

УДК 533.9

## **РАДИАЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И СТАТИЧЕСКИЕ СТРУКТУРНЫЕ ФАКТОРЫ ЧАСТИЧНО ИОНИЗОВАННОЙ ВОДОРОДНОЙ ПЛАЗМЫ**

**З.С. Мажит**

*Павлодарский государственный педагогический институт*

Состояние ионизационного равновесия плазмы характеризуется определённым набором термодинамических величин: температурой, давлением, свободной энергией и др. Некоторые из них могут быть заданы, другие определяются посредством радиальных функций распределения. В рамках химической модели плазма представляет собой систему заряженных и нейтральных частиц, которые рассматриваются как отдельные химические виды, взаимодействующие друг с другом. Приближение парных корреляций позволяет связать термодинамические и электродинамические параметры и получить самосогласованную химическую модель плазмы.

Плазма характеризуется следующими безразмерными параметрами: параметром связи  $\Gamma = \frac{e^2}{ak_B T}$ ,  $a$  - среднее расстояние между частицами,  $e$  - элементарный электрический заряд,  $T$  - температура плазмы,  $k_B$  - константа

Больцмана, и параметром плотности  $r_s = \frac{a}{a_B}$ ,  $a_B$  - Боровский радиус.

В приближении парных корреляций радиальная функция распределения  $g_{ab}(r)$  выражается через псевдопотенциал  $F_{ab}(r)$  в виде [1]

$$g_{ab}(r) = 1 - \frac{\Phi_{ab}(r)}{k_B T} \quad (1)$$

Здесь  $r$  - расстояние между взаимодействующими частицами сортов « $a$ » и « $b$ ».

Статический структурный фактор  $S_{ab}(k)$  характеризует микроскопические свойства системы и определяется через радиальную функцию распределения

$$S_{ab}(k) = \delta_{ab} + \int (g_{ab}(r) - 1) \exp(i\vec{k}\vec{r}) d\vec{r} \quad (2)$$

где  $k$  - волновое число,  $\delta_{ab}$  - символ Кронекера.

Поскольку в приближении парных корреляций [1,2] радиальная функция распределения выражается через псевдопотенциал  $\Phi_{ab}(r)$ , формула (1), выражение (2) можно привести к виду

$$S_{ab}(k) = \delta_{ab} - \int \frac{\Phi_{ab}(r)}{k_B T} e^{ik\vec{r}} d\vec{r} \quad (3)$$

Псевдопотенциалы, учитывающие коллективные эффекты, определяются по формуле

$$\Phi_{ab}(r) = \int \tilde{\Phi}_{ab}(k) \exp(ikr) dk \quad (4)$$

В (4)  $\tilde{\Phi}_{ab}(k)$  - Фурье-образ потенциала взаимодействия. При подстановке (4) в выражение для статического структурного фактора (3) можно получить

$$S_{ab}(k) = \delta_{ab} + \frac{\sqrt{n_a n_b}}{k_B T} \tilde{\Phi}_{ab}(k) \quad (5)$$

Здесь  $n_a$  и  $n_b$  - концентрации частиц.

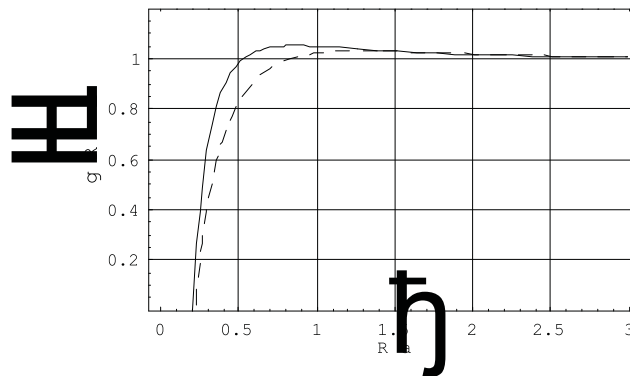


Рисунок 1 - Радиальная функция распределения взаимодействия электрон-электрон:  $r_s=5$ ,  $\Gamma=0.5$ . Сплошная линия – классический подход, пунктирная линия – квазиклассическое рассмотрение

Классический подход подразумевает, что заряженные компоненты плазмы взаимодействуют посредством кулоновского потенциала, при квазиклассическом рассмотрении учитываются квантовые эффекты дифракции и симметрии на расстояниях, порядка размеров самих взаимодействующих частиц. Наличие слабой немонотонности в пространственной зависимости электрон-электронной радиальной функции распределения (рисунок 1) свидетельствует об эффекте появления упорядоченности в распределении частиц плазменной среды. Появление максимума в аналогичной зависимости, полученной для взаимодействия протон-атом (рисунок 2), является свидетельством того, что на близких расстояниях имеет место перенормировка эффективного заряда атома [2]. Исследование электрон-электронной радиальной функции распределения при  $r_s=5$  и  $\Gamma=0.5$  выявляет на расстояниях  $r \approx 1$ , что вклад квантовых эффектов дифракции незначителен.

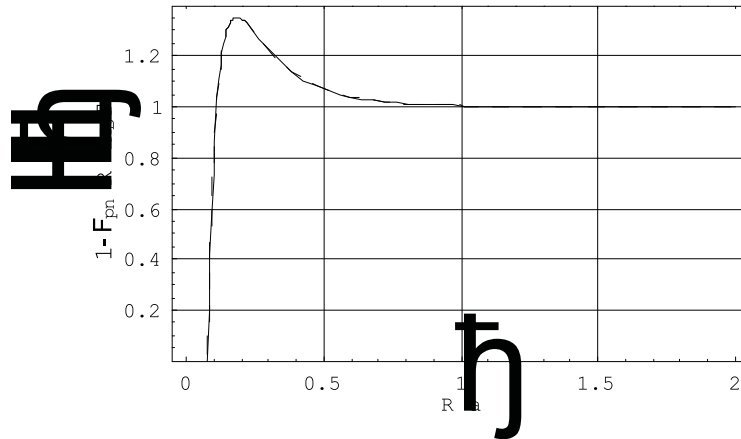


Рисунок 2 - Радиальная функция распределения взаимодействия протон-атом:  $r_s=5$ ,  $\Gamma=0.5$

На рисунках 3 и 4 приведены графики зависимостей электрон-электронного и протон-атомного структурных факторов в зависимости от волнового числа при фиксированных параметрах плотности и связи. Структурный фактор взаимодействия электрон-электрон монотонно зависит от расстояния.

Радиальная функция распределения и структурный фактор взаимодействия протон-атом характеризуются немонотонными пространственными зависимостями (рисунки 2 и 4). Немонотонность в пределах 1% углубляется с ростом параметра связи  $\Gamma$  и уменьшением параметра плотности  $r_s$ , т.е. для более плотной плазмы. Здесь сказывается влияние парных корреляций, которое существенно в случае более плотной плазмы.

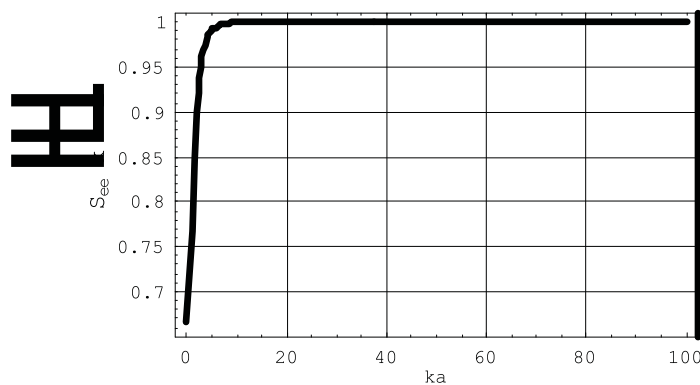


Рисунок 3 - Электрон-электронный структурный фактор при  $r_s=5$  и  $\Gamma=0.5$

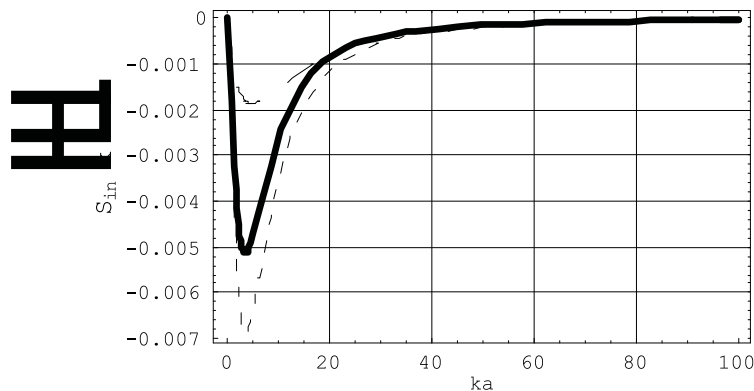


Рисунок 4 - Протон-атомный структурный фактор: сплошная линия -  $r_s=5$ ,  $\Gamma=0.5$ , длинный пунктир -  $r_s=10$ ,  $\Gamma=0.5$ , короткий пунктир -  $r_s=5$ ,  $\Gamma=0.75$

Выводы: Исследованы радиальные функции распределения и статические структурные факторы частиц частично ионизованной квазиклассической плазмы. Электрон-электронные пространственные зависимости радиальной функции распределения и статического структурного фактора имеют монотонный характер в отличие от аналогичных протон-атомных зависимостей. Показана возможность возникновения упорядоченности в распределении частиц плазменной среды.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Архипов Ю.В., Баимбетов Ф.Б., Давлетов А.Е., Стариков К.В. Псевдопотенциальная теория плотной высокотемпературной плазмы. - Алматы: «Қазақ университеті», 2002. – 113 с.
2. Мажит З.С. Известия НАН РК. Серия физико-математическая. 2009. – сдана в печать.

### Түйіндеме

Мақалада жұптық түзету жақындауы тұрғысынан квазиклассикалық сутекті плазманың радиалдық үлестіру функциялары мен структуралық факторлар есептелді. Плазма бөлшектерінің таралуында зарядтың қайта нормалануы және реттің пайда болу мүмкіндігі көрсетілді. Үлесудің радиалдық функциясы және Жартылай иондалған квазиклассикалық плазма бөлшектерінің статикалық құрылымдық факторлары зерттелді. Үлесудің радиалдық функциясының және статикалық құрылымдық фактордың электрон-электрондық кеңістік тәуелділігінің протон-атомдық тәуелділіктен айрықша монотонды болады.

### Resume

In an article in pair correlation approximation quasiclassical hydrogen plasmas particles radial distribution functions and static structural

factors have been gotten. It is shown that there is some ordering in distribution of particles of plasma medium, which can be possible. Radial functions of distribution and static structural factors of particles partially ionized quasiclassical plasmas are investigated. Elektron-electronic spatial dependences of radial function of distribution and the static structural factor have monotonous character unlike dependences similar a proton-nuclear.

УДК 539.3:534.2

## О ЗАДАЧЕ ОТРАЖЕНИЯ – ПРЕЛОМЛЕНИЯ УПРУГОЙ ВОЛНЫ НА ГРАНИЦЕ ТЕРМОУПРУГОГО ПОЛУПРОСТРАНСТВА

**А.К. Сейтханова**

Павлодарский государственный университет  
им. С. Торайгырова

Матрица коэффициентов  $B$  в случае распространения термоупругой волны в анизотропной среде тетрагональной сингонии классов  $4, \bar{4}, 4/m$  в одномерном случае ( $m=0, n=0$ ) [1]:

$$B = \begin{pmatrix} 0 & b_{12} & b_{17} & 0 \\ b_{21} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & b_{78} \\ 0 & -i\omega b_{17} & b_{87} & 0 \end{pmatrix}; \quad (1)$$

Компоненты матрицы коэффициентов (1) имеют вид:

$$b_{12} = \frac{1}{c_{33}}, \quad b_{17} = \frac{(2\beta_{13} + \beta_{33})}{c_{33}}, \quad b_{21} = -\omega^2 \rho,$$

$$b_{87} = -i\omega \left( \frac{\beta_{33}^2}{c_{11}} + \frac{c_\varepsilon}{T_0} \right), \quad b_{78} = -\frac{1}{\lambda_{33}}.$$

Во втором приближении имеем

$$P_{(2)} = E + \frac{B^2}{2} h^2; \quad (2)$$

где  $E$  – единичная матрица,  
 $B$  – матрица коэффициентов,