

Рис. 2.
Распределение электронов «отраженных» от поверхности вольфрамовой мишени

Интересно отметить, что решение этой задачи с помощью широко применяемого пакета MCNP требует для достижения той же погрешности результатов в десятки раз больше процессорного времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Загонов В.П., Жуковский М.Е., Подоляко С.В., Скачков М.В., Тиллак Г.-Р., Беллон К. Применение поверхностно ориентированного описания объектов для моделирования трансформации рентгеновского излучения в задачах вычислительной диагностики // Математическое моделирование. 2004. Т. 16, № 5. С. 103–116.
2. Жуковский М.Е., Скачков М.В. О статистических методах моделирования переноса электронов в веществе // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия "Естественные науки". 2009. 1(32). С. 31–46.

Суперкомпьютерное моделирование столкновения галактик



13 Суперкомпьютерное моделирование столкновения галактик

Движение галактик в плотных скоплениях превращает столкновения между ними в важный эволюционный фактор. Основным интересом представляет изучение пространственной динамики менее доступного для наблюдения газового компонента галактик, который играет определяющую роль. Поэтому возникает необходимость суперкомпьютерного моделирования задачи столкновения галактик в газодинамическом приближении.

АВТОРЫ:

В.А. Вшивков – докт. физ.-мат. наук, профессор, зав. лаб., Ин-т вычислительной математики и математической геофизики СО РАН;

e-mail: vsh@ssd.sccc.ru

А.В. Тутуков – докт. физ.-мат. наук, профессор, зав. отделом, Ин-т астрономии РАН;

e-mail: atutukov@inasan.rssi.ru

Г.Г. Лазарева – канд. физ.-мат. наук, науч. сотрудник, Ин-т вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, доцент мех.-мат. факультета НГУ;

e-mail: lazareva@ssd.sccc.ru

И.М. Куликов – канд. физ.-мат. наук, мл. науч. сотрудник, Ин-т вычислительной математики и математической геофизики СО РАН;

e-mail: kulikov@ssd.sccc.ru

Современная астрофизика основана на эволюционной теории, изучающей условия образования и устойчивости упорядоченных структур в первоначально бесструктурной материи — космическом хаосе. Учитывая, что астрофизические явления включают в себя комплекс взаимосвязанных физических процессов в широком диапазоне масштабов, становится ясно, что роль математического моделирования в этой области знаний будет продолжать расти. Этому развитию способствует быстрый прогресс вычислительных технологий, который делает доступным для численных моделей более широкий диапазон физических процессов. Известны модели взаимодействия звездного компонента галактик, основанные на решении задачи многих тел. Хотя в развитии сценария столкновения газовый компонент играет определяющую роль, модель взаимодействия галактик в газодинамическом приближении создана впервые. Динамика холодного газа доступна только для наблюдений в радиодиапазоне, которые не дают достаточно хорошего разрешения. Горячий газ доступен для наблюдений в видимом диапазоне на фронте взаимодействия, где активно происходят процессы звездообразования. В этом случае сильно затрудняет наблюдения большое количество пыли на фронте. Поэтому только результаты численного моделирования нестационарной существенно трехмерной задачи могут служить источником данных для построения теории.

Постановка задачи столкновения газовых компонент галактик заключается в совместном решении газодинамических уравнений с уравнением Пуассона, описывающим изменение поля гравитации под влиянием динамики газа. Движение

звездного компонента в модели не рассчитывается, но его влияние на процесс столкновения учтен через вклад звездной массы в самосогласованное гравитационное поле.

Движение самогравитирующего газа является результатом взаимодействия сил гравитации и давления, поэтому гравитационная неустойчивость более характерна для рассматриваемого класса задач, чем динамика ударных волн. В ходе численной реализации неустойчивость Джинса, как физическое свойство решения, приводит к зависимости численного решения от

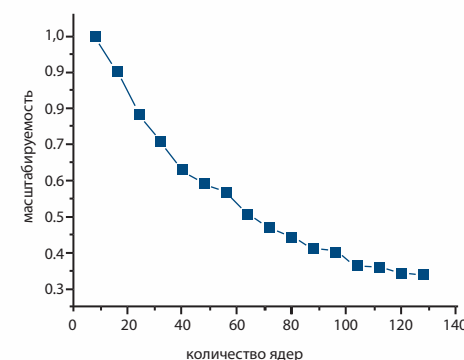


Рис. 1. Масштабируемость параллельной реализации на суперкомпьютере МВС-100К МСЦ РАН

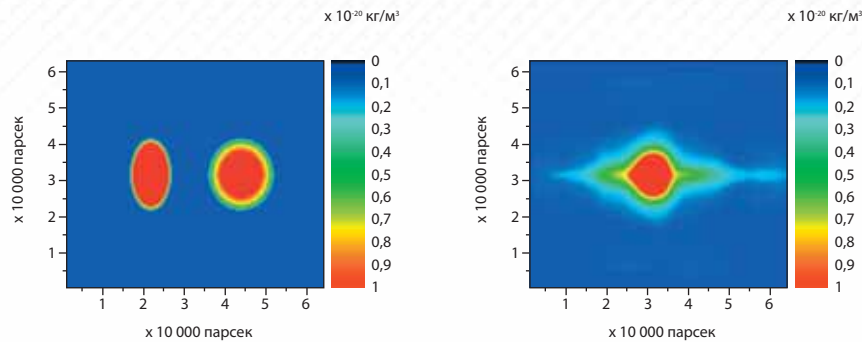


Рис. 2. Экваториальное распределение плотности газовых компонент галактик, полученных в результате моделирования

ориентации расчетной сетки. При численном решении астрофизических задач возникает необходимость задания областей нулевой плотности и корректного определения границ газ—вакуум. Рассматриваемые постановки астрофизических задач, характеризующиеся важностью вклада гравитационной энергии и отсутствием больших потоков через границы области, отличаются влиянием свойства полной консервативности схемы на решение, как и некоторые задачи магнитной газовой динамики и физики разреженной плазмы.

Трехмерность и высокое разрешение современных астрофизических моделей столкновения галактик требует больших вычислительных ресурсов. Следовательно, возникает необходимость создания алгоритмов для численной реализации модели на многопроцессорной вычислительной системе. Использование суперкомпьютеров позволяет использовать большие объемы данных, производить ресурсоемкие расчеты, на порядки повышать точность вычислений, и как следствие, получать физически оправданные результаты для астрофизических моделей.

С помощью суперкомпьютерного моделирования была впервые исследована задача центрального столкновения газовых компонент галактик. Показано, что сценарием столкновения галактик может быть их слияние, свободный разлет, рассеивание газовых компонент галактик. Благодаря высокой точности моделирования столкновения галактик на суперЭВМ был экспериментально получен сценарий разлета с образованием новой галактики, лишенной звездной компоненты. Впервые получены диапазоны газодинамических параметров для развития каждого из сценариев центрального столкновения галактик, неизбеж-

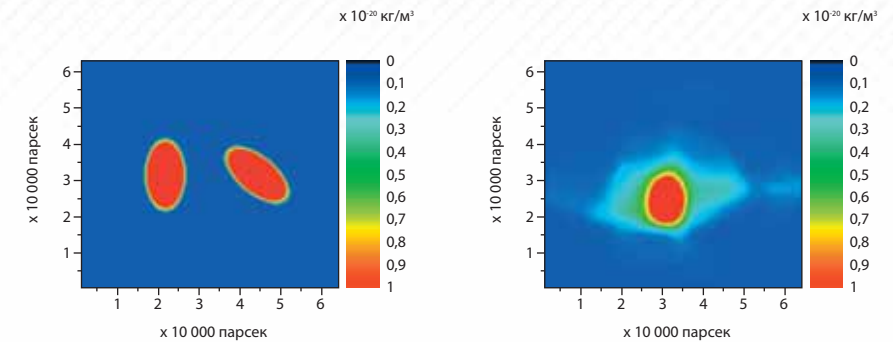


Рис. 3. Меридиональное распределение плотности газовых компонент галактик, полученных в результате моделирования

ных в их плотных скоплениях. Показано, что столкновения ведут не только к появлению приливных деталей и спиралей разных искажений их формы, но также как к их разрушению, так и к образованию в некоторых случаях новых галактик из газа сталкивающихся компонент. Полученные результаты подтверждают существующие теоретические оценки и согласуются с данными наблюдений.

Газодинамическая часть модели была реализована с помощью модификации метода крупных частиц. Для определения изменения поля газодинамических параметров на эйлеровом этапе метода был использован линейаризованный распада разрыва. На лагранжевом этапе происходит адвективный перенос газодинамических величин. В основе метода решения уравнения Пуассона заложено быстрое преобразование Фурье. В основе параллельной реализации метода — декомпозиция расчетной области с перекрытием подобластей.

На наш взгляд, в настоящее время численный метод достаточно апробирован на широком спектре задач гравитационной газовой динамики и возможна его реализация на специализированных устройствах. Так, линейаризованный распад разрыва на эйлеровом этапе может быть реализован с помощью ПЛИС, векторный процессор может быть использован для переноса нескольких газодинамических параметров на лагранжевом этапе, процессор быстрого преобразования Фурье для решения уравнения Пуассона.

Научно-исследовательская работа выполнена в рамках реализации федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы, государственный контракт П1246 от 27 августа 2009 года, программы фундаментальных исследований Отделения физических наук РАН «Протяженные объекты во Вселенной», программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Происхождение и эволюция объектов во Вселенной», грант РФФИ 08-01-00615.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вшивков В.А., Лазарева Г.Г., Куликов И.М.* Модификация метода крупных частиц для задач гравитационной газовой динамики // Автометрия. 2007. Т. 43, № 6. С. 56–65.
2. *Тутуков А.В.* Роль внешних факторов в эволюции галактик // *Астрономический журнал.* 2006. Т. 83, № 6. С. 496–508.
3. *Vshivkov V., Lazareva G., Snytnikov A., Kulikov I.* Supercomputer Simulation of an Astrophysical Object Collapse by the Fluids-in-Cell Method // *PaCT-2009 proceedings. LNCS. Vol. 5698.* 2009. P. 414–422.

Использование суперкомпьютеров для моделирования внегалактических объектов

