

# Ионная теплопроводность В оболочках нейтронных звёзд

А.И. Чугунов

*ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург*

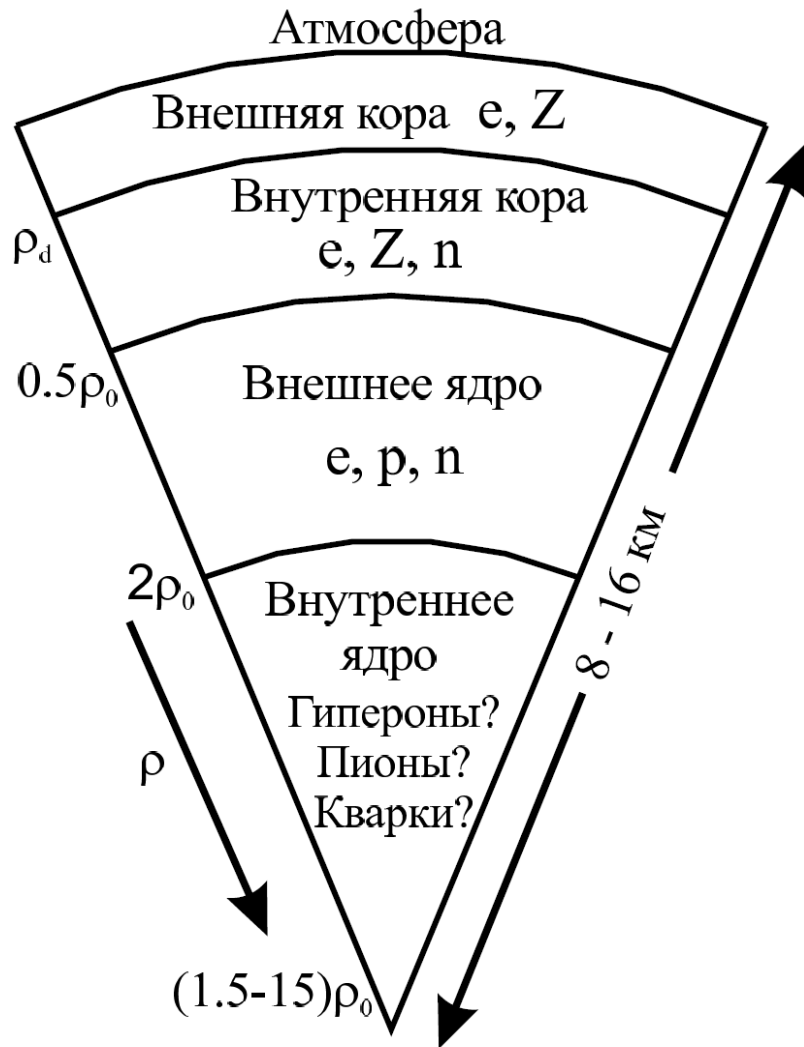
Р. Haensel

*N. Copernicus Astronomical Center, Warsaw*

**MNRAS, 381 (2007), 1143-1153**

Научно-координационная сессия  
"Исследования неидеальной плазмы"  
4 - 5 декабря 2007 г., Москва

# Нейтронные звёзды и параметры вещества в их оболочках



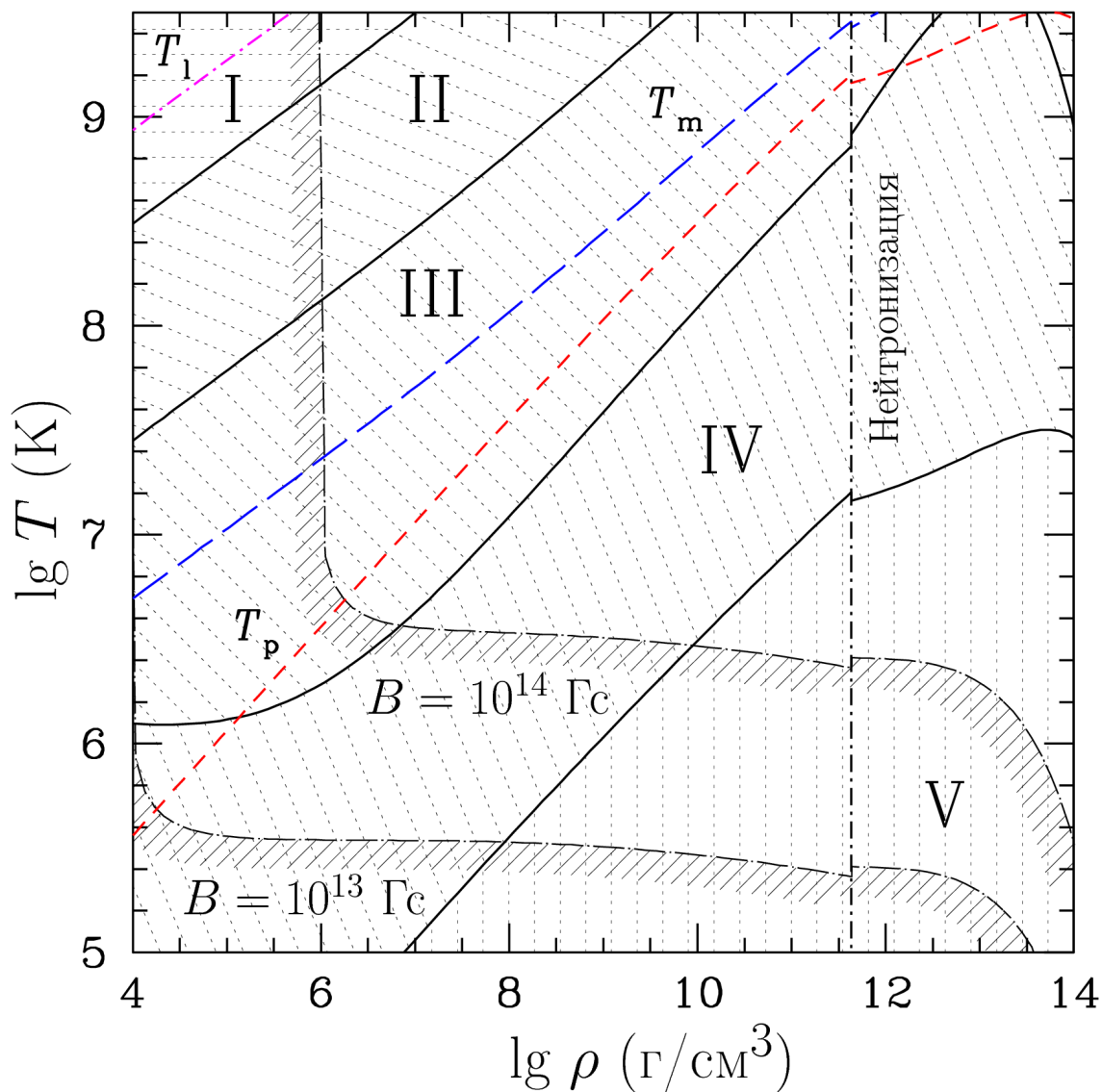
$$\Gamma = \frac{Z^2 e^2}{a k_B T} \approx \frac{22.75 Z^2}{T_6} \left( \frac{\rho_6}{A} \right)^{1/3}$$

$$a = \left( \frac{3}{4\pi n_i} \right)^{1/3}$$

$$T_p = \frac{\hbar \omega_p}{k_B} \approx 7.832 \cdot 10^6 \left( \frac{Z}{A} \right) \rho_6^{1/2} \text{ К}$$

$$\omega_p = \sqrt{\frac{4\pi Z^2 e^2 n_i}{m_i}}$$

# Режимы ионной теплопроводности



Режим	Состояние ионов	Основной механизм рассеяния
I	Слабо связанные ионы	ii
II	Жидкость	ii
III	Кристалл	ii
IV	Квантовый кристалл	ie
V	Очень холодный квантовый кристалл	ie

# Ион-ионное рассеяние

$$\kappa_0 = k_B \omega_p n_i a_i^2$$

Газ

$$\kappa_{ii}^I = 3.9 \frac{n_i \tau_{ii}^I k_B^2 T}{m_i} \approx 4\kappa_0 \Gamma^{-5/2} / \Lambda_{ii} \quad \tau_{ii}^I = \frac{3 m_i^{1/2} (k_B T)^{3/2}}{4\pi^{1/2} (Ze)^4 n_i \Lambda_{ii}}$$

$$\Lambda_{ii} = \ln [1/(\sqrt{3}\Gamma^{3/2})] \quad \text{Брагинский С.И., 1963, Вопросы физики плазмы, вып. 1}$$

Жидкость

$$\kappa_{ii}^{II} = \kappa_* \kappa_0 \approx 0.4 \kappa_0$$

Bernu B., Vieillefosse P., 1978, Phys. Rev. A, 18, 2345

Pierleoni C., Ciccotti G., Bernu B., 1987, Europhysics Letters, 4, 11

Классический  
Кристалл

$$\kappa_{ii}^{\text{cl latt}} \approx \frac{m_i n_i c_s^3 a_i}{\gamma^2 T} \approx \frac{\Gamma}{77} \kappa_0$$

$$k_i \approx \frac{1}{3} C_i n_i c_s L_{\text{ph}} \quad L_{\text{ph}} \approx 20 a_i \frac{\Gamma}{\Gamma_m}$$

Займан Дж., 1962,  
Электроны и  
фононы.

Кристалл

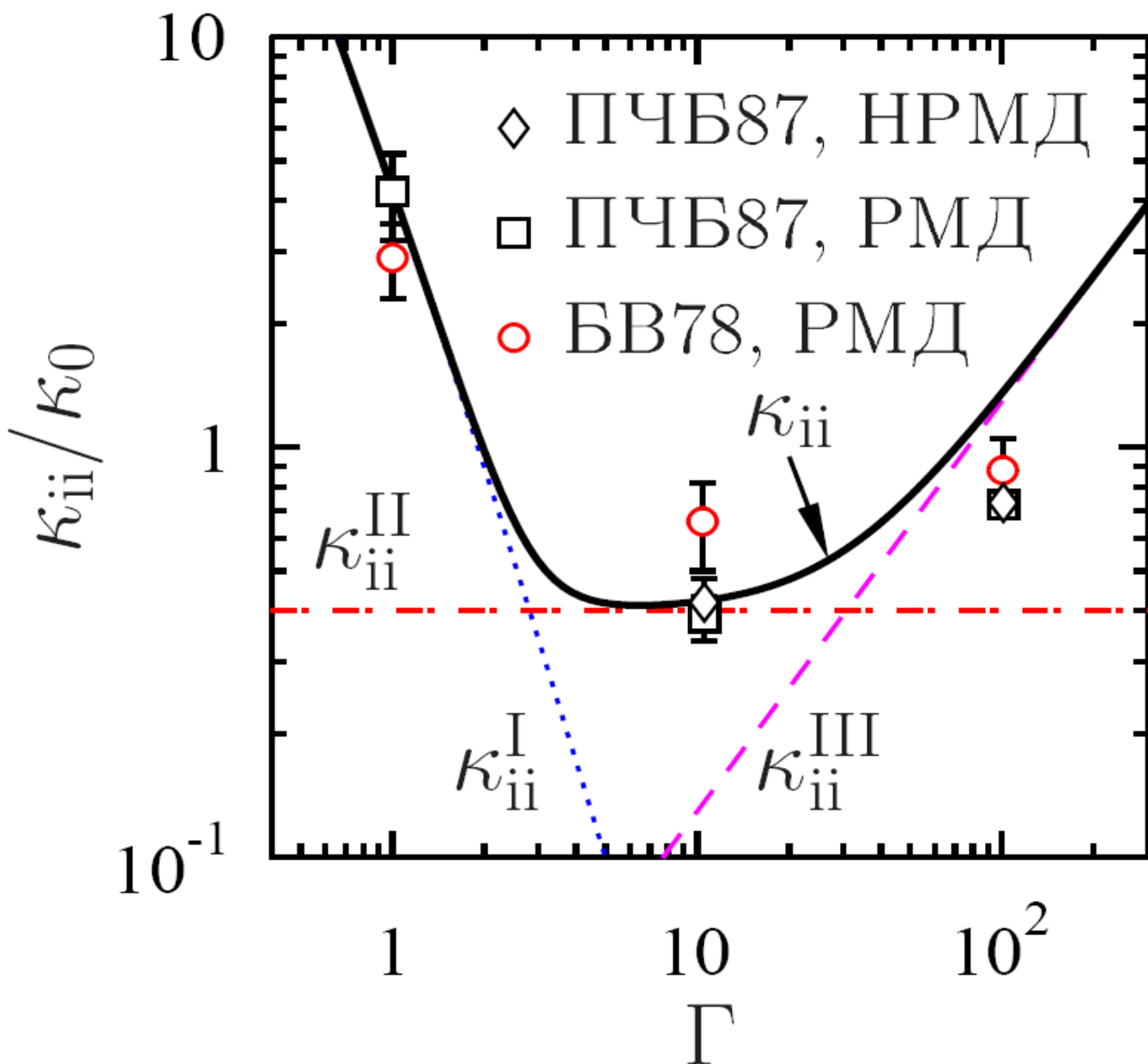
$$\kappa_{ii}^{\text{III-V}} \approx \kappa_{ii}^{\text{cl latt}} \exp(\beta T_p / T)$$

Chugunov A.I.,  
Haensel P.,  
MNRAS, 2007

Научно-координационная сессия "Исследования неидеальной плазмы"

4 - 5 декабря 2007 г., Москва

# Ион-ионное рассеяние



$$\kappa_{ii} = \left\{ \left( \kappa_{ii}^I \right)^2 + \left( \kappa_{ii}^{II} \right)^2 + \left( \kappa_{ii}^{III-V} \right)^2 \right\}^{1/2}$$

# Ион-электронное рассеяние

$$\kappa_{\text{phe}} = \left( \frac{k_{\text{B}} c}{3 Z e} \right)^2 T \tilde{\sigma}$$

$$\tilde{\sigma} = \frac{e^2 n_e \tilde{\tau}_\sigma}{m_e^*}, \quad \tilde{\tau}_\sigma = \frac{p_{\text{F}}^2 v_{\text{F}}}{4\pi Z^2 e^2 n_i \tilde{\Lambda}_e}$$

$$\begin{aligned} \tilde{\Lambda}_e &= \frac{2 p_{\text{F}}^2}{m_i k_{\text{B}} T} \int \frac{d\Omega_{\mathbf{k}}}{4\pi} \int \frac{d\Omega_{\mathbf{k}'}}{4\pi} |u(q)|^2 \left[ 1 - \frac{v_{\text{F}}^2}{c^2} \left( \frac{q}{2k_{\text{F}}} \right)^2 \right] \times \\ &\times Q^2 \exp[-2W(q)] \sum_s (\mathbf{q} \cdot \mathbf{e}_\nu)^2 \frac{\exp(-z_\nu)}{[1 - \exp(-z_\nu)]^2} \end{aligned}$$

# Ион-электронное рассеяние: аппроксимация

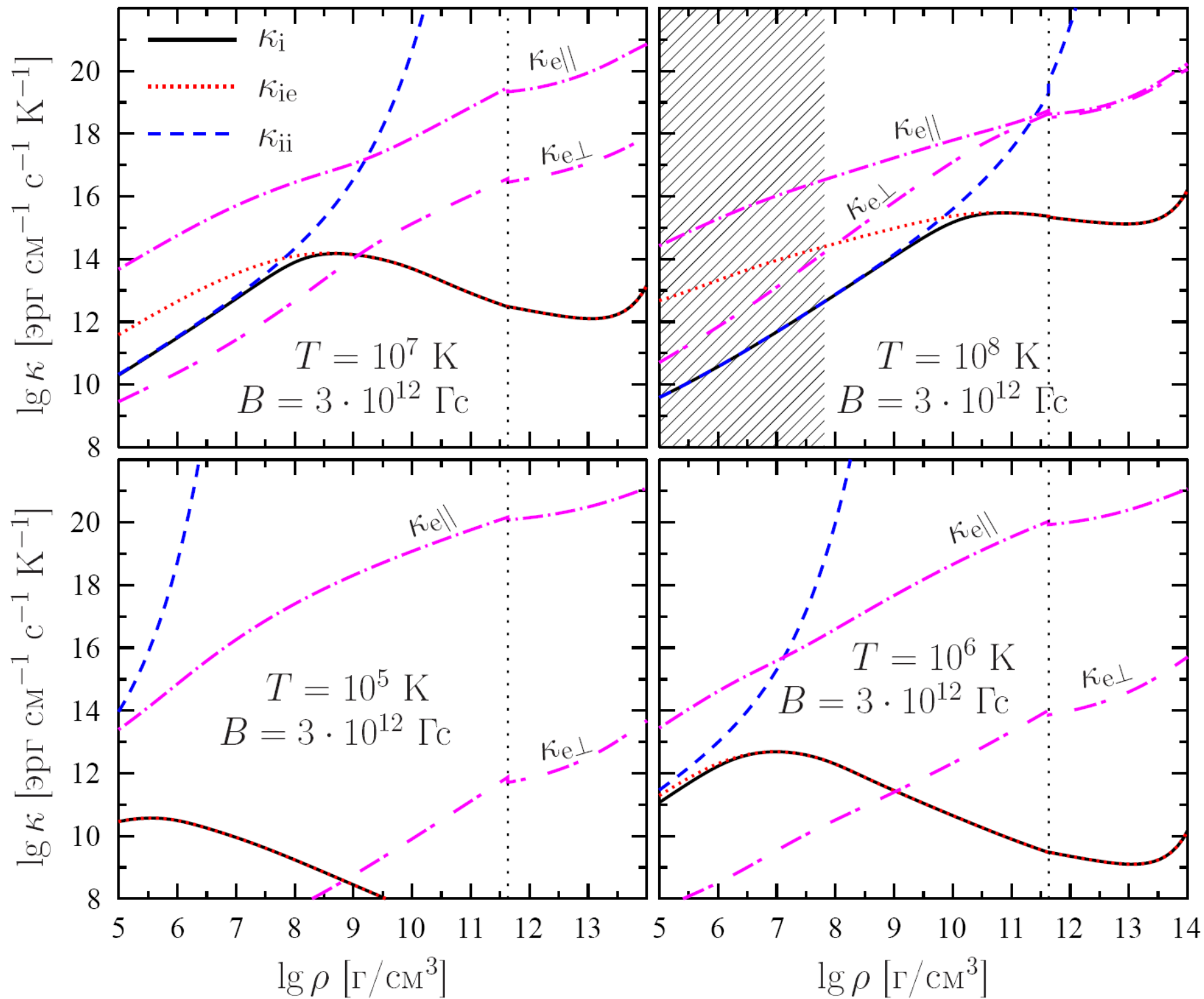
$$k_{ie} = \frac{1}{3} C_i n_i c_s L_{ph}^{ie} \quad c_s = \omega_p / (3q_{BZ})$$

$$L_{ph}^{ie} = \frac{3}{2} \frac{m_i \omega_p p_F^2 v_F}{Z^2 e^4 m_e^* q_{BZ} n_e} \frac{F(\theta)}{\Lambda_{phe}}$$

$$\approx \frac{300 a_i}{(1 + x_r^2) \Lambda_{phe}} \frac{26}{Z} \frac{F(\theta)}{0.01} \left( \frac{A \rho_6}{A'} \right)^{1/2}$$

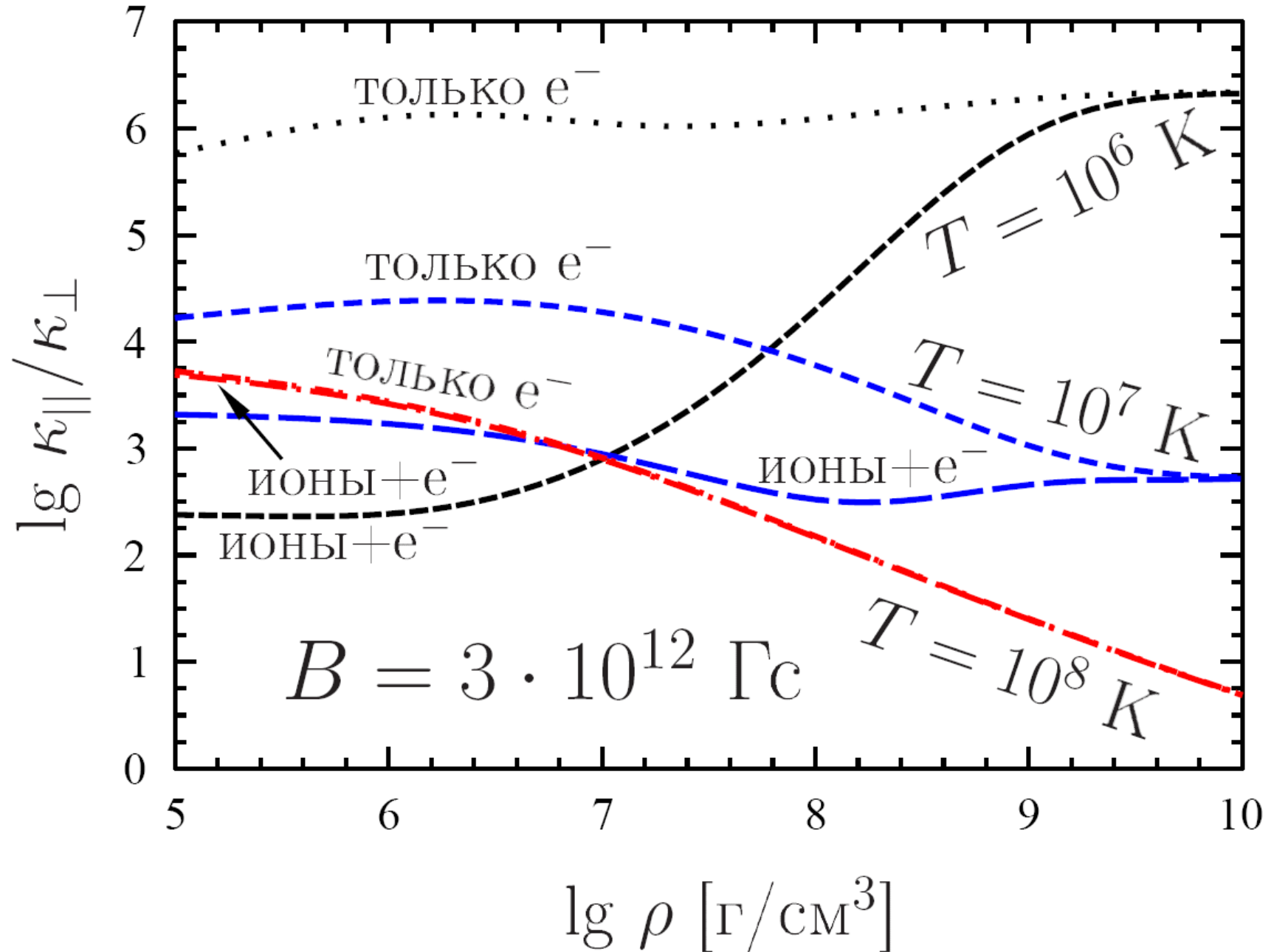
$$F(\theta) = 0.014 + \frac{0.03}{\exp(\theta/5) + 1}$$

$$\Lambda_{phe} \approx \ln \left( \frac{2 k_F}{q_{BZ}} \right) - \frac{v_F^2}{2c^2} \left( \frac{q_{BZ}^2}{4 k_F^2} - 1 \right)$$





# Анизотропия теплопроводности в замагниченных оболочках нейтронных звезд



# Ионная теплопроводность В оболочках нейтронных звёзд

MNRAS, 381 (2007), 1143-1153

- Рассчитана и аппроксимирована
- Может существенно уменьшить анизотропию теплопроводности в замагниченных оболочках нейтронных звёзд