

## Текст защиты курсовой работы Исследование движения ударных волн теневым методом

Слайд 1: Добрый день!

Меня зовут Милицина Анна и сегодня я хотела бы рассказать о моей курсовой работе «Исследование движения ударных волн теневым методом».

Слайд 2: Теневые методы применяются в различных областях науки и техники для получения изображения прозрачных, но оптически неоднородных объектов, для которых характерно изменение в пространстве оптического показателя преломления. Приведем несколько характерных примеров. В оптике – это контроль производства оптических элементов. В аэродинамике и баллистике – исследования обтекания тел газовыми потоками. В физике горения и взрыва – определение температурных полей и скачков плотности в газовых средах. Высокоскоростная теневая фотография широко используется и для исследования плазмы.

Анализ теневых изображений дает качественную информацию о распределении показателя преломления в плазменном объекте. Теневым методом обладает высокой наглядностью и информативностью. По такой теневой фотографии (тенеграмме) можно с большой точностью определить форму и границы неоднородности. В этом и состоит актуальность данной работы.

Целью данной работы является изучение теневого метода получения изображений на примере движения плоской ударной волны в канале ударной трубы и разработка метода определения координат неоднородностей на основе сканирования поля изображения. Была поставлена экспериментальная задача зарегистрировать высокоскоростным теневым методом плоскую ударную волну в канале с прямоугольным препятствием, а также задача обработки теневых изображений течений с ударной волной в канале разрядной камеры, в том числе в плазменной области после инициирования импульсного объемного разряда.

Слайд 3: Все эксперименты проводились на ударной трубе с разрядной камерой. В рабочей секции противоположные стенки образованы плоскопараллельными кварцевыми стеклами того же поперечного сечения, что у канала. Рабочим газом является воздух под давлением 3-250 торр. С помощью системы откачки (камера низкого давления откачивалась до 5-50 торр. Резкий разрыв диафрагмы между камерами высокого и низкого давления приводил к образованию ударной волны. Теневые изображения газодинамического поля течения в экспериментах регистрировались высокоскоростной камерой с частотой кадров до 150000 к/с. Оптическая система теневого зондирования формировала излучение непрерывного зеленого лазера и направляла его перпендикулярно стеклам разрядной камеры. Направление оси X совпадает с направлением распространения исходной плоской ударной волны.

Слайд 4: Расчет скорости ударной волны по теневым изображениям, полученным в ходе эксперимента, проводится с помощью программы сканирования интенсивности. Рассмотрим её работу на примере изображения из *Эксперимента №2*. Определялась координата максимального градиента освещенности изображения на разных участках в области фронта ударной волны.

Для того, чтобы получить график интенсивности исследуемого изображения, необходимо:

- 1) Дать программе доступ к исследуемому изображению;
  - 2) Указать границы сканирования по оси X: для этого необходимо заполнить поля x1, x2;
  - 3) Указать высоту, на которой будет проводиться сканирование: для этого необходимо заполнить поля y1, y2;
  - 4) Указать диапазон высот по оси Y: для этого необходимо заполнить поле HalfWidth;
  - 5) Нажать кнопку «Show Profile»;
  - 6) Затем программа построит зависимость интенсивности в диапазоне выбранной высоты от координаты и запишет на компьютер два файла с координатами точек
- Используя полученные данные, можно построить зависимость координаты фронта ударной волны от времени.

Слайд 5: В Эксперименте №1 образуется ударная волна, которая движется равномерно (рисунок слева) в неизменном направлении. На слайде приведены кадры теневой высокоскоростной съемки, полученные в ходе эксперимента 1. Время между кадрами 1 и 3, 3 и 5 составляет 13,4 мкс. Фронт ударной волны движется равномерно. Скорость движения, определенная по кадрам,  $v = 748 \pm 4$  м/с совпадает с измеренной по сигналам пьезодатчиков.

Слайд 6: В Эксперименте №2 оптические приборы были направлены на нижнюю область разрядной камеры: препятствие видно в левом нижнем углу изображений на *рисунке слева*. Время между приведенными кадрами составляет 6,7 мкс. После прохождения препятствия верхняя часть фронта движется с постоянной скоростью, а нижняя часть – замедляется. Также наблюдается дифракция УВ: появляются ударные волны, отраженные от нижней стенки и образовавшиеся вблизи препятствия. Ударно-волновая конфигурация изменяется с течением времени в результате движения и взаимодействия всех волн друг с другом.

По сигналам датчиков с помощью обработки осциллограммы давления была определена скорость УВ 1157 м/с.

По графику рассчитанная скорость составляет 1176  $\pm$  21 м/с.

Слайд 7: В первом случае (Эксперимент №4, рисунок слева) при распаде исходной плоской ударной волны образуются две ударные волны и контактная поверхность, а на границе плазма-неподвижный воздух образуются ударная волна, контактная поверхность и волна разрежения. Одна из образовавшихся ударных волн движется вправо по области релаксирующей плазмы, сжимая ее и вызывая длительное послесвечение. Поверхностные разряды инициируют ударные волны, движущиеся в поперечном к фронту исходной ударной волны направлении и влияющие на структуру течения в целом. Ударно-волновая конфигурация изменяется с течением времени в результате движения и взаимодействия всех волн друг с другом. Во втором случае (Эксперимент №3, рисунок слева) при выходе фронта ударной волны за пределы разрядного объема, структура свечения разряда и структура ударно-волновой конфигурации после разряда другие. В объеме образуются две ударные волны, движущиеся в противоположные стороны, и две КП, ограничивающие область газа, по которому протекал ток разряда. Поверхностные разряды создают ударные волны в спутном потоке и более интенсивные вблизи фронта ударной волны.

В Эксперименте №3 образуются две ударные волны, движущиеся от области разряда, и две контактные поверхности (КП), ограничивающие область газа, по которому протекал ток разряда (рис. 13,а). Скорости двух ударных волн в лабораторной системе координат  $v_1 = 804 \pm 10$  м/с и  $v_2 = 542 \pm 20$  м/с (рис. 13,б). Скорость первой больше, чем скорость исходной ударной волны. Вторая волна движется навстречу спутному потоку, и перемещается вправо с меньшей скоростью.

Слайд 8: В результате работы был изучен теневой метод получения изображения на примере движения плоской ударной волны в канале ударной трубы. С помощью данного метода были получены теневые изображения движущейся ударной волной в канале с препятствием. Полученные высокоскоростной камерой серии теневых изображений поля течения позволили исследовать динамику идущих ударных волн.

Также был разработан метод определения координат неоднородностей на основе сканирования поля изображения. Этим методом были определены координаты фронтов ударных волн в разрядной камере и рассчитаны их скорости для трех типов течения: а) при движении плоской ударной волны по каналу без препятствия, б) при движении волны по каналу с прямоугольным препятствием и в) при инициировании импульсного объемного разряда перед ударной волной. Полученные значения скоростей (а, б) сходятся в пределах погрешности со значениями, определенными с помощью пьезодатчиков, что говорит о точности метода обработки теневых изображений.

В результате исследования показано, что анализ теневого изображения эффективен для получения точной информации о движении фронта ударной волны.

Слайд 9: Спасибо за внимание!