

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБТЕКАНИЯ КЛИНА И ПЛАСТИНЫ РАЗРЫВНЫМ МЕТОДОМ ЧАСТИЦ БЕЗ УЧЕТА ФОРМЫ

А.Е. Кувшинников

ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, г.Москва

kuvsh90@yandex.ru

Главной особенностью газовой динамики является возникновение разрывов, областей сильных градиентов в поле течения. Качество вычислительных методов оценивается их способностью адекватно передавать такое поведение решения. Разрывный метод частиц позволяет справиться с этими трудностями лучше, чем традиционные разностные и конечно-элементные методы. Он основан на подходе Лагранжа, что обеспечивает автоматическое построение сетки, и имеет конструктивную склонность к распараллеливанию, экономичен с точки зрения многомерности и идеален для иерархических переходов между микро- и макромоделами [1, 2].

Метод используется для численного решения задачи обтекания клина сверхзвуковым потоком невязкого газа, что приводит к образованию косоугольного скачка уплотнения [3, 4]. Модификация разрывного метода частиц без опоры на форму частиц позволяет достигнуть высокой точности решения в двумерном случае, что видно по размазыванию разрыва на одну ячейку. Вводится инвариант, интерпретируемый как сохранение массы между двумя наиболее интенсивно взаимодействующими частицами, что упрощает этап коррекции. Сравниваются численные решения разрывного метода частиц и численные решения, полученные с помощью OpenFOAM, с аналитическим решением в норме L_2 . Визуализация результатов наглядно иллюстрирует особенности метода разрывного метода частиц для двумерных задач газовой динамики.

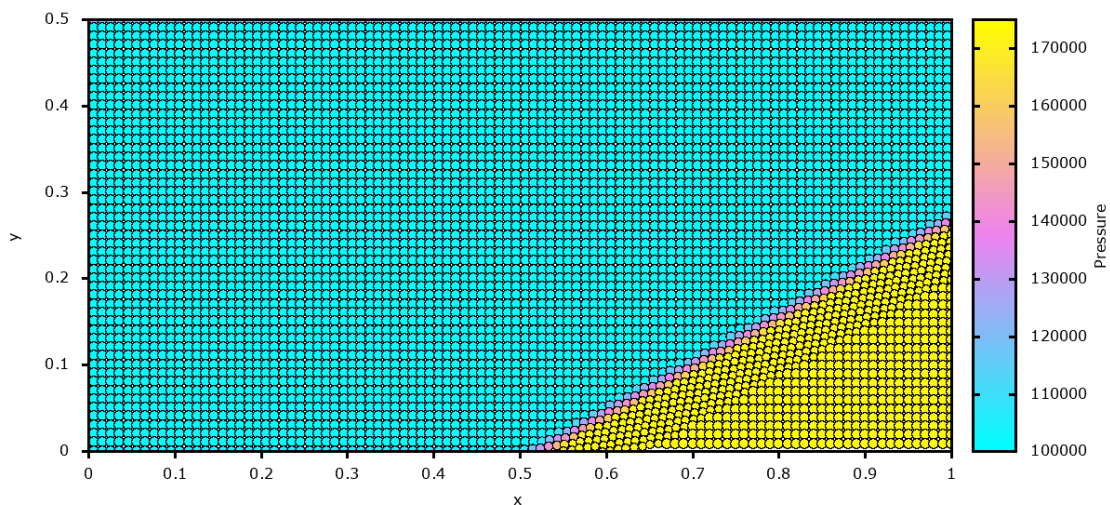


Рис. 1. Распределение давления в задаче образования косоугольного скачка уплотнения.

Область применения разрывного метода частиц расширена на задачи с вязкостью, для этого диффузионный член представлен в формулировке данного метода [5]. Для примера взята задача образования пограничного слоя при обтекании пластины сверхзвуковым потоком вязкого газа. В данном контексте демонстрируется, что разрывный метод частиц успешно воспроизводит качественную структуру течения. Также проводится сравнение количественной характеристики, а именно толщины пограничного слоя. Для улучшения результатов предполагается использование механизма «рождения–гибели» частиц [6].

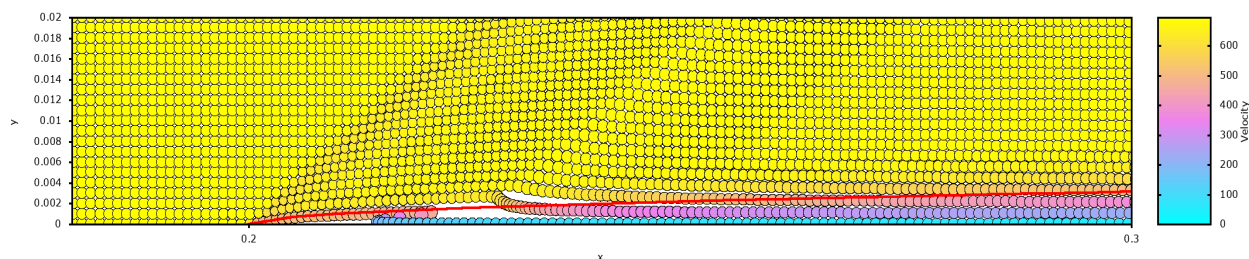


Рис. 2. Распределение продольной компоненты скорости в задаче образования пограничного слоя.

Вычисления проведены с помощью гибридного суперкомпьютера К-100, установленного в Суперкомпьютерном Центре коллективного пользования ИПМ им. М.В. Келдыша РАН.

Список литературы:

1. Богомолов С.В., Звенков Д.С. Явный метод частиц, несглаживающий газодинамические разрывы // Математическое моделирование. 2007. Т. 19. № 3. С. 74–86.
2. Bogomolov S.V., Esikova N.B., Kuvshinnikov A.E. Micro-macro Fokker–Planck–Kolmogorov models for a gas of rigid spheres // Math. Models Comput. Simul. 2016. V. 8. No. 5. P. 533–547.
3. Bogomolov S.V., Kuvshinnikov A.E. Visualization of the application of the discontinuous particle method without taking into account the particle shape to the quasi-linear transport equation // Scientific Visualization. 2021. V. 13. No. 2. P. 94–103.
4. Bogomolov S.V., Bondarev A.E., Kuvshinnikov A.E. Comparative verification of numerical methods involving the discontinuous shapeless particle method // Scientific Visualization. 2022. V. 13. No. 4. P. 97–109.
5. Bogomolov S.V., Kuvshinnikov A.E. Visualization of Calculations of the Discontinuous Particle Method in Problems with Viscosity // Scientific Visualization. 2023. V. 15. No. 4. P. 112–123.
6. Богомолов С.В. Метод частиц. Несжимаемая жидкость // Математическое моделирование. 2003. Т. 15. № 1. С. 46–58.