

Лекция 2

Виды взаимодействия частиц плазмы сложного состава.

Раздел 2

Потенциалы взаимодействия частиц неидеальной плазмы сложного состава

2.1 Эффективные потенциалы взаимодействия частиц неидеальной классической плазмы

Потенциал взаимодействия между зарядами

$$\Phi(R) = \frac{\gamma}{R} e^{-R} \frac{1 + \frac{\gamma f(R)}{2}}{1 + c(\gamma)}$$

$$f(R) = \frac{1}{5} \left(e^{-\sqrt{\gamma}R} - 1 \right) (1 - e^{-2R})$$

$$c(\gamma) = -0,008617 + 0,455861\gamma - 0,108389\gamma^2 + 0,009377\gamma^3$$

Потенциал Букингема для заряд-атомного взаимодействия

$$\Phi_{ea}(r) = -\frac{e^2 \alpha}{2(r^2 + r_0^2)^2} \exp\left(-\frac{2r}{r_D}\right) \times \left(1 + \frac{r}{r_D}\right)^2$$

2.2 Эффективные потенциалы взаимодействия частиц плотной квазиклассической плазмы

Для взаимодействия «электрон-электрон» и «электрон-ион» ^{a)}:

$$\Phi_{\alpha\beta}(r) = \frac{Z_{\alpha}Z_{\beta}e^2}{\sqrt{1 - 4\lambda_{\alpha\beta}^2 / r_D^2}} \left(\frac{e^{-Ar}}{r} - \frac{e^{-Br}}{r} \right)$$

где

$$A^2 = \frac{1 - \sqrt{1 - 4\lambda_{\alpha\beta}^2 / r_D^2}}{2\lambda_{\alpha\beta}^2}, \quad B^2 = \frac{1 + \sqrt{1 - 4\lambda_{\alpha\beta}^2 / r_D^2}}{2\lambda_{\alpha\beta}^2}.$$

Фурье – образ эффективного экранированного потенциала:

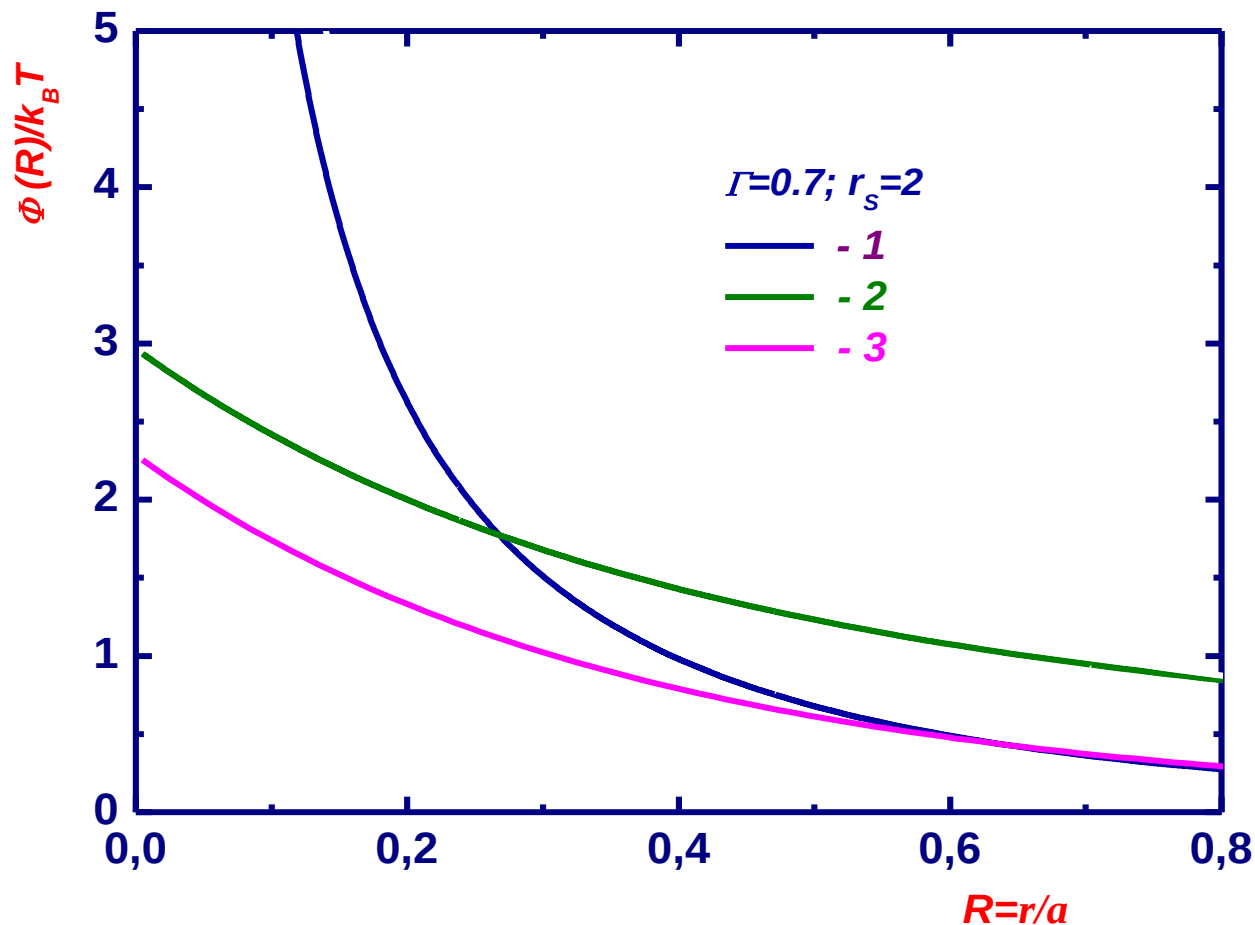
$$\Phi_{\alpha\beta}(q) = \varepsilon_{ac}(q)^{-1} \varphi_{c\beta}(q)$$

где $\varepsilon_{c\beta}(q)$ - диэлектрическая проницаемость среды, $\varphi_{ac}(q)$ - Фурье образ микروпотенциала. Потенциал Дойча, учитывающий квантовые эффекты дифракции:

$$\varphi_{\alpha\beta}(r) = \frac{Z_{\alpha}Z_{\beta}e^2}{r} \left(1 - e^{-r/\lambda_{\alpha\beta}} \right),$$

¹ Ramazanov T.S., Dzhumagulova K.N., Phys. Plasmas 9, 3758 (2002)

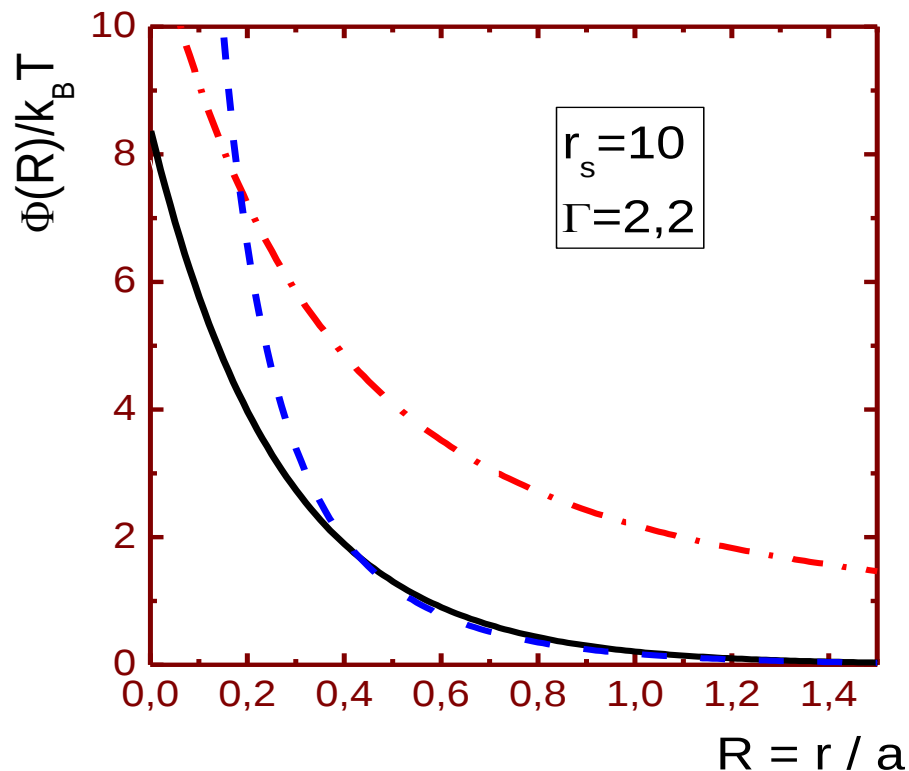
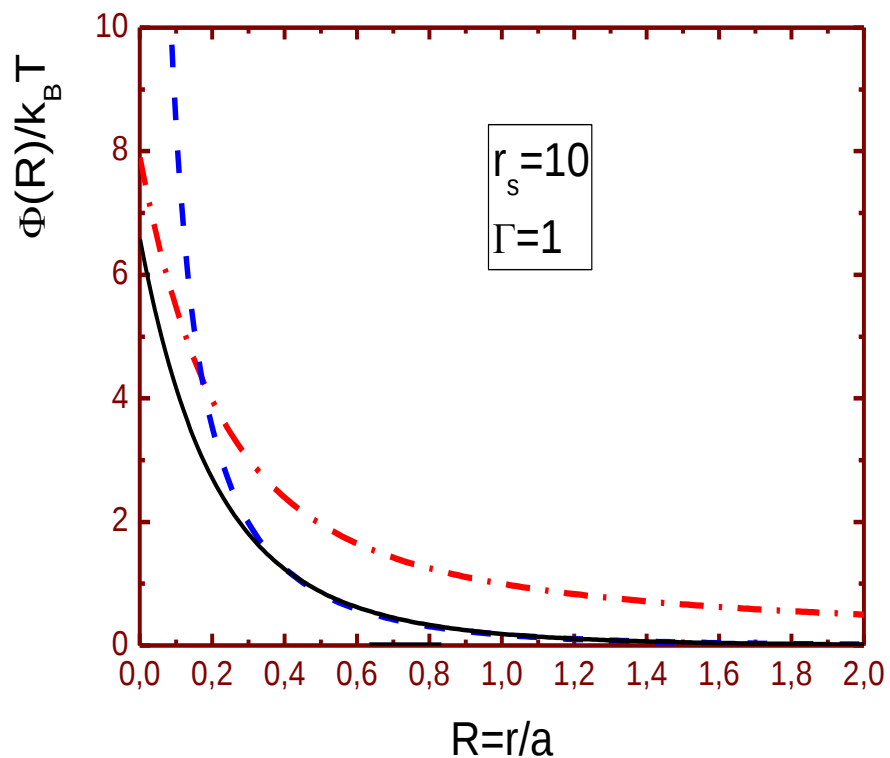
Эффективные потенциалы взаимодействия заряженных частиц плотной квазиклассической плазмы



1 – потенциал Дебая;

2 – потенциал Дойча;

3 – (Ramazanov T.S., Dzhumagulova K.N., Phys. Plasmas 9, 3758 (2002)).



— — — — — потенциал Дебая-Хюккеля
 - - - - - потенциал Дойча
 ————— Эффективный потенциал

(Ramazanov T.S., Dzhumagulova K.N., Phys. Plasmas 9, 3758 (2002))

Эффективные потенциалы взаимодействия между заряженными и нейтральными частицами плотной квазиклассической плазмы

Потенциал Букингема а) :

$$\Phi_{ea}(r) = -\frac{e^2 \alpha}{2(r^2 + r_0^2)^2} \exp\left(-\frac{2r}{r_D}\right) \times \left(1 + \frac{r}{r_D}\right)^2$$

Потенциал взаимодействия свободного заряда (Ze) с невозмущенным атомом водорода с центрально симметричным распределением электронной плотности б):

$$\varphi(r) = Ze^2 \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{a_B} \right) e^{-2r/a_B}$$

На основе метода линейного диэлектрического отклика с микропотенциалом (b) получен экранированный потенциал взаимодействия “заряд-атом” с):

$$\Phi(r) = \frac{Ze^2}{r(1 - \frac{a_B^2}{4r_D^2})^2} \left(\left(1 + \frac{r}{a_B} - \frac{a_B r}{4r_D^2}\right) e^{-2r/a_B} - \left(\frac{a_B^2}{2r_D^2} - \frac{a_B^4}{16r_D^4}\right) e^{-r/r_D} \right)$$

a) R.Redmer. Phys.Rep.282, 35 (1997)

b) М.Гольдбергер, К.Ватсон. Теория столкновений. // Москва, 1967,823с.

c) T.S. Ramazanov, K.N. Dzhumagulova. Proc. Int. Conf. PLTP-03. 2003. Kiev. P. 5-1-61

Псевдопотенциальная модель поляризационного взаимодействия частиц плотной квазиклассической плазмы сложного состава, учитывающая эффекты экранировки и дифракции

$$\beta\Phi_{ab}(r) = -\frac{1}{\sqrt{N_a N_b}} \sum_q \left[\frac{1 + \delta_{ab}}{2} \frac{\partial \ln \det(1 + \alpha(q))}{\partial \alpha_{ab}(q)} - \delta_{ab} \right] \exp(iqr)$$

$$\alpha_{ab}(q) = \beta \frac{\sqrt{N_a N_b}}{V} \varphi_{ab}(q) \quad Q_s(\nabla) = P_s^{(0)} + P_s^{(1)} \nabla + \dots$$

$$\varphi_{ee} = \frac{e^2}{r} (1 - e^{-r/\tilde{\lambda}_{ee}}) \quad \text{e-e}$$

$$\varphi_{es} = -eQ_s(\nabla) \frac{1}{r} (1 - e^{-r/\tilde{\lambda}_{es}}) \quad \text{e-a}$$

$$\varphi_{ss} = (Q_s(\nabla))^2 \frac{1}{r} \quad \text{a-a}$$

$$\alpha_{ee}(q) = \frac{4\pi\beta n_e e^2}{q^2} \frac{m^2}{q^2 + m^2} = \frac{k^2}{q^2} \frac{m^2}{q^2 + m^2}$$

$$\alpha_{ss}(q) = \frac{\beta n_s 4\pi}{q^2} \int |Q_s(\nabla)|^2 d\Omega = 4\pi\beta n_s \frac{1}{q^2} \int (\vec{P}\vec{q})^2 d\Omega = 4\pi n_s \chi$$

$$(\alpha_{es}(q))^2 = 4\pi \frac{\sqrt{N_e N_s}}{V} \chi \frac{\kappa^2}{q^2} \left(\frac{m^2}{q^2 + m^2} \right)^2$$

$$\text{Где} \quad m = 1/\tilde{\lambda}_{ee} \quad k = 1/r_{De} \quad \chi = \frac{1}{3} \beta (P_{own}^{(1)})^2 = 0$$

$$\beta\Phi_{es}(r) = -\frac{1}{\sqrt{N_e N_s}} \sum_q \left[\frac{1}{2} \frac{\partial \ln \det(1 + \alpha(q))}{\partial \alpha_{es}} \right] e^{iqr} =$$

$$-4\pi\beta e Q_s(\nabla) \frac{1}{V} \sum_q \frac{m^2}{q^4 + q^2 m^2 + k^2 m^2} e^{iqr}$$

$$\Phi_{es}(r) = -e(\vec{P}\vec{\nabla}) \frac{(e^{-rB} - e^{-rA})}{r\sqrt{1-4k^2/m^2}}$$

$$A^2 = \frac{m^2}{2} \left(1 + \sqrt{1 - k^2/m^2}\right) \quad B^2 = \frac{m^2}{2} \left(1 - \sqrt{1 - k^2/m^2}\right)$$

Поляризационный эффективный псевдопотенциал е-а взаимодействия

$$\Phi_{es}(r) = -\frac{e^2\alpha}{2r^4(1-4\hat{\lambda}^2/r_D^2)} \left(e^{-Br}(1+Br) - e^{-Ar}(1+Ar) \right)^2$$

$$A^2 = \frac{1}{2\hat{\lambda}_{es}^2} \left(1 + \sqrt{1 - \hat{\lambda}_{es}^2/r_D^2}\right) \quad B^2 = \frac{1}{2\hat{\lambda}_{es}^2} \left(1 - \sqrt{1 - \hat{\lambda}_{es}^2/r_D^2}\right)$$

$$\Phi_{es}(r) = \frac{-e^2\alpha}{2r^4} \left(1 - e^{-r/\hat{\lambda}} \left(1 + \frac{r}{\hat{\lambda}} \right) \right)^2 \quad \text{при} \quad \hat{\lambda} \ll r_D$$