

ОБЗОРЫ АКТУАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМ

Экзопланеты: природа и модели

М.Я. Маров, И.И. Шевченко

Экзопланеты представляют собой новый и широчайший класс астрономических объектов, возможности исследований которых открылись лишь с конца прошлого столетия. За двадцать с небольшим лет, благодаря постоянно совершенствуемым методам наземных и особенно космических наблюдений, открыто несколько тысяч планетных систем у других звёзд, и этот процесс непрерывно развивается. Экзопланеты представляют первостепенный интерес для астрофизических, космохимических и динамических исследований. На новую научную основу поставлено решение фундаментальных проблем звёздно-планетной космогонии, в первую очередь проблемы происхождения и эволюции Солнечной системы. Обнаружение планет земного типа, особенно расположенных в орбитальных зонах, отвечающих климатическим условиям, благоприятным для возникновения и поддержания жизни, открывает новые перспективы для прогресса астробиологии.

Ключевые слова: экзопланеты, космогония, планетные системы, Солнечная система

PACS numbers: 05.45.Ac, 45.50.Pk, 95.10.Ce, 96.15.De, **97.82.** –j

DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNr.2019.10.038673>

Содержание

1. Введение (897).
2. Первые открытия (898).
3. Методы обнаружения (899).
4. Самые близкие и самые далёкие обнаруженные экзопланеты (901).
 - 4.1. Планеты в системах Alpha Centauri и Proxima Centauri.
 - 4.2. Наиболее удалённые системы экзопланет.
5. Типы и физические свойства экзопланет (903).
 - 5.1. Основные типы экзопланет. 5.2. Статистика масс и размеров.
 - 5.3. Связь с металличностью звёзд.
6. Атмосферы экзопланет (905).
 - 6.1. Общие свойства. 6.2. Атмосферная диссипация.
7. Архитектура и динамика экзопланетных систем (907).
 - 7.1. Динамическая классификация. 7.2. Критерии устойчивости.
 - 7.3. Миграция и приливные эффекты.
8. Формирование планетных систем у одиночных звёзд (910).
 - 8.1. Газопылевые диски. 8.2. Эволюция вещества диска. 8.3. Гравитационная и гидродинамическая (потоковая) неустойчивости.
 - 8.4. Фрактальные пылевые кластеры. 8.5. Первичные твёрдые тела, планетезимали и зародыши планет.

9. Планетные системы двойных и кратных звёзд (915).

- 9.1. Генезис и устойчивость. 9.2. Мультипланетные системы.
- 9.3. Статистика резонансов. 9.4. Структуры планетезимальных циркумбинарных дисков. 9.5. Сценарии формирования планет в системах двойных звёзд.

10. Возможная обитаемость экзопланет (924).

- 10.1. Основные предпосылки. 10.2. Зоны обитаемости в планетных системах.

11. Перспективы (928).

12. Заключение (930).

Список литературы (930).

1. Введение

Экзопланеты (планеты, не принадлежащие Солнечной системе и находящиеся на орбитах других звёзд) представляют собой новый широчайший класс объектов для астрономических, физических и динамических исследований, и в первую очередь для решения проблем звёздно-планетной космогонии и космохимии. Образование планет является широко распространённым, но вместе с тем достаточно сложным процессом, который складывается из последовательности нескольких стадий, включающих различные физико-химические механизмы и взаимодействия. Статистика, основанная на числе обнаруженных планет в ближайших областях нашей Галактики, а также на базовых концепциях формирования и эволюции звёзд, приводит к оценке, согласно которой по крайней мере около трети звёзд в Галактике обладают планетами, и это означает, что их общее количество сопоставимо с числом звёзд или даже превышает его. Если же распространить эту оценку на другие галактики, то общее число планет в наблюдаемой Вселенной может быть сопоставимо с числом звёзд ($\sim 10^{22}$) или превосходить его. Однако до недавнего времени обнаружить экзопланеты не удавалось из-за

М.Я. Маров^{(1,*), И.И. Шевченко^(2,3,**)}

⁽¹⁾ Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН,

ул. Косыгина 19, 119991 Москва, Российская Федерация

⁽²⁾ Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Пулковское шоссе 65, корп. 1, 196140 Санкт-Петербург, Российская Федерация

⁽³⁾ Санкт-Петербургский государственный университет, Университетская наб. 7/9, 199034 Санкт-Петербург, Российская Федерация

E-mail: (*) marov@mail@yandex.ru, (**) iis@gaoran.ru

Статья поступила 21 мая 2019 г.,
после доработки 22 сентября 2019 г.