

## **Экспериментальные и теоретические исследования пылевых кристаллов в плазме, создаваемой пучком протонов**

В.Е. Фортов,<sup>1</sup> В.А. Рыков,<sup>2</sup> А.П. Будник,<sup>2</sup> В.С. Филинов,<sup>1</sup> Л.В. Депутатова,<sup>1</sup> К.В. Рыков,<sup>2</sup>  
В.И.Владимиров,<sup>1</sup> В.И. Молотков,<sup>1</sup> А.В. Зродников,<sup>2</sup> П.П. Дьяченко

<sup>1</sup>Института теплофизики экстремальных состояний ОИВТ РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>ГНЦ РФ – Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского, Обнинск, Россия

В настоящей работе впервые описывается наблюдение образования пылевых кристаллов в плазме, создаваемой пучком ускоренных протонов. При проведении экспериментов использовался электростатический протонный ускоритель. Экспериментальные исследования были выполнены для различных инертных газов (He, Ne, Ar, Xe, Kr). Наблюдалось образование пылевых кристаллов на расстоянии 1 см от высоковольтного электрода. Кристалло-подобные структуры были получены для всех типов газов, использованных в эксперименте, и для частиц различных диаметров. Экспериментально исследовано имеющее несколько максимумов распределение частиц в зависимости от расстояния между ними.

Разработана кинетическая модель, описывающая процесс зарядки пылевых частиц в плазме, создаваемой протонным пучком в инертных газах. Рассчитаны концентрации электронов и ионов, средней энергии электронов и заряды пылевых частиц: заряд пылевых частиц изменялся в интервале 400÷2000 единиц элементарного заряда;  $\lambda_D$  (параметр экрана) - в интервале 100 - 250 мкм и  $\Gamma$  (параметр неидеальности) - 200 и 500.

Для моделирования временной эволюции пылевых частиц использовался метод броуновской динамики. Разработана математическая модель, учитывающая экранирование пылевых частиц частицами плазмы, зависимость пылевых частиц от их пространственной положения, и анизотропию взаимодействия пылевых частиц, связанной с дрейфовой ионной фокусировкой потока. Предполагось, что левитация пылевых частиц в экспериментальной ячейке обусловлена тем, что действие силы гравитации и силы сопротивления полностью компенсируются действием электрического поля.

## **Experimental and Theoretical Investigations of the Dust Crystals in Plasma Created by Proton Beam**

V.E. Fortov<sup>1</sup>, V.A.Rykov<sup>2</sup>, A.P.Budnik<sup>2</sup>, V.S. Filinov<sup>1</sup>, L.V.Deputatova<sup>1</sup>, K.V.Rykov<sup>2</sup>,  
V.I. Vladimirov<sup>1</sup>, V.I. Molotkov<sup>1</sup>, A.V.Zrodnikov<sup>2</sup> and P.P. Dyachenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute for High Energy Density RAS, Izhorskay 13/19, Moscow 125412, Russia and <sup>2</sup>SSC RF-Institute for Physics and Power Engineering named after A.I. Leipunsky, Obninsk, Russia

In this work the first observations of dust grain crystal formation in plasma generated by slowing-down proton beam have been described. Electrostatic proton accelerator has been used for the experiments. The experiments have been fulfilled for different gases (He; Ne; Ar; Xe; Kr). At the dust structure faces turned to the high-voltage electrode, the dust component is crystallized at the distance of  $\approx 1$  cm from electrode. Crystal-like structures have been obtained for all types of gases used in the experiment and for particles of different diameters. The radial pair distribution function has some maxima.

For a calculation of parameters of plasma the model of kinetic processes was developed. The obtained results for electrons and ion density and the mean electron energy values permit us to estimate dusty plasma parameters for different gases:  $z$  (dust grain charge) was in the interval  $400 \div 2000$  elementary charge units,  $\lambda_D$  (screen parameter) was in the interval  $100 \div 250 \mu\text{m}$  and  $\Gamma$  (coupling parameter) lies between 200 and 500.

To simulate time evolution of the dust particle system we invoke the Brownian dynamic method. A mathematical model has been developed accounting for the dust grain screening by plasma particles, the dependence of dust grains on their space position, and anisotropy of dust grains' interaction associated with the drift ion flux focusing. We assume that gravity and drag forces are completely compensated by the electric fields resulted in the dust particle levitation in experimental cell.