

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования «Самарский национальный
исследовательский университет имени академика С.П.Королёва

Институт информатики, математики и приборостроения

Кафедра технической кибернетики



САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
SAMARA UNIVERSITY

Работа на тему:

Моделирование и экспериментальное исследование разрушения сферической полистироловой микрочастицы в импульсном ультрафиолетовом лазерном пучке

Студент: Васильев В.С.

Научный руководитель: Скиданов Р.В.

Цели работы:

- 1) Построение математической модели нагрева полистироловой микрочастицы с функцией источника в виде нагревающего конуса
- 2) Экспериментальная проверка микровзрывов полистироловых микрочастиц
- 3) Описание эффекта интерференции, происходящего на подложке, покрытой слоем алюминия
- 4) Экспериментальное наблюдение эффекта интерференции на подложке с высоким коэффициентом отражения
- 5) Экспериментальная проверка нагрева полистироловых микрочастиц с использованием пучка, преобразованного ДОЭ

Задачи:

- 1) Описание алгоритма, реализующего математическую модель нагрева полистироловой микрочастицы
- 2) Исследование возможности микровзрыва полистироловой микрочастицы по параметрам, полученным при помощи модели нагрева
- 3) Обоснование эффекта интерференции на подложке покрытой слоем алюминия
- 4) Реализация оптических схем для подтверждения эффекта интерференции, наблюдения взрыва полистироловых микрочастиц и использования пучка, преобразованного при помощи ДОЭ

Построение математической модели нагрева микрочастицы:

Уравнение теплопроводности:
$$\frac{\partial u}{\partial t} - a^2 \Delta u = f(r, t), \quad (1)$$

Оператор Лапласа:

$$\Delta u = \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \cdot \frac{\partial u}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \cdot \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \cdot \frac{\partial u}{\partial \theta} \right), \quad (2)$$

Дискретизируя данную модель в узле (r_i, θ_j, t_k) , получим:

$$\begin{aligned} & \frac{u_{i,j}^{k+1} - u_{i,j}^k}{h_t} - a^2 \left(\frac{2}{r_i} \cdot \frac{u_{i+1,j}^k - u_{i,j}^k}{h_r} + \frac{u_{i+1,j}^k - 2u_{i,j}^k + u_{i-1,j}^k}{h_r^2} + \right. \\ & \left. + \frac{\text{ctg} \theta_j}{r_i^2} \cdot \frac{u_{i,j+1}^k - u_{i,j}^k}{h_\theta} + \frac{1}{r_i^2} \cdot \frac{u_{i,j+1}^k - 2u_{i,j}^k + u_{i,j-1}^k}{h_\theta^2} \right) = f(r_i, \theta_j), \quad (3) \end{aligned}$$

Результаты моделирования

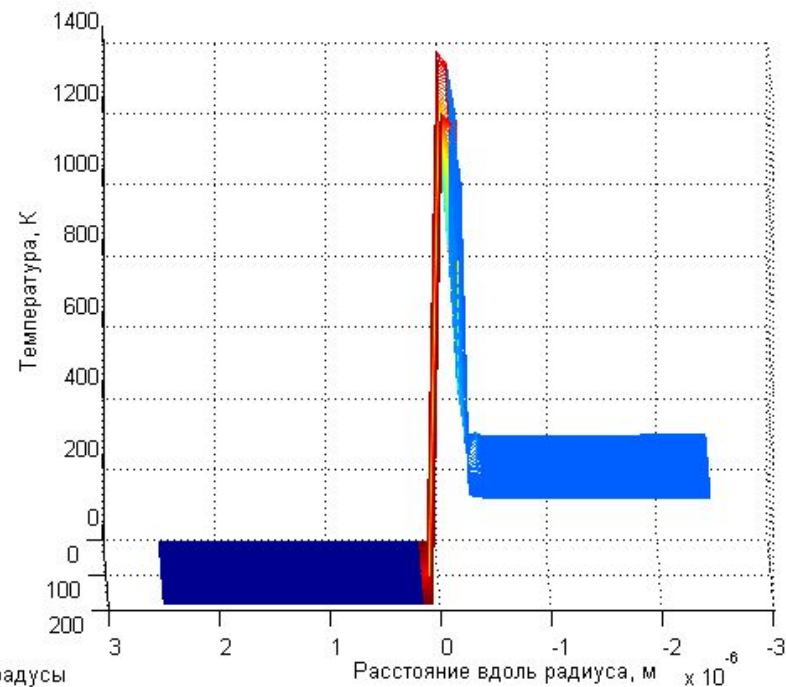
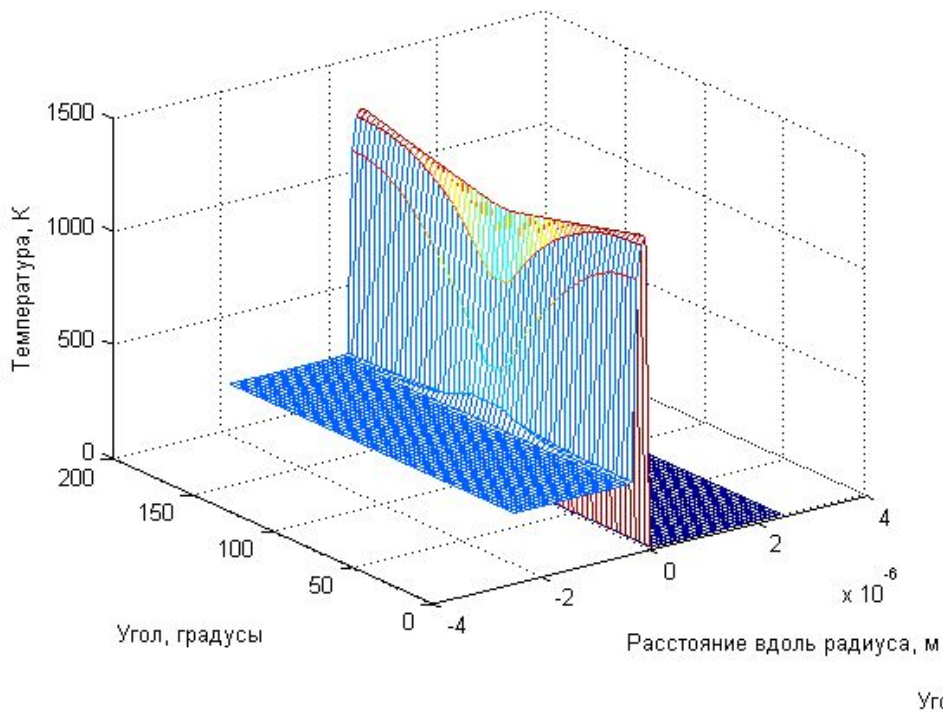


Рисунок 1 - 2 – Изменение температуры в зависимости от зенитного угла (слева) и от глубины проникновения лазерного излучения (справа)

Время моделирования – 10 нс.

Диаметр микрочастицы – 5 мкм.

Результаты моделирования

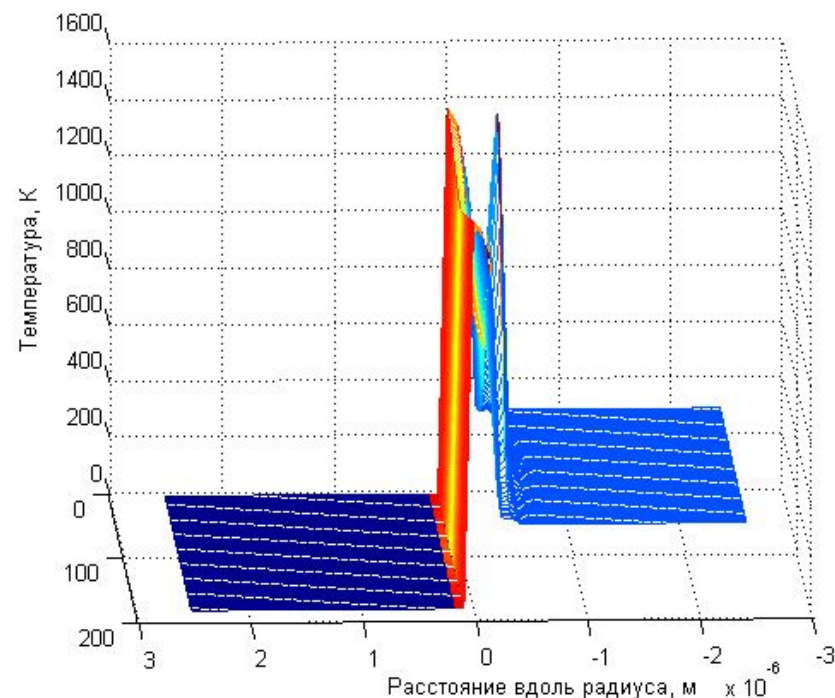
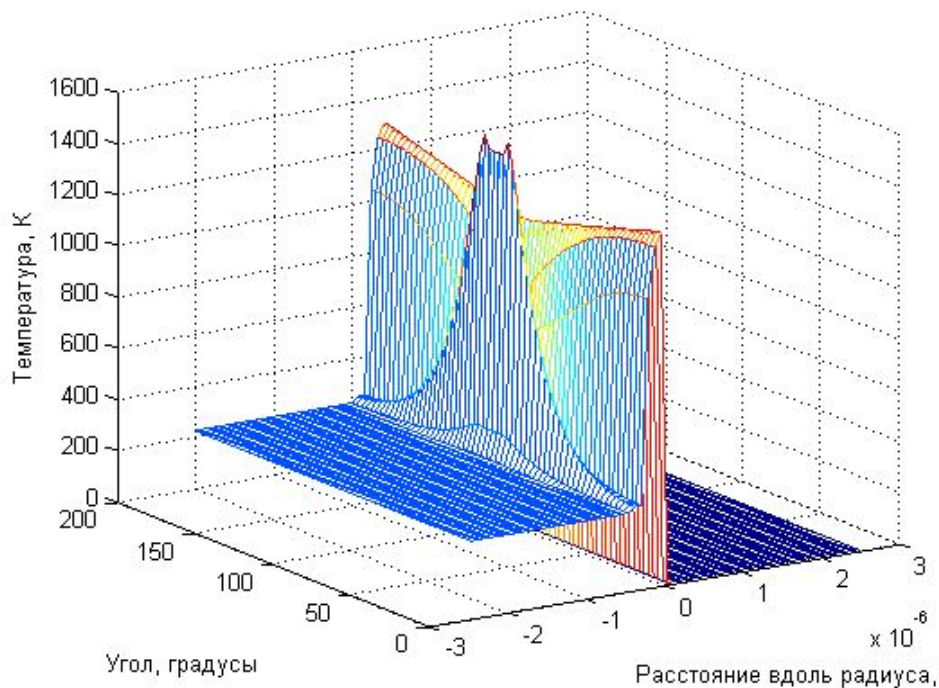
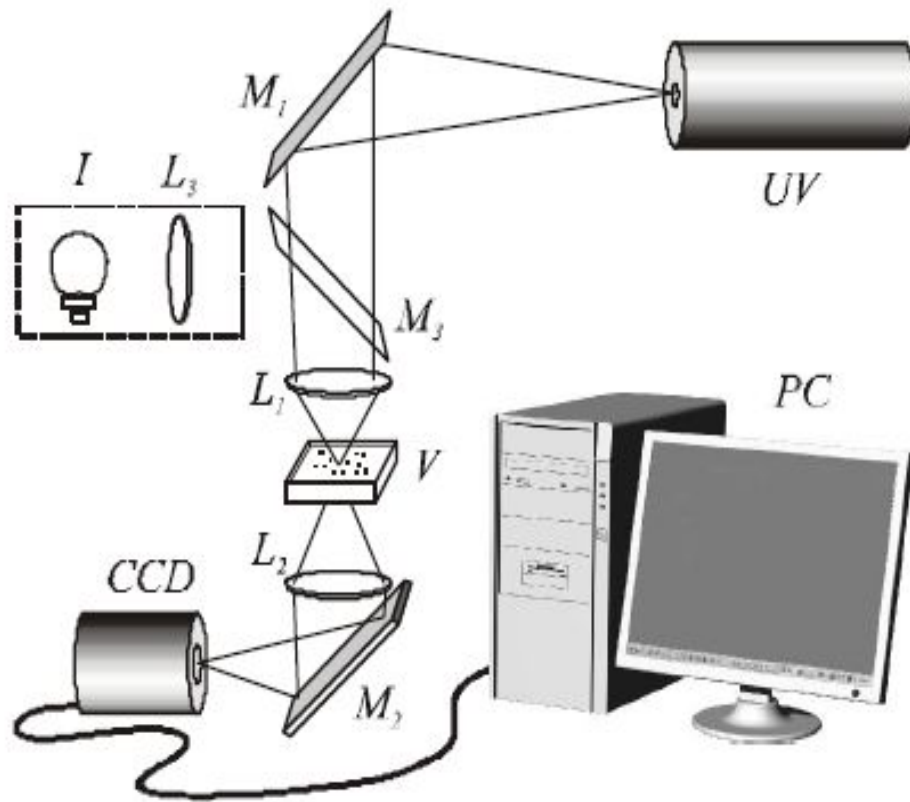


Рисунок 3 - 4 – Изменение температуры в зависимости от зенитного угла (слева) и от глубины проникновения лазерного излучения (справа)

Время моделирования – 15 нс.

Диаметр микрочастицы – 5 мкм.

Оптическая схема эксперимента



Обозначения:

UV – ультрафиолетовый лазер
(длина волны 355 нм);

M₁, M₂, M₃ – поворотные зеркала;

L₁, L₂ – фокусирующий и
изображающий микрообъективы,
соответственно

V – ложка с микрочастицами

PC – компьютер

CCD – высокоскоростная камера

**Рисунок 5 – Схема эксперимента для
микровзрывов полистироловых
микрочастиц**

Экспериментальные результаты

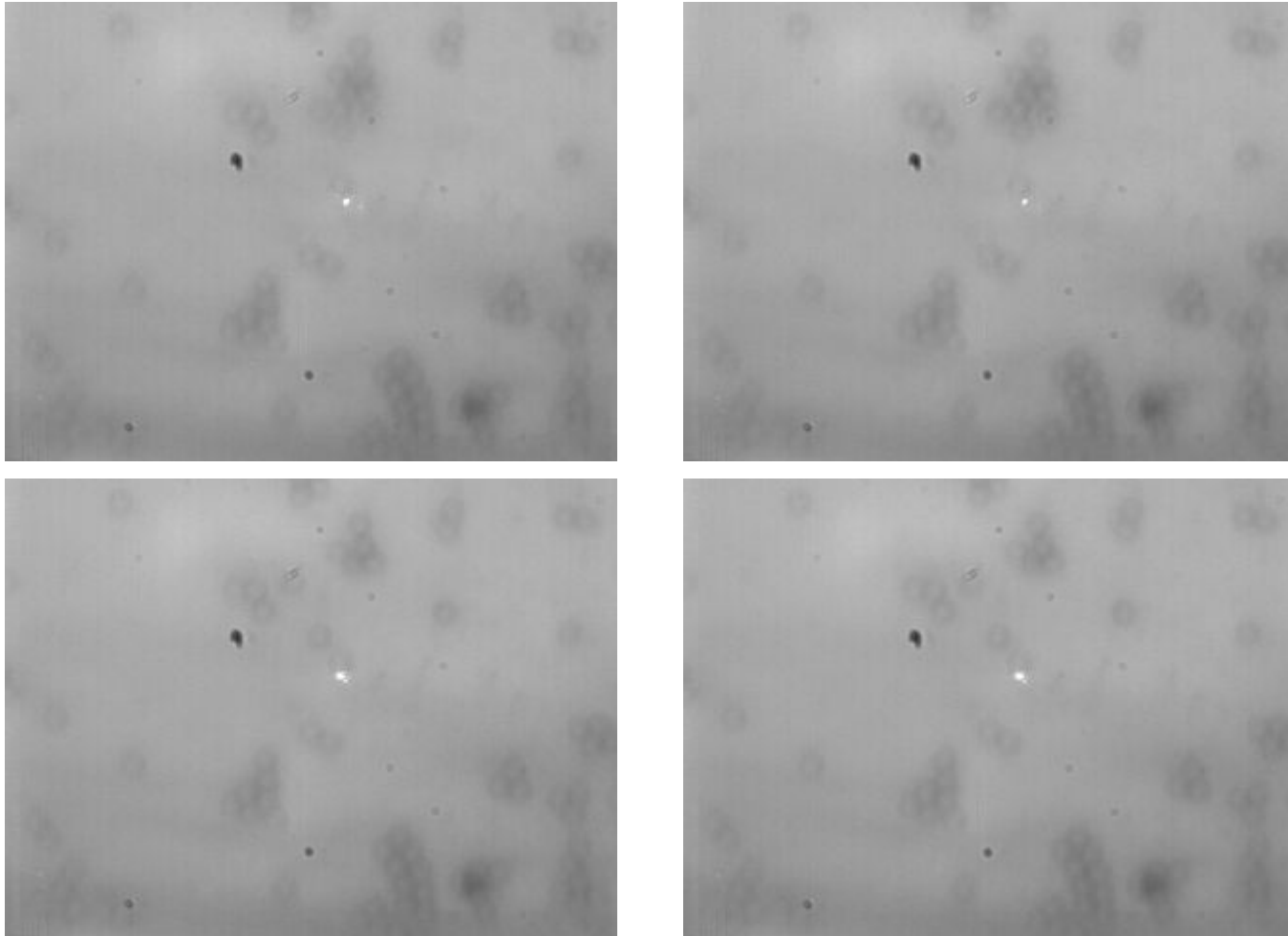
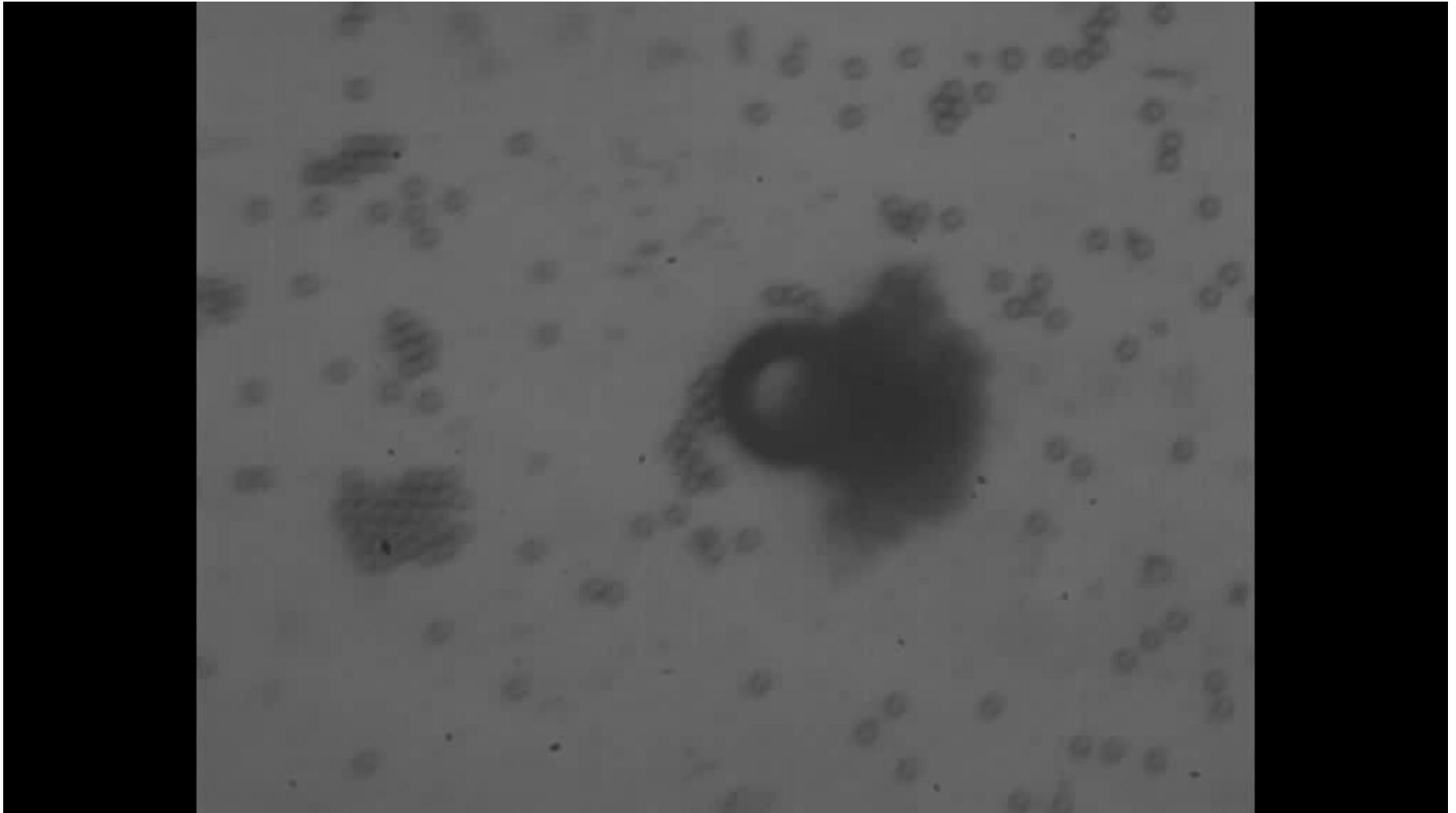


Рисунок 6 – Перемещение полистироловых микрочастиц посредством взрыва центральной частицы при частоте кадров 1902 кадров/с

Микровзрывы полистироловых микрочастиц



Интерференция на подложке, покрытой слоем алюминия

Суммарная интенсивность падающей и отражённой волн:

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \delta \quad (4)$$

Учитывая, что кварцевое стекло обладает высоким коэффициентом пропускания, а алюминий – высоким коэффициентом отражения, можно положить, что:

$$I_1 \approx I_2 \quad (5)$$

При подстановке (4) в (3), получаем:

$$I_{\max} = 4I_1 \quad I_{\min} = 0$$

Экспериментальные результаты

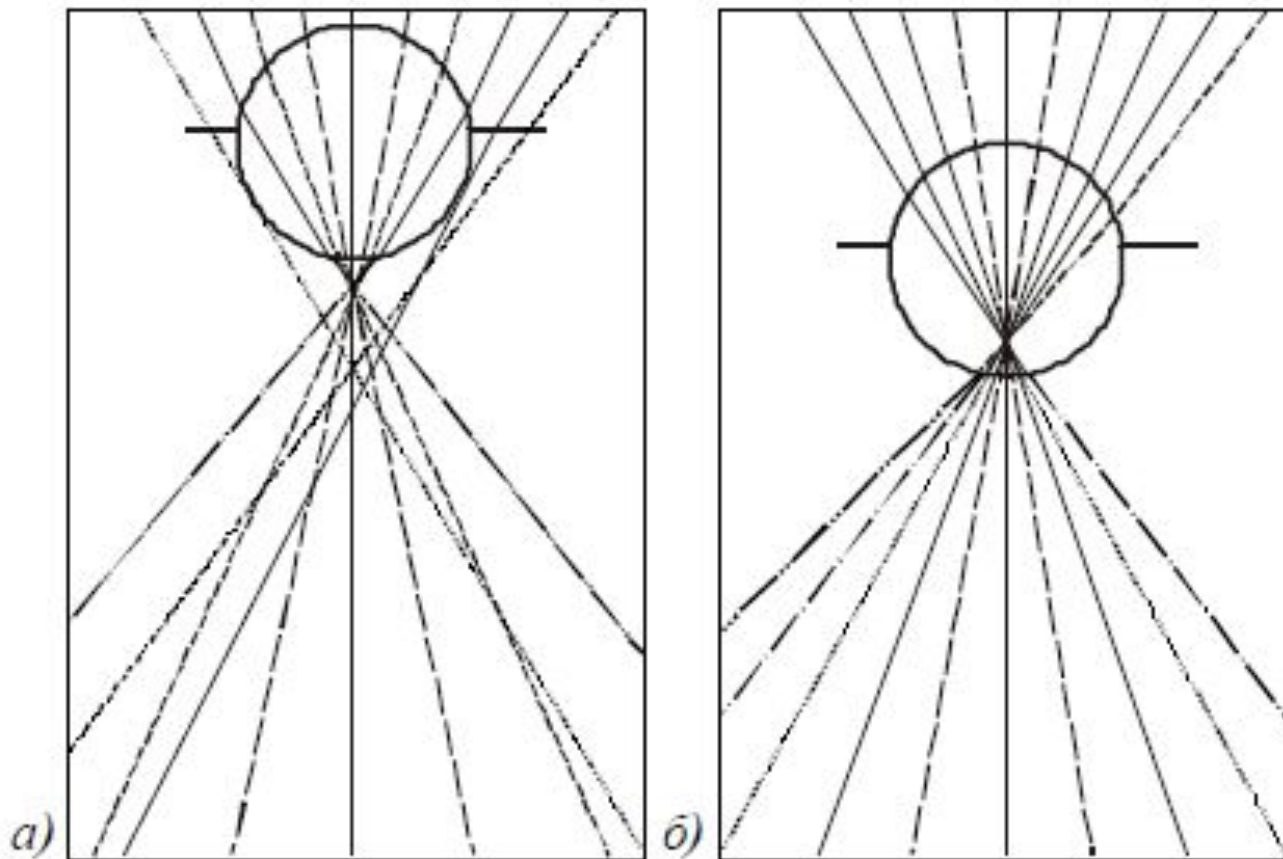
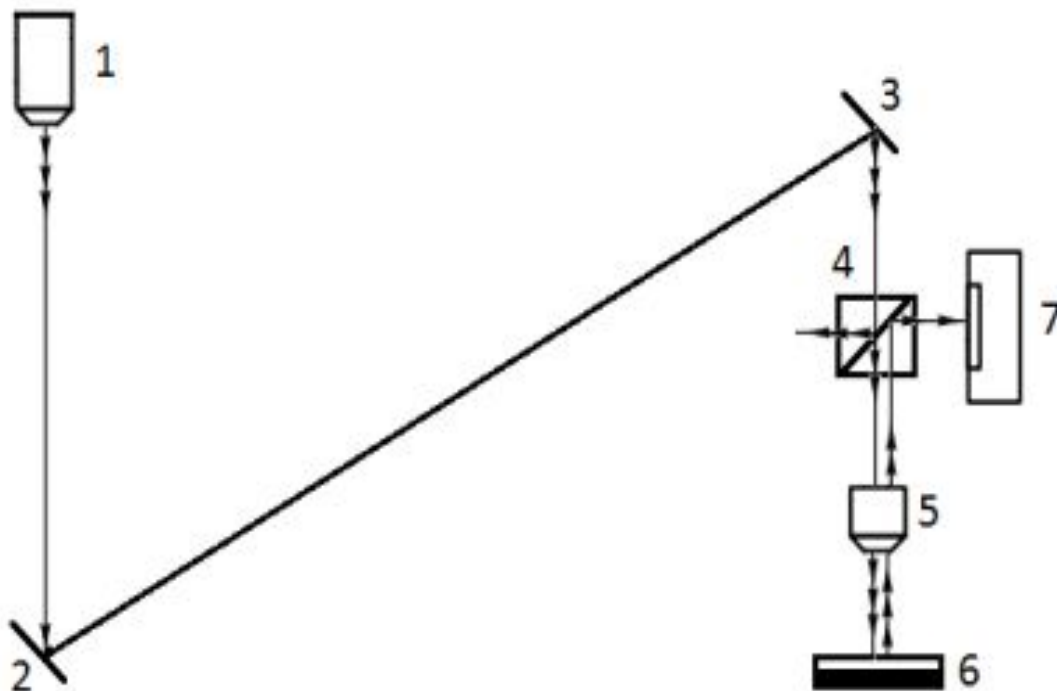


Рисунок 7 – Расположение пятна фокусировки относительно полистироловой микрочастицы при разном расположении самой микрочастицы относительно фокальной плоскости

Оптическая схема эксперимента



Обозначения:

1 – ультрафиолетовый лазер (длина волны 355 нм);

2,3 – поворотные зеркала;

4 – кубик с полупрозрачными зеркалами;

5 – фокусирующий микрообъектив;

6 – подложка с микрочастицами, покрытая слоем алюминия;

7 – высокоскоростная камера.

Рисунок 8 – Схема эксперимента по наблюдению эффекта интерференции на подложке, покрытой слоем алюминия

Экспериментальные результаты

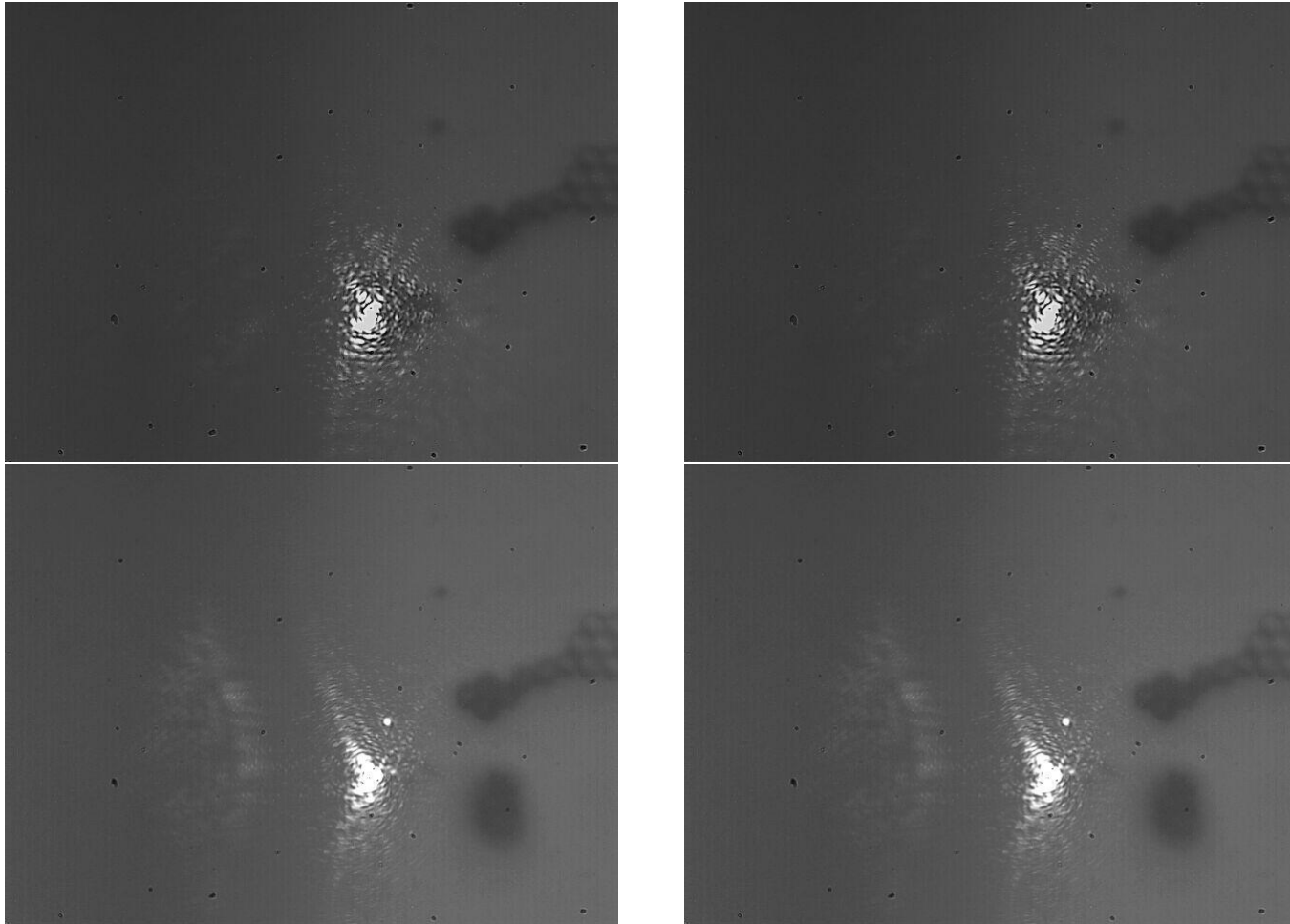


Рисунок 9 – Перемещение полистироловых микрочастиц при микровзрыве на подложке, покрытой слоем алюминия. Интервал времени между кадрами 10 мс

Попытка вращения микротурбины

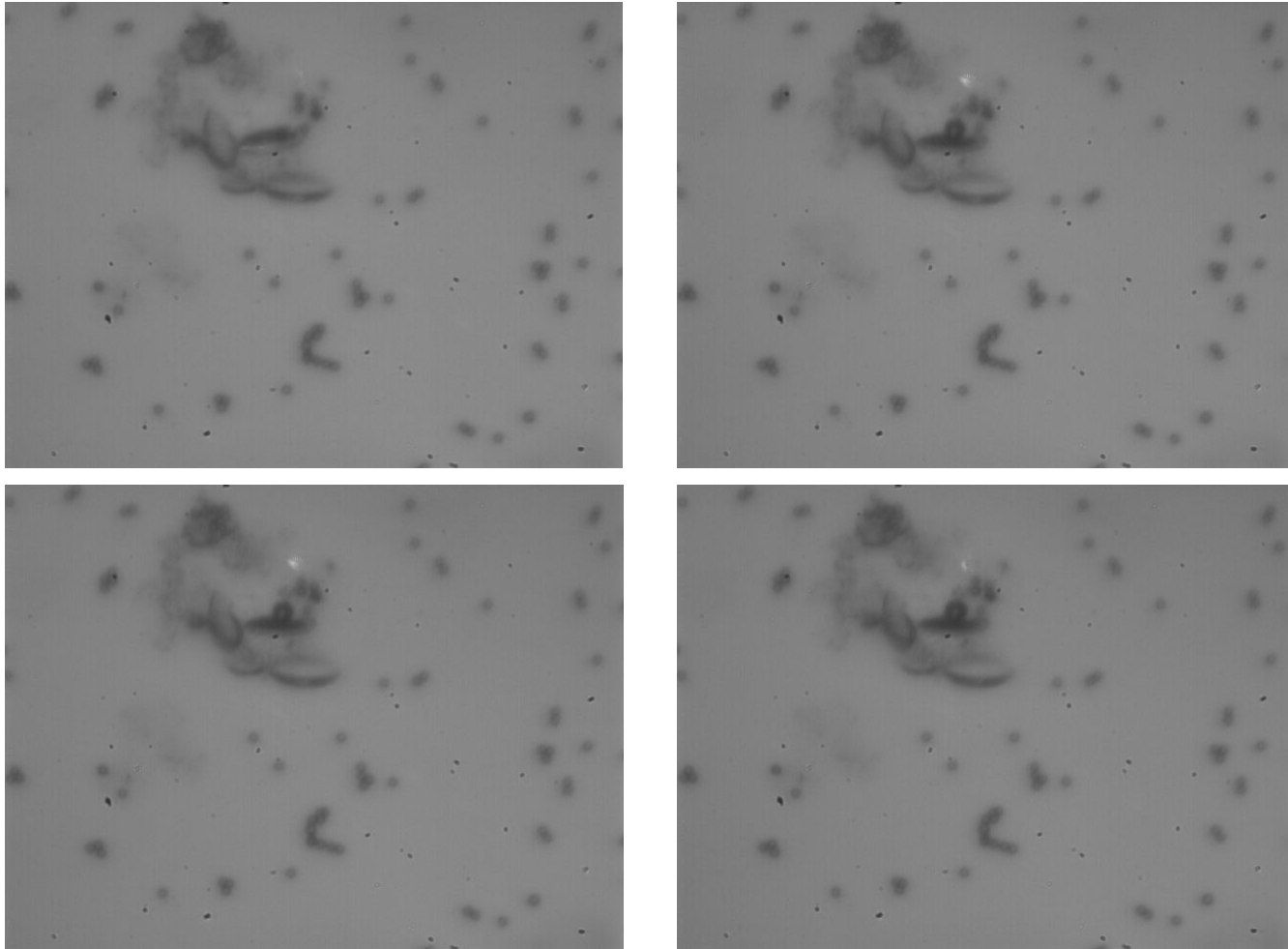


Рисунок 10 – Результаты взрыва полистироловых микрочастиц вблизи микротурбины. Интервал времени между кадрами 0,03 секунды

Изменение формы пучка

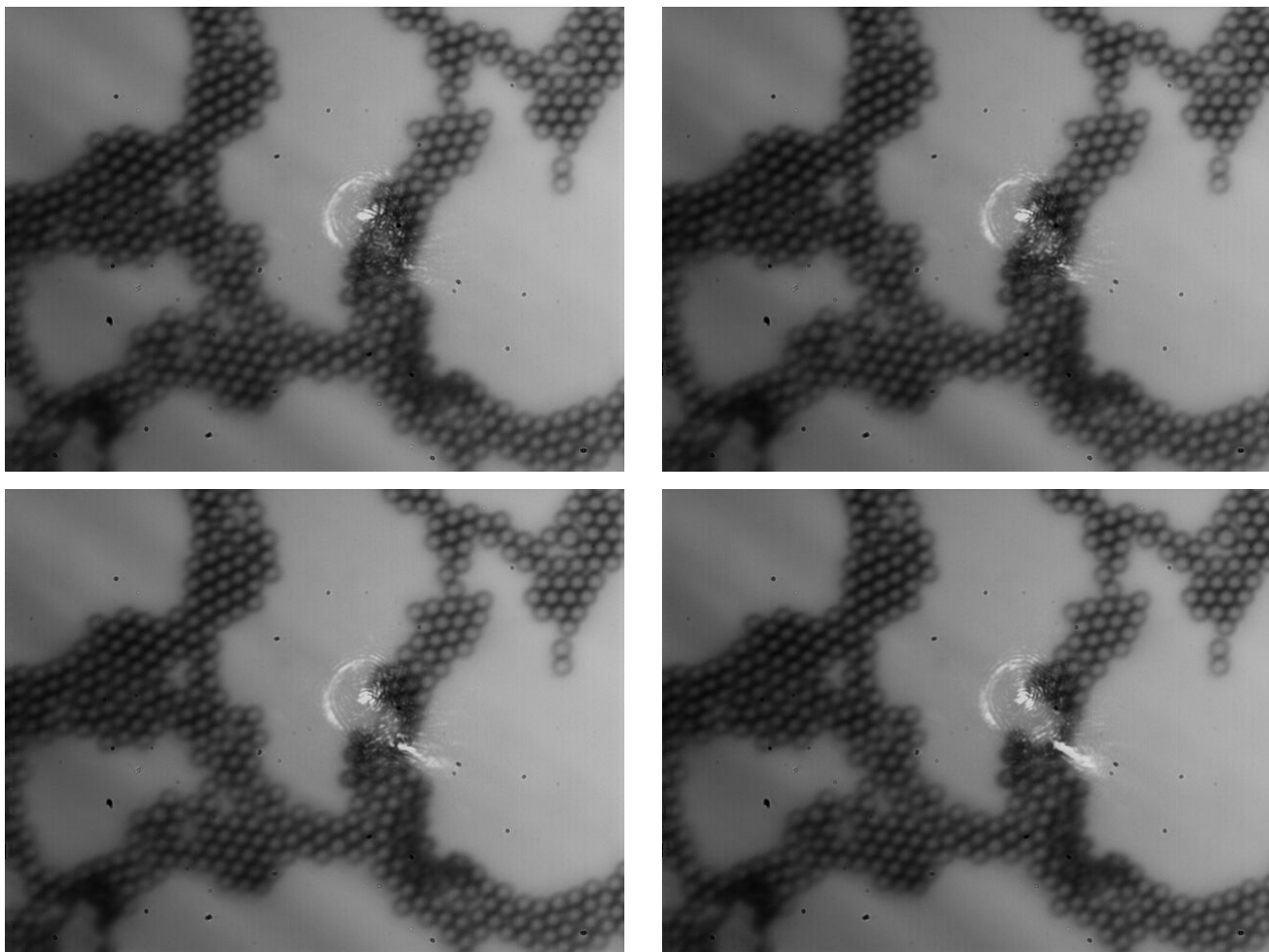


Рисунок 11 – Результат плавления полистироловых микрочастиц при использовании пучка Бесселя 8-го порядка

Полученные результаты:

- 1) Реализована математическая модель нагрева полистироловой микрочастицы с функцией источника, заданной в виде нагревающего конуса
- 2) Реализована математическая модель эффекта интерференции на подложке, покрытой слоем алюминия
- 3) Проведены натурные эксперименты, подтверждающие существование микровзрывов полистироловых микрочастиц
- 4) Исследована возможность перемещения микротурбин при помощи микровзрывов и отображено плавление полистироловых микрочастиц при изменении формы пучка