Реализация метода макрочастиц физики плазмы на графических ускорителях

Перепёлкина А.Ю., Левченко В.Д., Горячев И.А.

ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, г. Москва, Россия, mogmi@narod.ru

Представлены результаты разработки кода моделирования плазмы DiamondPIC [1] на графических ускорителях.

Код основан на решении системы уравнений Власова-Максвелла в 3D3V методом частиц-в-ячейках. Основные особенности в сравнении с аналогами [2] состоят в следующем.

Код направлен на решение многомасштабных задач. Подразумевается, что характерные времена и пространственные масшабы рассматриваемых процессов могут отличаться на несолько порядов. Для учета разномасштабности по времени, если за время существенных изменений в электромагных полях положения и импульсы частиц меняются незначительно, одну итерацию интегрирования уравнения Власова можно проводить не на каждом шаге изменений полей, а каждые несколько шагов.

Для учета разномасштабности по пространству, при вычислении полей использована схема в конечных разностях на сдвинутых сетках второго, четрвертого и выше порядка аппроксимации по пространству. Форм-фактор метода частиц согласован с повышенным порядком. Для многомасштабных задач это обеспечивает сохранение точности модели после выполнения большого количества шагов по времени.

Код реализован при помощи инструментов CUDA для графических процессоров NVIDIA с использованием локально-рекурсивных нелокально-асинхронных алгоритмов [3,4], специально адаптированных для выбранной численной схемы и архитектуры процессора.

Достигнутая производительность на данный момент составляет более 108 частиц в секунду на одной видеокарте. Отдельно для модуля вычисления электромагнитных полей со вторым порядком аппроксимации получена производительность в 5・109 ячеек в секунду на одну видеокарту.

Выбор алгоритмов позволяет приблизить эффективность вычислений к максимально возможной. Также, путем применения технологии "бегущего окна", размер задач, которые можно решать разрабатываемым кодом, не ограничен размером памяти доступного количества видеокарт. Актуальные задачи можно решать без использования суперкомпьютерных кластеров. В задаче о взаимодействии лазерного излучения с веществом это означает моделирование взаимодействия лазерных импульсов длительностью до пикосекунд с плазменным слоем в модельной области типа бегущего окна протяженностью до 1 миллиметра (10 000 х 1000 х 1000 шагов сетки).

Литература

1. Perepelkina A Yu, Levchenko VD, Goryachev IA. // 41st EPS Conference on Plasma Physics / Ed. by Prof. O. Scholten ; EPS. — Europhysics Conference Abstracts no. 38F. — Berlin : European Physical Society, 2014. — June. — P. O2.304.
2. S. Bastrakov, R. Donchenko, A. Gonoskov et al. // Journal of Computational Science. — 2012. — Vol. 3, no. 6. — P. 474 – 479
3. Левченко В. Д. // Информационные технологии и вычислительные системы. — 2005. — Vol. 1. — P. 68–87.