

УДК:517.9+519.87+532+536

Математическое моделирование гидродинамического взаимодействия сильной ударной волны с неоднородной средой

Б. П. Рыбакин^{1,2}, В. Б. Бетелин^{1,2}, В. Р. Душин¹, Е. В. Михальченко^{1,2}, С. Г. Моисеенко³,
Н. Н. Смирнов^{1,2}, Л. И. Стамов^{1,2}, В. В. Тюренкова^{1,2}

¹Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва, Российская Федерация

²Федеральное государственное учреждение «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук» Москва, Российская Федерация

³Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской академии наук, Москва, Российская Федерация

В работе представлены результаты компьютерного моделирования взаимодействия ударной волны с молекулярным облаком в трехмерной постановке. Сжатие облаков, вызванное ударными волнами, джетами и другими процессами часто встречаются в Галактиках. В результате такого взаимодействия молекулярные облака (Molecular Clouds, MC) либо разрушаются, либо в них ускоряются процессы образования звезд и планетных систем. Ударные волны, которые распространяются в межзвездной среде (Inter Stellar Media, ISM), образуются в результате различных астрофизических процессов таких как джеты (jets), взрывов сверхновых звезд, столкновений МО и т.д. Для проведения моделирования была построена трехмерная параллельная программа с достаточным эффективным разрешением для диаметра облака. Проведен детальный анализ процессов абляции, деформирования и фрагментации молекулярного облака (МО). Подробно изучено формирование системы прошедших и отраженных волн, сжатие и абляция вещества. Постпроцессорная обработка результатов расчетов позволила найти особенности возникающего течения - образование вихрей, эрозии и абляции вещества молекулярного облака.

Ключевые слова: ударные волны, молекулярные облака, компьютерное моделирование, высокопроизводительные вычисления

Введение

Пространство между звездами в галактиках заполняет разреженное вещество, которое называется межзвездной средой (МЗС, ISM, InterStellar Media). Оно состоит из газа и пыли, и составляет 10–15% от общей массы в галактическом диске [1]. Из него образуются звезды и звезды формируют МЗС на протяжении всей жизни и после своей смерти. Межзвездная среда по своей структуре существенно неоднородна. В МЗС существуют области, в которых вещество имеет большую плотность. Эти неоднородности возникают по разным причинам, но независимо от природы возникновения, такие сгустки или облака (МО, Molecular Clouds, MC) качественно отличаются от МЗС. Сжатие молекулярных облаков (МО) является одним из важных механизмов, в результате которых может ускориться процесс гравитационного коллапса и формирование звезд и планетных систем. Сжатие МО может также привести к разрушению этого облака указанными воздействиями. На Рис. 1 приведен снимок молекулярного облака Unicorn R2, полученного с помощью телескопа VISTA ESO.

Исследованию особенностей поведения молекулярно-пылевых облаков и изучению их роли в формировании звезд посвящено большое количество работ. В пионерских работах [2, 3] аналитически были проанализированы процессы взаимодействия потоков с различными неоднородностями. Были изучены вопросы, связанные с влиянием внешних течений на свойства неоднородных областей. Первые работы в этой области были выполнены в одномерной или двумерной осесимметричной постановках. По мере роста вычислительных мощностей появились работы, в которых был добавлен учет гравитации, влияние магнитных полей. В работах [4] – [7] была исследована задача взаимодействия потока вещества и ударной волн с одиночным МО. Эти исследования также проводились в одномерной и двумерной постановках. Было исследовано влияние основных гидродинамических характеристик и магнитных полей. Одномерным и двумерным постановкам характерны ограничения, которые не позволяют провести детальное исследование процесса взаимодействия ударной волны с МО.

