

СУПЕРКОМПЬЮТЕРЫ И ПРОБЛЕМЫ ХИМИЧЕСКОЙ ЭВОЛЮЦИИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПЛАНЕТ

В.Н. Снытников, Э.А. Кукшева, Т.В. Маркелова, Н.В. Снытников, О.А. Стадниченко, О.П. Стояновская

Химическая эволюция от органических соединений межзвездных молекулярных облаков к биоорганическим соединениям земной биосферы проходила в протопланетных околозвездных дисках на быстрых этапах формирования планет. На этих этапах из межзвездной пыли возникли многокилометровые тела. Восстановить эти этапы призвано математическое моделирование, которое неизбежно связано с решением наиболее сложных задач нестационарной динамики многофазных гравитирующих сред с учетом излучения, химических и плазменных процессов. Такие задачи даже в своей самой простых постановках гравитационной газовой динамики требуют использования суперкомпьютеров, а физически интересные вычислительные эксперименты по разыгрыванию различных сценариев эволюции для наблюдаемых астрономическими методами околозвездных дисков у протозвезд неизбежно приведут к использованию суперЭВМ с экзафлопной производительностью. Проводимые исследования ведутся, в частности, по программам Президиума РАН «Происхождение и эволюция биосферы» и «Происхождение и эволюция звезд и галактик». Для изучения быстрых, на масштабе нескольких лет, изменений условий в протопланетном диске в Институте катализа СО РАН созданы и развиваются нестационарные численные модели, которые реализуются на суперкомпьютерах. В докладе представлены результаты изучения процессов самоорганизации в околозвездных дисках, когда развиваются гравитационные неустойчивости в газопылевой среде с химическими каталитическими реакциями и с ростом твердых тел при коагуляции пыли. Численное моделирование динамики околозвездных дисков проведено с использованием кинетического уравнения для описания подсистемы твердых первичных тел, газодинамических уравнений для газовой компоненты, уравнения Пуассона для самосогласованного гравитационного поля и уравнений химической кинетики. Основные созданные коды реализованы на параллельных вычислительных комплексах Москвы и Новосибирска с удаленным доступом. В вычислительных экспериментах на суперкомпьютерах изучены превращения водорода и других газовых компонент в каталитических реакциях в околозвездных дисках для условий астрокатализа [1-4]. Исследованы условия гравитационной устойчивости околозвездных дисков в гравитационном поле, формирования и эволюции нелинейных структур в дисках. Продолжено изучение обнаруженных ранее одиночных волн плотности. Эти волны рассматриваются как каталитические реактора синтеза предбиологических соединений. В кинетических моделях газофазных реакций легких алканов используются экспериментальные данные по синтезу этилена, ацетилену и других непредельных углеводородов, наблюдаемых в современной атмосфере Титана и важных для процесса укрупнения частиц в околозвездных дисках.

Протозвездно-протопланетная стадия формирования Солнечной системы началась 4.56 млрд лет назад, что датируется по хронологической метке, связанной с содержанием продуктов распада изотопов плутония и алюминия. Исходные изотопы этих элементов появляются в природе при взрывах Сверхновых, стимулирующих процесс звездообразования в молекулярных облаках.

По современным представлениям формирование протозвезды начинается в холодном молекулярном облаке состава космической распространенности элементов. Элементы тяжелее гелия входят в состав пыли. Это формирование происходит при развитии гравитационной джинсовской неустойчивости с гравитационным коллапсом вещества в ядра будущих протозвезд. На поздней стадии развития гравитационной неустойчивости происходит распад зоны звездообразования. Сформированные звезды могут уйти из зоны и потерять прямую связь между собой. Этап формирования протозвезд при гравитационном коллапсе в молекулярном облаке длится до 100 тыс. лет. За это время вокруг ядра протозвезды при падении пыли на экваториальную плоскость вместе с увлекаемым газом формируется протопланетный аккреционный диск, который вращается вокруг ядра. Через газопылевой диск на ядро поступает вещество, которое увеличивает его массу. По достижению протозвездой примерно 0.1 массы Солнца в ее глубине зажигаются термоядерные реакции, чему способствуют углерод и другие элементы. Лучистая энергия с поверхности протозвезды поступает в протопланетный диск и материнское молекулярное облако, поднимая температуру окружающего вещества. Когда масса протозвезды становится сравнимой с массой Солнца, усиливающееся излучение и звездный ветер сбрасывают окружающее вещество. После этого звезду можно увидеть в оптическом диапазоне. На этом заканчивается этап формирования звезды и существования газопылевого протопланетного диска. Через протопланетный диск на протозвезду может проходить масса вещества, сопоставимая с массой звезды. Время формирования звезды солнечной массы – порядка одного миллиона лет. Для звезд типа Солнца диаметр протопланетного диска оценивается в 100–200 а.е. По ряду астрофизических моделей температура газа на орбите Юпитера достигает 100–200 К, температу-ра газа на

орбите Земли – до 1000 К, а его давление – свыше 10-4 атм. В этих условиях в диске возникают протопланеты и рой первичных тел звездной системы.

За этапом формирования звезды и появления в диске протопланет с роем первичных тел следует относительно длительный, порядка 60 млн лет для Солнечной системы, этап формирования планет в столкновениях с первичными телами. На этой стадии происходит потеря диском и внутренними планетами основной газовой компоненты – водорода и гелия – с разрушением молекулярного облака или с выходом из него звезды. Примером этой стадии может выступать диск вокруг звезды ? – Живописца (antwpr.gsfc.nasa.gov/apod/ap971128.html). Конечное состояние на этом этапе – молодая Солнечная система с остатками диска в виде планет со спутниками, дисковыми структурами типа колец Сатурна, Урана и других внешних планет.

Потеря Солнечной системой водорода и гелия, космическая бомбардировка, дегазация и дифференциация вещества Земли, приливные эффекты и другие физико-химические процессы приводят для Земли к новому этапу самоорганизации, связанному с появлением земной коры за геологически не документированные 600 млн лет. Последние приблизительно 3.9 млрд геологически документированных лет длится этап земной геобиологической эволюции, в течение которого сложилась современная биосфера, а также литосфера, атмосфера и гидросфера.

Стадия «астрокатализа» для первичного абиогенного синтеза основной массы органических соединений соответствует этапу формирования крупных тел в Солнечной системе. На этапе астрокатализа абиогенный синтез первичных органических соединений проходил непосредственно при формировании первичных тел и протопланет при развитии гравитационной коллективной неустойчивости с одновременным объединением множества малых тел. Каталитические процессы формировали планеты.

Заключение

Таким образом, комплекс физико-химических процессов в многофазной гравитирующей среде изучается в астрокатализе посредством проведения вычислительных экспериментов на современных суперкомпьютерах с привлечением астрофизических наблюдательных результатов.

Проведенные исследования были поддержаны интеграционным проектом по суперкомпьютерам СО РАН 2009–2011 годов (координатор Б.Г. Михайленко).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Снытников В.Н. Абиогенный допланетный синтез пребиотического вещества // Вестник РАН, Т.77, №3, 2007, С.218-226.
2. Стояновская О.П., Снытников В.Н. Особенности sph-метода Решения газодинамических уравнений при моделировании нелинейных волн в двухфазной гравитирующей среде. // Математическое моделирование 2010 год, том 22, номер 5, стр. 29-44.
3. Стадниченко О.А., Снытников В.Н. Явный многошаговый алгоритм для моделирования динамики самогравитирующего газа // Вычислительные методы и программирование. 2010. Том 11. 53-67.
4. Кукшева Э.А., Снытников В.Н. Параллельный алгоритм решения задач гравитационной физики, основанный на декомпозиции области. // Вычислительные методы и программирование. 2010. Том 11. 168-175.