

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)»  
Институт естественных и точных наук  
Кафедра прикладной математики и программирования  
Направление подготовки: 01.03.02 Прикладная математика и информатика

## Расширение функциональности библиотеки SPlisHSPlasH для решения задач теплопроводности

Руководитель:  
доцент  
Е.Ю. Алексеева

Автор работы:  
студент группы ЕТ-413  
В.А. Ильюп

Челябинск 2025

# Актуальность

**Моделирование теплопередачи** играет ключевую роль в задачах термоанализа, проектирования теплообменных систем, а также в инженерной и физической симуляции.

**Метод сглаженных частиц (SPH)** активно применяется для численного моделирования сплошных сред, особенно в условиях больших деформаций и свободных поверхностей.

**SPlisHSPlasH** – одна из наиболее развитых и широко используемых библиотек SPH с открытым исходным кодом, ориентированная на гидродинамику.

**Добавление модуля теплопроводности** расширит прикладной потенциал библиотеки: от моделирования теплообмена в жидкостях до комплексных мультифизических задач.

**Повышение универсальности** библиотеки способствует развитию открытых научных инструментов и снижает порог входа для исследований в области численного моделирования.

## **Цель и задачи**

**Цель работы:** расширение функциональности открытой библиотеки SPLisHSPLasH для моделирования теплопередачи в среде с использованием метода сглаженных частиц (SPH).

### **Задачи:**

- 1) изучить методологию SPH;
- 2) составить математическую модель теплопроводности;
- 3) изучить SPLisHSPLasH и реализовать модуль теплопроводности;
- 4) протестировать функционал.

**Язык разработки: C++.**

# Математическая модель.

**Основная идея:** SPH – численный метод, в котором сплошная среда аппроксимируется набором частиц. Каждая частица несет физические свойства, такие как масса, температура, плотность и т. д. Любая физическая величина  $A$  в точке  $\mathbf{r}$  рассчитывается как:

$$A(\mathbf{r}) \approx \sum_j \frac{m_j}{\rho_j} A_j W(\mathbf{r} - \mathbf{r}_j, h),$$

где  $i$  – индекс текущей частицы,  $j$  – индекс соседней частицы,  $W$  – ядро сглаживания,  $h$  – длина сглаживания,  $m$  – масса частицы,  $\rho$  – плотность частицы.

# Математическая модель.

**Ядро сглаживания** – функция, определяющая вклад соседних частиц в аппроксимации величин. Для корректной работы ядро должно быть:

- 1) положительным;
- 2) гладким;
- 3) нормированным.

**Пример ядра сглаживания:**

$$W(r, h) = (1 - q)^8 (1 + 8q + 25q^2 + 32q^3),$$

где  $q$  – отношение расстояния между частицами к радиусу сглаживания,  $r$  – расстояние между двумя частицами,  $h$  – радиус сглаживания.

# Ход работы

В ходе работы над интерфейсом библиотеки SPLisHSPlasH было добавлено следующее:

- 1) возможность инициализации значения температуры;
- 2) цветное поле, отвечающее за визуализацию частицы, относительно ее значения температуры на рисунке 1;
- 3) выпадающий список, показывающий все реализованные модели теплопроводности на рисунке 2;

Результатом работы стала визуализация сцены для теплопроводности на рисунке 3.

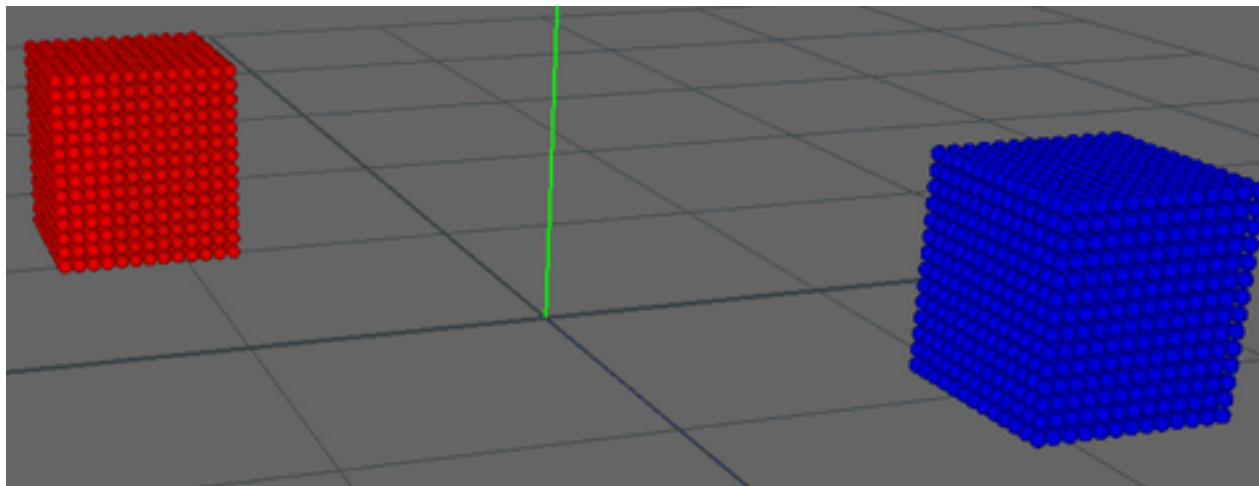


Рисунок 3 – Столбы жидкости с разными значениями температур

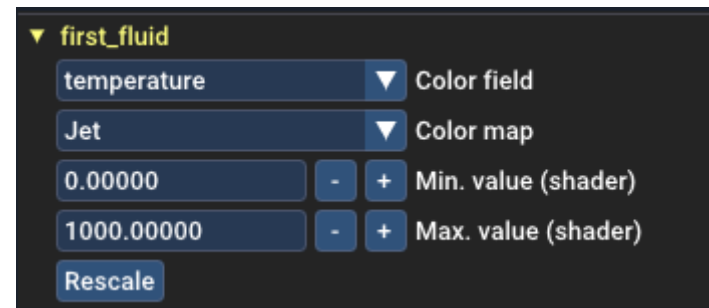


Рисунок 1 – Цветовое поле

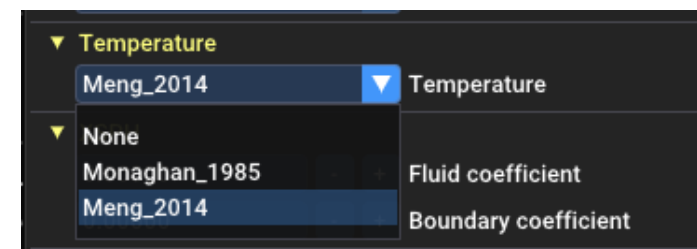


Рисунок 2 – Список моделей

# Визуализация сцены

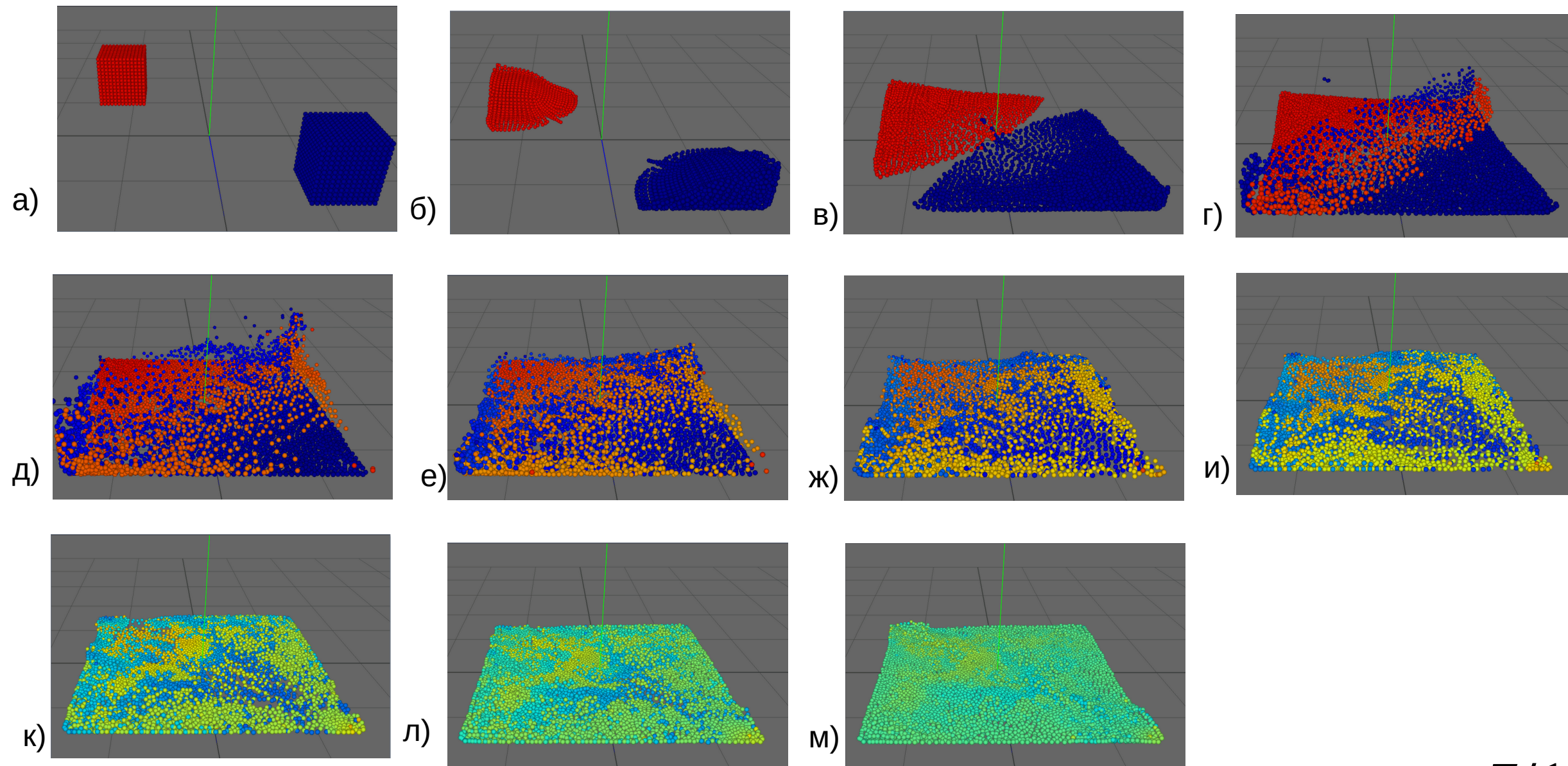


Рисунок 4 – Анимация поведения жидкости

# Тестирование

- 1) Теплоперенос между двумя телами.** Два столба жидкости, одно холодное другое горячее. Ожидаемый результат: смешение частиц и распределение температур по всем частицам. Тест пройден.
- 2) Тепловой нагрев с одной стороны.** Горячая область в центре и холодная по краям. Ожидаемый результат: Симметричное распространения тепла. Тест пройден.
- 3) Повторный запуск.** При повторных запусках не должно быть изменений, если не были изменены параметры для инициализации сцены. Тест пройден.
- 4) Чувствительность к параметрам.** При изменении параметров, таких как радиус сглаживания, радиус частиц и т. д., должны происходить изменения, влияющие на моделирование. Тест пройден.
- 5) Изоляция.** Сохранение значений температуры при отсутствии других тепловых потоков. Тест пройден.



# Заключение

**В результате работы** были выполнены задачи:

- 1) изучена методология SPH;
- 2) составлена математическая модель теплопроводности;
- 3) реализован модуль теплопроводности для SPlisHSPlasH;
- 4) проведено тестирование по новому функционалу библиотеки.

**Итогом работы** стала обновленная расширенная библиотека SPlisHSPlasH с возможностью моделирования теплопередачи.

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**