РЕЗОНАНСНАЯ ЧИСЛЕННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ДВИЖЕНИЯ ПЛАНЕТ-ГИГАНТОВ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

А. С. Перминов, Э. Д. Кузнецов

Уральский федеральный университет

Построена резонансная численно-аналитическая теория движения для планет-гигантов Солнечной системы. В гамильтониан введены две резонансные переменные — критические аргументы резонансов средних движений Юпитер—Сатурн 2:5 и Уран—Нептун 1:2. Разложение резонансного гамильтониана четырехпланетной задачи получено в координатах Якоби по элементам второй системы Пуанкаре. Осреднение гамильтониана проводится методом Хори—Депри до второго порядка по малому параметру. Уравнения движения интегрируются на интервале времени 10 млрд лет.

THE RESONANT SEMI-ANALYTICAL MOTION THEORY FOR GIANT PLANETS OF THE SOLAR SYSTEM

A. S. Perminov, E. D. Kuznetsov

Ural Federal University

The resonant semi-analytical motion theory of Solar system's giant planets is constructed in this work. It is introduced two resonant variables, which are critical arguments of mean motion resonances of Jupiter—Saturn 2:5 and Uranus—Neptune 1:2. The expansion of resonant Hamiltonian of four-planetary problem is constructed in elements of the second system of Poincare by using Jacobi coordinates. The averaged Hamiltonian is constructed by Hori—Deprit method up to the second order of the small parameter. The equations of motion are integrated over time interval 10 Gyr.

Исследование динамической эволюции планетных систем на космогонических интервалах времени требует использования методов

осреднения, суть которых заключается в исключении из гамильтониана задачи всех слагаемых, соответствующих короткопериодическим возмущениям в движении планет. Это позволяет существенно увеличить шаг интегрирования.

После осреднения в слагаемых второго порядка по массам планет и выше возникают знаменатели, представляющие собой линейные комбинации средних движений планет. Если планетная система близка к резонансу средних движений, некоторые знаменатели могут стать малыми величинами, приводящими к экстремальному росту соответствующих слагаемых. Таким образом, классические методы осреднения могут стать неприменимыми. В этом случае необходимо ввести новую резонансную переменную, медленно меняющуюся в окрестности резонанса. Обычно это линейная комбинация средних долгот, соответствующая данному резонансу.

Резонансная численно-аналитическая теория движения построена до второго порядка по массам планет. Гамильтониан четырехпланетной задачи в системе координат Якоби записывается в виде ряда Пуассона по малому параметру и по элементам второй системы Пуанкаре. Отношение суммы масс планет к массе звезды играет роль малого параметра. На примере резонансов средних движений Юпитер—Сатурн $2:5$ и Уран—Нептун $1:2$ показан способ введения двух дополнительных резонансных переменных и их канонически сопряженных. Осреднение гамильтониана и построение уравнений движения в средних элементах проводится методом Хори—Депри [1] с точностью до второй степени по малому параметру.

Все аналитические преобразования с рядами проводятся с помощью системы компьютерной алгебры Piranha [2], являющейся эшелонированным пуассоновским процессором. Построенные уравнения движения интегрируются на интервале времени 10 млрд лет.

Возможно применение реализованных алгоритмов для построения теории движения резонансных внесолнечных планетных систем.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-32-00283 мол_а.

Библиографические ссылки

1. Холшевников К. В. Асимптотические методы небесной механики. — Л. : Изд-во Ленингр. гос. ун-та, 1985.
2. Biscani F. The Piranha computer algebra system. — URL: <https://github.com/bluescarni/piranha>, 2019.