

**УЧРЕЖДЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ИНСТИТУТ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ПРИКЛАДНОЙ МЕХАНИКИ
им. С.А. ХРИСТИАНОВИЧА СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РАН**

Приоритетное направление 19. Общая механика, динамика космических тел, транспортных средств и управляемых аппаратов; биомеханика; механика жидкости, газа и плазмы, неидеальных и многофазных сред; механика горения, детонации и взрыва

Программа 19.4. Аэротермодинамика высокоскоростных летательных аппаратов (координатор д.ф.-м.н. А.Н. Шиплюк)

ЗАЯВКА ПО ПРОЕКТУ 19.4.4

Современные проблемы высокоскоростного полета и численное моделирование

Тема: Развитие новых методов эффективного численного моделирования задач аэротермодинамики

В рамках темы предполагалось развивать подход к программной реализации прямых конечноразностных методов решения нелинейного кинетического уравнения Больцмана на основе использования архитектуры CUDA, апробированный участниками проекта в предыдущие годы. Для этого необходимо было провести модификацию существующих программ с целью масштабирования. Это позволит при их запуске на гибридных кластерах эффективно использовать наращиваемую вычислительную мощность. Модификация программы проводилась на основе принципиально новых версий архитектуры CUDA 4.* и CUDA 5.*. После разработки программы, способной одновременно использовать все графические ускорители на всех узлах гибридного кластера, предполагается провести ее тестирование, проведя ресурсоемкие расчеты классических задач динамики разреженного газа.

Узким местом решения уравнения Больцмана с точки зрения на использование процессорного времени является вычисление интеграла столкновений. Очевидная и простая идея параллелизации этих вычислений заключается в 3-х мерной декомпозиции фазового пространства, когда каждый поток реализует последовательный алгоритм вычислений интеграла столкновений в отдельной ячейке физического пространства. Более глубокая декомпозиция, затрагивающая пространство скоростей более оптимальна для GP GPU. На рисунке 1 показано размещение массива значений функции распределения в узлах расчетной сетки в фазовом пространстве в глобальной памяти, и конфигурация нитей, обеспечивающая совместный доступ к памяти (*coalescing*). Ускорение, достигнутое при тестовых расчетах на двух GPU составляло 400 - 500 раз в сравнении с расчетами на одном ядре процессора Intel Core i5-2500K CPU с частотой 3.60 GHz.

В качестве тестовой задачи была выбрана задача о структуре ударной волны. Результаты расчетов сравнивались с расчетам методом прямого статистического моделирования (*DSMC*). На рисунке 2 приведено сравнение профилей температуры и плотности в ударной волне со значениями числа Маха $M=8$ вверх-по-потoku, полученных расчетами методом прямого статистического моделирования и детерминированным методом решения уравнения Больцмана. На рисунке 3 сраниваются функции распределения в центре ударной волны, рассчитанные обоими методами. Результаты работы опубликованы в трех статьях и докладывались на трех международных конференциях и опубликованы в статье.

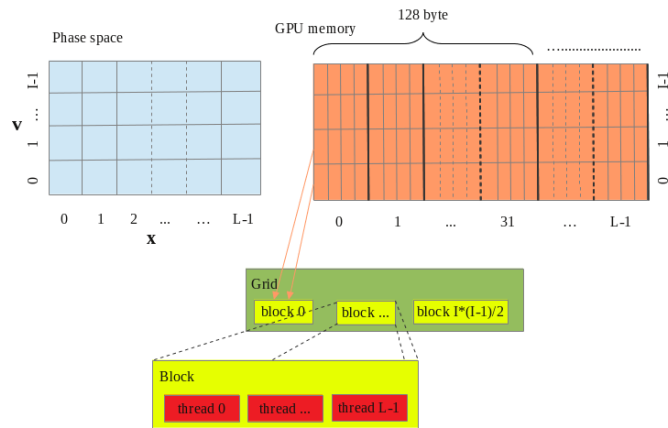


Рис 1 - Параллелизация вычислений интеграла столкновений.

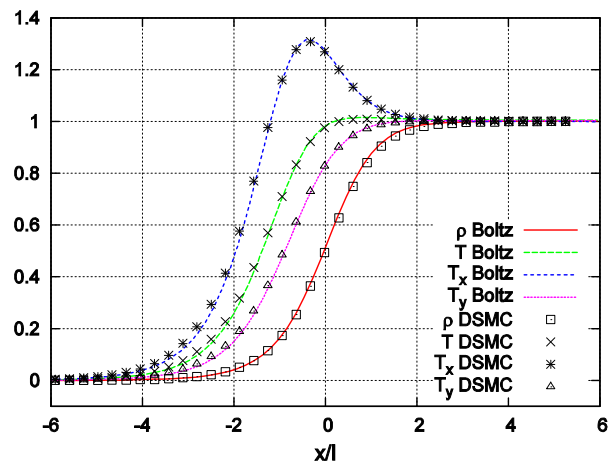


Рис 2 - Сравнение газодинамических параметров ударной волны.

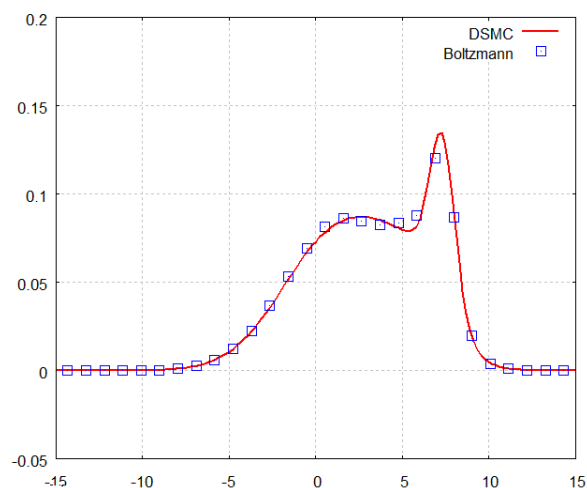


Рис 3 - Сравнение функций распределения в ударной волне

ПУБЛИКАЦИИ

1. E.A. Malkov, M.S. Ivanov A numerical solution of the Boltzmann equation for the shock wave structure // 29th International Symposium on Shock Waves University of Wisconsin-Madison Memorial Union. July 14–19, 2013. Book of Abstracts. Paper #0246-000192. (Устный доклад)
2. E. A. Malkov, S. O. Poleshkin, A. A. Kokhanchik, Ye. A. Bondar An accurate numerical solution of the Boltzmann equation for the shock wave structure // 29th International Symposium on Rarefied Gas Dynamics, Xi'an, China, July 13–18, 2014.
3. E. Malkov, A. Kokhanchik, S. Poleshkin, Y. Bondar A Shock Wave Structure by Different Numerical Approaches // 11-th International Conference of Flow Dynamics, Institute of Fluid Science, Tohoku University, October 8-10, 2014
4. E. Malkov, A. Kokhanchik, S. Poleshkin, Y. Bondar High-accuracy deterministic solution of the Boltzmann equation for the shock wave structure // Shock Waves (*Impact factor: 0.743*). 2014. In print.