

ОТРАЖАТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА НЕИДЕАЛЬНОЙ ПЛАЗМЫ В КРОТКОВОЛНОВОЙ ОБЛАСТИ ОПТИЧЕСКОГО СПЕКТРА

Ю.Б.Запорожец¹, В.Б.Минцев¹, В.К.Грязнов¹, И.В.Морозов², Н.Reinholz³, G.Rörke³,
В.Е.Фортгов

¹ *Институт проблем химической физики РАН, 142432 Черноголовка, Россия*

² *Институт теплофизики экстремальных состояний ОИВТ РАН, МГУ им. М.В. Ломоносова, Россия*

³ *Fachbereich Physik, Universität Rostock, 18051 Rostock, Germany*

Исследованы отражательные свойства ударно-сжатой плазмы инертных газов в коротковолновой области оптического спектра с использованием излучения малой интенсивности $Y_3Al_5O_{12}:Nd^{3+}+KTP$ лазера (длина волны $\lambda_{зонд.}=0.53$ мкм), что соответствует энергии фотона зондирующего излучения $E_{зонд.}=2.33$ эВ и критической плазменной концентрации $n_{ec}=3.9 \cdot 10^{21}$ см⁻³.

Определены коэффициенты отражения плотной плазмы при варьировании ее термодинамических параметров в пределах: плотность плазмы изменялась в диапазоне $\rho \sim 0.3 \div 3.4$ г/см³, температура $T \sim 2.8 \cdot 10^4 \div 3.3 \cdot 10^4$ °К, параметр неидеальности $\Gamma = (4\pi n_e/3)^{1/3} e^2/(k_B T) = 0.9 \div 2.0$ и степень вырождения $\Theta = 2m_e k_B T (3\pi^2 \hbar^3 n_e)^{-2/3} = 1.7 \div 7$.

Для генерации сильно-неидеальных плазменных состояний инертных газов была применена методика динамического сжатия газа посредством высокоскоростного соударения металлического лайнера и газовой кюветы с последующим необратимым разогревом газа во фронте ударной волны. Исследование отражательных характеристик динамического плазменного образования было проведено с использованием импульсной системы диагностики на основе $Y_3Al_5O_{12}:Nd^{3+}$ лазера с каскадом преобразования частоты основного излучения во вторую гармонику. Система диагностики работала в режиме Q-модуляции. Длительность зондирующего импульса составляла 15 нс. С целью реализации неискажающих измерений коэффициента отражения плазмы была выполнена оптимизация энергетических и пространственно-временных параметров зондирующего импульса.

Равновесные термодинамические свойства ударно-сжатой плазмы ксенона были определены из соответствующих расчетов. Термодинамическая модель плазмы учитывала кулоновское взаимодействие в соответствии с кольцевым дебаевским приближением в большом каноническом ансамбле, а отталкивание тяжелых частиц на малых расстояниях – в рамках модели мягких сфер.

Проведено сопоставление значений коэффициентов отражения, полученных в эксперименте и расчетных данных. Рассмотрены возможные физические механизмы, влияющие на отражательные свойства плазмы. Выполненные исследования показали, что изменения отражательных свойств плазмы при увеличении ее электронной концентрации, зафиксированные в ходе экспериментов, приводят к высокоотражающему состоянию плазмы, характерному для металлов. Полученные экспериментальные данные предоставляют новую информацию для понимания

механизма взаимодействия вещества, находящегося в условиях сильного межчастичного взаимодействия с оптическим излучением умеренной интенсивности.

OPTICAL REFLECTANCE OF SHOCK-COMPRESSED DENSE PLASMA

Yu. Zaporoghets¹, V. Mintsev¹, V. Gryaznov¹, I. Morozov², H. Reinholz³, T. Raitza³,
G. Röpke³, V. Fortov

¹ *Institute of Problems of Chemical Physics of RAS, 142432, Chernogolovka, Russia.*

² *Institute for High Energy Densities of RAS, IHED-IVTAN, Izhorskaya 13/19, Moscow 127412, Russia*

³ *Fachbereich Physik, Universität Rostock, 18051 Rostock, Germany*

New results on optical reflectance measurements of shock-compressed dense xenon plasma at wavelengths $\lambda = 532$ nm are reported. The investigations have been performed for nonideal plasma with the nonideality parameter up to $\Gamma \sim 2$.

The generation of the plasma was performed by explosively driven shock waves which lead to compression and irreversible heating of the investigated gas. The variation of density and electron concentration of the plasma was achieved by the change of the initial gas pressure (2–5.7 MPa). To measure the dense xenon plasma reflection coefficient, a pulsed $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Nd}^{3+}$ +KTP laser system with an electro-optical shutter based on a DKDP crystal and higher-order mode suppression of laser radiation was used. The probe pulse of about 15 ns duration was formed by an aspherical optical unit.

The thermodynamic parameters of the plasma were determined from the measured shock wave velocity. Plasma densities of $\rho = 0.27\text{--}3.84$ g cm⁻³, pressures of $P = 1.6\text{--}16.7$ GPa and temperatures of up to $T = 33\ 000$ K were realized during the experiments. The plasma composition was calculated within a chemical picture [1]. Working with a grand canonical ensemble, virial corrections have been taken into account due to charge–charge interactions (Debye approximation). Short-range repulsion of heavy particles was considered within the framework of a soft sphere model. In accordance with these calculations, the free electron density n_e was 1.1–9.1 cm⁻³. Under these conditions the plasma is nondegenerate ($\Theta = k_B T/E_F = 2m_e k_B T(3\pi^2 n_e)^{-2/3}/\hbar^2 = 1.6\text{--}7.1$) and can be characterized by the nonideality parameter $\Gamma = e^2(4\pi n_e/3)^{1/3}/(4\pi\epsilon_0 k_B T) = 0.8\text{--}2.0$.

The obtained high optical reflectance values are characteristic of a metallic fluid and are evidence for a conducting state in the shocked xenon. Reflectance measurements at different wavelengths provide information about the density profile of the shock wave front.

[1] Ebeling W, Förster A, Fortov V, Gryaznov V K and Polishchuk A 1991 *Thermophysical Properties of Hot Dense Plasmas* (Stuttgart: Teubner)