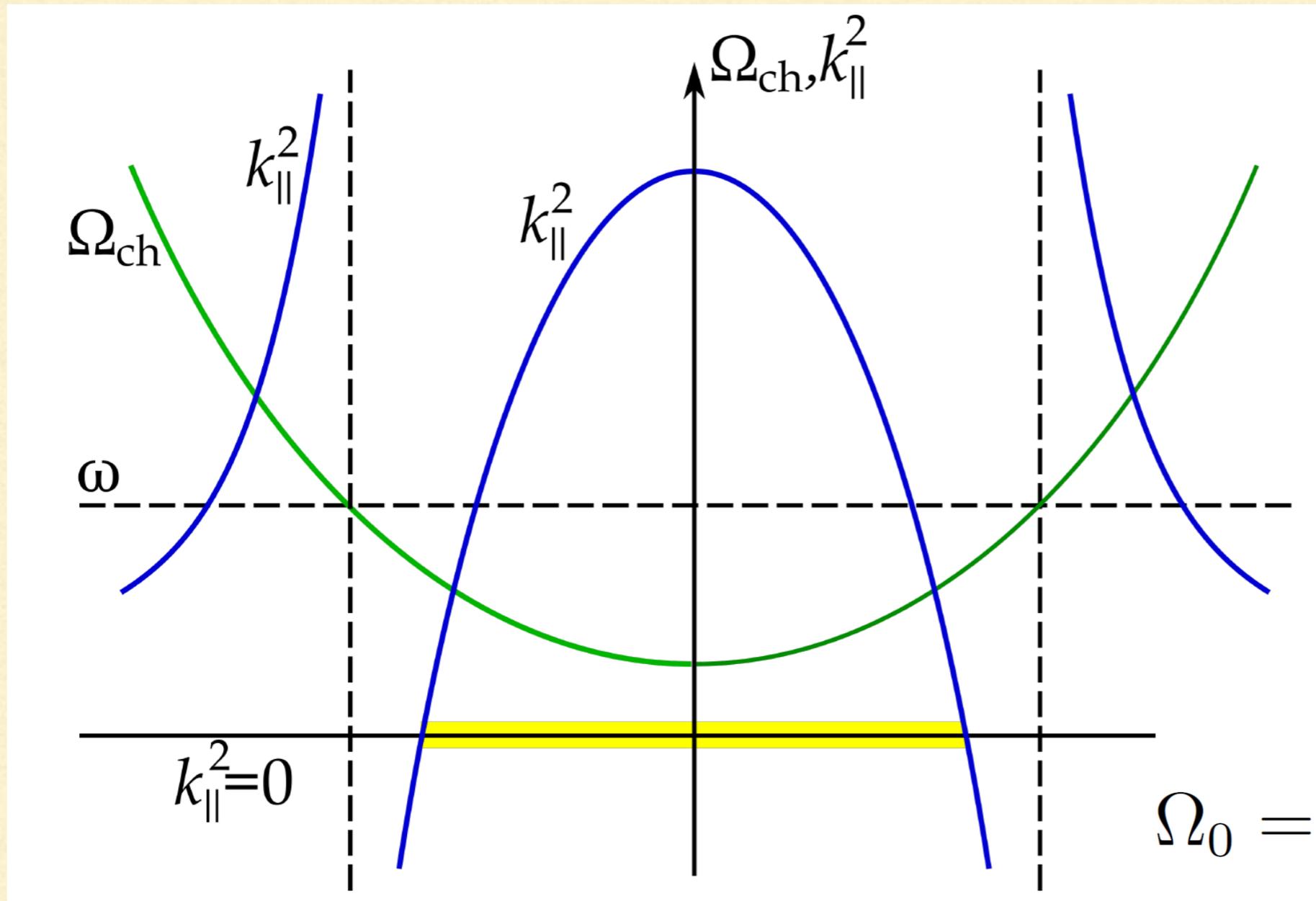
УРАВНЕНИЕ ДЛЯ ИОННО-ИОННЫХ ГИБРИДНЫХ ВОЛН

$$\partial_1 \hat{L}_T(\omega) \partial_1 \Phi + \partial_2 \hat{L}_P(\omega) \partial_2 \Phi = 0$$

$$\hat{L}_T = \partial_3 \frac{g_2}{\sqrt{g}} \partial_3 + \frac{\sqrt{g}}{g_1} \varepsilon_{\perp} \frac{\omega^2}{c^2}$$

$$\hat{L}_P = \partial_3 \frac{g_1}{\sqrt{g}} \partial_3 + \frac{\sqrt{g}}{g_2} \varepsilon_{\perp} \frac{\omega^2}{c^2}$$

ЭКВАТОРИАЛЬНЫЙ РЕЗОНАТОР



$$\Omega_0 = \Omega_{ch} \sqrt{\frac{\frac{\rho_p}{\rho_h} + 1}{\frac{\rho_p}{\rho_h} + \frac{m_p^2}{m_h^2}}}$$

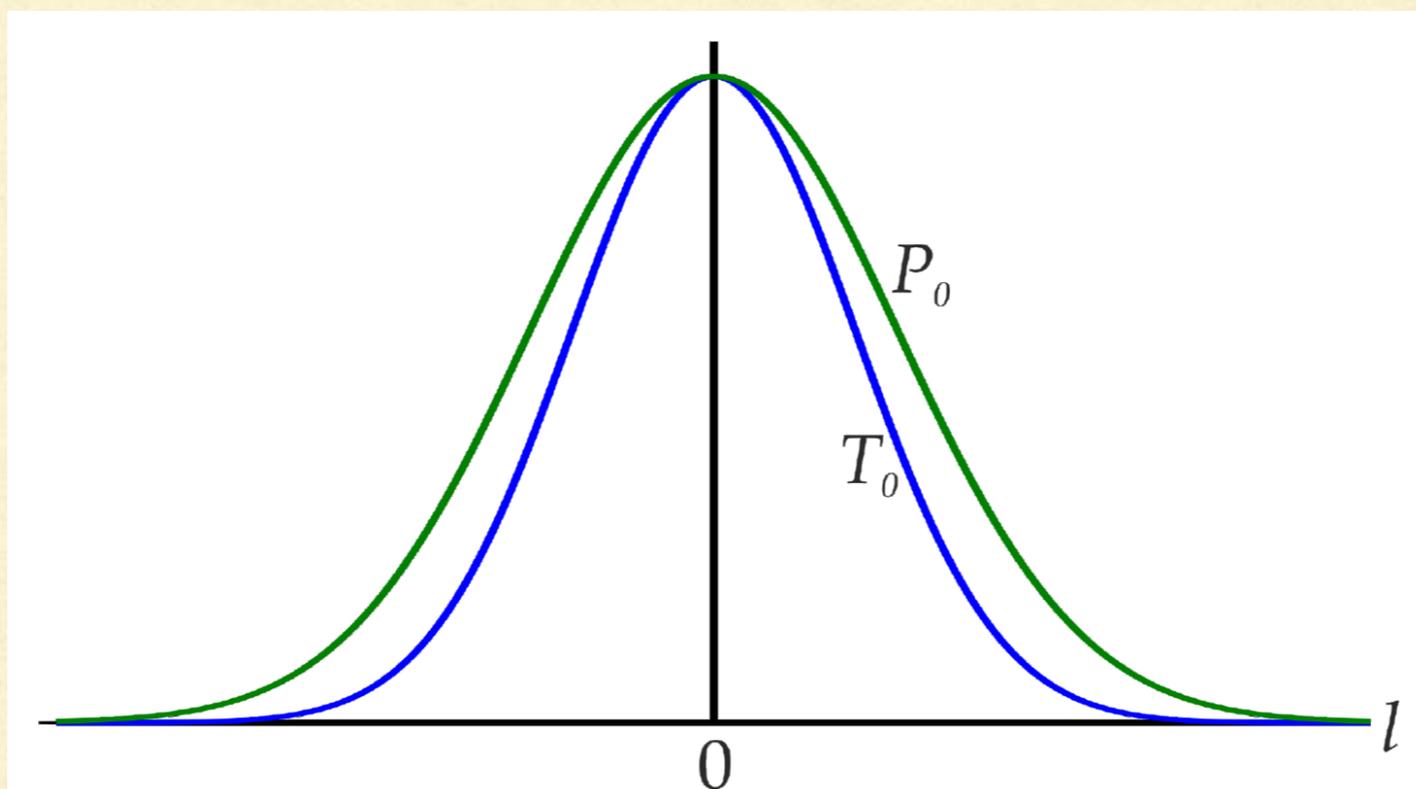
ДВЕ МОДЫ ИОННО-ИОННЫХ ГИБРИДНЫХ ВОЛН

$$\hat{L}_T(\omega)T_N(x^3) = 0$$

$$\frac{\partial^2}{\partial l^2}T + \frac{3l}{L^2}\frac{\partial}{\partial l}T + \kappa_{eq}^2T + \frac{1}{2}\frac{\partial^2\kappa_{eq}^2}{\partial l^2}l^2T = 0$$

$$\hat{L}_P(\omega)P_N(x^3) = 0$$

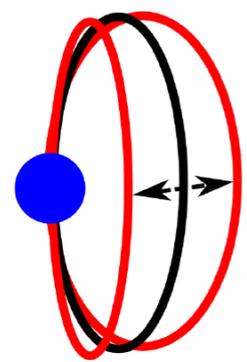
$$\frac{\partial^2}{\partial l^2}P - \frac{3l}{L^2}\frac{\partial}{\partial l}P + \kappa_{eq}^2P + \frac{1}{2}\frac{\partial^2\kappa_{eq}^2}{\partial l^2}l^2P = 0$$



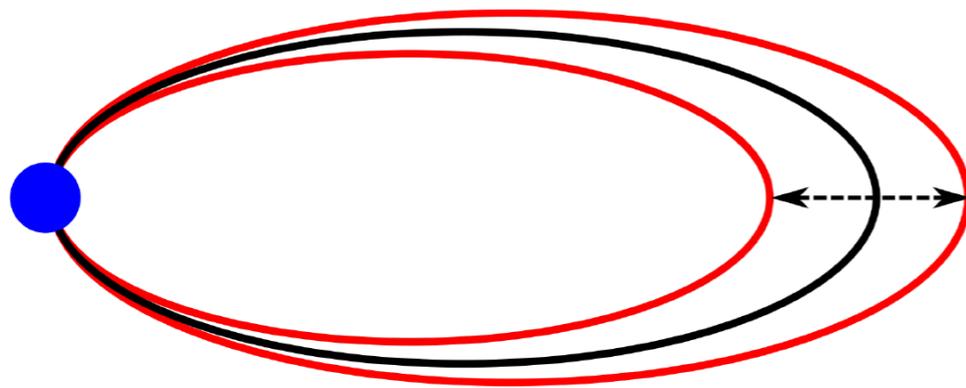
ДВЕ МОДЫ ИОННО-ИОННЫХ ГИБРИДНЫХ ВОЛН

$$\Omega_{TN}^2 = 2\Omega_{ch}^2 \frac{\rho_h}{\rho_p} (3N + 2) + \frac{3A_p^2}{L^2} (N + 1)$$

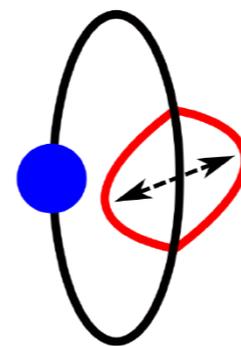
$$\Omega_{PN}^2 = 2\Omega_{ch}^2 \frac{\rho_h}{\rho_p} (3N + 2) + \frac{3NA_p^2}{L^2}$$



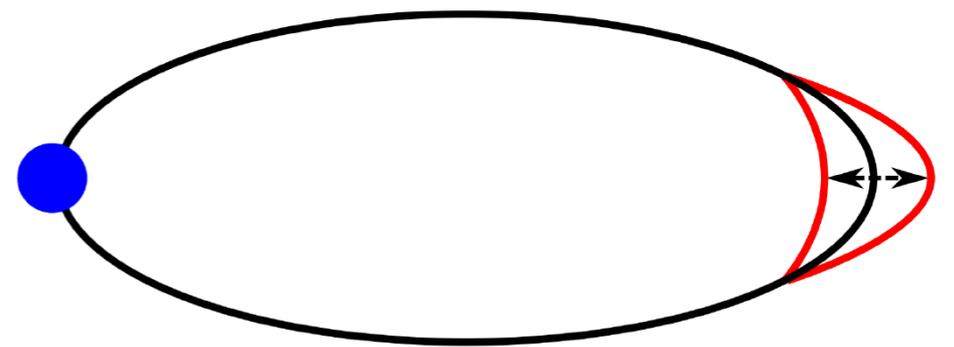
Toroidal



Poloidal

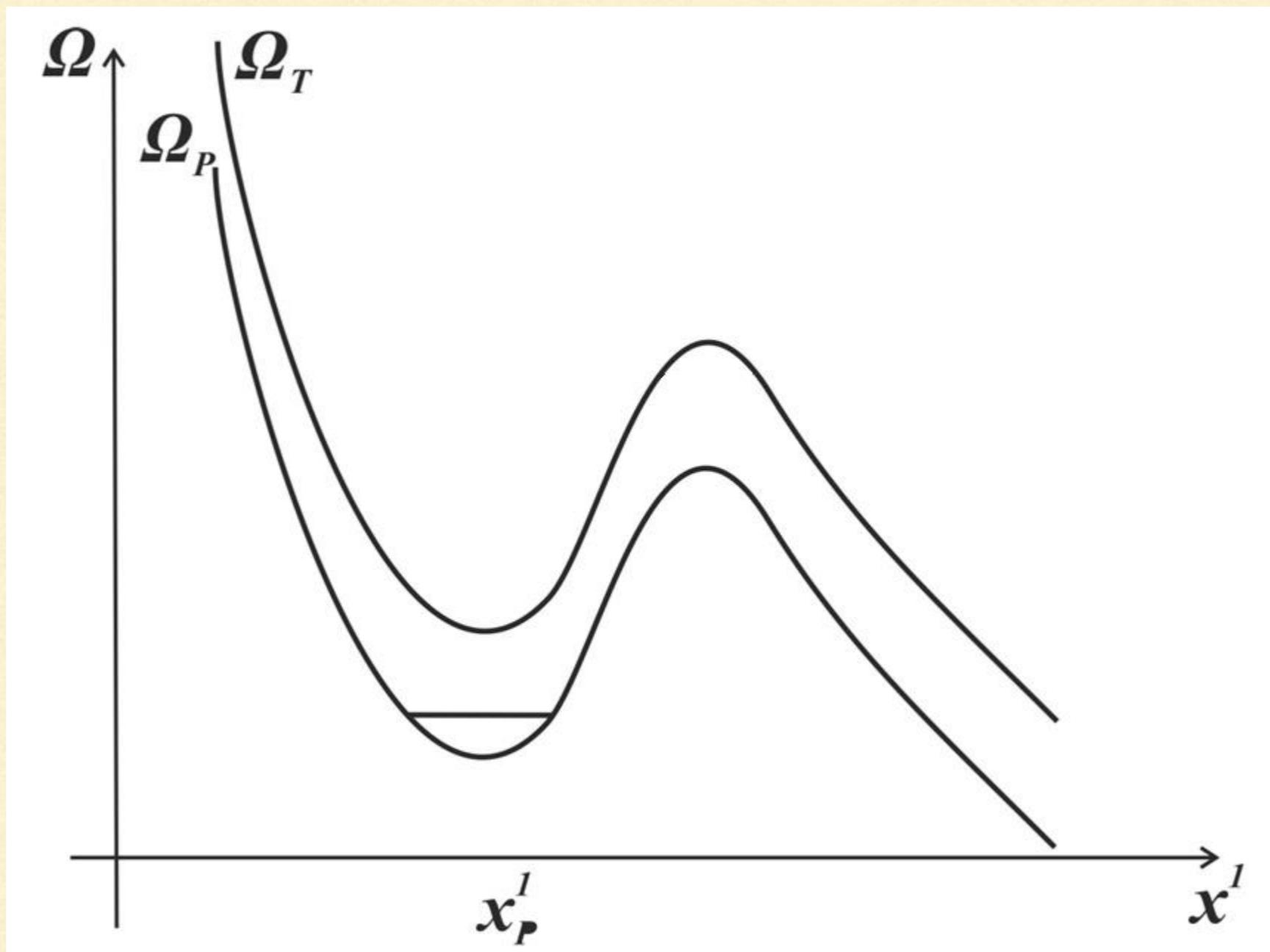


Toroidal



Poloidal

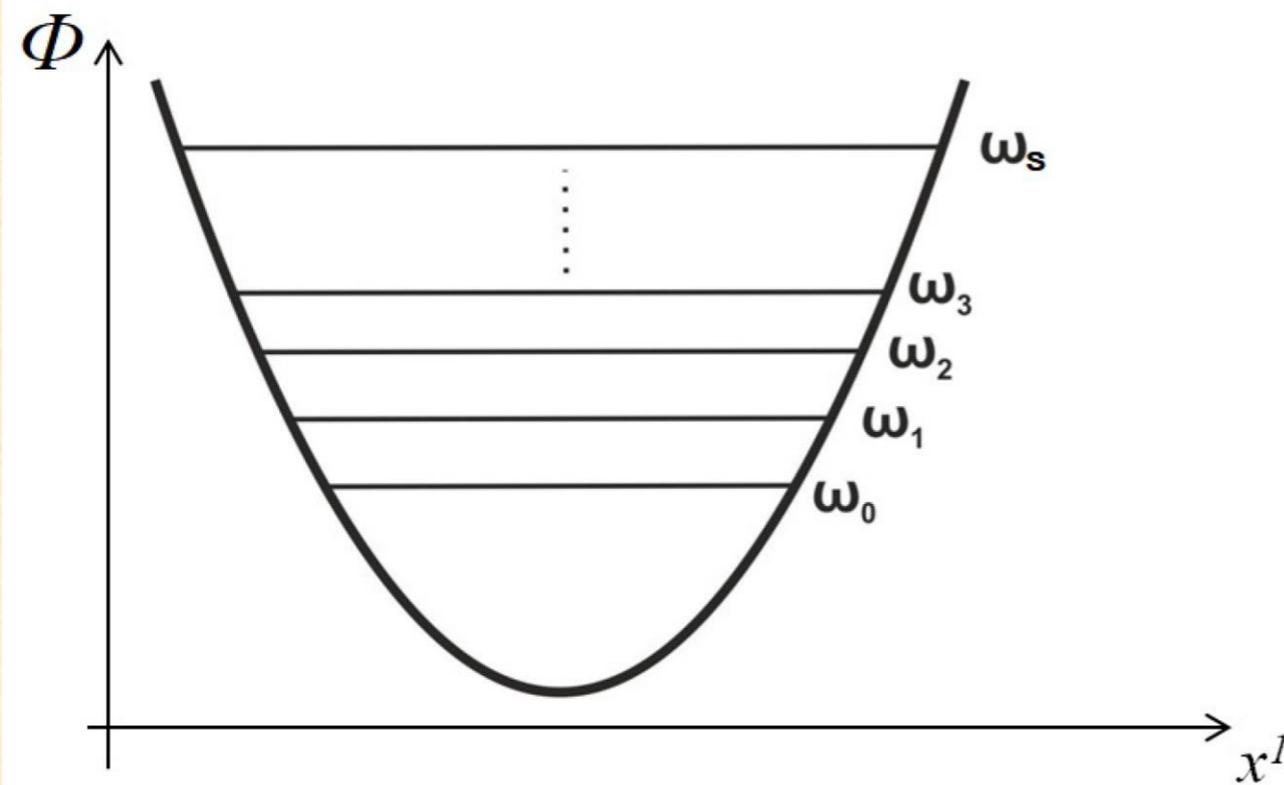
ПОПЕРЕЧНАЯ СТРУКТУРА



ПОПЕРЕЧНАЯ СТРУКТУРА И ЧАСТОТА

$$f_n(\xi) = \pi^{-1/4} 2^{-n/2} (n!)^{-1/2} H_n(\xi) e^{-\xi^2/2}$$

$$\omega_n^2 = \Omega_P^2 + \frac{\sqrt{3} A_p \Omega_P}{m l_{\perp} \sqrt{\varrho}} (2n + 1)$$



$$\Delta x(m) = 2 \sqrt{\frac{\sqrt{3} A_p l_{\perp}}{m \Omega_P \sqrt{\varrho}} (2n + 1)}$$

$$\omega \approx 1.7c^{-1}$$

$$\Delta x \approx 0.3R_E$$

$$m \sim 10$$

РЕЗУЛЬТАТЫ

- Ионно-ионные гибридные волны могут быть полоидальными и тороидальными, подобно альфвеновским волнам
 - В отличие от альфвеновских волн, колебания сосредоточены в экваториальной части силовой линии
 - Структура и частоты тороидальной и полоидальной гармоник слегка отличаются друг от друга
 - В поперечном направлении волна также может быть заперта в резонаторе вблизи полоидальной поверхности
-



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!
