



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В.ЛОМОНОСОВА»

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА МОЛЕКУЛЯРНЫХ ПРОЦЕССОВ И ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ
СОСТОЯНИЙ ВЕЩЕСТВА

«ЭВОЛЮЦИЯ ПЛАЗМЕННОГО ВИХРЯ ЗА ОБРАТНЫМ УСТУПОМ ПРИ ИМПУЛЬСНОЙ ИОНИЗАЦИИ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО ПОТОКА»

Выполнила студентка 404 группы
Карнозова Елизавета Андреевна

Научный руководитель:
профессор, доктор физ.-мат. наук
Знаменская Ирина Александровна

Цель работы

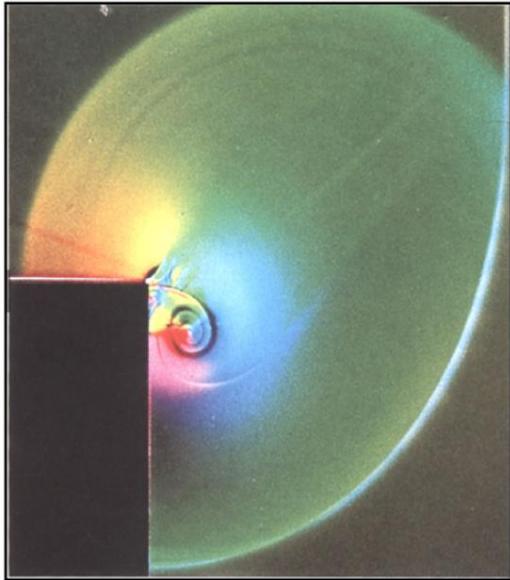
Экспериментальное исследование течения в области обратного уступа за ударной волной при инициированных импульсных разрядах.

Актуальность

Импульсные разряды достаточно эффективны для активного управления потоками газа. Исследования динамики потока, индуцированного импульсным разрядом, является одной из важных задач современной аэродинамики, направленных на разработку методов активного управления газодинамическими течениями.

Дифракция ударной волны на обратном уступе

Дифракция ударной волны на плоском прямом угле относится к одной из широко исследуемых тестовых задач нестационарной газодинамики.



Эксперимент, Такаюта и Иноуэ [2]

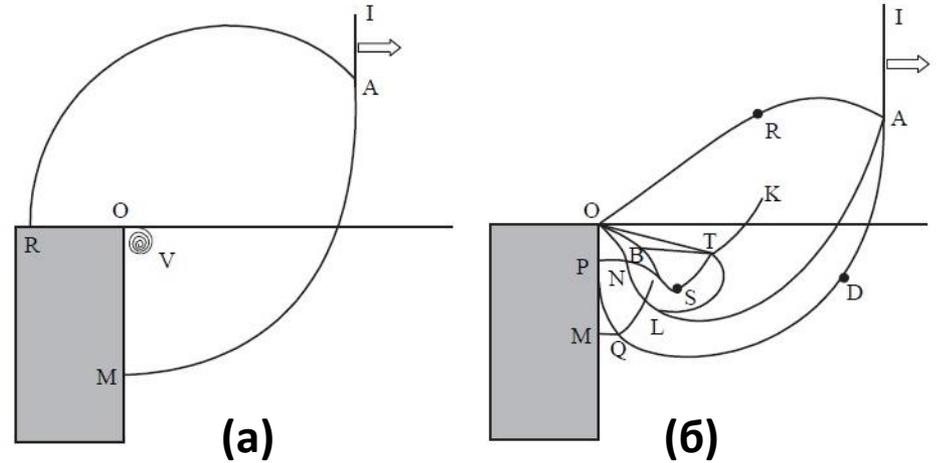
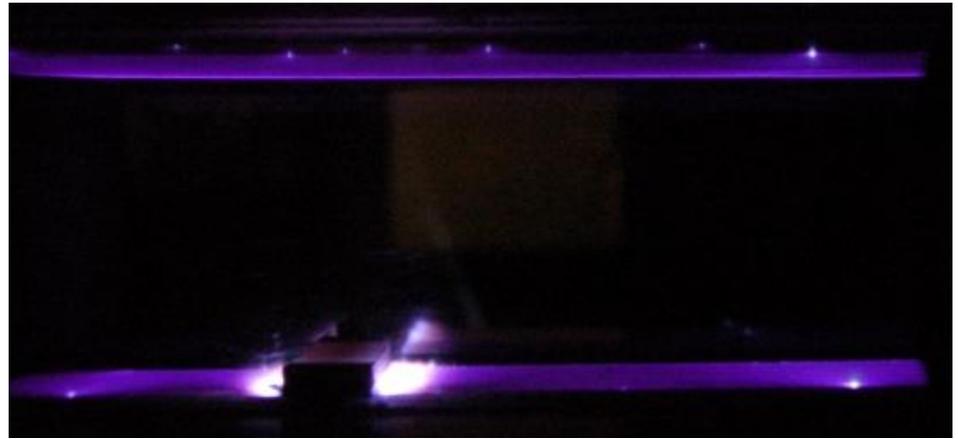
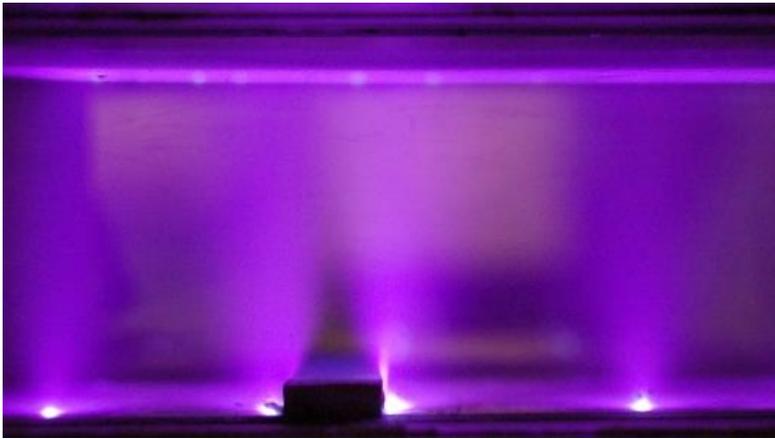


Схема течения при дифракции слабой (а) и сильной (б) ударной волны на прямом угле [1]

IA – падающая ударная волна,
AM – дифрагированная ударная волна,
AO – отраженная акустическая волна,
V – вихрь,
AL – контактная поверхность,
TS – волна торможения, OS – линия отрыва,
TB – косая ударная волна, TK – вторичный скачок,
NP – пристенный скачок, Q – тройная точка,
R и D – точки искривления фронта

Объёмный и поверхностный разряды

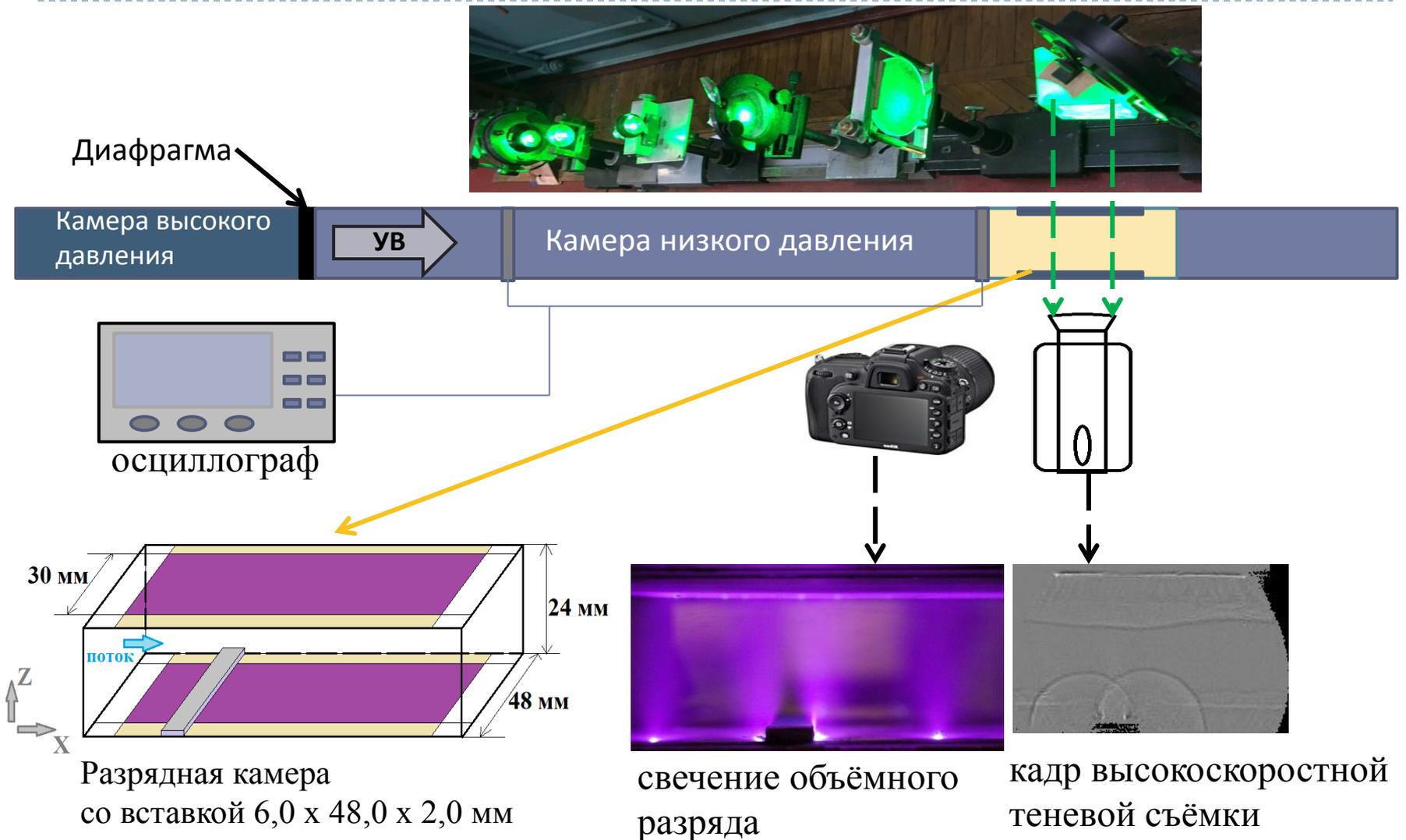
длительность тока – 200-300 нс



Быстропротекающие процессы, характерное время 1 мкс:

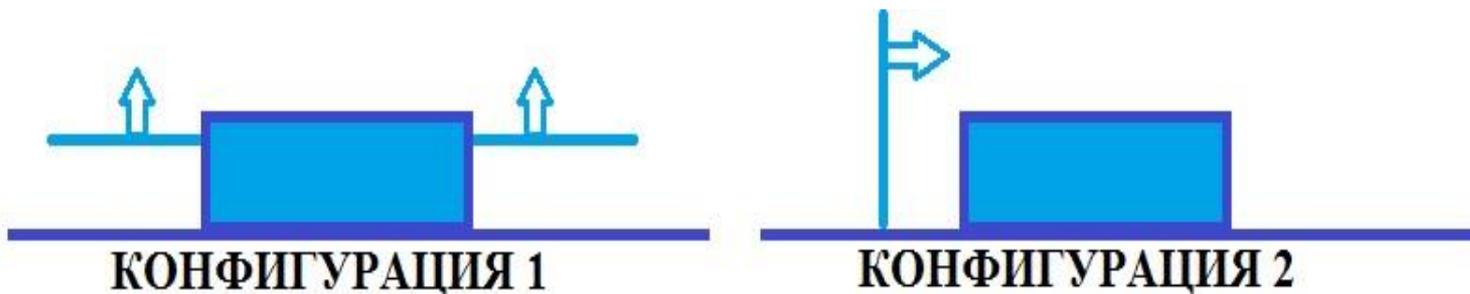
Инициирование разряда → Плазменный взрыв → Газодинамические возмущения среды → Формируется фронт ударной волны, который движется от места локализации разряда.

Экспериментальная установка



Две конфигурации дифракции ударной волны на обратном уступе

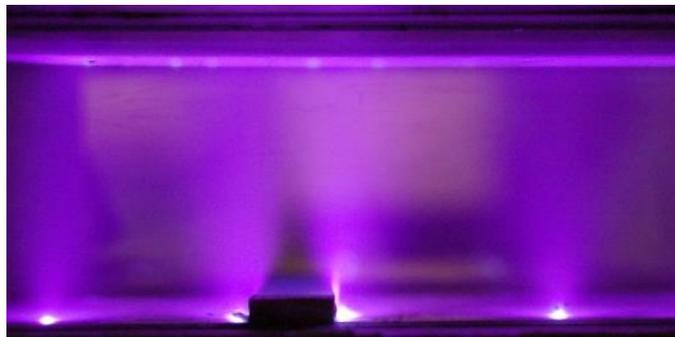
- 1) Дифракция ударной волны от плазменного листа на обратном уступе, образованном верхней плоскостью параллелепипеда.
- 2) Импульсная ионизация потока за плоской ударной волной после ее дифракции на задней стенке препятствия.



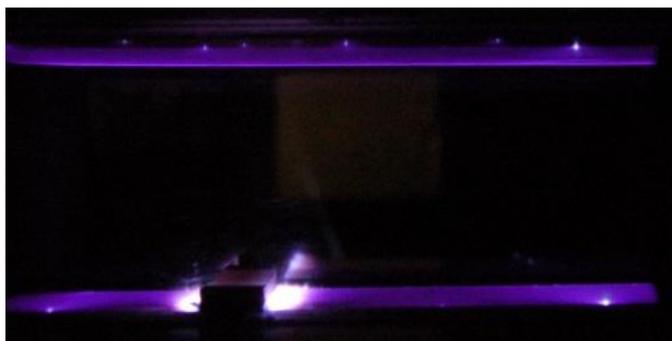
Конфигурация 1



Неподвижный газ.
Свечение. $P=1-2$ торр

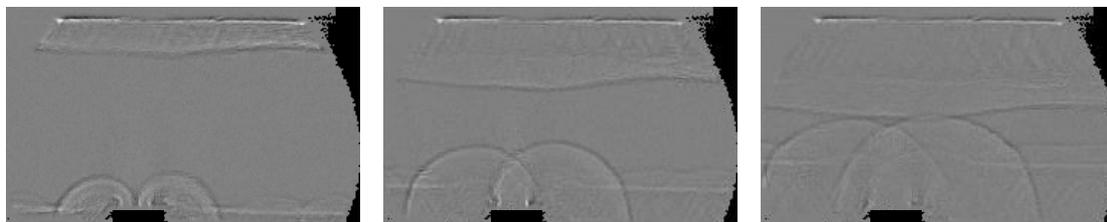


Свечение импульсного
объёмного разряда
(с предионизацией от плазменных листов)

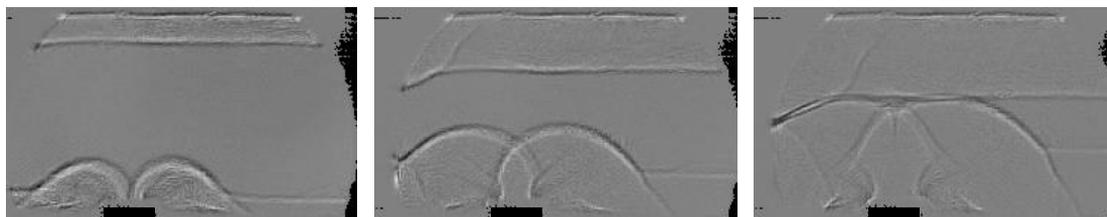


Свечение поверхностного
разряда

Высокоскоростная теневая съёмка



Объёмный разряд, начальное давление в разрядной камере 1 торр.



Поверхностный разряд, начальное давление в разрядной камере 26 торр.

Конфигурация 1

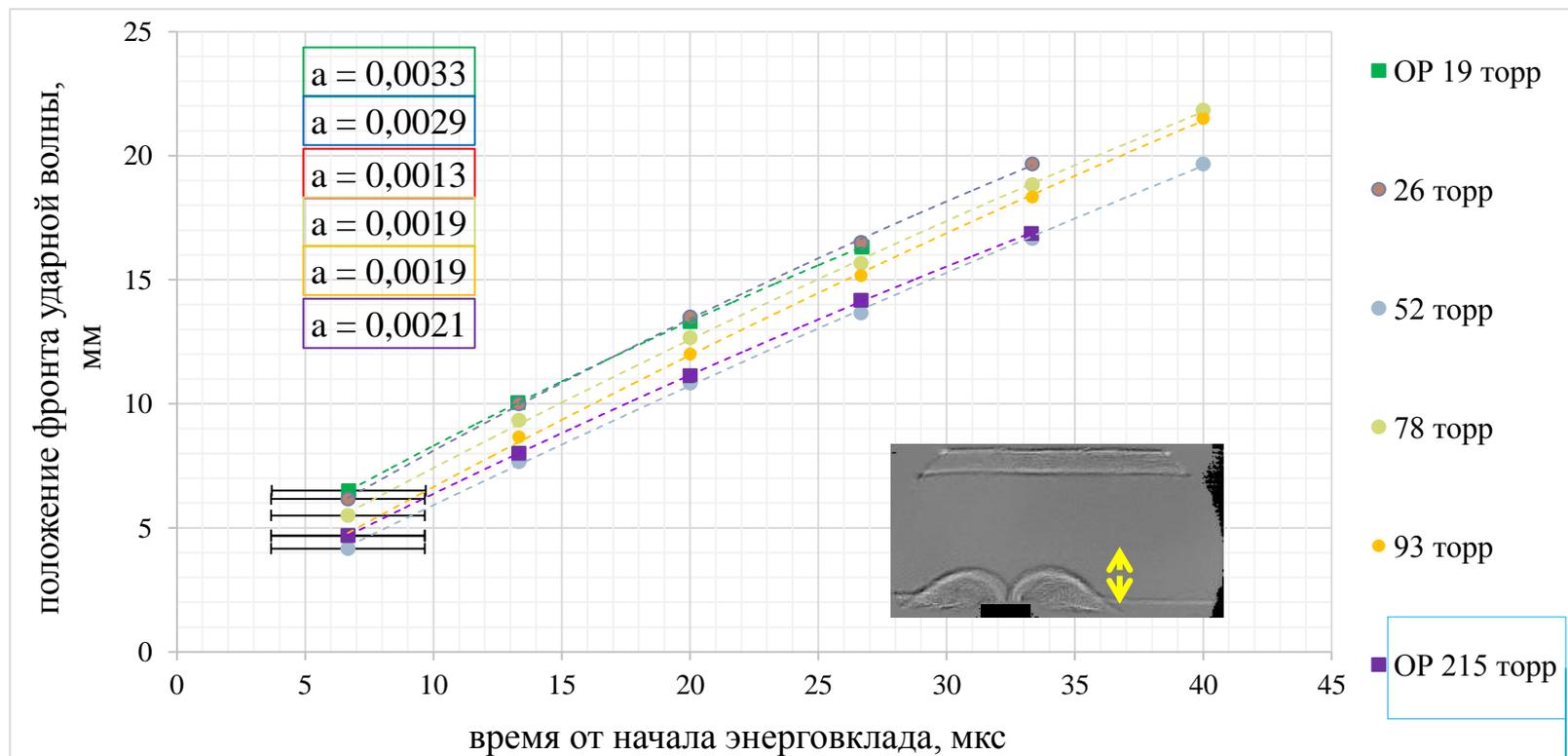
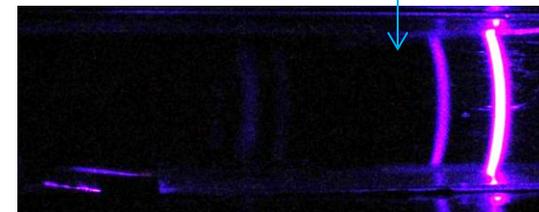


График смещения верхней координаты дифрагировавшего фронта ударной волны от плазменного листа: объёмного (ОР) и поверхностного (ПР) разряда при различных начальных давлениях.

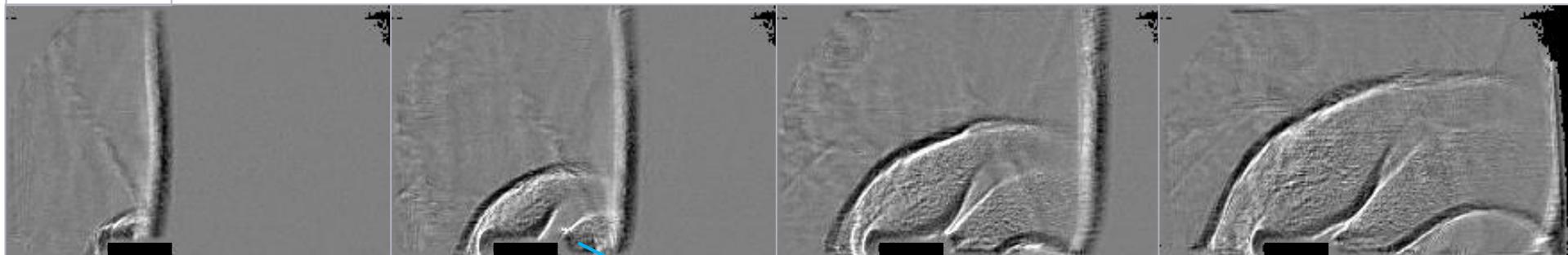


Конфигурация 2

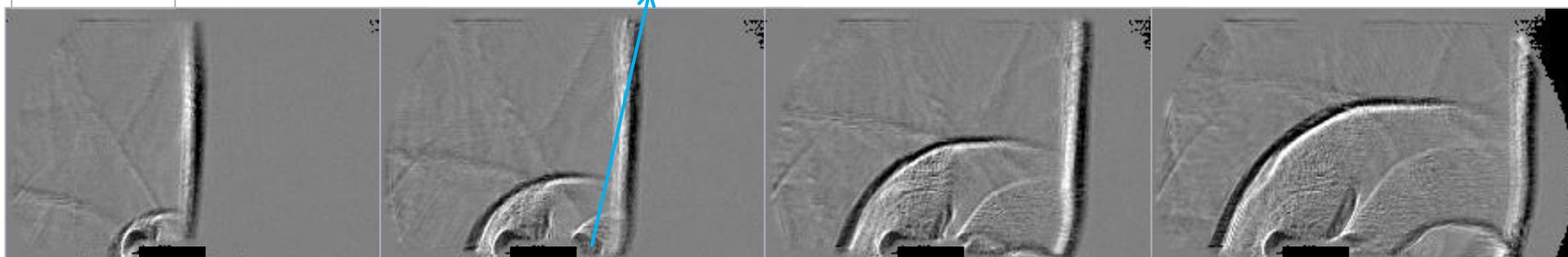


Дифракция плоской ударной волны на задней стенке препятствия

$M=3,4$



$M=2,7$



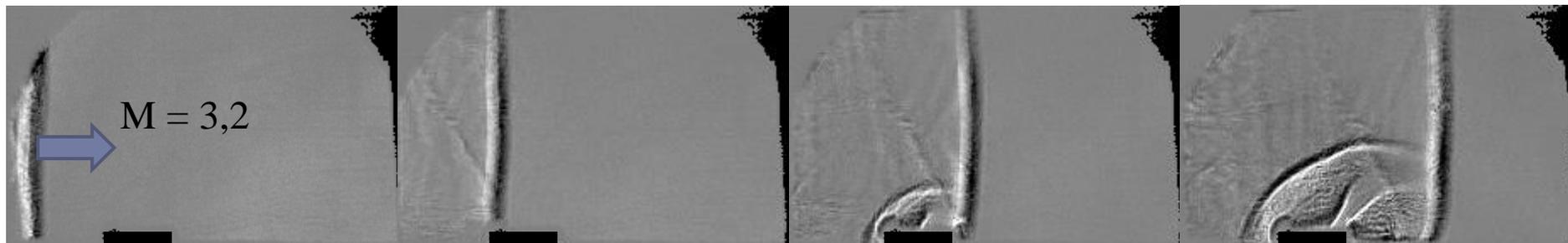
возникает область пониженной плотности (вихрь)

Теневая съёмка прохождения ударной волной $M \sim 3$ препятствия, дифракция на задней стенке препятствия; частота съёмки $f=150000$ кадр/сек, время экспозиции $\tau=1$ мкс.

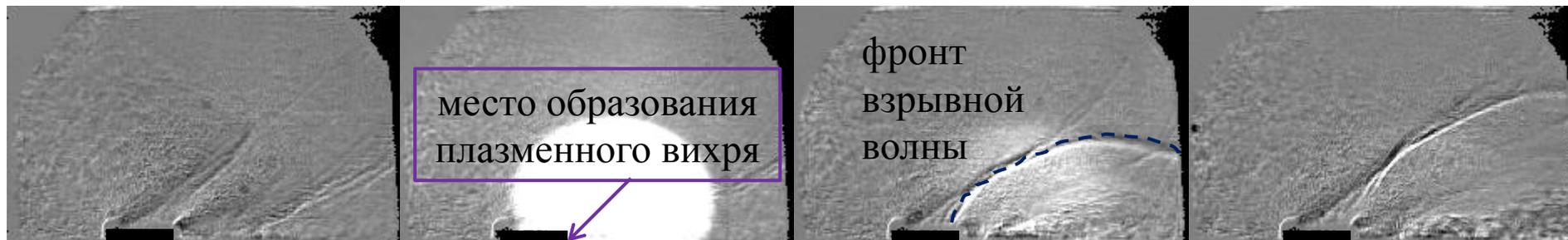
Конфигурация 2



Импульсная ионизация потока за плоской ударной волной после ее дифракции на задней стенке препятствия



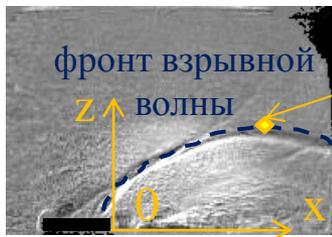
Момент прохождения падающей плоской ударной волной ($M = 3,2$) задней стенки препятствия $\Delta t = 0$ мкс



Момент энерговклада

$\Delta t = 373$ мкс

Конфигурация 2



(x, z) – координаты верхней точки фронта

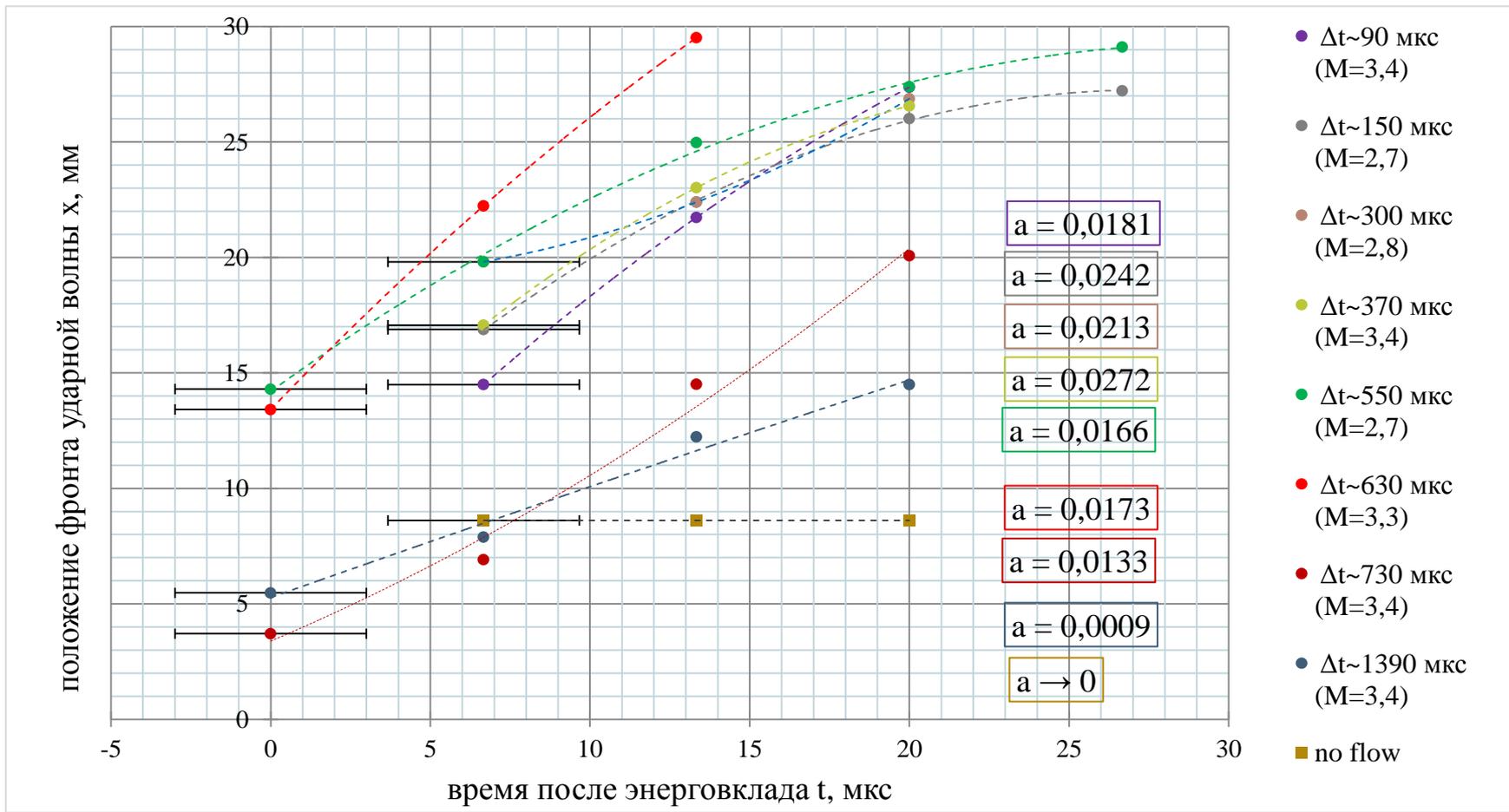
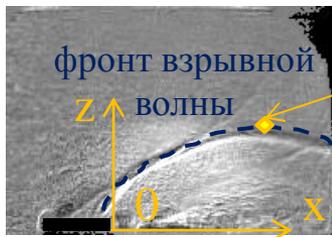


График горизонтального смещения верхней координаты (x) фронта ударной волны, инициируемой плазменным вихрем в потоке за плоской ударной волной (ОР)

Конфигурация 2



(x, z) – координаты верхней точки фронта

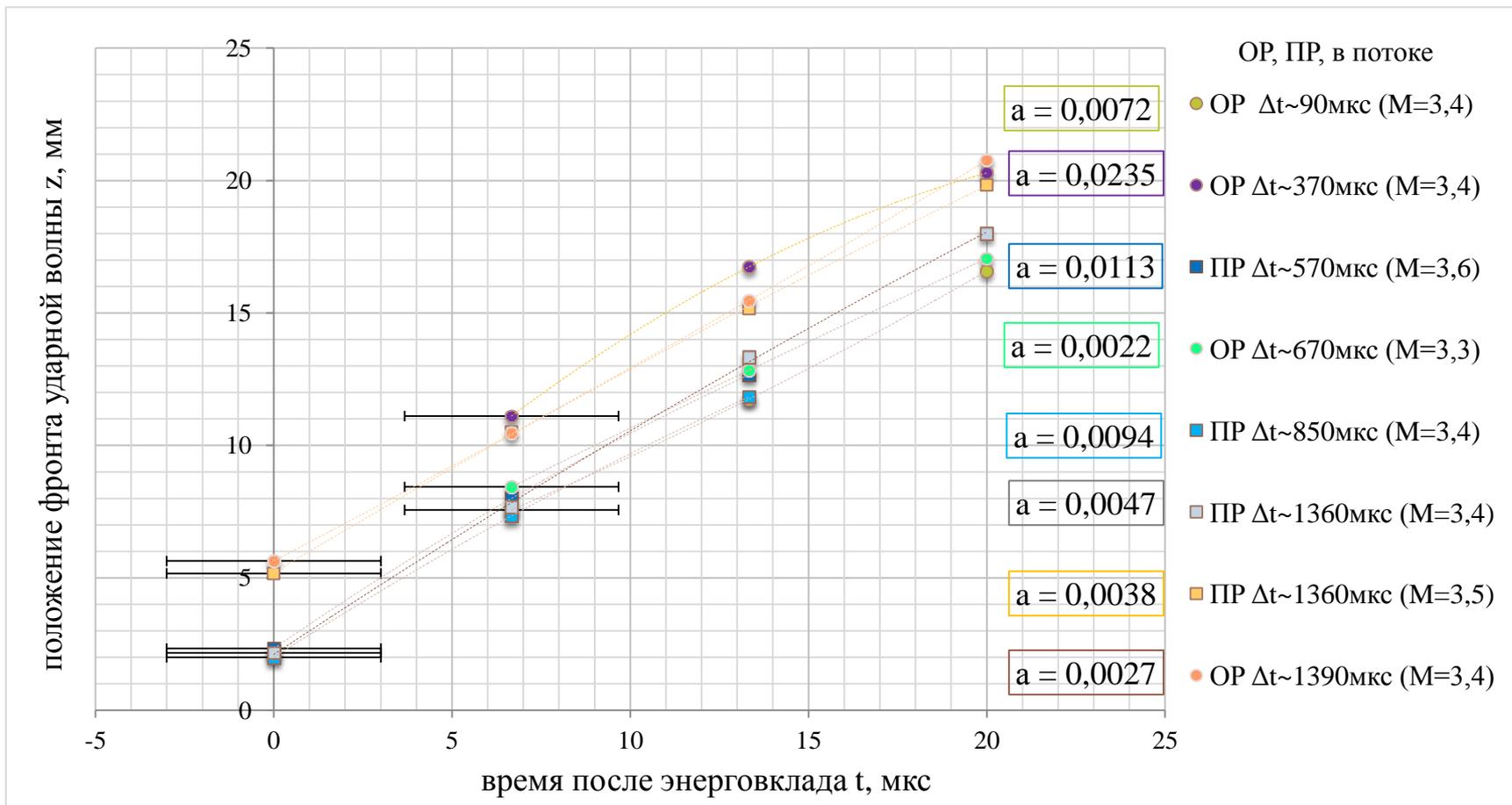
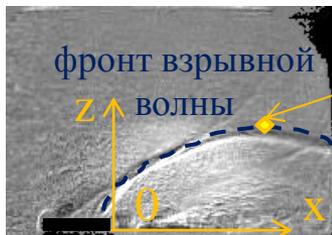


График вертикального смещения верхней координаты (z) фронта ударной волны, инициируемой плазменным вихрем в потоке за плоской ударной волной (Сравнение ОР и ПР).

Конфигурация 2



(x, z) – координаты верхней точки фронта

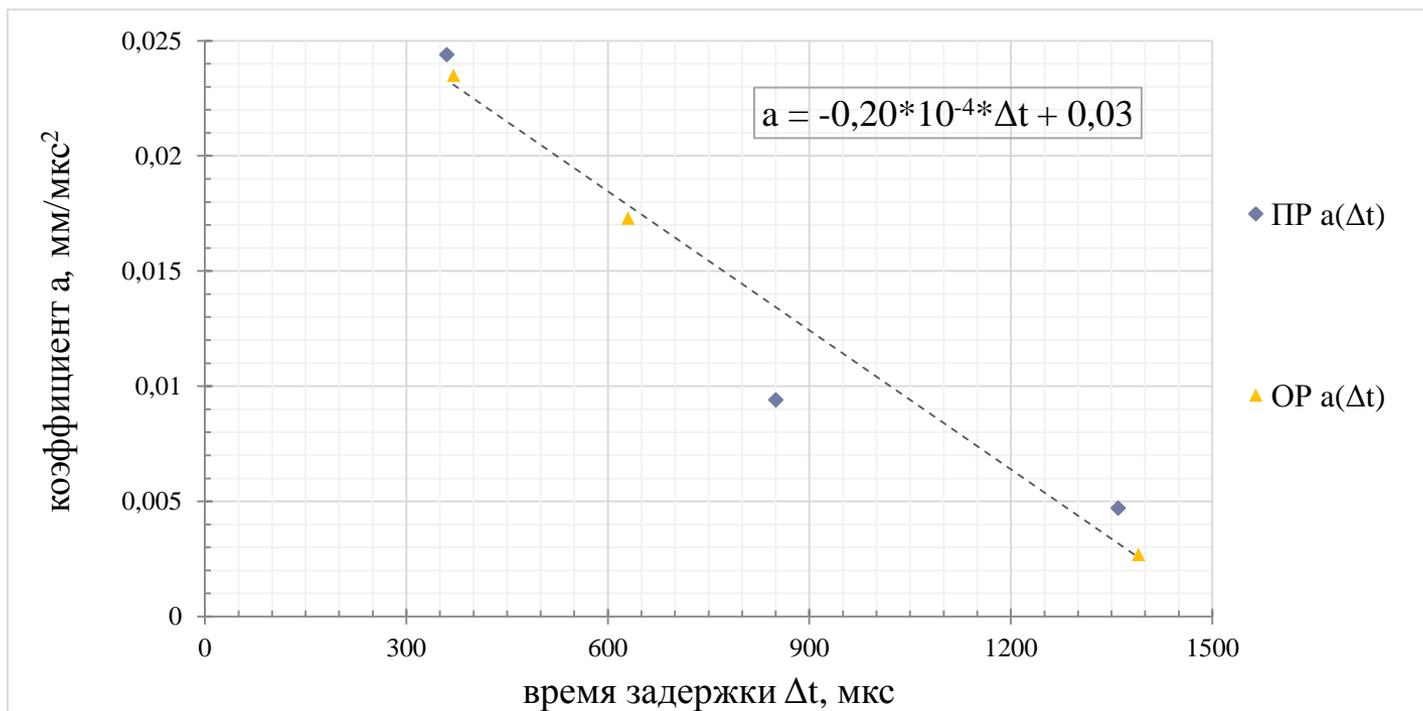
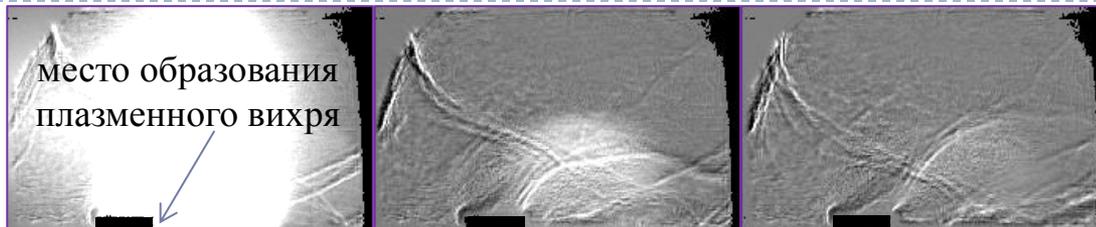


График значения первого коэффициента полинома a от времени задержки Δt .

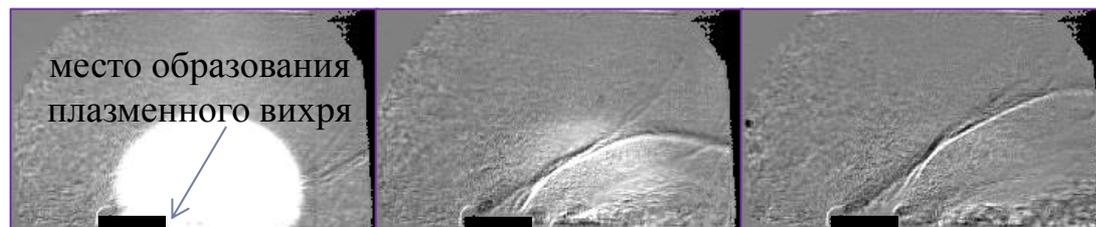
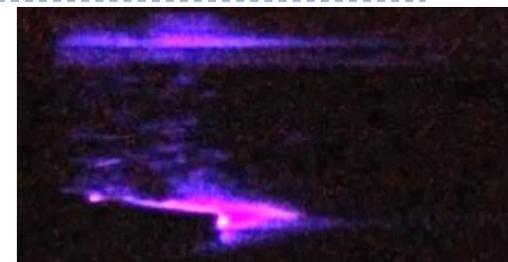
В 5 раз уменьшается значение ускорения для вертикального смещения верхней точки фронта взрывной ударной волны, инициированной поверхностным (ПР) и объёмным (ОР) разрядом, в потоке за падающей ударной волной с числом Маха $M=3,4$.

Конфигурация 2



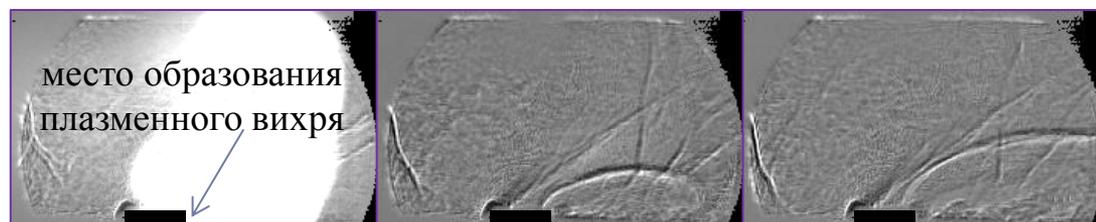
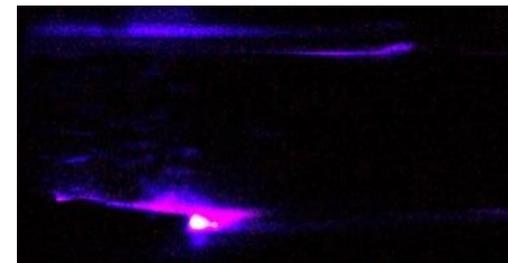
место образования
плазменного вихря

$\Delta t \sim 90$ мкс



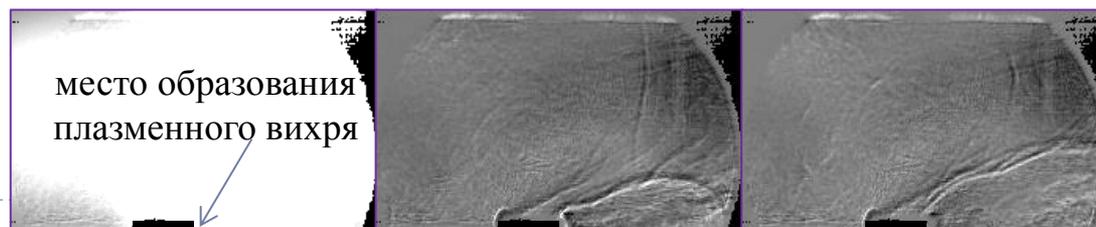
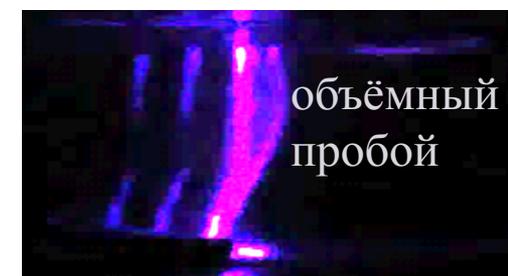
место образования
плазменного вихря

$\Delta t \sim 370$ мкс



место образования
плазменного вихря

$\Delta t \sim 150$ мкс



место образования
плазменного вихря

$\Delta t \sim 300$ мкс



$M = 3,4$



$M = 2,7$

Результаты и выводы

- Экспериментально исследованы разрывные течения газа за прямоугольным препятствием при инициированных в канале наносекундных разрядах (объемных и поверхностных) для двух различных конфигураций. Проведена высокоскоростная теневая съёмка ударно-волнового течения, возникающего в обеих конфигурациях.
- Исследована динамика дифрагировавшего на обратном уступе фронта ударной волны, инициированной плазменным листом в течении 35-40 мкс. Показано, что при инициировании объемного и поверхностного разряда течения слабо отличаются.
- Исследована эволюция положения короткоживущего плазменного вихря при импульсной ионизации потока за ударной волной. По теневой съемке изучены характеристики разрывных течений, инициированных плазменным вихрем в течении за обратным уступом для 25-30 мкс после разряда. Показано, что взрывная волна от плазменного листа сносится сверхзвуковым потоком и затухает в течение 15-25 мкс в зависимости от скорости потока и степени локализации энергии.



Спасибо за внимание!