

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
физический факультет

# Исследование движения ударных волн теневым методом

---

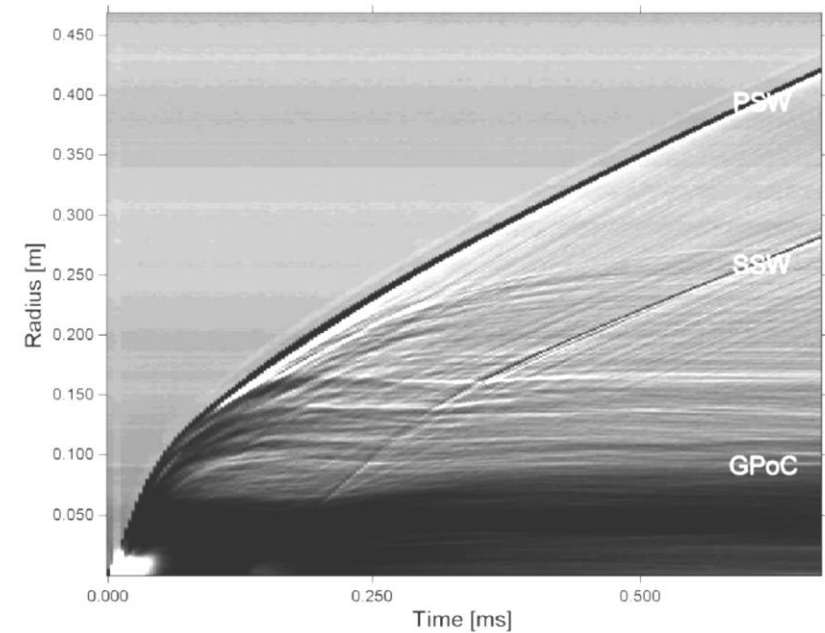
*Выполнила студентка 2 курса 207 группы  
Милицина Анна*

Научный руководитель  
к.ф-м.н., доцент Мурсенкова И.В.

# Актуальность

Анализ теневых изображений дает качественную информацию о распределении показателя преломления в исследуемом объекте.

По тенеграммам можно с большой точностью определить форму и границы неоднородностей.



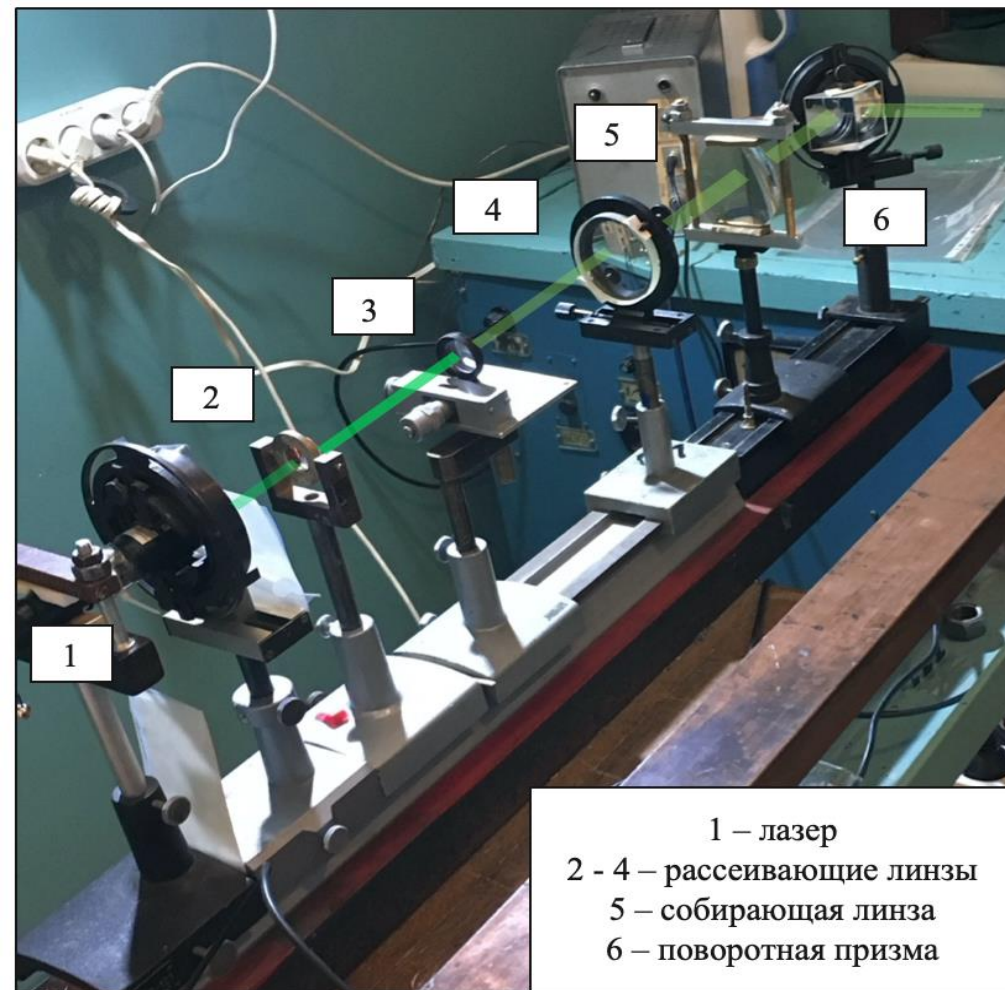
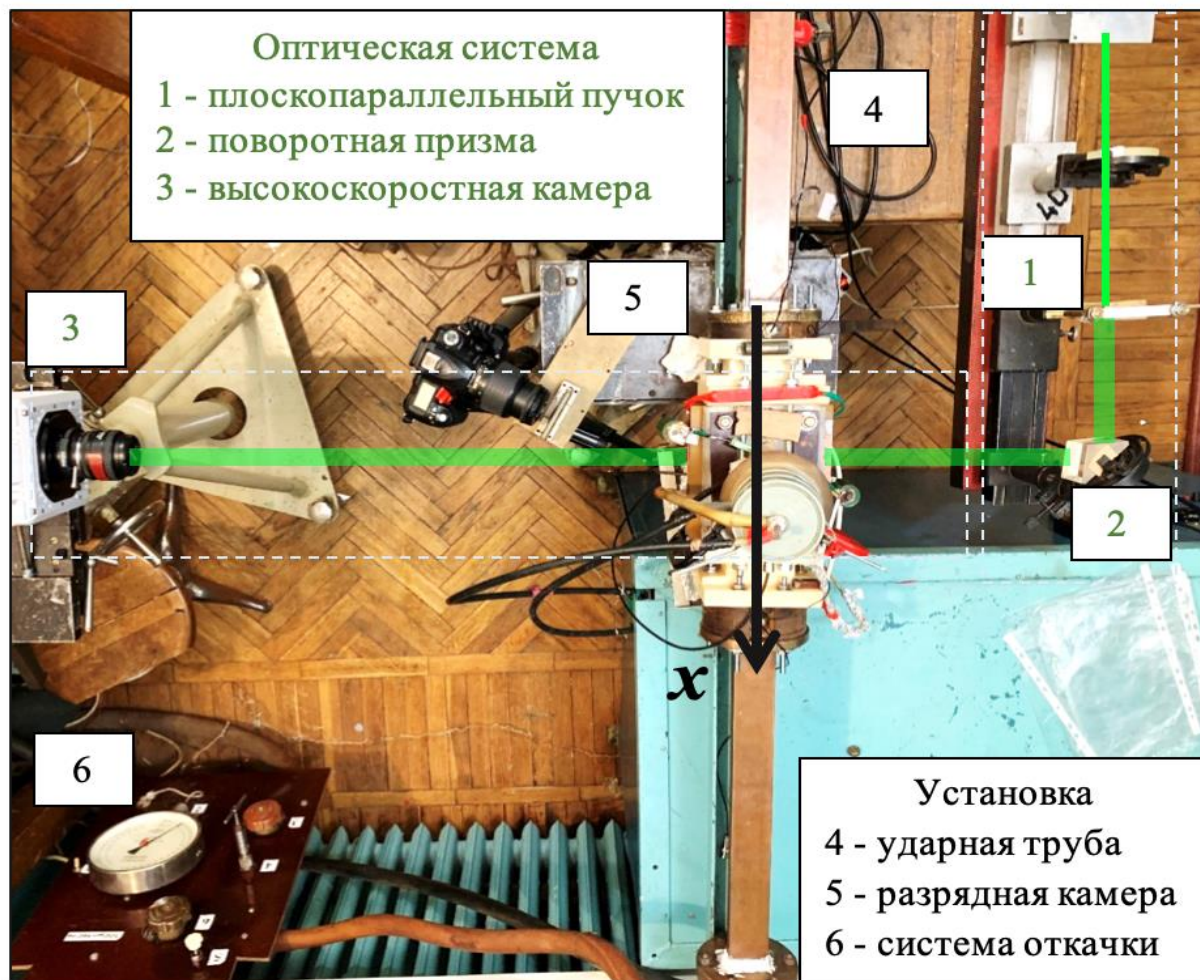
Теневая развертка взрыва комбинированного заряда: PSW - первичная ударная волна, SSW - вторичная ударная волна, GPoC - газообразные продукты сгорания. [G. Settles, and M. Hargather. A review of recent developments in schlieren and shadowgraph techniques. Meas. Sci. Technol. 28 (2017) 042001]

---

## Цели и задачи

- 1) Изучить теневой метод получения изображения ударной волны;
- 2) Получить теневые изображения ударной волны в канале с прямоугольным препятствием;
- 3) Разработать метод обработки теневых изображений;
- 4) Обработать теневые изображения трех типов течения с плоской ударной волной в канале, в том числе после импульсного объемного разряда перед ее фронтом.

# Экспериментальная установка



# Программа сканирования интенсивности изображения и обработка кадров

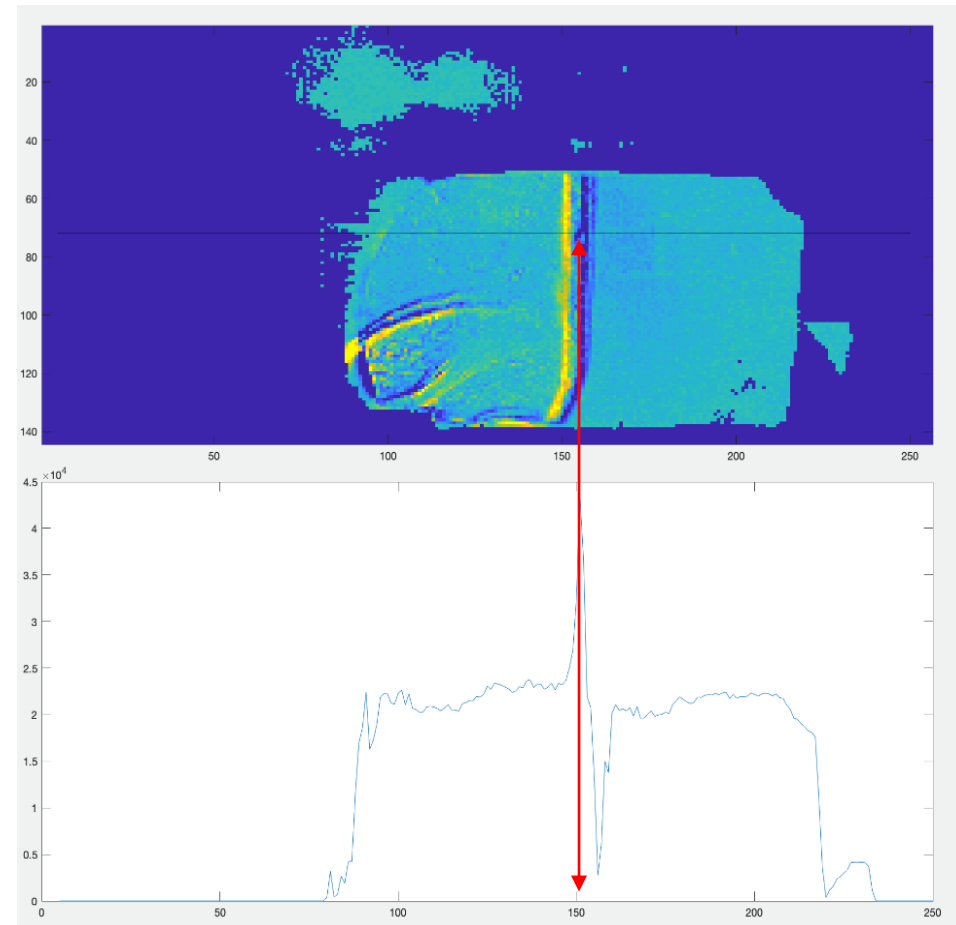
UI controls for the program:

x1:  x2:

y1:  y2:

HalfWidth:

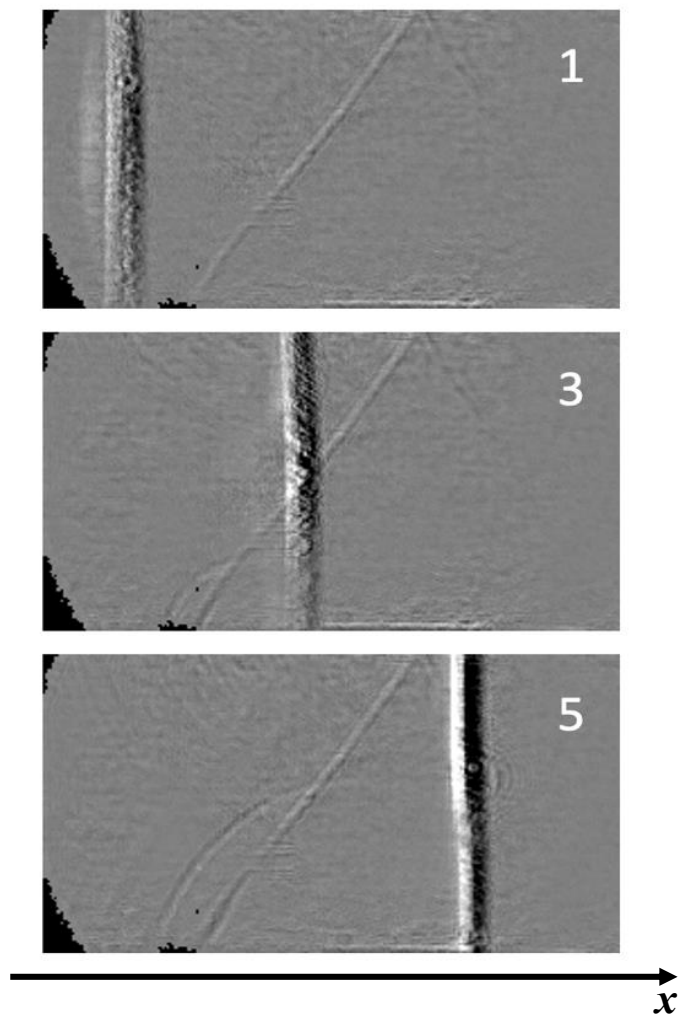
*Скриншот рабочих полей программы*



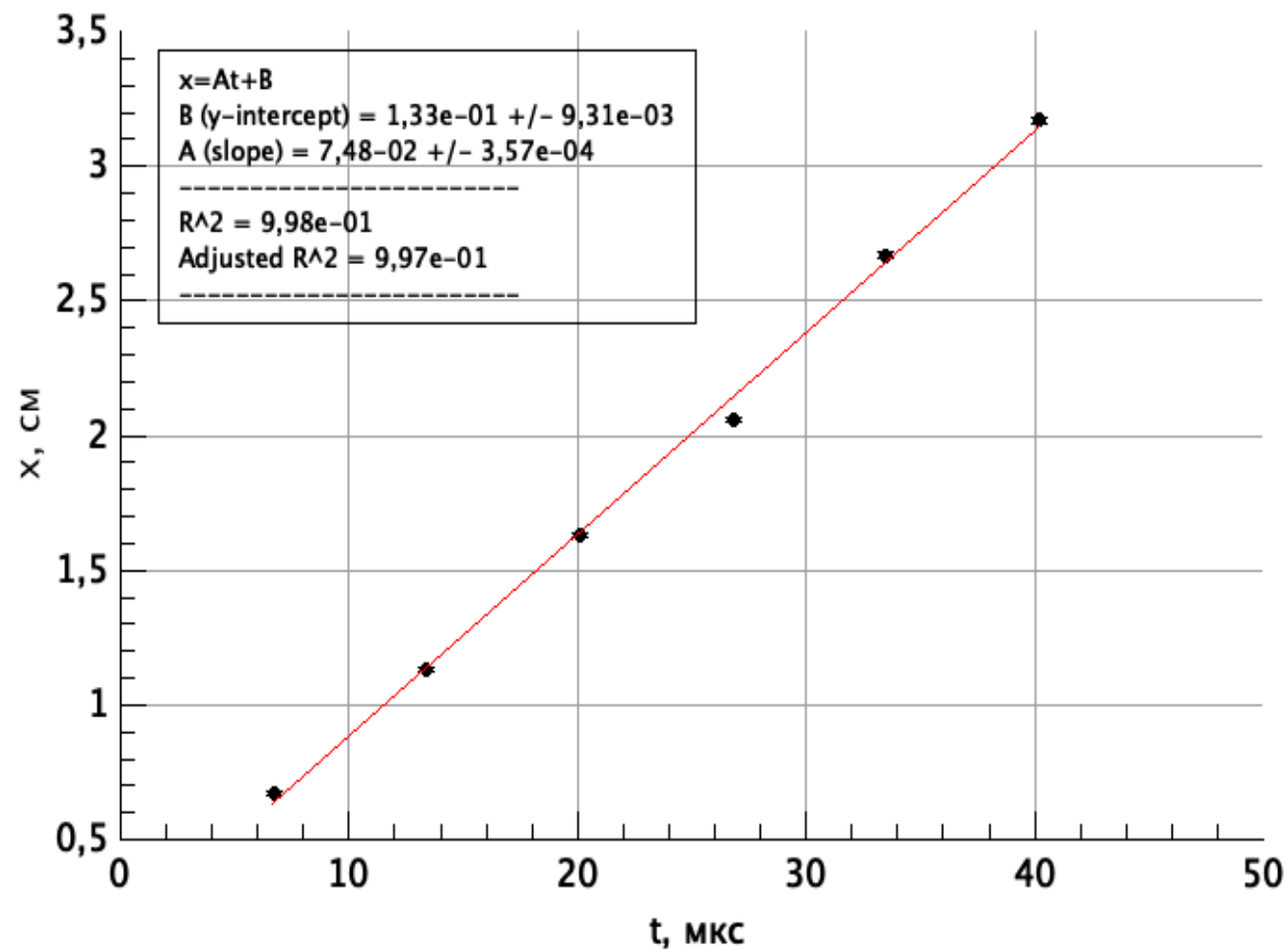
*Скриншот результата работы программы в эксперименте №2*

# Эксперимент №1

$$v = 748 \pm 4 \text{ м/с}$$



*Теневые изображения поля течения (Эксперимент №1)*

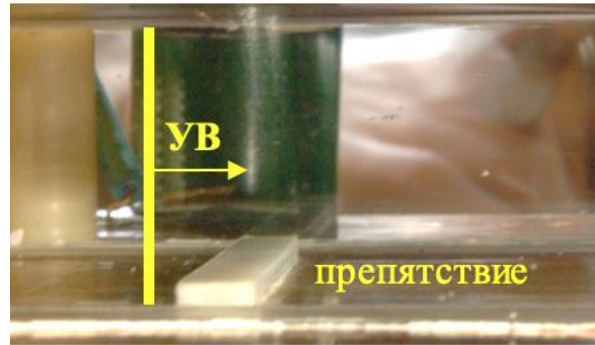
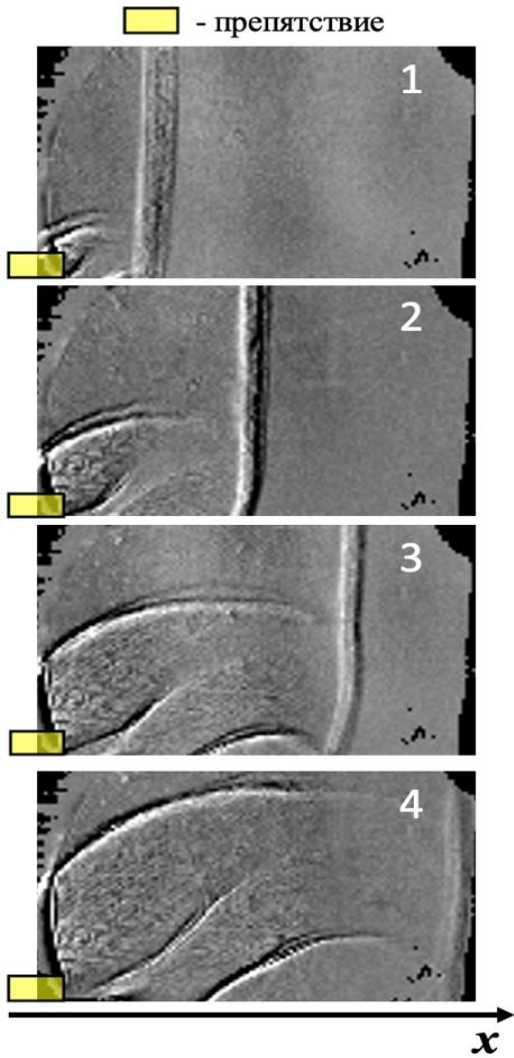


*Зависимость координаты фронта УВ от времени в Эксперименте №1*



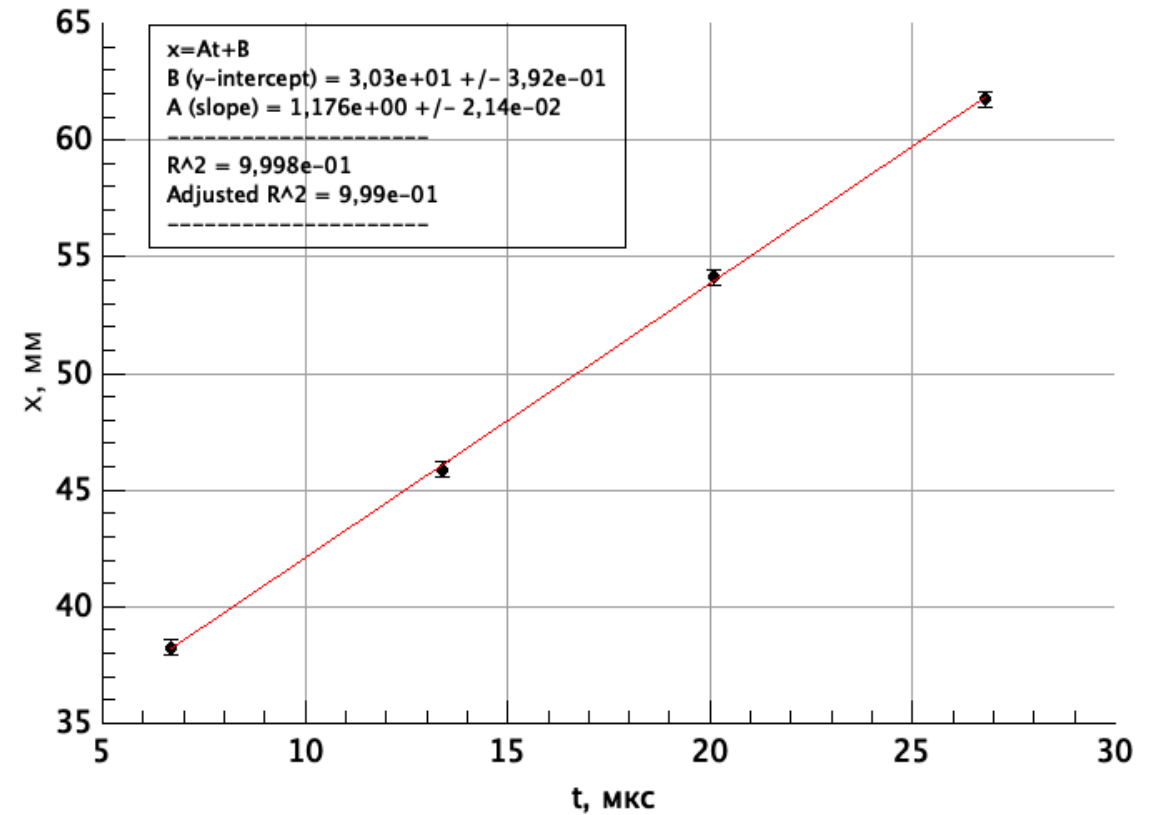
# Эксперимент №2

$$v = 1176 \pm 21 \text{ м/с}$$



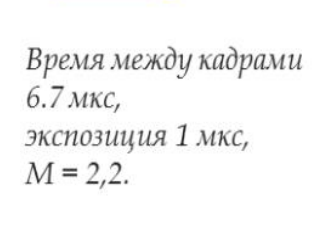
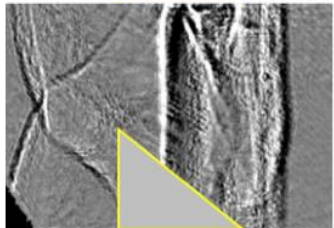
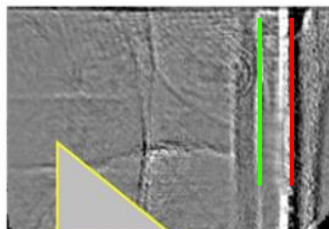
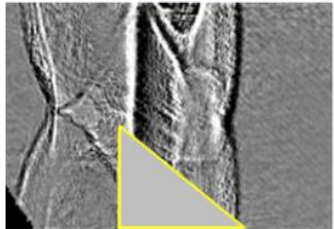
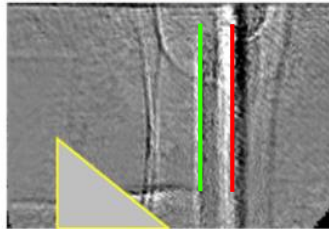
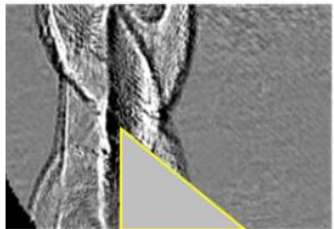
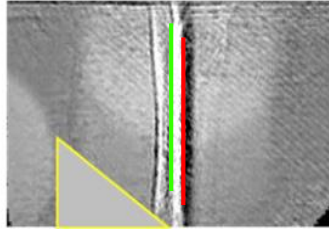
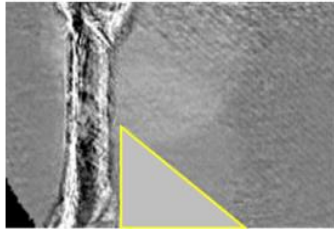
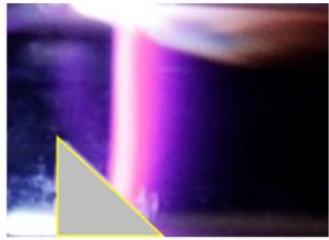
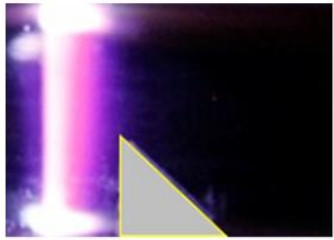
*Разрядная камера с препятствием*

*Теневые изображения после прохождения УВ препятствия (Эксперимент №2)*



*Зависимость координаты фронта УВ от времени в Эксперименте №2*

# Изображения УВ

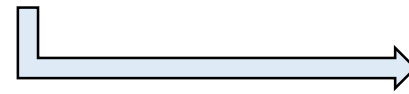


Время между кадрами  
6.7 мкс,  
экспозиция 1 мкс,  
M = 2,2.

№4

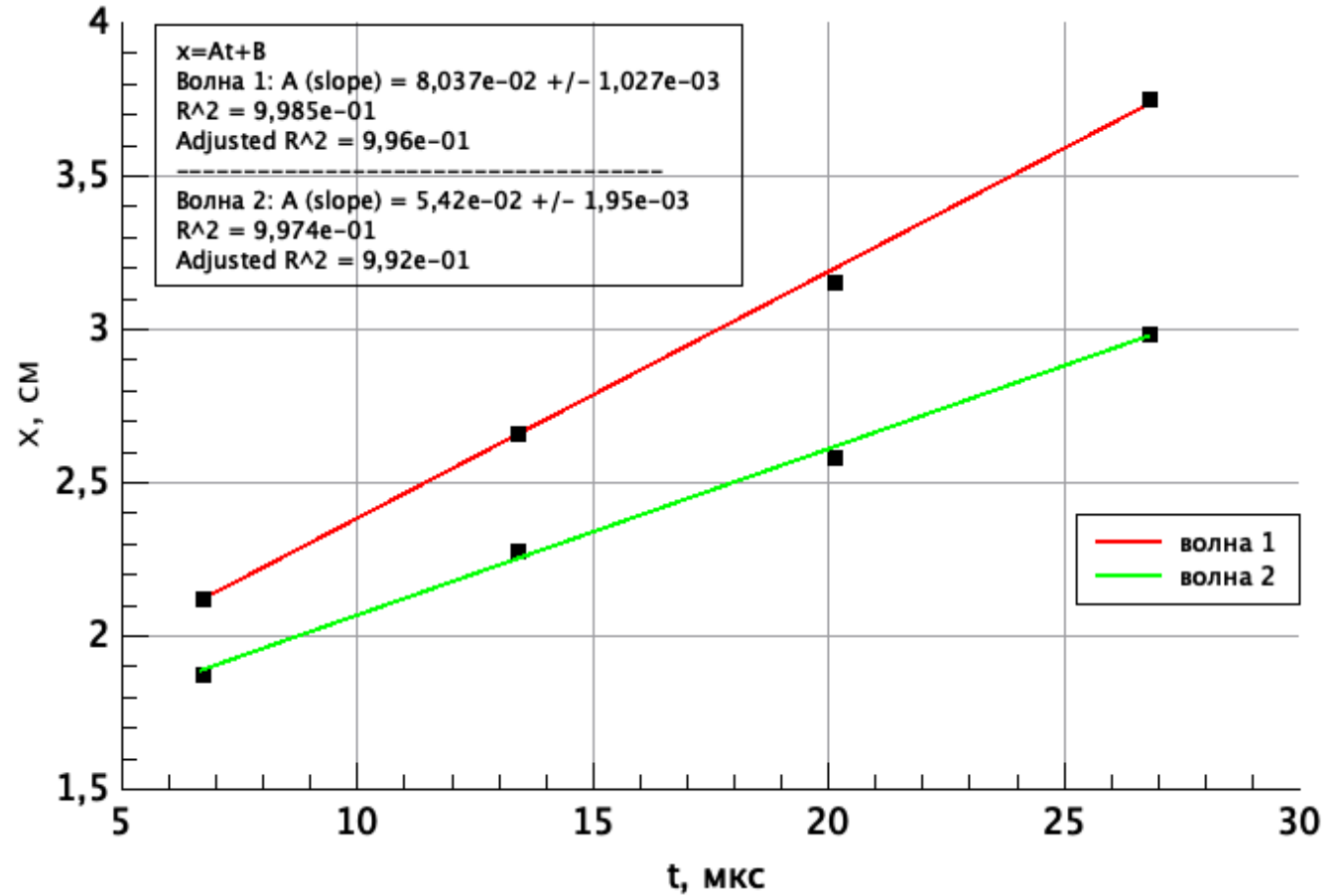
№3

# Эксперимент №3 и №4



$$v_1 = 804 \pm 10 \text{ м/с}$$

$$v_2 = 542 \pm 20 \text{ м/с}$$



Зависимость координаты фронта УВ от времени  
в Эксперименте №3

## Выводы

- ✓ Проведена высокоскоростная теневая регистрация поля течения;
- ✓ Разработан метод обработки полученных изображений;
- ✓ Проведен анализ теневых изображений;
- ✓ Рассчитаны скорости ударных волн.



# Спасибо за внимание!

## Список использованных источников

- [1] Вовченко Е.Д., Кузнецов А.П., Савёлов А.С. Лазерные методы диагностики плазмы М., 2008. 204 с.
- [2] Знаменская И.А., Мурсенкова И.В., Сысоев Н.Н. Экспериментальные исследования ударно-волновых процессов при импульсной ионизации поверхности канала в ударной трубе. ИФЖ, 2011. Т. 84, № 1. С. 32-37.
- [3] Знаменская И.А., Кузнецов А.Ю., Мурсенкова И.В., Дорощенко И.А. Движение газодинамических разрывов после взаимодействия плоской ударной волны с импульсным разрядом. Proceedings of the 17 Workshop on Magneto-Plasma Aerodynamics. Moscow, JИИТ RAS, 2018. P. 32-37.
- [4] Мурсенкова И.В., Ляо Ю., Иванов И.Э., Сысоев Н.Н. Характеристики наносекундного поверхностного скользящего разряда в сверхзвуковом потоке воздуха, обтекающем тонкий клин. Вестник МГУ, Сер. 3. Физика. Астрономия. 2019. № 3. С. 54-60.
- [5] Znamenskaya I., Mursenkova I., Doroshchenko I., Ivanov I. Flow analysis of a shock wave at pulse ionization: Riemann problem implementation. Physics of Fluids. 2019. V. 31, №11. 116101-(1-11)