

# Разработка параллельного вычислительного комплекса для решения задач газовой динамики на вычислительных системах гибридной архитектуры

**Климов М.И.**

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова

**Меньшов И.С.**

Институт прикладной математики им. М.В.Келдыша

При поддержке гранта РФФИ №14-01-31480-мол\_a

**Вычислительный эксперимент в аэроакустике 2014**

Светлогорск, 2014

## Модель

- закон сохранения массы
- закон сохранения энергии
- закон сохранения импульса
- уравнения состояния
- ...

## Дискретизация

- метод конечных разностей
- метод конечных объёмов
- метод конечных элементов

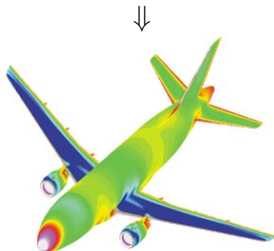


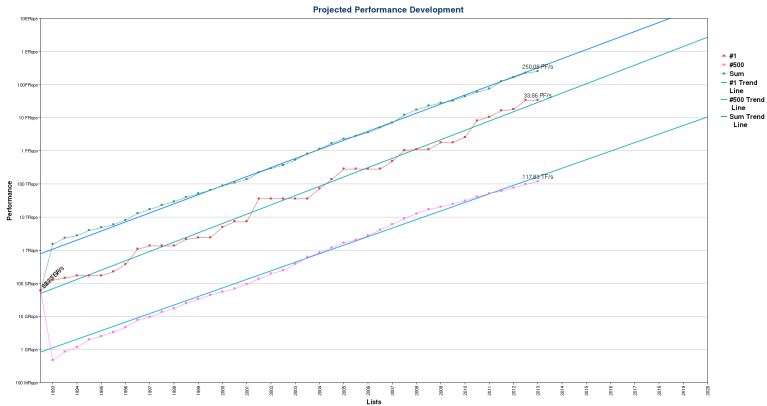
## СЛАУ

- $\rho = \rho(\vec{x}, t, \dots) \rightarrow \rho_n^m$
- $\vec{v} = \vec{v}(\vec{x}, t, \dots) \rightarrow \vec{v}_n^m$
- ...

## Решение СЛАУ

- метод Якоби
- метод BiCG
- метод LU-SGS
- ...





\*изображение с сайта [www.top500.org](http://www.top500.org)



## Параллельные технологии

- OpenMP
- CUDA
- OpenCL
- MPI
- pthreads
- ...

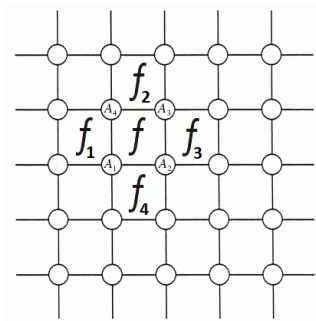
Параллельное программирование — сложно

- поддержка большого количества математических методов и физических моделей
- понятный интерфейс для разработчика решателей
- высокая эффективность
- высокая масштабируемость

- векторная форма определяющих уравнений дивергентного типа

$$\frac{\partial \vec{Q}}{\partial t} + \operatorname{div} \vec{F} = \vec{H}$$

- сеточные методы
- связи первого уровня
- численные методы — итерационные, не требующие обращений глобальной матрицы



- получение вектора состояния расчетной ячейки
- получение геометрии расчетной ячейки
- сохранение вектора состояния расчетной ячейки
- ... для соседних ячеек

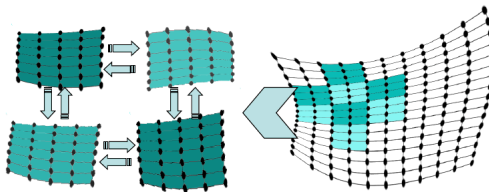
### Уровни

- 1 **Межузловой параллелизм**  
на уровне декомпозиции области.
- 2 **Поэлементный параллелизм**  
многопоточная параллелизация внутри узла.

## Технологии

### обмен сообщениями (MPI)

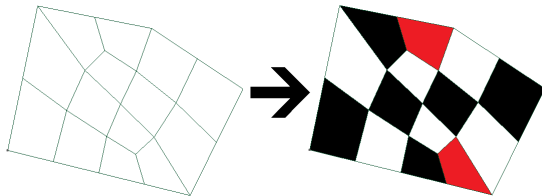
Каждый вычислительный объект (узел, ядро, видеокарта) производит расчет в собственной отдельной подобласти



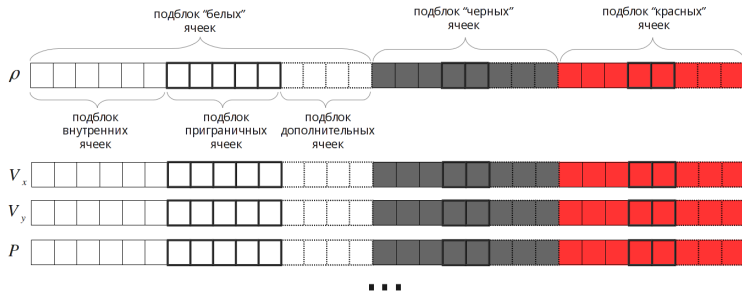
### Технологии

- CUDA
- OpenMP
- Intel Cilk Plus
- pthreads

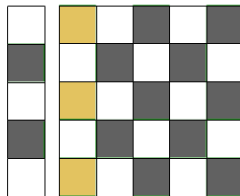
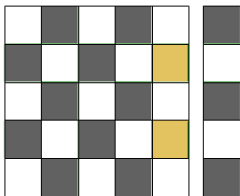
Основная идея — раскраска сетки для избежания коллизий при  
многопоточности



## Структурное распределение памяти:

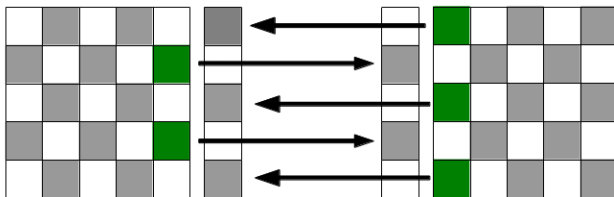






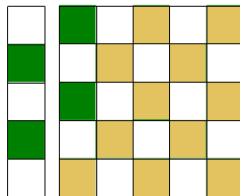
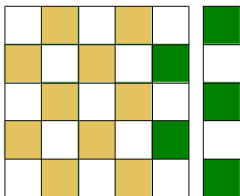
## Шаг 1

Расчет по границе выбранного цвета



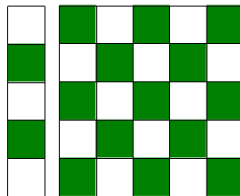
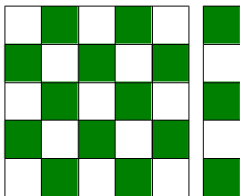
## Шаг 2

Асинхронная передача граничных ячеек



## Шаг 3

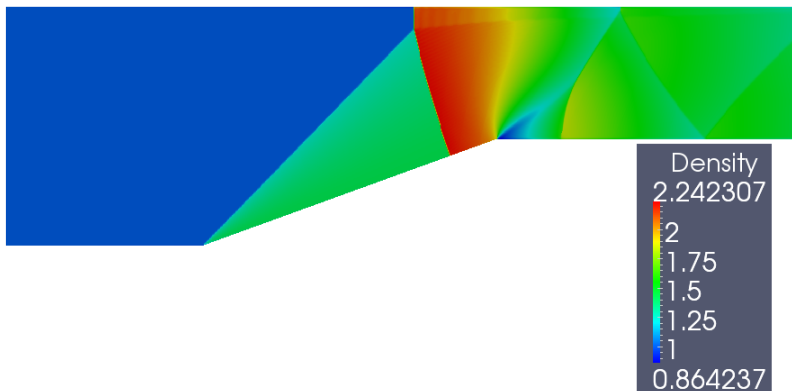
Расчет внутренних ячеек



## Шаг 4

Выбираем следующий цвет и повторяем Шаг 1-4

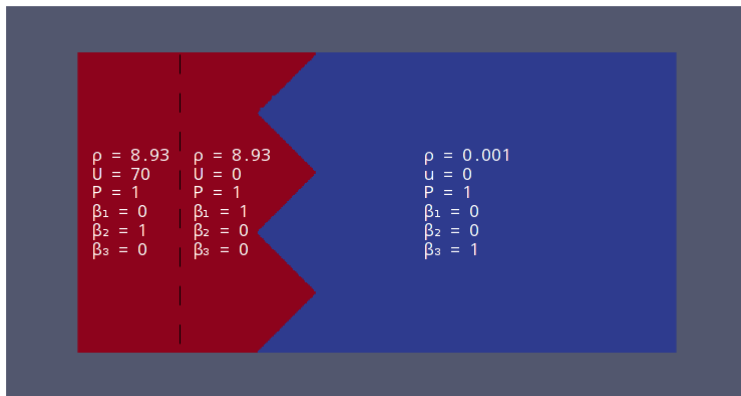
## Обтекание тела сверхзвуковым потоком воздуха



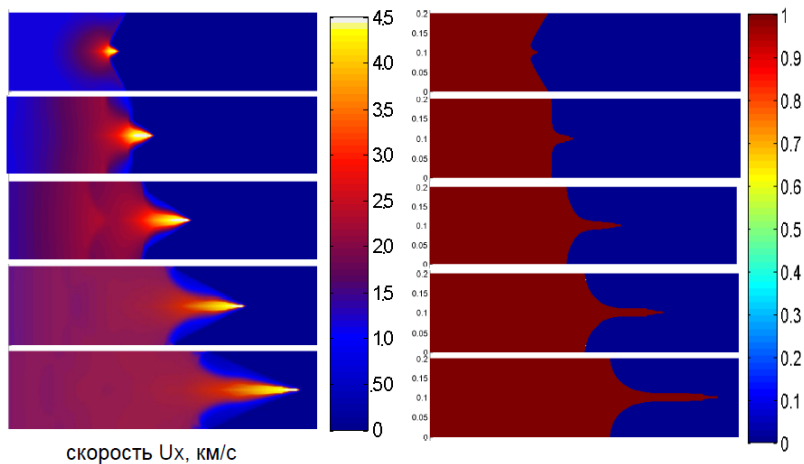
Задача о схлопывании пузырька под действием ударной волны.

\* расчеты проведены во ВНИИА им. Н.Л.Духова

## Задача о кумулятивных струях. Начальные распределения:

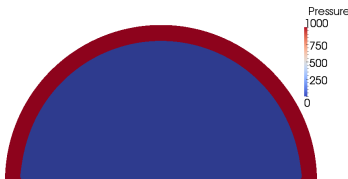
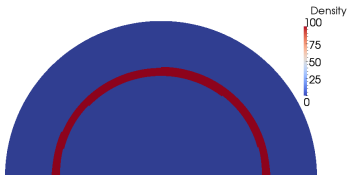


# Результаты



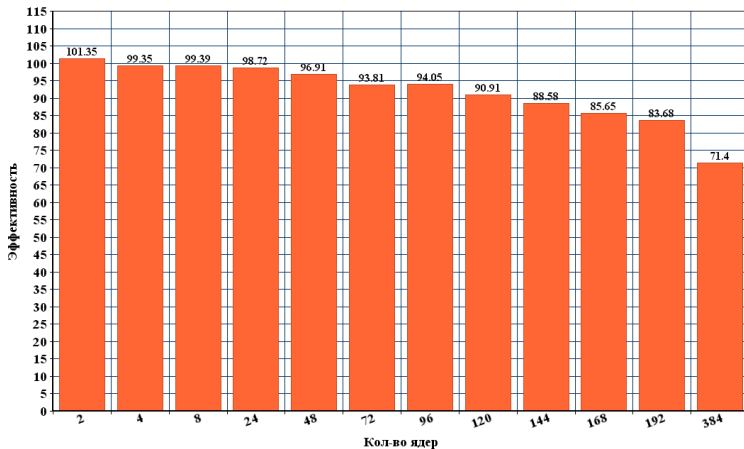


Задача о сжатии сферической оболочки.  
Начальные распределения:

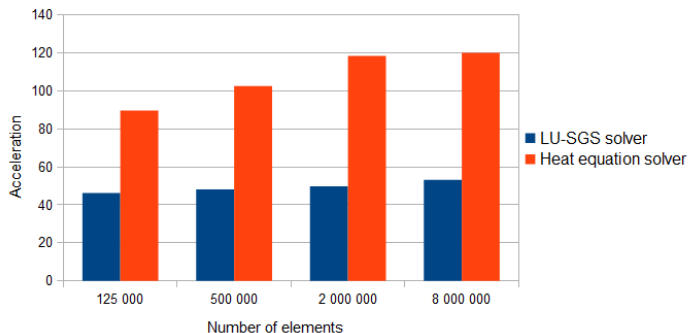




Эффективность



\*180 000 элементов



\*Nvidia GeForce GTX 480 против 1 ядра Intel Xeon E-1200

- 3D-решатели
- подвижные сетки
- multi-GPU

# Спасибо за внимание!