

А.В. Браницкий¹, Е.В. Грабовский¹, К.Л. Губский², Г.М. Олейник¹, А.В. Ребезов², И.Н. Фролов¹, О.М. Шебела²

¹АО "ГНЦ РФ ТРИНИТИ" г. Москва Троицк, Россия

²Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ ДОПЛЕРОВСКОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ И ТЕНЕГРАФИИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ФЛАЕРА НА УСТАНОВКЕ АНГАРА-5-1

Проведена серия экспериментов по определению скорости движения поверхности флаера посредством использования интерферометрической системы ВИЗАР. Измерения производились при помощи квадратурного неравноплечного и квадратурного неравноплечного дифференциального интерферометров, а также методом лазерного теневого зондирования.

A.V. Branitskii¹, E.V. Grabovskii¹, K.L. Gubskii², G.M. Oleinik¹, A.V. Rebezov², I.N. Frolov¹, O.M. Shebela²

¹State Research Center of the Russian Federation Troitsk Institute of Innovation and Fusion Research, Troitsk, Moscow, Russia

²National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, Russia

APPLICATION OF DOPPLER INTERFEROMETRY AND SHADOWGRAPHY FOR MEASURING FLYER SPEED AT THE ANGARA-5-1 FACILITY

A series of experiments were conducted to determine the speed of a flyer's surface using the VIZAR interferometric system. Measurements were made using a quadrature unequal-arm interferometer and a quadrature unequal-arm differential interferometer, as well as laser shadow sensing.

Импульсы высоких давлений представляют интерес для исследования по нескольким причинам. В первую очередь, являясь главным инструментом для исследования экстремальных состояний веществ, осуществляется проверка поведения материала в условиях, например, схожих с положением объекта внутри ядра планеты, эпицентра ядерного взрыва и т. д. Также стоит упомянуть модификацию материалов, создание новых особенностей в сфере материаловедения и их применение на уже существующих установках в качестве модификации. И наконец, нельзя не отметить исследования, связанные со сжатием мишеней для запуска термоядерных реакций.

Одним из способов, позволяющих исследовать динамические характеристики вещества при субмикросекундных процессах, является разгон ударника (флаера) при помощи магнитного поля с линейной плотностью тока порядка 5 МА/см. На этом принципе основана методика разгона металлического образца на установке «Ангара 5-1» [1].

Измерение скорости флаера осуществлено при помощи лазерной интерферометрии, где быстродействие системы ограничивается реакцией фотоприемника, а воздействие отдельных точек профиля исключается по мере уменьшения размера пятна излучения на исследуемой поверхности. Флаер облучается зондирующим лазером с длиной волны 532 нм. Частота отраженного от флаера света за счет Допплер эффекта изменяется.

Для ввода и вывода излучения использовался волоконный датчик – два параллельно сведенных радиационно-стойких волокна со сколотыми торцами, склеенные вместе. Для измерения скорости поверхности флаера применялась интерферометрическая система ВИЗАР [2]. Система состоит из двух плеч, в одном из которых находится плоскопараллельное стекло, в результате чего интерферирующие лазерные лучи имеют временную задержку относительно друг друга.

В данной работе использовалось 2 интерферометра: квадратурный неравноплечный (КНИ) и квадратурный дифференциальный неравноплечный (КДНИ). Разделение интерференционного сигнала на два квадратурных позволяет исследовать фазовый эллипс для определения скорости без потери истории направления движения интерференционной картины. Дифференциальная регистрация позволяет избежать воздействия скачков интенсивности и соответствующей засветки ФЭУ.

Дальнейшая нониусная обработка графиков значений скорости основана на использовании отличных друг от друга оптических задержек в интерферометрах. В случае быстропротекающих процессов с высокой энергией ВИЗАР способен определить сдвиг фазы с точностью до одного периода. Правильно подобранное количество сдвигов на двух графиках приводит к их совпадению, а значит и нахождению истинной скорости.

Было произведено несколько измерений скорости флаера методом нониусной обработки графиков значений интерферометров, а также методом теневого лазерного зондирования. В качестве примера рассмотрим на рисунке 1 полученные результаты для одного выстрела.

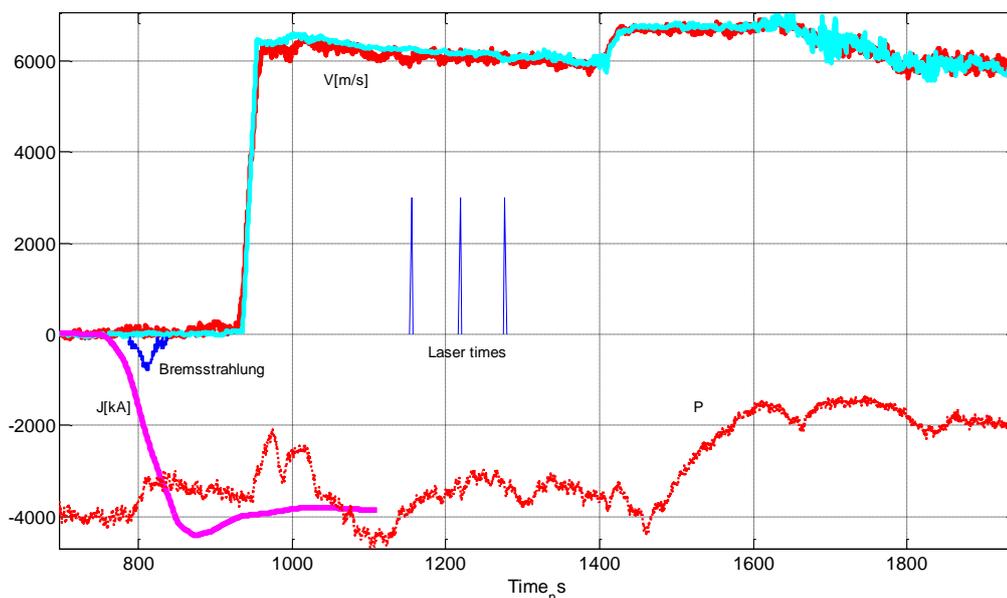


Рисунок 1. Обзор процессов в эксперименте по ускорению флаера и регистрации его скорости. J – ток; bremsstrahlung – интенсивность тормозного излучения; P – мощность отраженного от флаера излучения; Laser times – импульсы тенеграфии; V – скорость флаера представлена двумя практически совпадающими кривыми по результатам КНИ и КДНИ.

Таким образом, была продемонстрирована возможность проведения измерений скорости флаера системой ВИЗАР на установке Ангара-5-1 с помощью световолокна в условиях наличия мощного тормозного излучения

В момент 1255 нс скорость флаера, определенная по тенеграфии, составила 5750 км/с, а по ВИЗАРу составила 6070 м/с. Эти две цифры отличаются друг от друга на 6%. Это отличие могло быть вызвано, например, отличием фронта волны сжатия от плоского. Кроме того, ошибка измерения скорости теньвым методом ~10%, в основном из-за конечного пространственного разрешения по объекту.

Дальнейшая модернизация системы подразумевает уменьшение длины волоконного датчика для возможности осуществления юстировки оптической схемы вне вакуумной камеры установки.

Список литературы:

1. Г. М. Олейник, А. В. Браницкий, М. П. Галанин, Е. В. Грабовский, И. Ю. Тищенко, К. Л. Губский, А. П. Кузнецов, Я. Н. Лаухин, А. П. Лотоцкий, А. С. Родин, В. П. Смирнов, С. И. Ткаченко, И. Н. Фролов Ускорение металлических ударников на установке “Ангара-5-1”//; ФИЗИКА ПЛАЗМЫ, 2024, том 50, № 8, с. 905–916
2. Кузнецов А.П., Колесников С.А., Голубев А.А., Губский К.Л., Дудин С.В., Каньков А.В., Туриков В.Н., Уткин А.В., Якушев В.В. Лазерный интерферометр для измерения массовой скорости // Приборы и техника эксперимента. – 2011. – № 3. – С. 116–124.