

Экспериментальное моделирование развития гидродинамических неустойчивостей на границах сжимаемых сред на ударных трубах

28.05.2025

Тяктев Александр Анатольевич, Аникин Н.Б., Пискунов Ю.А., Бугаенко И.Л., П.В. Промыслов, Е.С. Морозов, М.Е. Игнатюк, Е.В. Свиридов, А. М. Андреев

«ЗАБАБАХИНСКИЕ НАУЧНЫЕ ЧТЕНИЯ» 19-23 мая 2025 г. Снежинск, Челябинская область, Россия

## Гидродинамические неустойчивости Рэлея-Тейлора (РТ) и Рихтмайера-Мешкова (РМ)





RAYLEIGH, LORD 1883 Investigation of the character of the equilibrium of an incompressible heavy fluid of variable density. In Scientific Papers, vol. 2, pp. 200–207

G.I. Taylor, "The instability of liquid surfaces when accelerated in a direction perpendicular to their planes. I," Proc.R.Soc.London,Ser.A201,192 (1950)

R. D. Richtmyer, "Taylor instability in shock acceleration of compressible fluids," Commun. Pure Appl. Math. 13, 297 (1960).

E. E. Meshkov, "Instability of the interface of two gases accelerated by a shock wave," Fluid Dyn. 4, 101 (1972); E. E. Meshkov, Izv. Akad. Nauk SSSR, Mekh. Zhidk. Gaza 5, 151 (1969).

### Некоторые типы движения границы раздела\*



РФЯЦ-ВНИИТФ

Ударная труба МУТ (варианты)



1 – Драйвер, 2 – Отсек с газом А(В), 3 – Отсек с газом В(А) (измерительный отсек)

### Диагностические методы

### Шлирен-метод (Schlieren Technique)



3 – светодиод; 4 – скоростная видеокамера



Рассеяние Ми (Mie scattering)



1 - импульсный лазер; 2 - световой импульс; 3 - формирователь «лазерного листа»; 5 - входная диафрагма; 4 - пучок света «развернутый в лист» толщиной 1 мм; 6 - измерительная камера

### Диагностические методы

LDA (Laser Doppler Anemometer)

#### Скорость = расстояние/время



# РФЯЦ-ВНИИТФ РОСАТОМ

PIV (Particle Image Velocimeter)



1 – двух импульсный лазер; 2 - формирователь «лазерного листа»; 3 – течение с трековыми частицами; 4 – «лазерный лист»; 5 – измерительный объем; 6 – область визуализации; 7 – регистрирующая оптика



## Формы начальных возмущений (поверхности раздела)

















Постановка 1. Неустойчивость РМ (химически не активные газы)



A=0.67 Air/SF<sub>6</sub>

М<sub>ув</sub>=1.2 из легкого в тяжелое







Ранняя стадия





A=0.67 Air/SF<sub>6</sub>

Одномодовые возмущения

 $\eta_0 / \lambda = 0.14$ 

М<sub>ув</sub>=1.2 из легкого в тяжелое

**FLAMENCO** 



Поздняя стадия

# Постановка 2. Неустойчивость РТ (химически не активные газы)



A=0.67 Air/SF<sub>6</sub>

Волна разрежения из тяжелого в легкое













A=0.67 Air/SF<sub>6</sub>

Волна разрежения из тяжелого в легкое







Волна разрежения

A=0.21

Air/CO<sub>2</sub>



РФЯЦ-ВНИИТФ

# Постановка 4. Неустойчивость РТ+КГ (химически не активные газы)









РФЯЦ-ВНИИТФ РОСАТОМ

Волна разрежения







#### **ILES-TURMOIL**







A=0.67 Air/SF<sub>6</sub>

V, ∧-образная границы

Волна разрежения

### Постановка 5. Неустойчивость РМ (химически активные газы)









20

3D

Т





21

3D

Т

## Постановка 6. Неустойчивость РМ (химически активные газы)



A=-0.57

тяжелое/легкое/тяжелое







∆t = 20 мкс

Raptor 23











120 мкс

300 мкс

280 мкс

320 мкс

3D

Л

Постановка 7. Неустойчивости РМ и РТ, цилиндрически сходящаяся геометрия (химически активные газы)

РФЯЦ-ВНИИТФ РОСАТОМ

A=-0.57

М<sub>ув</sub>=2.1 ÷ 2.9 тяжелое/легкое/тяжелое



# Результаты 7. Неустойчивости РМ и РТ, цилиндрически сходящаяся геометрия (химически активные газы)









![](_page_29_Picture_1.jpeg)

![](_page_29_Figure_2.jpeg)

![](_page_30_Picture_1.jpeg)

![](_page_30_Picture_2.jpeg)

**1g** 

![](_page_31_Picture_1.jpeg)

![](_page_31_Figure_2.jpeg)

![](_page_32_Figure_0.jpeg)

![](_page_32_Figure_1.jpeg)

Зависимости модуля вертикальной составляющей скорости вещества в зоне ТП

#### 33

![](_page_33_Picture_1.jpeg)

![](_page_33_Picture_2.jpeg)

![](_page_33_Picture_3.jpeg)

Одномодовая КГ

g=9.8м/c<sup>2</sup>

![](_page_33_Picture_6.jpeg)

![](_page_33_Picture_7.jpeg)

![](_page_33_Picture_8.jpeg)

![](_page_33_Picture_9.jpeg)

![](_page_33_Picture_10.jpeg)

![](_page_33_Picture_11.jpeg)

t=2.0 мсек

t=49.5 мсек

t=87.0 мсек

t=124.5 мсек

t=149.5 мсек

t=172.0 мсек

#### $a/\lambda = 0.05$

 $a/\lambda = 0.1$ 

![](_page_33_Picture_19.jpeg)

t = 0 мсек

t = 48 мсек

t = 85.5 мсек

t = 123 мсек

исек

![](_page_33_Picture_26.jpeg)

t = 185.5 мсек

34

**0** 

![](_page_34_Picture_1.jpeg)

![](_page_34_Picture_2.jpeg)

11,78 мс 51,78 мс 91,78 мс 131,78 мс 171,78 мс 211,78 мс 251,78 мс 291,78 мс 331,78 мс

![](_page_34_Figure_4.jpeg)

![](_page_35_Picture_1.jpeg)

![](_page_35_Picture_2.jpeg)

Z = 15 мм

![](_page_35_Picture_4.jpeg)

![](_page_35_Picture_5.jpeg)

Z = 25 MM

CO<sub>2</sub>/Air

![](_page_35_Picture_8.jpeg)

Z = 35 MM

![](_page_35_Picture_10.jpeg)

![](_page_35_Picture_11.jpeg)

Z = 45 MM

![](_page_35_Picture_13.jpeg)

Z = 15 мм

![](_page_35_Picture_15.jpeg)

0.56 c

Ar/He

![](_page_35_Picture_17.jpeg)

![](_page_35_Picture_18.jpeg)

![](_page_35_Figure_19.jpeg)

1g

Тяктев Александр Анатольевич

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ», НИО-5, (35146)62889

28.05.2025