

ОТЗЫВ

на диссертационную работу Шомшековой Сауле Ахметбековны «Исследование динамической эволюции нестационарных экзопланетных систем», представленную на соискание степени доктора философии (Ph.D.) по специальности 6D060300 Механика»

Тема диссертационной работы посвящена одной из важных задач - исследованию динамической эволюции нестационарных экзопланетных систем в небесно-механическом аспекте. Актуальной проблемой современной астрономии, а также, теоретической и небесной механики, является отсутствие объяснения наблюдаемых незначительных увеличений значений эксцентриситетов и наклонов в экзопланетных системах. Поэтому исследование системы из трех взаимогравитирующих сферических небесных тел с учетом анизотропного изменения массы, которое приводит к появлению реактивных сил, является своевременной и актуальной задачей.

Общая характеристика работы. Представленная на рассмотрение диссертационная работа состоит из введения, 5 разделов, заключения, списка литературы и приложения. В данной диссертации в небесно-механическом аспекте исследуются эффекты влияния переменности масс на орбитальные элементы планеты в системе из трех взаимогравитирующих сферических небесных тел.

Во введении указаны актуальность проблемы, цель работы, задачи исследования. Приведен анализ современного состояния исследований динамической эволюции нестационарных экзопланетных систем и показано, что исследование системы из трех взаимогравитирующих сферических небесных тел, с учетом анизотропного изменения массы, которое приводит к появлению реактивных сил, может выявить эффекты влияния переменности масс на орбитальные элементы планеты.

В главе 1 проведен анализ данных европейского каталога в базе данных NASA Exoplanet Archive и выбраны экзопланетные системы для исследования их динамической эволюции. Основные критерии выбора:

а) Характерные для нестационарных экзопланетных систем вытянутые и изменчивые орбиты, где происходит существенный по массе выброс вещества звезды, то есть темп потери массы порядка $10^{-6} M_{\odot}/\text{год}$

б) В соответствии с задачей 3-х тел выбираем системы, у которых уже обнаружены 2 планеты и вычислены все необходимые орбитальные параметры.

в) Планеты системы движутся по орбитам с малым эксцентриситетом и наклоном, и не имеют массивных планет в зоне эффективной земной орбиты

Анализ данных показал, что среди звёзд главной последовательности потеря массы наибольшая у M-звёзд. Звёзды Вольфа-Райе не рассматривались, хотя потеря массы у них больше, поскольку около этих

звёзд нет условий для образования планет. На текущий момент все необходимые наблюдаемые орбитальные параметры имеет система GJ 180 - GJ 180 b- GJ 180 c.

В главе 2, исходя из уравнений Мещерского, получены уравнения движения при наличии реактивных сил в абсолютной (барицентрической) прямоугольной декартовой системе координат. Получены уравнения движения рассматриваемой задачи в относительной системе координат с началом в центре родительской звезды, более удобные для использования теории возмущения на базе апериодического движения по квазиконическому сечению. Получены уравнения возмущенного движения планет в форме уравнений Лагранжа. Получены выражения для реактивных сил при анизотропном изменении массы в относительной системе координат.

В главе 3 приведены результаты численных расчетов по эволюционным уравнениям в аналогах второй системы переменных Пуанкаре. Анализ результатов показал, что при изменении скорости вылета частиц в плоскости орбиты на интервале времени 5000 земных лет орбитальные параметры практически не изменяются по сравнению со случаем изотропного изменения массы, хотя зависимость массы от времени приводит к заметным изменениям орбитальных параметров по сравнению со случаем постоянных масс. При изменении скорости вылета частиц перпендикулярно плоскости орбиты реактивная сила оказывает влияние на некоторые орбитальные параметры планет, например, на аналогии эксцентриситета и наклона, которые приводят к более вытянутым орбитам.

Элементы Пуанкаре хорошо описывают данную задачу при малых эксцентриситетах и наклонах, но расчеты показывают, что эксцентриситеты и наклоны могут увеличиваться. В аналогах второй системы элементов Пуанкаре уравнения движения нужно несколько раз преобразовывать, из-за этого происходит потеря точности.

В главе 4 получены общие уравнения разложения в ряд возмущающих функций в двухпланетной задаче трех тел с массами, изменяющимися анизотропно в различных темпах, на базе апериодического движения по квазиконическому сечению.

Выполнено усреднение уравнения движения по средним долготам тел в отсутствие резонансов среднего движения, получены дифференциальные уравнения, описывающие эволюцию орбитальных параметров в течение длительных периодов времени. При этом учитываются эффекты убывания массы родительской звезды и роста массы планет из-за аккреции вещества из остатков протопланетного диска. Получены аналитические разложения возмущающей функции в виде степенных рядов по эксцентриситетам и наклонам, в принципе, с любой необходимой точностью. Полученные соотношения дают возможность разложения возмущающих функции с любой точностью относительно эксцентриситетов и наклонов и далее могут быть использованы для исследования динамической эволюции экзопланетных систем с анизотропным изменением массы родительской звезды и планет.

В главе 5, с использованием теории возмущений в качестве невозмущенного (начальное приближение) рассмотрено точное решение задачи двух тел с переменными массами, описывающее аperiodическое движение по квазиконическому сечению. Получены возмущающие функции в виде степенных рядов по эксцентриситетам и наклонениям до третьего порядка включительно и выведены дифференциальные уравнения, определяющие поведение орбитальных параметров в виде планетарных уравнений Лагранжа. Усреднением уравнений движения по средним долготам тел при отсутствии резонансов среднего движения получены дифференциальные уравнения, описывающие эволюцию орбитальных параметров на длительном интервале времени в 5000 земных лет. По эволюционным уравнениям в форме Лагранжа, с использованием системы компьютерной алгебры Wolfram Mathematica, выполнены численные расчеты эволюции аналогов орбитальных элементов планет экзопланетной системы Глизе GJ180: GJ 180 b, GJ 180 c.

В Заключении приведены основные результаты исследований, проведенных в диссертационной работе. К основным из которых можно отнести разработку алгоритма вычисления возмущающей функции в виде разложения в степенной ряд по малым эксцентриситетам и наклонениям с требуемой точностью для двухпланетной задачи трех тел с массами, изменяющимися анизотропно в различных темпах, с использованием переменных Пуанкаре и аналогов элементов Кеплера. А также - численные решения эволюционных уравнений в аналогах второй системы элементов Пуанкаре и в аналогах элементов Кеплера, используя уравнения возмущения в форме Лагранжа, для экзопланетной системы, которая была выбрана для исследований по данным наблюдения избранных экзопланет.

Научная новизна, практическая значимость.

В диссертационной работе Шомшековой С. построена математическая модель экзопланетных системах при наличии реактивных сил, когда массы меняются анизотропно. В работе проведены вычисления в аналогах переменных Пуанкаре с точностью до второго порядка по эксцентриситетам и наклонениям: результаты показывают, что анизотропное изменение масс приводит к увеличению эксцентриситета и наклонения орбит. Выполнены дополнительные вычисления с использованием аналогов Кеплеровских элементов и уравнений возмущенного движения в форме Лагранжа с точностью до третьего порядка по эксцентриситетам и наклонениям: вычисления, в предельном случае постоянных масс, а также масс, изменяющихся изотропно. Разработана компьютерная программа, позволяющая выполнить вычисления с более высокой точностью. В работе показано, что при ориентации скорости вылета частиц в плоскости орбиты на интервале времени 5000 земных лет орбитальные параметры практически не изменяются по сравнению со случаем изотропного изменения масс. При направлении скорости вылета частиц перпендикулярно плоскости орбиты реактивная сила оказывает влияние на некоторые орбитальные параметры планет, например, на аналоги эксцентриситета и наклонения, аналог долготы

восходящего узла, что приводит к более вытянутым орбитам, а также к повороту плоскости орбиты.

Достоверность результатов обосновывается строгими математическими выводами и публикациями в статьях, входящих в Базу данных Thomson Reuters и Scopus, в изданиях, рекомендованных ККСОН образования и науки МОН РК. В частном случае, когда массы тел постоянные полученные результаты совпадают с известными результатами К. Мюррея и С. Дермотта, А.С. Перминова, Е.Д. и Кузнецова, Г.М. Маемеровой и других авторов.

Замечания по диссертационной работе:

В работе встречаются стилистические и грамматические ошибки, которые не меняют смысл предложения и легко устранимы.

Заключение. Диссертационная работа Шомшековой Сауле Ахметбековны «Исследование динамической эволюции нестационарных экзопланетных систем» является завершенной научно-квалификационной работой. Полученные автором работы являются достаточно новыми, обоснованными и достоверными.

Рекомендую диссертационную работу Шомшековой Сауле Ахметбековны «Исследование динамической эволюции нестационарных экзопланетных систем» к защите диссертации на соискание степени доктора философии (Ph.D.) по специальности 6D060300 – Механика.

Отечественный научный
консультант профессор, д.ф.-м.н.



М.Дж. Минглибаев

РАСТАЙМЫН
«әл-Фараби атындағы ҚазҰУ Ғылыми кадрларды
даярлау және аттестаттау басқармасының басшысы»
ЗАВЕРЯЮ
Начальник управления подготовки и аттестации
научных кадров КазНУ им. аль-Фараби
Р.Е. Кудайбергенова

« _____ »

