

Довгалёв И.С., Мельников А.В., Смирнов Е.А., Шевченко И.И.
ГАО РАН, 4xxi ltd.

Массовое отождествление резонансных и хаотических экзопланетных систем



03.10.2018

Цели работы

- Создание общего каталога резонансных экзопланетных систем
- Систематизация и обобщение ранее достигнутых результатов работ в этой области
- Разработка надёжной методики для поиска и отождествления резонансов в условиях большого и постоянно растущего объёма данных
- Представление данных о резонансах на языке статистики: вероятность нахождения в конкретном резонансе, представление об общей доле резонансных систем среди всех известных
- Резонансы и динамический хаос: исследование связи между устойчивостью / неустойчивостью системы с наличием резонансов

Отождествление резонансов в системе

Рассматриваются резонансы средних движений. Выражение для резонансного аргумента:

$$\sigma = m_1 \lambda_1 + m_2 \lambda_2 + p_1 \varpi_1 + p_2 \varpi_2,$$

где λ_1, λ_2 — средние долготы орбит вовлечённых тел, ϖ_1, ϖ_2 — долготы перицентров (для двухтельного случая),

m_1, m_2, p_1, p_2 — целые, удовлетворяющие условию Даламбера:

$$m_1 + m_2 + p_1 + p_2 = 0$$

Исследуется поведение резонансного аргумента выбранной конфигурации на большом интервале времени (порядка 10^5 периодов орбит), для чего производится численное интегрирование системы при различных начальных параметрах.

Методика определения либрации является развитием методики, представленной в работах (Smirnov, Shevchenko, 2013; Smirnov, Dovgalev, Popova, 2018).

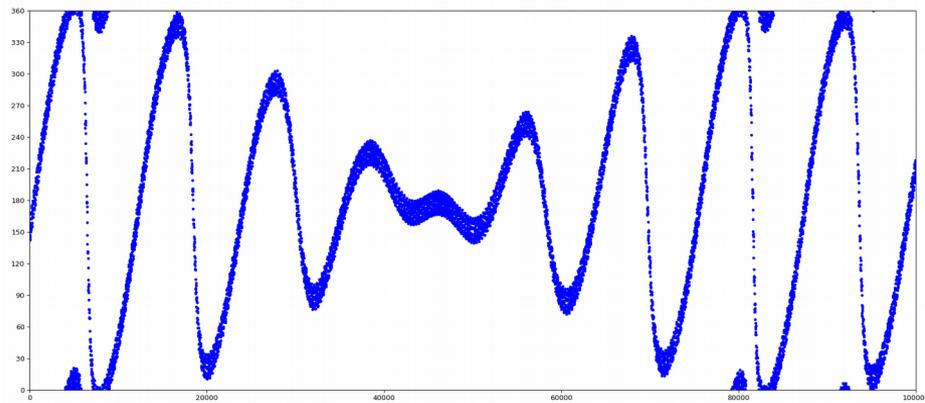
Разработка программного комплекса

- Для решения поставленных задач ведётся разработка большого программного комплекса для массового поиска и отождествления резонансов в планетных системах (Fortran, Python).
- Предусматривается возможность работы с данными из различных источников (каталоги экзопланет, данные из отдельных статей и наблюдений). В настоящий момент использован каталог <http://exoplanet.eu>.
- Основным используемым интегратором — mercury6 (Chambers et. al., 2009).
- Реализация численного интегрирования орбит с варьированием начальных параметров методом Монте-Карло.
- Определение либраций / циркуляций резонансных аргументов с минимальным привлечением человеческого ресурса.
- Представление результатов: графики, базы данных, статистика.

На данный момент получены первые статистические данные по двухтельным резонансам в мультипланетных системах (кратные системы и трёхтельные резонансы пока не рассматривались).

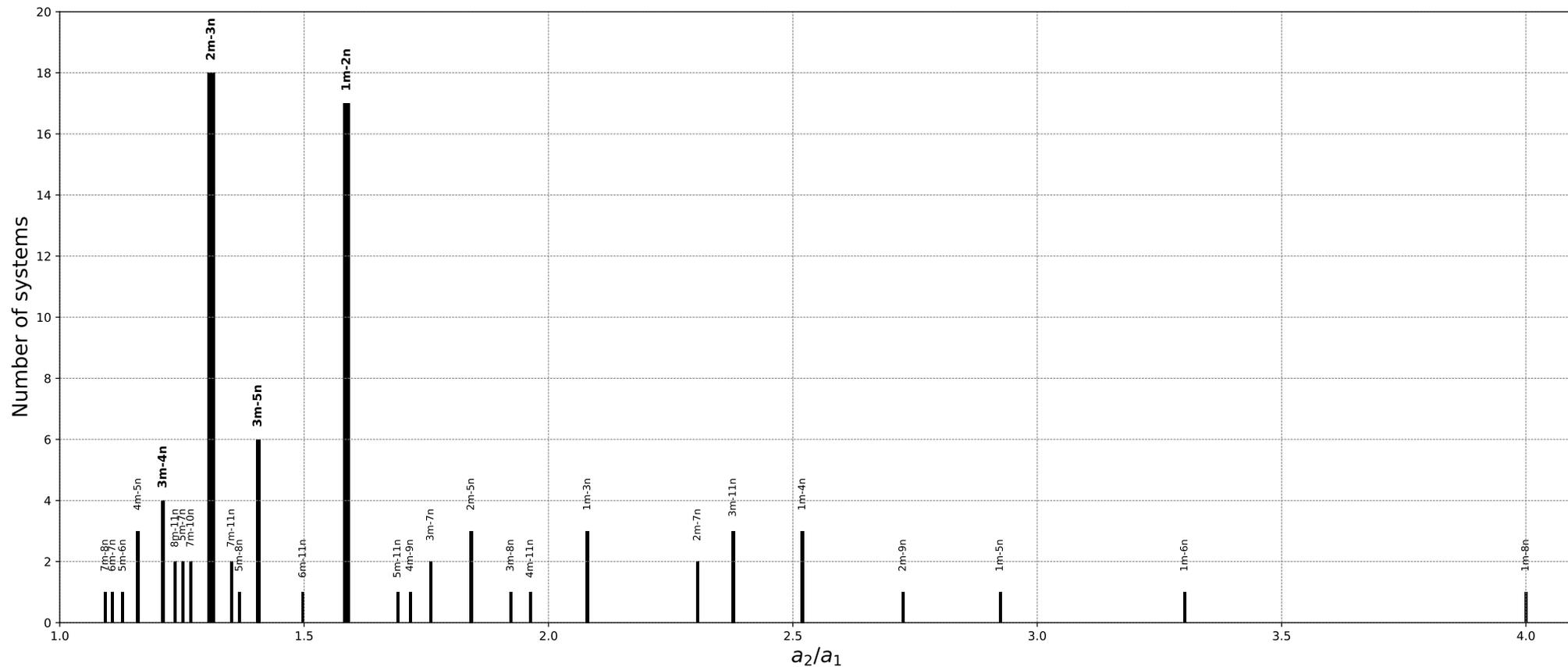
Работа программы

- Информация о системе извлекается из базы данных используемого каталога и предобрабатывается.
- Запускается серия заданного числа симуляций с различными начальными условиями (метод Монте-Карло).
- Для каждого случая ведётся поиск и идентификация резонансов, определяется тип и метаданные, строятся графики.
- Результаты каждой симуляции логируются в общем файле для последующей агрегации.

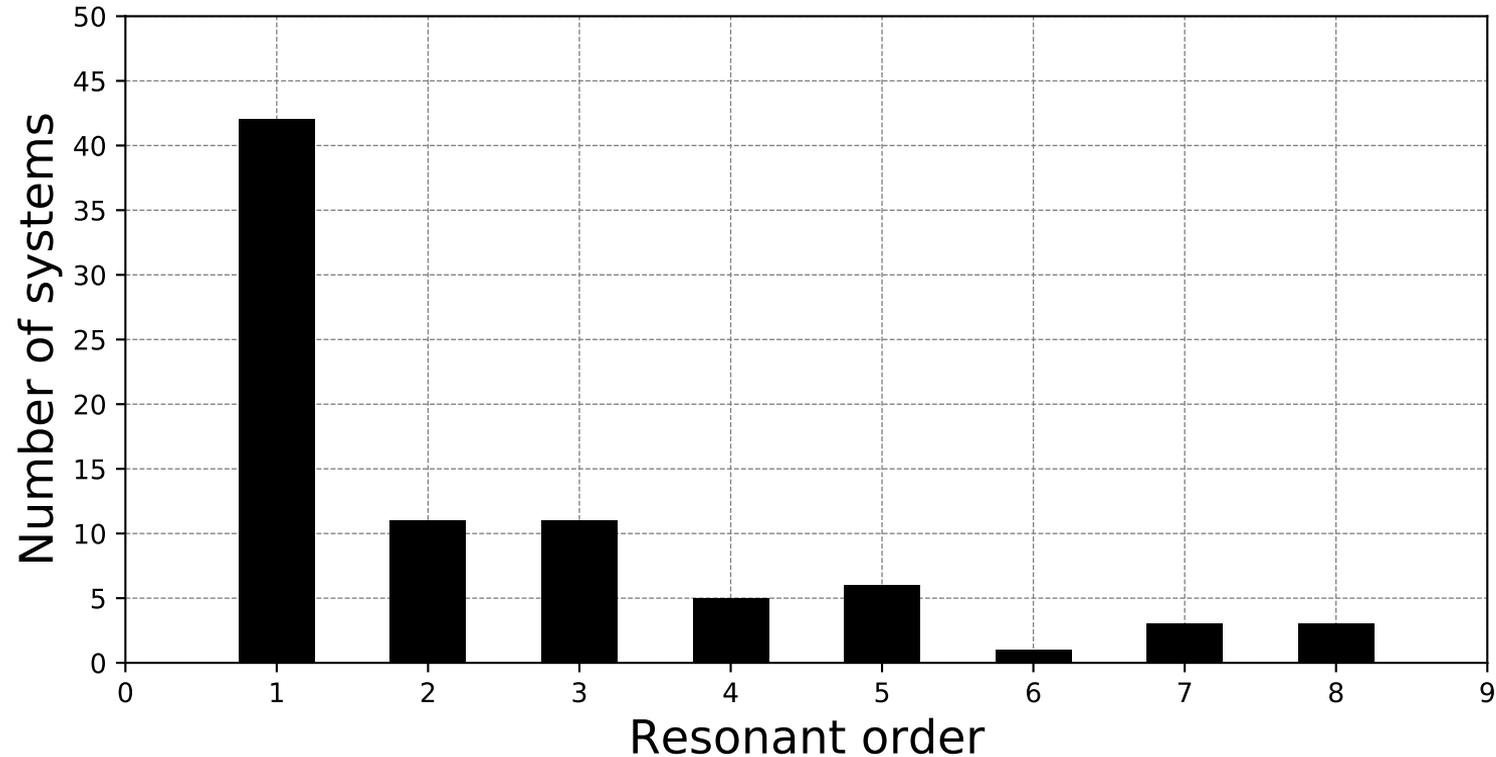


*Пример графического вывода программы
(система HD 7924, резонанс 5c-8d)*

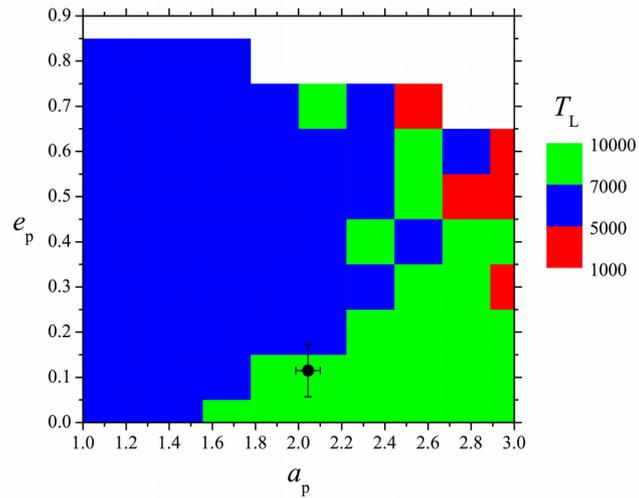
Распределение систем по конфигурациям



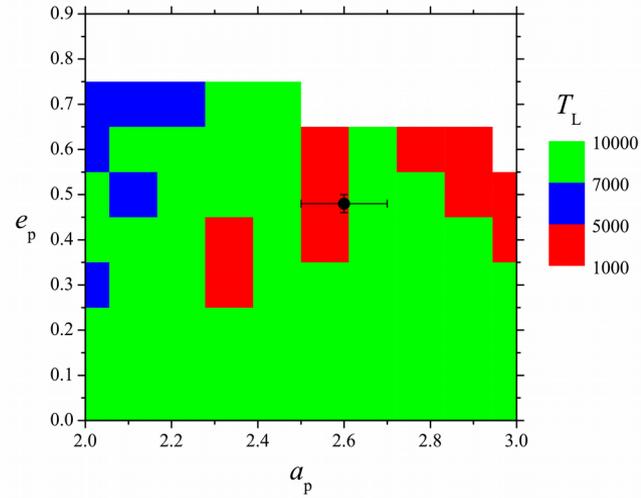
Распределение систем по порядку резонанса



Диаграммы устойчивости



Пример диаграммы устойчивости для системы uSer.



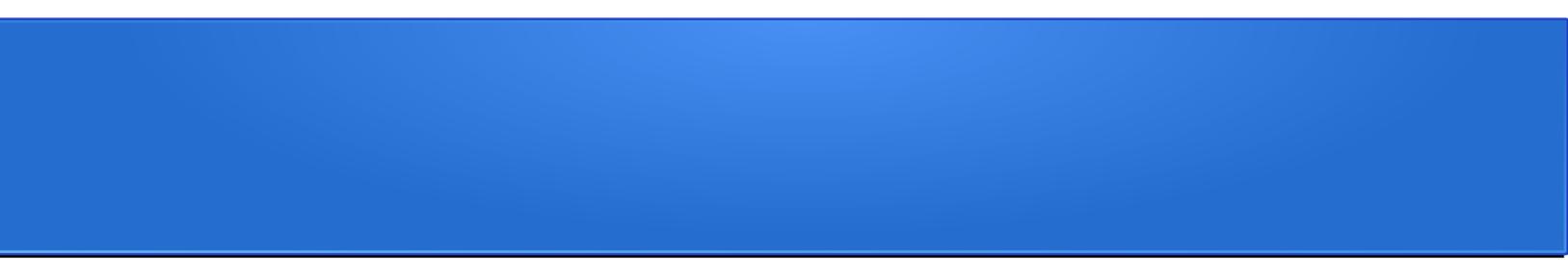
Пример диаграммы устойчивости для системы HD 196885.

Сводка

- На момент сбора данных для исследования оказались пригодны 74 системы
- В статистике учитывались системы с числом симуляций больше 20, резонансы транзиентного типа учитывались при условии вероятности $>20\%$.
- Из них >50 систем имеют высокий процент стабильных симуляций ($>75\%$)
- Из них $>50\%$ систем имеют высокий процент вероятности нахождения в резонансе

Главные факторы, влиявшие на статистику:

- Недостаточная выборка
- Эффект селекции
- Трудности с машинным определением транзиентных резонансов
- Неточности в исходных данных



Спасибо за внимание!