

Доклад на тему: Образование планетных систем

Дисциплина: Математическое моделирование

Оширова Ю.Н., Пронякова О.М., Сидорова Н.А., Тимофеева Е.Н.

Содержание

1	Образование планетных систем: научная проблема, теоретическое описание и модель	5
1.1	Введение	5
1.2	Научная проблема	6
1.3	Теоретическое описание задачи	7
1.4	Математическая модель	7
1.4.1	Гравитационная потенциальная энергия системы	7
1.4.2	Динамика вращающегося диска	8
1.4.3	Модель слияния частиц	10
1.5	Заключение	11
1.6	Интересные факты	12

Список иллюстраций

1.1	Планетная система	6
1.2	Гравитационное взаимодействие частиц	8
1.3	Случайное распределение радиус-векторов	8
1.4	Начальные скорости частиц	9
1.5	Учет газового сопротивления в плотной среде	9
1.6	Закон сохранения импульса	10
1.7	Критерий скорости	11
1.8	Планетная система	12
1.9	Система TRAPPIST-1	13
1.10	Горячие юпитеры	13
1.11	Экзопланеты	14
1.12	Альфа Центавра	15
1.13	Столкновение с протопланетой Тейя	16

Список таблиц

1 Образование планетных систем: научная проблема, теоретическое описание и модель

1.1 Введение

Образование планетных систем является одной из ключевых задач астрофизики, связанной с процессами формирования звезд, эволюцией газопылевых дисков и гравитационными взаимодействиями в протопланетных облаках. Современные модели пытаются объяснить механизм, который привел к формированию планет вокруг звезд, включая нашу Солнечную систему. Исследования в данной области помогают не только понять происхождение Земли и других планет, но и выявить закономерности формирования экзопланетных систем во Вселенной(рис.1.1).

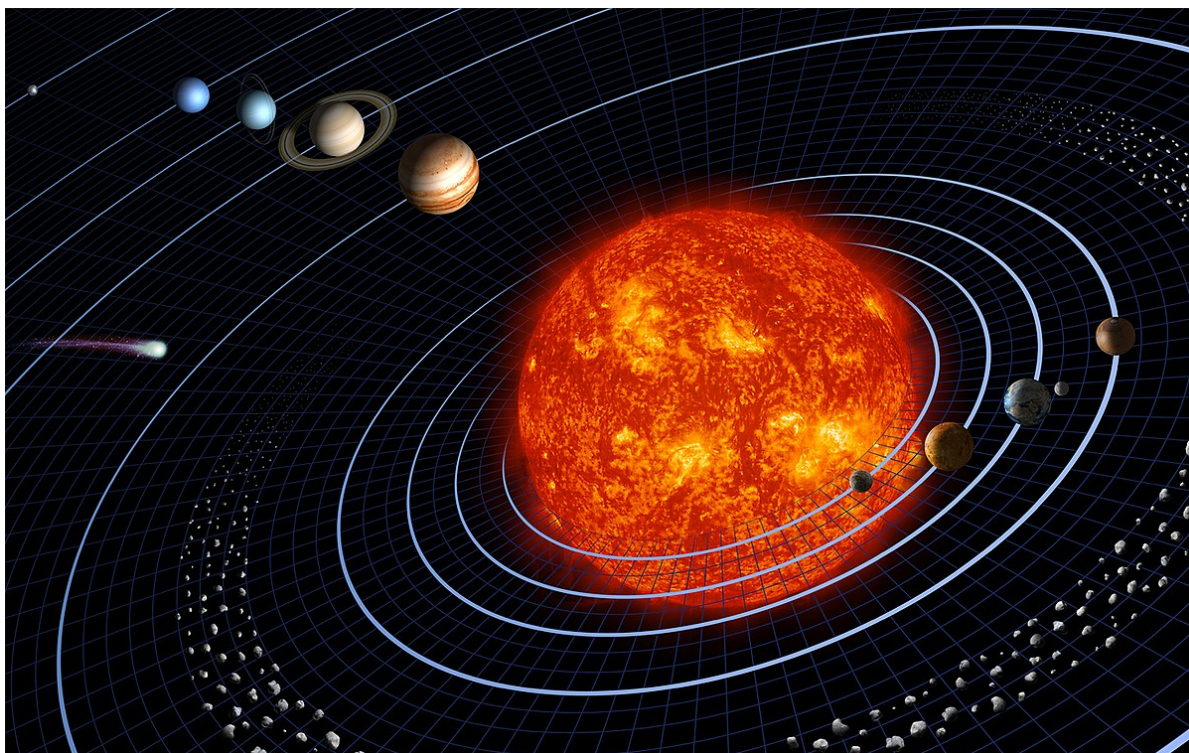


Рис. 1.1: Планетная система

1.2 Научная проблема

Главной научной проблемой является объяснение механизма формирования планетных систем из газопылевых дисков вокруг молодых звезд. Вопросы, которые необходимо решить: - Как происходит начальная стадия формирования протопланетных дисков? - Какие силы влияют на формирование планетезималей и их последующую эволюцию? - Как гравитационные взаимодействия влияют на динамику системы? - Каковы условия для образования устойчивых орбит и распределения вещества в системе? - Почему некоторые планетные системы значительно отличаются от нашей?

Эти вопросы требуют комплексного подхода, включающего наблюдательные данные, компьютерное моделирование и теоретические расчёты.

1.3 Теоретическое описание задачи

Согласно современным представлениям, процесс образования планетных систем начинается с формирования газопылевого диска вокруг молодой звезды. Основные стадии этого процесса включают:

1. Формирование протопланетного диска: В результате коллапса газового облака под действием гравитации возникает вращающийся диск из газа и пыли.
2. Аккреция частиц: Мелкие частицы сталкиваются и слипаются, образуя всё более крупные объекты — планетезимали (тела размером от километров до сотен километров).
3. Формирование протопланет: Гравитационные взаимодействия приводят к объединению планетезималей в более массивные тела.
4. Очищение диска: Планеты продолжают наращивать массу, а гравитационное воздействие звезды и планет очищает окружающее пространство от остатков газа и пыли.

Важную роль в этом процессе играют гравитационные силы, газодинамика, электромагнитные взаимодействия и столкновения частиц.

1.4 Математическая модель

Для описания динамики частиц в газопылевом диске используются уравнения гравитационного взаимодействия и механики сплошных сред.

1.4.1 Гравитационная потенциальная энергия системы

Гравитационное взаимодействие частиц описывается формулой(рис.1.2).

$$U_i = - \sum_{j \neq i} \frac{G m_i m_j}{r_{ij}},$$

Рис. 1.2: Гравитационное взаимодействие частиц

Эта энергия играет ключевую роль в определении устойчивости системы, так как высокая потенциальная энергия способствует активным гравитационным взаимодействиям между частицами.

1.4.2 Динамика вращающегося диска

Распределение частиц в газопылевом диске можно описать через случайное распределение радиус-векторов(рис.1.3):

$$r = r_0 \cdot \text{random},$$

Рис. 1.3: Случайное распределение радиус-векторов

Начальные скорости частиц определяются из третьего закона Кеплера(рис.1.4):

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}}.$$

Рис. 1.4: Начальные скорости частиц

Для учета газового сопротивления в плотной среде используется формула(рис.1.5):

$$F_d = -kv,$$

Рис. 1.5: Учет газового сопротивления в плотной среде

где (k) — коэффициент сопротивления, зависящий от плотности газа. Это сопротивление замедляет движение частиц и способствует их сближению и слиянию.

1.4.3 Модель слияния частиц

При столкновении частиц их слияние можно описать через закон сохранения импульса(рис.1.6):

$$m = m_1 + m_2,$$

$$v = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2}.$$

Рис. 1.6: Закон сохранения импульса

Эта модель предполагает идеально неупругое столкновение, при котором две частицы объединяются в одну. Эффективность слияния определяется критерием скорости(рис.1.7):

$$|v_1 - v_2| < v_{\text{кр}},$$

Рис. 1.7: Критерий скорости

где ($v_{\text{кр}}$) — критическая скорость, при которой слияние возможно. Если скорость превышает ($v_{\text{кр}}$), частицы разрушаются или рассеиваются.

Дополнительные силы, такие как электростатические и магнитные взаимодействия, могут влиять на процесс слияния, особенно на ранних стадиях формирования планетезималей.

1.5 Заключение

Современные методы исследования формирования планетных систем включают численные симуляции, наблюдения экзопланетных систем и лабораторные эксперименты. Моделирование позволяет выявить закономерности в распределении планет и их динамическом эволюционном пути. В дальнейшем исследования в этой области помогут уточнить модели формирования нашей Солнечной системы и выявить возможные сценарии образования экзопланетных систем во Вселенной(рис.1.8).



Рис. 1.8: Планетная система

1.6 Интересные факты

- Система TRAPPIST-1 содержит семь экзопланет, три из которых находятся в зоне обитаемости(рис.1.9).

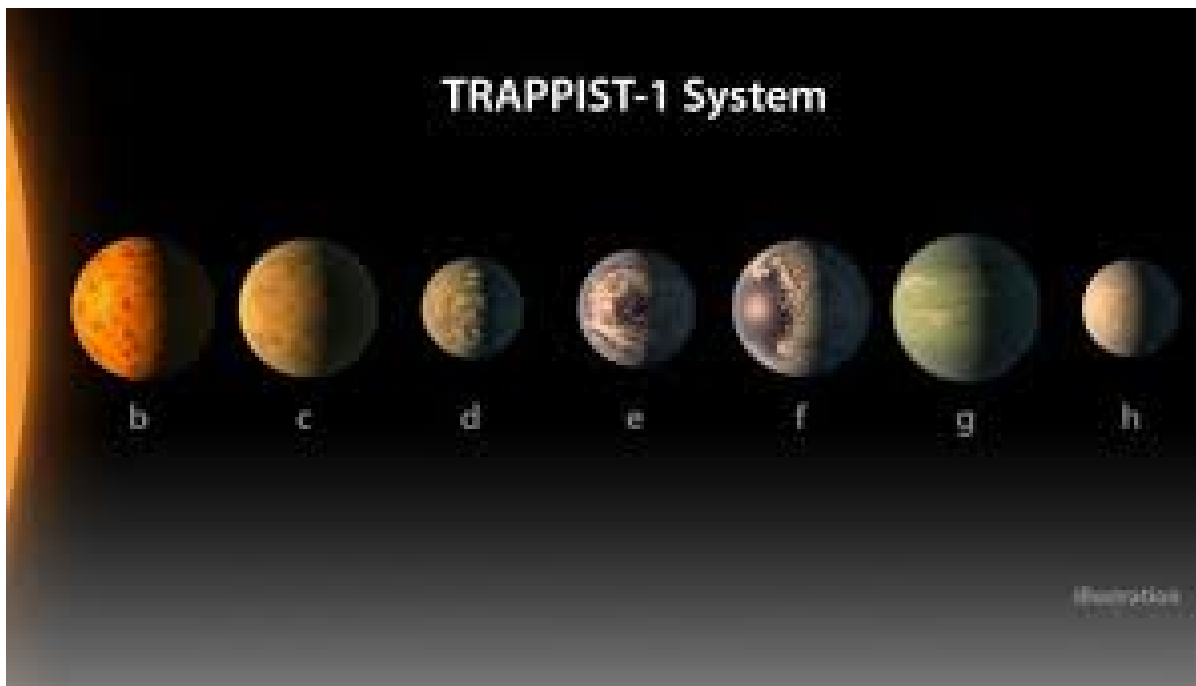


Рис. 1.9: Система TRAPPIST-1

- Газовые гиганты могут мигрировать ближе к своим звездам, что объясняет наличие “горячих юпитеров”(рис.1.10).



Рис. 1.10: Горячие юпитеры

- По данным телескопа Kepler, во Вселенной может существовать более 100 миллиардов экзопланет(рис.1.11).



Рис. 1.11: Экзопланеты

- Планетные системы с несколькими звездами (например, Альфа Центавра) могут обладать сложной динамикой формирования(рис.1.12).



Рис. 1.12: Альфа Центавра

- Луна Земли могла образоваться в результате гигантского столкновения с протопланетой Тейя(рис.1.13).

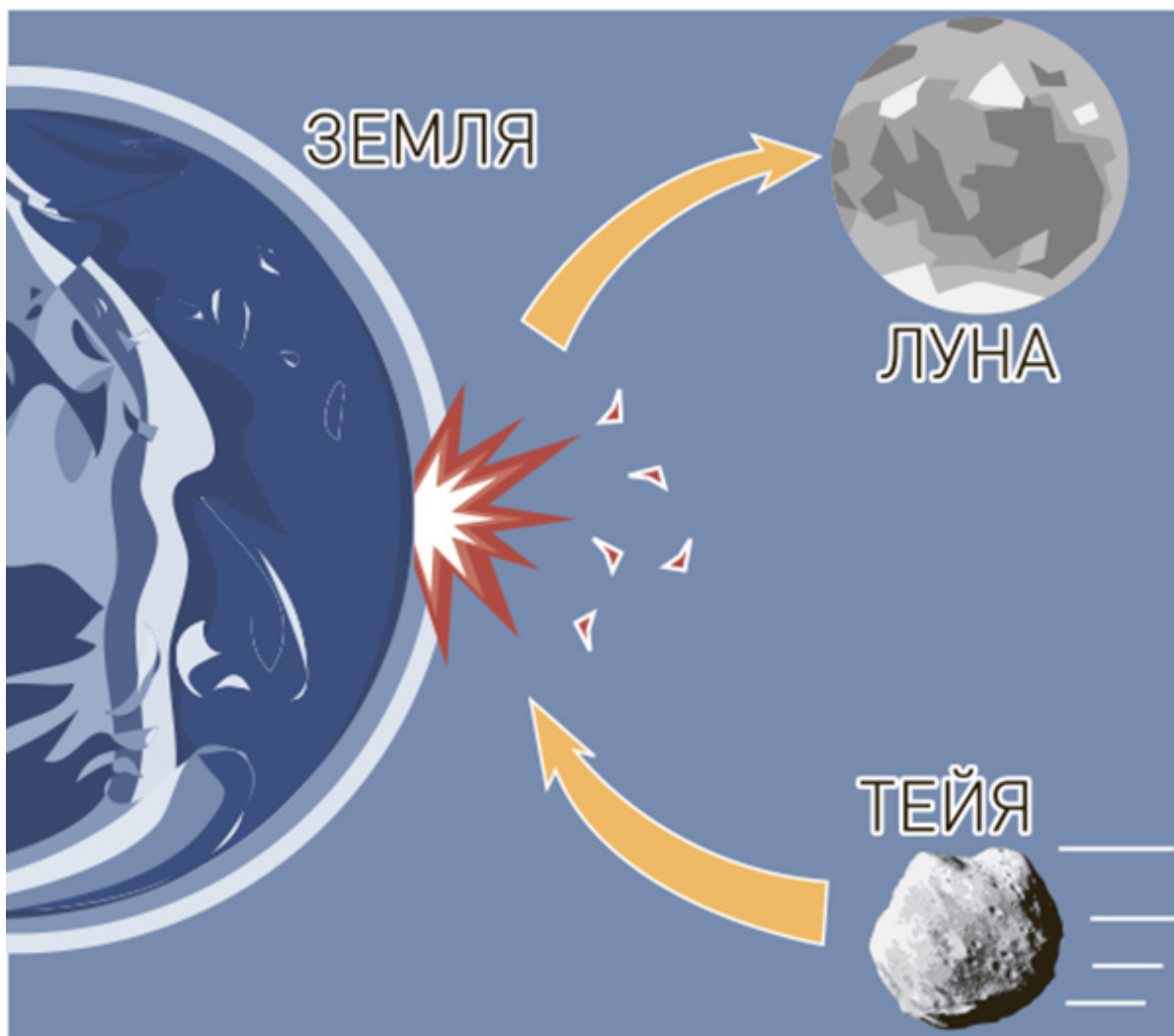


Рис. 1.13: Столкновение с протопланетой Тейя