

УДК 533.9.01

К.Н. Джумагулова*, Г.Л. Габдуллина, Е. Шаленов
 НИИЭТФ, КазНУ им. аль-Фараби, Казахстан, г. Алматы
 *E-mail: Karlygash.Dzhumagulova@kaznu.kz

Динамические потенциалы взаимодействия частиц квазиклассической плазмы

Аннотация. Предлагаются новые динамические модели взаимодействия частиц неидеальной квазиклассической плазмы. Данные модели учитывают эффект дифракции и динамической экранировки поля заряженных частиц.

Ключевые слова: Динамический потенциал взаимодействия, динамическая экранировка, квазиклассическая плазма.

Введение

Разработка моделей взаимодействия структурных элементов неидеальной плазмы, методов математического моделирования и исследование на их основе кинетических, транспортных свойств системы представляют большой фундаментальный интерес и важно для развития технологий многих практических приложений, связанных с неидеальной плазмой.

При изучении свойств плазмы широко используются так называемые эффективные потенциалы взаимодействия, учитывающих те или иные эффекты, возникающие в неидеальной плазме, а учет этих эффектов в отдельных уравнениях уже не требуется. Как известно, даже при умеренных плотностях необходимо учитывать коллективное взаимодействие частиц на больших расстояниях, приводящее, в частности, к эффектам экранировки поля заряда в плазме, а так же квантово-механические эффекты дифракции, связанные с волновыми свойствами частиц. В работе [1] был предложен эффективный потенциал, учитывающий оба эффекта:

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

$$\text{где } A^2 = \frac{1}{2\tilde{\lambda}^2} \left(1 + \sqrt{1 - \tilde{\lambda}_{\alpha\beta}^2 / r_D^2} \right);$$

$$B^2 = \frac{1}{2\tilde{\lambda}^2} \left(1 - \sqrt{1 - \tilde{\lambda}_{\alpha\beta}^2 / r_D^2} \right); \quad Z_{\alpha}e, Z_{\beta}e \quad -$$

электрические заряды частиц сорта α и β ;
 $\tilde{\lambda}_{\alpha\beta} = \hbar / \sqrt{2\pi m_{\alpha\beta} k_B T}$ – тепловая длина волны

Де-Бройля;

$m_{\alpha\beta} = m_{\alpha}m_{\beta} / (m_{\alpha} + m_{\beta})$ – приведенная масса частиц сорта α и β ;

$$r_D = \left(k_B T / \left(4\pi e^2 \sum_j n_j Z_j^2 \right) \right)^{1/2} \quad - \text{радиус Дебая.}$$

Такой эффективный потенциал отличается от обычного кулоновского потенциала взаимодействия заряженных частиц тем, что он быстрее стремится к нулю с увеличением расстояния (экранировка) и имеет конечное значение на расстоянии, близком к нулю.

В последнее время ведутся большие работы по построению динамических моделей взаимодействия частиц плазмы, которые в отличие от статических, учитывают относительные скорости взаимодействующих частиц. Сечения столкновений напрямую зависят от значения относи-

тельной скорости сталкивающихся частиц, она сидит в самих уравнениях, позволяющих рассчитать сечение, при этом часто сам потенциал взаимодействия является статическим. Такая постановка не совсем корректна и более последовательным является применение динамического потенциала взаимодействия частиц при исследовании их столкновений.

Динамическая экранировка и динамический потенциал взаимодействия частиц квазиклассической плазмы

Следует отметить, что традиционно экранировка поля заряда в плазме представляется статической экранировкой Дебая – Хюккеля. Однако, это приближение справедливо, если скорости сталкивающихся частиц сравнимы или меньше тепловой скорости. Если же скорости превышают тепловую, то такие быстрые частицы при

движении не успевают поляризовать окружающую плазму и экранировка их зарядов ослабевает. Такая экранировка, зависящая от скоростей взаимодействующих частиц, получила название динамической экранировки и в настоящее время широко используется при исследовании свойств неидеальной плазмы. В работе [2] был предложен способ учета динамической экранировки, он сводится к замене статического радиуса Дебая на некоторый эффективный, учитывающий динамическую экранировку:

$$r_0 = r_D \left(1 + \frac{\theta^2}{\theta_T^2}\right)^{1/2} \quad (2)$$

где v – относительная скорость сталкивающихся частиц, v_0 – тепловая скорость частиц системы. Тогда псевдопотенциал (1) с учетом динамической экранировки в безразмерном виде переписывается как:

$$\Phi_{\alpha\beta}(R) / k_B T = \frac{\Gamma}{\sqrt{1 - 24\Gamma^2 / (\pi r_s (1 + \theta^2))}} \left(\frac{e^{-BR}}{R} - \frac{e^{-AR}}{R} \right), \quad (3)$$

где

$$A^2 = \frac{\pi r_s}{4\Gamma} \left(1 + \sqrt{1 - 24\Gamma^2 / (\pi r_s (1 + \theta^2))}\right);$$

$$B^2 = \frac{\pi r_s}{4\Gamma} \left(1 - \sqrt{1 - 24\Gamma^2 / (\pi r_s (1 + \theta^2))}\right);$$

$$\Gamma = \frac{(Ze)^2}{a k_B T} - \text{параметр связи, } a = \left(\frac{3}{4\pi n}\right)^{1/3} -$$

среднее расстояние между частицами, $r_s = \frac{a}{a_B}$ – параметр плотности, $a_B = \frac{\hbar^2}{m_e e^2}$ – радиус

Бора, $\theta = v / v_0$ – параметр относительной ско-

рости сталкивающихся частиц. $R = r / a$ – межчастичное расстояние в единицах среднего расстояния между частицами.

На рисунках 1 и 2 представлены парные потенциалы взаимодействия между электронами: потенциалы Кулона, Дойча (учитывает эффект дифракции [2,3]), Дебая-Хюккеля (учитывает экранировку заряда в плазме), потенциал (1), учитывающий статическую экранировку и (2), учитывающий динамическую экранировку. Как видно из этих рисунков, потенциал (2) при малых скоростях сталкивающихся частиц стремится к потенциалу (1), а при больших скоростях стремится к потенциалу Дойча, не учитывающему экранировку.

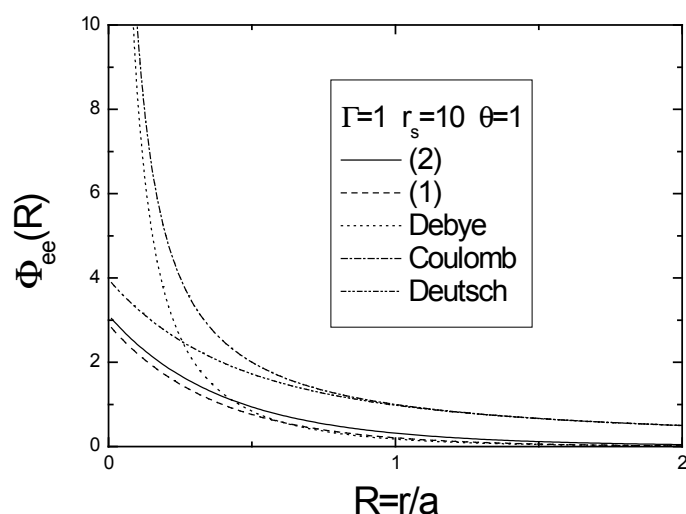


Рисунок 1 – Потенциалы взаимодействия электрон-электронной пары для $\theta = 1$

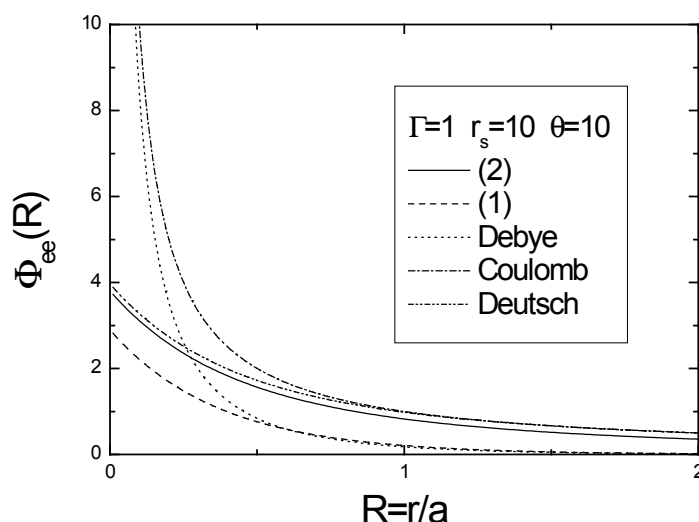


Рисунок 2 – Потенциалы взаимодействия электрон-электронной пары для $\theta = 10$

Потенциал взаимодействия между электроном и атомом, учитывающий экранировку и эффект дифракции (полученный в работе [4]), также можно переписать с учетом динамической экранировки.

Литература

1 Ramazanov T.S., Dzhumagulova K. N. Effective screened potentials of strongly coupled

semiclassical plasma // Phys.Plasmas, -2002.-Vol. 9. – P. 3758-3761.

2 Deutsch C. // Phys. Lett. A.-1977.- Vol. 60. – P.317.

3 Deutsch C., Furutani Y. and Gombert M. M. // Phys. Rep. – 1981. – Vol. 69, -P.85.

4 Ramazanov T.S., Dzhumagulova K.N. and Omarbakiyeva Y.A. Effective polarization interaction potential “charge-atom” for partially ionized dense plasma // Phys.Plasmas. – 2005. – Vol.12. – P.092702.

Қ.Н. Жұмағұлова, Г.Л. Ғабдуллина, Е. Шаленов

Квазиклассикалық плазмадағы бөлшектер әсерлесуі динамикалық потенциалдар

Жаңа динамикалық моделі идеалдық емес квазиклассикалық плазмадағы бөлшектердің әсерлесуін ұсынады. Осы модельде зарядталған бөлшектер дифракция эффектісі мен динамикалық экрандау өрісін ескереді.

Түйін сөздер: Динамикалық әсерлесу потенциалы, динамикалық экранировка, жартылай классикалық плазма.

K.N. Dzhumagulova, G.L. Gabdullina, E. Shalenov

Dynamic potential of interaction of semiclassical plasma particles

New dynamic models of interaction of the strongly coupled semiclassical plasmas particles are presented. These models take into account the effect of diffraction and dynamic screening of the field of charged particles.

Keywords: Dynamic interaction potential, dynamic screening, semi-classical plasma.