

Отчёт по первому этапу группового проекта

Образование планетной системы

Абакумов Егор, Сухарев Кирилл, Калинина Кристина, Еременко Артем

Содержание

Цель работы	1
Цель этапа	1
Теоретическое описание задачи	1
Теория происхождения звезд и звездных систем	1
Теория образования солнечной системы	2
Уравнения динамики частиц	2
Описание модели.....	2
Вывод.....	3

Цель работы

Провести моделирование одного из этапов эволюции Вселенной - образование некой «солнечной» системы из межзвездного газа.

Цель этапа

Составить теоретическое описание научной задачи, описать модель.

Теоретическое описание задачи

Теория происхождения звезд и звездных систем

Согласно теории Фридмана, Леметра, Гамова возникновение Вселенной произошло из точки в результате Большого взрыва примерно 13,7 млрд. лет назад. Тогда Вселенная имела очень малый размер и экстремально высокие плотность и температуру. С тех пор Вселенная непрерывно расширяется и остывает. Самая ранняя эпоха называется Планковской.

Затем начался период Космической инфляции - экспоненциального расширения Вселенной. Потом Вселенная остыла настолько, что стало возможным объединение кварков и глюонов в протоны и нейтроны. Затем образовались элементарные частицы и простейшие ядра дейтерия и гелия. Примерно через 400 тысяч лет температура понизилась настолько, что стали возможными рекомбинация электронов с протонами и существование устойчивых атомов водорода.

Первоначально очень слабые нерегулярности в распределении и движении вещества Вселенной усиливались из-за гравитационной неустойчивости и привели к возникновению сильных неоднородностей — протоскоплений. Распад уплотнений на отдельные сгущения дал начало протогалактикам. Фрагментация протогалактических облаков в результате их гравитационной неустойчивости вела к возникновению первых галактик, в которых шло формирование звезд. Параллельно с этим процессом возникали сверхскопления галактик. Образовавшиеся звезды эволюционировали. Наиболее массивные, исчерпав свое водородное топливо, превратились в сверхновые звезды, быстро проходя этап красного гиганта и сбрасывая оболочку мощным взрывом. Ядро таких звезд быстро сжимается, и, если его масса не превышает двух масс Солнца, превращается в нейтронную звезду. Звезды, сравнимые по массе с Солнцем, после выгорания водородного топлива, превращались в красные гиганты и постепенно сбрасывали свою оболочку. Потерявшее оболочку ядро становилось белым карликом, который постепенно остывал. Сброшенная оболочка становилась межзвездным газом и пылью.

Теория образования солнечной системы

Газопылевое облако, из которого позднее образовались планеты и Солнце нашей Солнечной системы, имело ненулевой момент импульса, то есть вращалось. Известно, что суммарный момент импульса в замкнутой системе сохраняется. По мере гравитационного сжатия газопылевого облака расстояние всех его частей от оси вращения сокращалось и скорость вращения сгущающегося облака увеличивалась. Очевидно, что в плоскости, перпендикулярной оси вращения, сжатие происходило медленнее. Поэтому облако, бывшее изначально шаровидным, становилось все более плоским. Из-за гравитационной неустойчивости на периферии формирующегося диска отделилось кольцо вещества. Оставшееся облако продолжало сжиматься и вращаться еще быстрее. Затем от него отделилось новое кольцо вещества. Позднее кольца вещества сгустились в планеты. Зависимость скорости обращения планет от расстояния до Солнца соответствует третьему закону Кеплера: скорость убывает обратно пропорционально корню квадратному из расстояния до центра.

Уравнения динамики частиц

Цель данной работы - провести моделирование одного из этапов эволюции Вселенной - образование некой «солнечной» системы из межзвездного газа. Так как число моделируемых частиц весьма ограничено, то можно сказать, что в этой модели планеты образуются из уже сформировавшихся газопылевых уплотнений, которыми и являются задаваемые частицы.

Описание модели

В данной работе моделируется взаимодействие частиц различной массы. Движение каждой определяется следующей формулой:

$$m_i \frac{d^2 r_i}{dt^2} = F_i$$

Потенциальная энергия взаимодействия частицы со всеми остальными описывается формулой:

$$U_i = \sum_{i \neq j} \frac{\gamma m_j m_i}{r_{ij}}$$

Тогда общая энергия системы равна:

$$U = \frac{1}{2} \sum_i U_i$$

В начальный момент времени частицы распределены в пространстве случайным образом.

Для частиц, у которых расстояние между центрами меньше суммы их радиусов, необходимо ввести силы трения и отталкивания. Это делается для удобства написания программы, так как в реальности при столкновении двух газопылевых облаков произойдет их слипание, в облаках возникнут ударные волны, и при слишком больших скоростях возможно их разбиение на более мелкие.

Сила отталкивания между двумя частицами будет определяться по формуле:

$$F^r(b) = k \left(\left(\frac{a}{b} \right)^8 - 1 \right)$$

Здесь $a = R_i + R_j$, сумма радиусов частиц, $b = r_{i,j} = r_i - r_j$.

При сближении частиц на расстояние меньше суммы их радиусов возникает энергия отталкивания:

$$E = - \int^r F^r(x) dx$$

Затем появится сила трения, которая может привести к слипанию частиц. Гравитационная энергия в таком случае равна:

$$(E_g)_i = - \frac{\gamma m^2}{2R_i}$$

Вывод

В ходе работы было составлено подробное теоретическое описание научной задачи и описана модель взаимодействия частиц в общем виде с приведением уравнений движения и энергий.