

ҚР БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ  
ӘЛ-ФАРАБИ АТ. ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ  
ЭКСПЕРИМЕНТТІК ЖӘНЕ ТЕОРИЯЛЫҚ ФИЗИКА  
ҒЫЛЫМИ-ЗЕРТТЕУ ИНСТИТУТЫ  
АШЫҚ ТҮРДЕГІ ҰЛТТЫҚ НАНОТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ  
ЗЕРТХАНА

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE RK  
AL-FARABI KAZAKH NATIONAL UNIVERSITY  
SCIENTIFIC RESEARCH INSTITUTE OF EXPERIMENTAL  
AND THEORETICAL PHYSICS  
NATIONAL NANOTECHNOLOGY OPEN LABORATORY

«ФИЗИКАНЫҢ ЗАМАНАУИ ЖЕТІСТІКТЕРІ ЖӘНЕ  
ІРГЕЛІ ФИЗИКАЛЫҚ БІЛІМ БЕРУ» атты  
9-ші Халықаралық ғылыми конференцияның  
ТЕЗИСТЕР ЖИНАҒЫ  
*12-14 қазан, 2016, Алматы, Қазақстан*

СБОРНИК ТЕЗИСОВ  
9-ой Международной научной конференции  
«СОВРЕМЕННЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ ФИЗИКИ  
И ФУНДАМЕНТАЛЬНОЕ ФИЗИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ»  
*12-14 октября, 2016, Алматы, Казахстан*

BOOK OF ABSTRACTS  
of the 9<sup>th</sup> International Scientific Conference  
«MODERN ACHIEVEMENTS OF PHYSICS AND  
FUNDAMENTAL PHYSICAL EDUCATION»  
*October, 12-14, 2016, Kazakhstan, Almaty*

Алматы  
«Қазақ университеті»  
2016

## ВРЕМЕННАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ПЫЛЕВОЙ ЧАСТИЦЫ В ПРИСТЕНОЧНОЙ ПЛАЗМЕ ТЕРМОЯДЕРНОГО РЕАКТОРА

Н.Х. Бастыкова, С.К. Коданова, Т.С. Рамазанов

НИИЭТФ, КазНУ им. Аль-Фараби, Алматы, Казахстан

Исследование влияния пыли в установках управляемого термоядерного синтеза стало важным направлением в ходе реализации крупномасштабных экспериментов с термоядерной плазмой [1-5]. Определение механизмов образования пыли, исследование взаимодействия пылинок с плазмой и с поверхностью реактора, моделирование переноса пылинок и оценка их влияния на характеристики реактора, безопасность термоядерных установок – все эти вопросы занимают большое место в современных исследованиях проблем управляемого термоядерного синтеза.

В данной работе рассматривается перенос, и время жизни индивидуальной пылинки в пристеночной плазме термоядерного реактора. Расчеты проводились для следующих параметров плазмы,  $T_e, T_a = 0.3T_i$ ,  $n_e = n_i$  где  $T_e, T_i$  и  $T_a$  температуры электронов, ионов и нейтральных атомов,  $n_e$  и  $n_i$  плотность электронов и ионов, соответственно. Фоновая плазма предполагается дейтериевой плазмы без примесей. В этом случае во время движения пылинки не осаждаются плазменными примесями.

Рисунок 1 показывает, временные эволюции температуры пылинки и радиуса пылинки для вольфрама в однородной дейтериевой плазме с параметрами:  $T_e = 3.0\text{eV}$ ,  $T_i = 0.7\text{eV}$ ,  $T_a = 0.2\text{eV}$ ,  $n_e = n_i = 2 \times 10^{14}\text{cm}^{-3}$ . Как видно, можно выделить следующие четыре последовательных этапа в эволюции температуры пылинки: (i) начальное нарастание температуры пылинки до точки плавления в  $20\ \mu\text{s}$ ; (ii) фаза плавления пылинки при постоянной температуре (3965 K) от  $20\ \mu\text{s}$  до  $100\ \mu\text{s}$ ; (iii) переход к состоянию теплового равновесия; (iv) испарение пылинки при тепловом равновесии. На (i- iii) этапах радиус пылинки практически не изменился, как показано на рисунке 1 (пунктирная линия). На последнем этапе, который начинается примерно с  $100\ \mu\text{s}$ , температура пылинки достигает постоянного значения при 4850 K. Это равновесная температура определяется балансом энергии, главным образом, между потоком выходной энергии за счет испарения и радиационного излучения и входным потоком энергии на пылинку из окружающей плазмы.

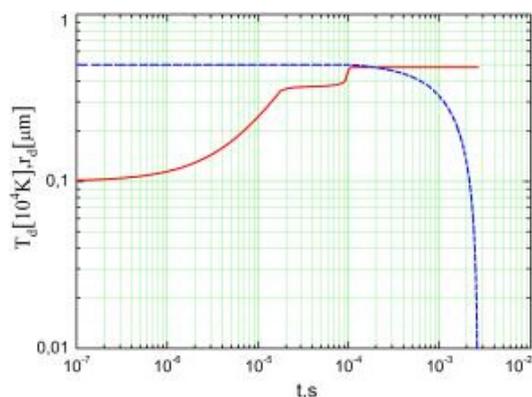


Рисунок 1 – Распределения температуры (сплошная линия) и радиуса (пунктирная линия) пылинки в однородной дейтериевой плазме

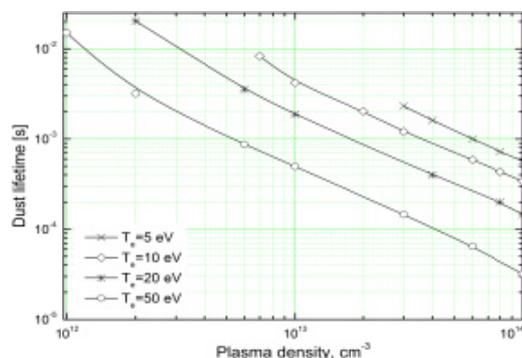


Рисунок 2 – Время жизни пылинки в однородной дейтериевой плазме

Время жизни является одним из самых важных характеристик динамики пылевых частиц в термоядерной плазме. Время жизни сильно зависит от многих параметров, например, (i) от свойств материала, таких как теплоемкость и давление насыщенного пара, (ii) от некоторых сложных взаимодействий пылинки с плазмой, приводящих к потере массы, (iii) от свойств электронного и радиационного излучения. Значение заряда или плавающий потенциал пылинки может также повлиять на время жизни, поскольку они заметно влияют на ионные и электронные потоки на пылинку. На рисунке 2 показано время жизни пылинки в однородной дейтериевой плазме в зависимости от различных значений температуры и плотности плазмы. Кривые построены для плотности плазмы в диапазоне  $10^{11}$ - $10^{14}$  см<sup>-3</sup> и для множества различных температур электронов в диапазоне от 5-50 эВ, которые типичны для пристеночной плазмы термоядерного реактора. Как видно, при увеличении температуры электронов и плотности плазмы, время жизни пылинки монотонно уменьшается в основном из-за большой плотности энергии на пылинку, что увеличивает температуру пылинки и усиливает испарения пылинки.

*Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Республики Казахстан в рамках гранта 3112/ГФ4 2015(ЭП-6).*

- 1 Winter J. Dust: A new challenge in nuclear fusion research? // Physics of Plasmas. – 2000. – Vol. 7. – P. 3862.
- 2 Tsytovich V.N. and Winter J. On the role of dust in fusion devices // Physics Uspekhi. – 1998. – Vol. 41. – P. 815.
- 3 Winter J. Dust in fusion devices—a multi-faceted problem connecting high- and low-temperature plasma physics // Plasma Phys. Control. Fusion. – 2004. – Vol. 46. – P. B583.
- 4 Vignitchouk, P. Tolia and S. Ratynskaia Dust-wall and dust-plasma interaction in the MIGRAINE code // Plasma Phys. Control. Fusion. – 2014. – Vol. 56. – P. 095005.
- 5 Brown B.T., Smirnov R.D., Krasheninnikov S. I. Dynamics and transport of dust particles in tokamak edge plasmas // Phys. Plasmas. – 2014. – Vol. 21. – P. 024501.

## УПРАВЛЕНИЕ СВОЙСТВАМИ ПЫЛЕВОЙ ПЛАЗМЫ ПУТЕМ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВНЕШНЕГО ПОЛЯ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО РАЗРЯДА

**Н.Х.Бастыкова<sup>1</sup>, С.К.Коданова<sup>1</sup>, Т.С.Рамазанов<sup>1</sup>, З.Донко<sup>2</sup>, Ж.А. Молдабеков<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>НИИЭТФ, КазНУ им. Аль-Фараби, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Институт физики твердого тела и оптики НИЦ физики им. Вигнера, Будапешт, Венгрия

Пылевая плазма имеет ряд уникальных особенностей, которые привлекают внимание ученых со стороны различных отраслей физики [1]. Управление индивидуальными пылевыми частицами и их ансамблями представляют большой интерес для теоретического понимания фундаментальных свойств неидеальной системы и приложений. В последние годы, был достигнут значительный прогресс в управлении свойствами пылевой плазмы с использованием лазеров [1-3] и с помощью модификации внешних электрических и магнитных полей [4], [5].

В данной работе на основе метода частиц в ячейках и Монте-Карло исследуется влияние переменного напряжения на характеристики разряда, на высоту левитации пылевого слоя, который, как предполагается, состоит из монодисперсных частиц. Также показано, что