

## ПРОТОННАЯ РАДИОГРАФИЯ ПЛОТНОЙ ПЛАЗМЫ

В.И. Туртиков, А.А. Голубев, К.Л. Губский, В.С. Демидов, А.В. Канцырев, А.П. Кузнецов, Г.Н. Смирнов, А.Д. Фертман, Л.М. Шестов, Б.Ю. Шарков  
*ГНЦ РФ – ИТЭФ, Москва, Россия*

С.А. Колесников, К.А.Бабочкин, С.В. Дудин, В.В. Лавров, В.Б. Минцев, Д.Н. Николаев, А.В. Савченко, В.Я. Терновой, А.В.Уткин, Н.С. Шилкин, Д.С. Юрьев, В.Е. Фортов  
*ИПХФ РАН, Черногловка, Россия*

В.В.Бурцев, Н.В. Завьялов, С.А. Картанов, А.Л.Михайлов, А.В.Руднев, М.В.Таценко  
*РФЯЦ – ВНИИЭФ, Саров, Россия*

Метод радиографического исследования вещества с использованием высокоэнергетических пучков заряженных частиц предоставляет уникальные возможности для получения прямой информации о распределении плотности вещества в плотных оптически непрозрачных объектах непосредственно в условиях быстропротекающего динамического эксперимента.

В последние годы на протонно-радиографической установке, созданной на базе ускорителя ТВН-ИТЭФ, проводятся исследования ударно-волновых явлений в плотной плазме в экстремальных состояниях. Энергия пучка протонов на данной установке составляет 800 МэВ, интенсивность –  $10^{10}$  частиц на сброс, состоящий из четырех импульсов длительностью  $70 \pm 5$  нс каждый с интервалом между импульсами  $250 \pm 15$  нс. Регистрация изображений осуществляется с помощью высокоскоростных цифровых фотокамер с привязкой к отдельному импульсу пучка протонов. Пространственное разрешение установки, измеренное в статических экспериментах, составляет величину  $\sim 50$  мкм. Для создания ударных волн в исследуемых объектах используется энергия взрывчатых веществ (ВВ), поэтому экспериментальные мишени располагаются внутри взрывозащитной камеры, рассчитанной на применение до 100 г ВВ в тротиловом эквиваленте.

В качестве тестового динамического объекта на установке исследовались детонационные волны в конденсированных ВВ. В опытах были получены серии кадров двумерного распределения линейной плотности (т.е. плотности вдоль протонного луча) в детонационной волне, на основе которых было проведено измерение скорости детонации и восстановление профилей объемной плотности на оси зарядов. Анализ данных профилей показал, что в окрестности точки Чепмена-Жуге и в последующей области разгрузки они демонстрируют не только качественное, но и хорошее количественное совпадение с существующими экспериментальными данными, полученными другими методиками. Это свидетельствует о том, что метод протонной радиографии позволяет получить в единственном динамическом эксперименте набор данных, с учетом уравнений газовой динамики полностью описывающий состояние вещества, претерпевшего детонационное превращение.

В настоящий момент на протонно-радиографической установке ТВН-ИТЭФ проводятся исследования плотной неидеальной плазмы аргона и ксенона, образующейся в ходе ударно-волнового нагружения. Давление ударного сжатия  $P$  в аргоне в экспериментах составляло от 100 до 1000 бар, температура  $T$  – 8-20 кК при величине параметра неидеальности  $\Gamma$  образующейся плазмы  $\sim 1$ . В аналогичных условиях нагружения в ксеноне достигались значения  $P=4-6.5$  кбар,  $T=20-25$  кК и  $\Gamma=1-2.5$ . На ряде полученных протонно-радиографических изображений для аргона зафиксировано наличие распространяющейся в нем ударной волны, однако в существующей постановке эксперимента наблюдаемый перепад плотности в ней находится на грани чувствительности метода, поэтому определить точное численное значение плотности ударно-сжатого аргона пока оказалось невозможным. Существенно лучшая картина наблюдается в ксеноне, где при ударном сжатии отчетливо наблюдается образование и развитие ударной волны и «плазменной пробки» за ее фронтом. Дальнейшая обработка данных протонно-радиографических изображений позволит с высокой точностью определить плотность образовавшейся ударно-сжатой плазмы ксенона.

Работа поддержана Госконтрактами №№ Н.4е.4503101016 и Н.4т.4590101055 и Программой Фундаментальных исследований Президиума РАН №П-09.