СПЕКТРАЛЬНАЯ ПРОЗРАЧНОСТЬ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ ГАДОЛИНИЯ, СОЗДАННОЙ ОБЛУЧЕНИЕМ Z-ПИНЧА НА УСТАНОВКЕ АНГАРА-5-1 [[1]](#footnote-1)\*)

1Грицук А.Н., 1Александров В.В., 1Браницкий А.В., 1Грабовский Е.В., 1Митрофанов К.Н., 1Олейник Г.М., 1Фролов И.Н., 2Баско М.М., 3Родионов Н.Б., 3Родионова В.П.

1ГНЦ РФ “ТРИНИТИ”, Москва, Россия  
2ИПМ имени М. В.Келдыша, Москва, Россия  
3ЧУ ГК Росатом «Проектный центр ИТЭР», г. Москва, Россия

Эксперименты по созданию высокотемпературной плазмы гадолиния и исследованию её спектральных свойств были проведены на установке Ангара-5-1 с разрядным током до 4 МА. При имплозии вольфрамовых многопроволочных сборок образуется Z-пинч, который является источником импульса мягкого рентгеновского излучения (МРИ) мощностью до 10 ТВт с длительностью ~8 нс. Это обеспечивает плотность мощности до 1 ТВт/см2 и плотность энергии до 10 кДж/см2 на поверхности мишени [1], которая состояла из майларовой пленки толщиной 0.6 мкм с напыленным слоем гадолиния толщиной от 40 до 80 нм. Толщина слоя Gd контролировалась методами атомно-силовой микроскопии. Схема измерений позволяла определять спектральную зависимость коэффициента пропускания плазмы мишени с временным разрешением [2]. Численное моделирование облучения Z-пинчом мишеней проводилось при помощи двумерного радиационного газодинамического кода RALEF-2D [3]. Этот код реализует уравнения гидродинамики с учетом теплопроводности и спектрального переноса теплового излучения. Перенос излучения рассматривается в каждый момент времени в рамках стационарного уравнения переноса с рассчитанными заранее параметрами по коду THERMOS [4]. Для описания уравнений состояния в коде RALEF2D используется модель FEOS [5]. Свойства майлара описывались следующим образом. Пробеги фотонов соответствовали смеси C5O2. Уравнение состояние бралось как для чистого углерода с модификацией параметров при низких температурах так, что плотность при нормальных условиях была равна 1.39 г/см3, а критическая температура 640 K. Греющее излучение в расчетах аппроксимировалось суммой трех компонент с разными спектрами и временными профилями, с учетом относительно слабого, но длительного предимпульса [2], чтобы быть максимально близким к экспериментальному импульсу МРИ. Расчеты показывают, что на фронтальной стороне мишени в момент максимума МРИ температура плазмы Gd ~40-45 эВ, плотность ~0.5-1 мг/см3. Как и в случае других материалов, исследованных ранее [2], в эксперименте было получено, что коэффициент пропускания плазмы мишени Gd+майлар вблизи максимума импульса облучения многократно увеличивается по сравнению с коэффициентом пропускания «холодного» материала мишени в диапазоне длин волн ~50-200 Å. Также в высокотемпературной плазме мишени наблюдается узкая полоса поглощения в области ~65-70 Å.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант №20-21-00082).

Литература

1. В.В. Александров, и др., Физика плазмы. 2021. Т. 47. № 7. С. 613–650.
2. В.В. Александров, и др., Физика плазмы. 2022. Т. 48. № 9. С. 847–870.
3. M.M. Basko, J. Maruhn, and A. Tauschwitz, J. Comput. Phys. 2009 **228**, 2175.
4. A.F. Nikiforov, et al., Quantum-Statistical Models of Hot Dense Matter. Methods for Computation Opacity and Equation of State (Birkhauser, Basel, Switzerland 2005).
5. S. Faik, M.M. Basko, et al., High Energy Density Physics 2012 **8**, 349.

1. \*) [DOI – тезисы на английском](http://www.fpl.gpi.ru/Zvenigorod/L/It/en/DI-Gritsuk_e.docx) [↑](#footnote-ref-1)