

# Моделирование распространения волны горения

Автор:  
Сат Ай-Темир Александрович  
Ученик 11 класса СУНЦ НГУ

Научный руководитель:  
Прууэл Эдуард Рейнович  
Институт Гидродинамики им.  
Лаврентьева СО РАН

Содержание:

1. Актуальность работы;
2. Цель работы;
3. Задачи работы;
4. Модель;
5. Система уравнений для размерных величин;
6. Язык программирования C++ и библиотека MPPG;
7. Численные исследования;
8. Выводы;
9. Литература;

## 1. Актуальность работы

В настоящее время при изучении физических явлений удобно рассмотреть модели, которые с некоторой точностью описывают эти явления. В связи с этим определяющее место занимает создание компьютерных программ, которые будут моделировать физический процесс на основе выбранной модели. Поэтому разработка такой программы актуальна.

## 2. Цель работы

Целью данной работы явилась разработка программы, которая моделирует процесс горения.

## 3. Задачи работы

Для достижения выше указанной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Разработать модель, описывающую горение;
2. Рассмотреть одномерный случай  $T(x, t)$ ;
3. Рассмотреть двумерный случай  $T(x, y, t)$ ;
4. Изучить язык программирования C++ и библиотеку MPPG;
5. Написать программу;

## 4. Модель

Используя довольно простые модели, можно качественно описать многие реальные особенности горения. В работе рассматривается среда, которая обладает теплопроводностью и возможностью протекания экзотермической реакции, скорость которой зависит от температуры. Предлагается рассмотреть среду с учетом теплопроводности, в которой возможна экзотермическая химическая реакция. Численно решая систему дифференциальных уравнений, можно исследовать различные режимы горения в одномерном и двумерном случаях.

## 5. Система уравнений для размерных величин

Описанные явления моделировались системой дифференциальных уравнений в частных производных: уравнением химической реакции по закону Аррениуса (1) и уравнением теплопроводности (2):

$$\frac{\partial N}{\partial t} = -\frac{N}{\tau} e^{-E/RT} \quad (1)$$

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = k \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + k \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} - \rho Q \frac{\partial N}{\partial t} \quad (2)$$

где  $\rho$  — плотность,  $c$  — удельная теплоемкость,  $Q$  — удельное энерговыделение при химической реакции,  $T$  — температура в данной точке,  $k$  — коэффициент теплопроводности,  $N$  — доля непрореагировавшего вещества, меняющаяся от 1 - исходное состояние, до 0 - все прореагировало,  $E$  — энергия активации химической реакции,  $\tau$  — константа характеризующая скорость реакции.

В данной работе представленная система уравнений решается численно, с использованием явной разностной схемы.

## 6. Язык программирования C++ и MPPG

C++ - язык программирования широко используемый для разработки программного обеспечения. Область его применения включает создание разнообразных прикладных программ, драйверов устройств, приложений для встраиваемых систем, высокопроизводительных серверов, а также игр.

MPPG(Modeling Physical Phenomena Graphical User Interface) — графическая C++ библиотека для создания пользовательского интерфейса при численном моделировании физических процессов. Разработана в Институте Гидродинамики им. Лаврентьева СО РАН. Библиотека направлена на отладку расчетной программы или на тестирование численного метода. Находиться в свободном доступе.

## 7. Численные исследования

1. Были подобраны начальные и граничные условия и смоделировано распространение волны горения в одномерном случае. При малых значениях энергии активации  $E=6$  получено стационарное распространение волны горения (рис. 1, 2). Рассматривается температура для данного участка  $T(x, t)$  ( $x$  — координата вдоль горизонтальной прямой). Красным цветом показано количество вещества для данного участка. По умолчанию количество вещества равно безразмерной величине 1. То есть волна горения распространяется слева-направо на рисунках 1 и 2. Белым цветом показано температура для данного участка вещества.

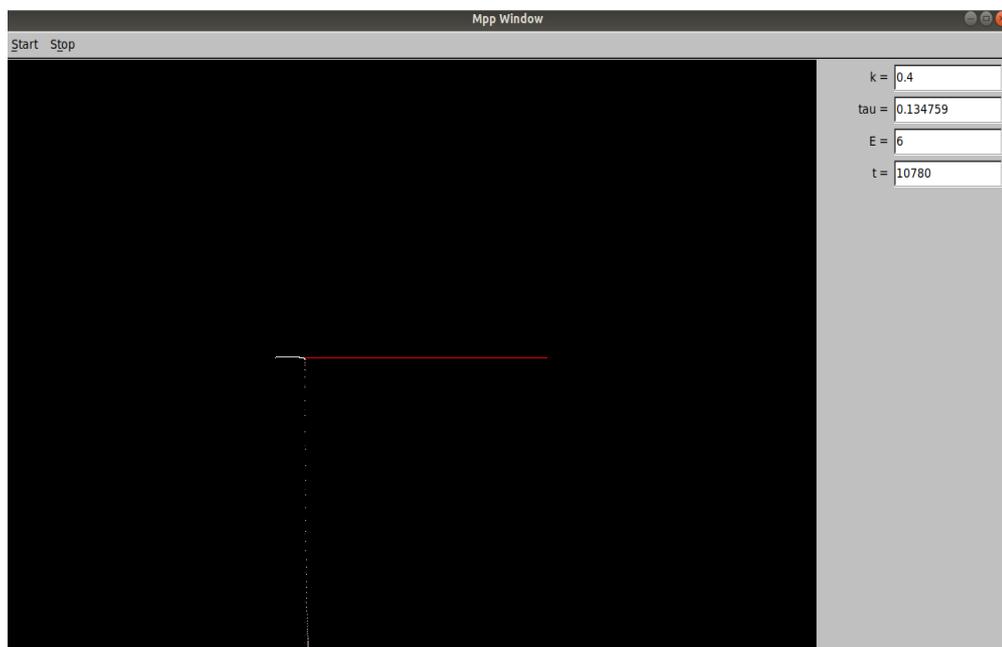


Рис. 1

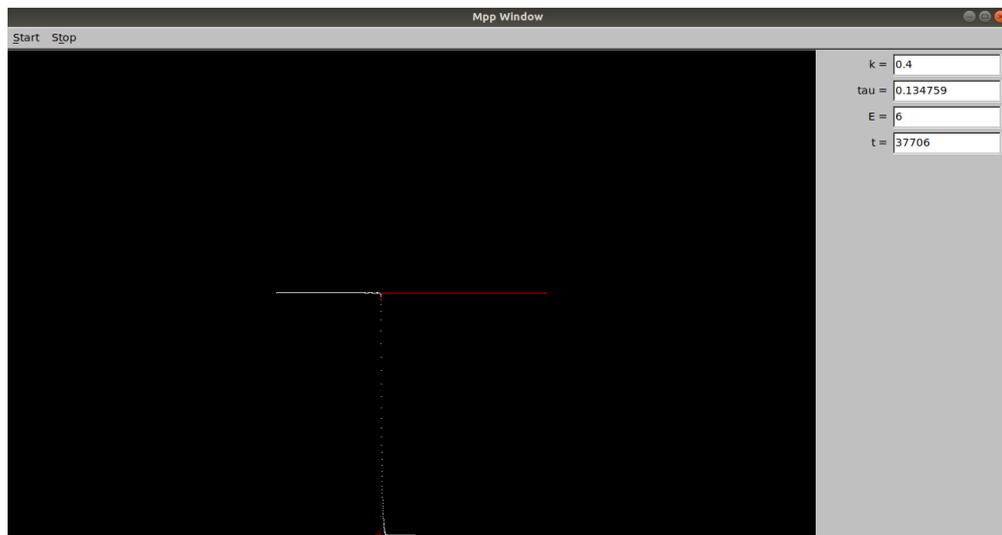


Рис. 2

При больших, например  $E=7$ , стационарное решение становится неустойчивым и фронт распространяется с переменной скоростью (рис. 3, 4).

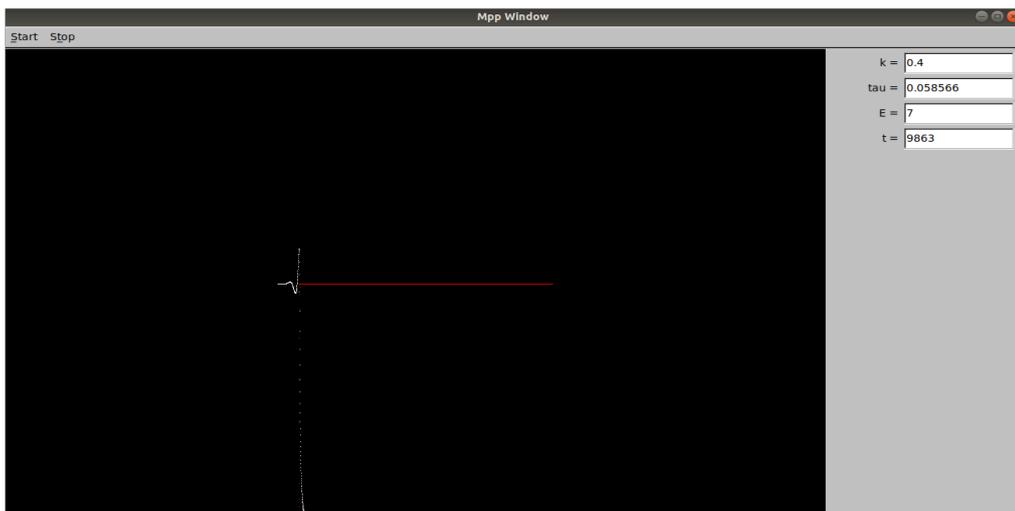


Рис. 3

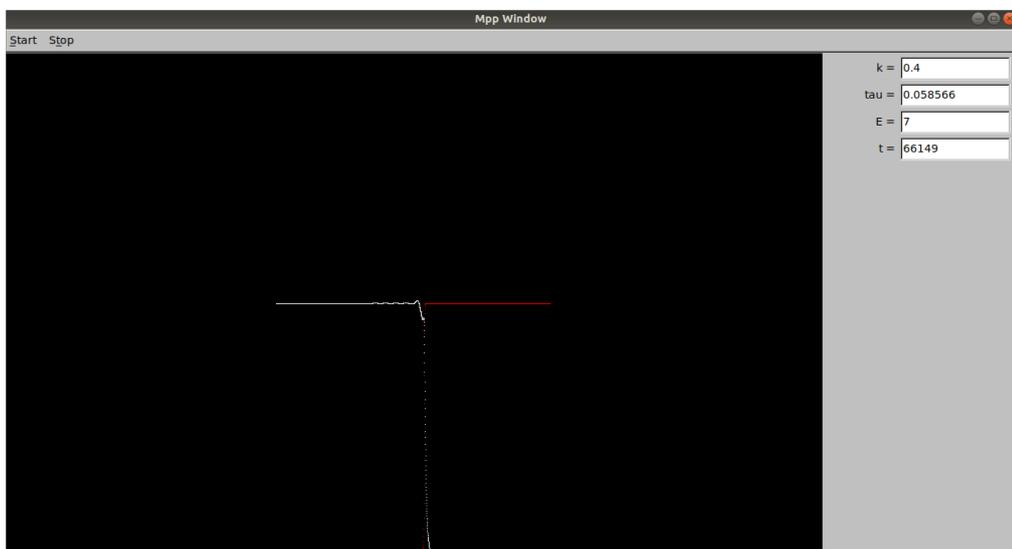


Рис. 4

2. Были подобраны начальные и граничные условия и смоделировано распространение волны горения в двумерном случае. При малых значениях энергии активации  $E=5$  получено стационарное распространение волны горения (рис. 5, 6). Рассматривается температура для данного участка  $T(x, y, t)$  ( $x$  — координата вдоль горизонтальной прямой,  $y$  — координата вдоль вертикальной прямой). По умолчанию количество вещества равно безразмерной величине 1. Белым цветом показана температура для данного участка вещества, где белый цвет — температура большая (равна безразмерной величине 1), черный — температура достаточно малая для данной задачи.

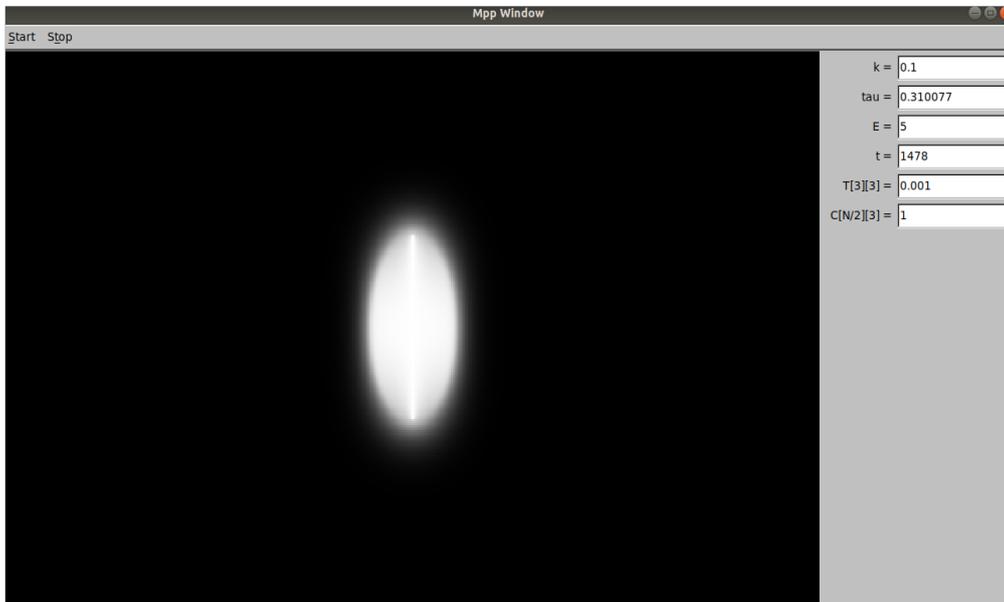


Рис. 5

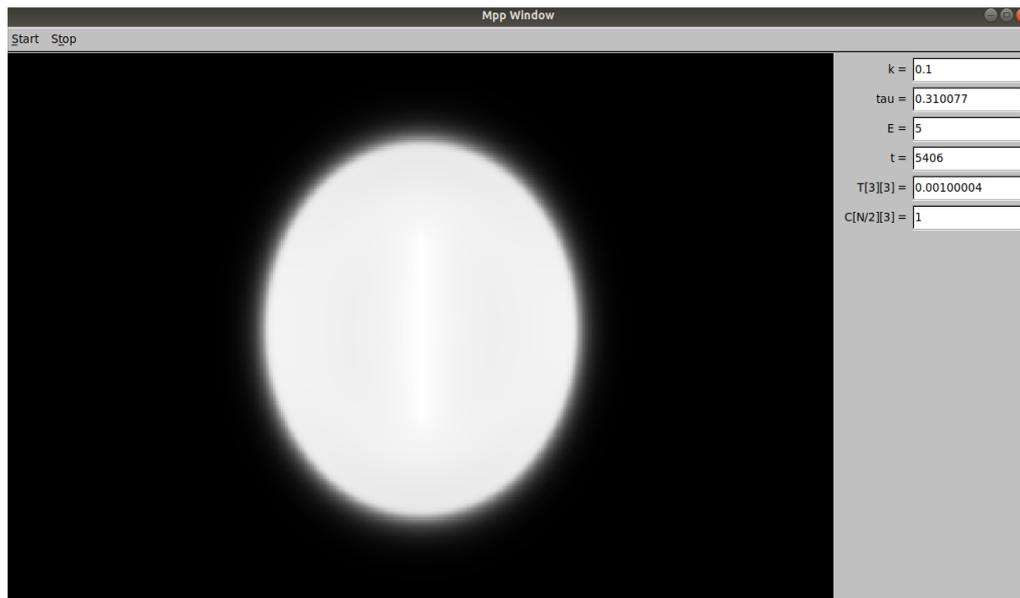


Рис. 6

При больших, например  $E=6$ , стационарное решение становится неустойчивым (рис. 7, 8).

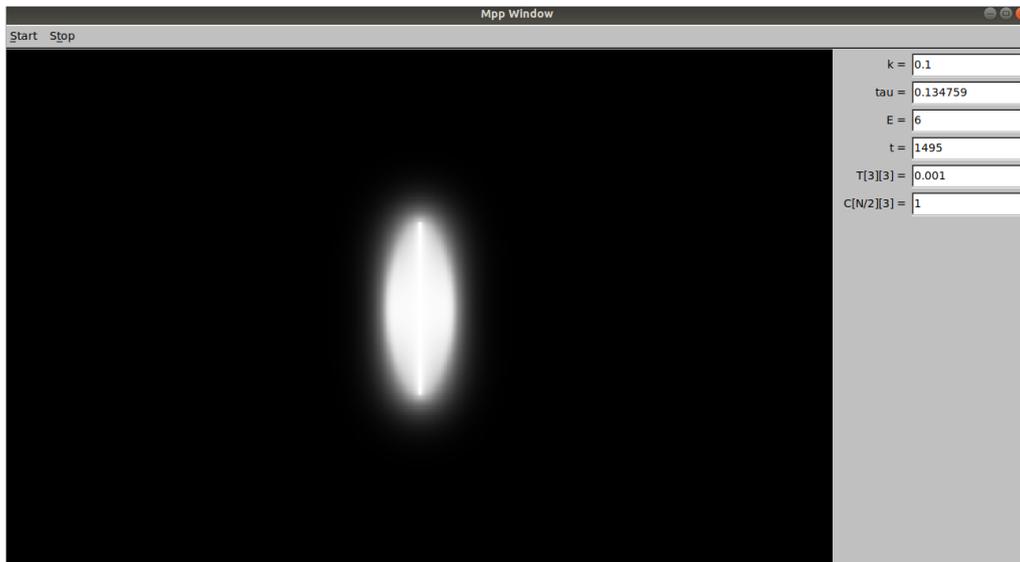


Рис. 7

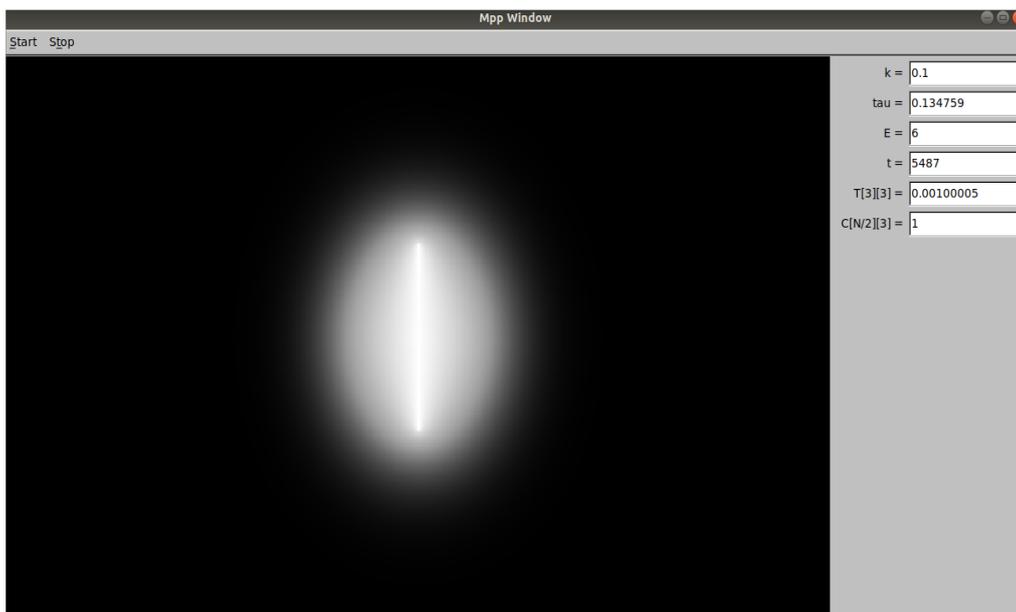


Рис. 8

## 8. Выводы

В ходе данной работы:

1. Разработана модель, описывающая процесс горения в одномерных и двумерных случаях;
2. Изучен язык C++ и библиотека для создания графических интерфейсов MPPG;
3. Рассмотрены режимы горения в одномерном и двумерном случаях;
4. Написана программа, моделирующая процесса горения для одномерного случая;

## 9. Литература

1. Медведев Д. А., Куперштох А. Л., Прууэл Э. Р., Сатонкина Н. П., Карпов Д. И. Моделирование физических процессов и явлений на ПК: Учеб. пособие / Новосибирск: Новосиб. гос. Ун-т., 2010. — 101 с.
2. Керниган Б., Ритчи Д. Язык программирования C, 2-е издание. - М.: Издательский дом "Вильямс", 2009. - 304 с.
3. Документация к Mppg. C++ библиотека для создания интерфейса при численном моделировании физических процессов. Прууэл Э. Р.

