АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени «доктор философии» (PhD)
по образовательной программе «6D061100 – Физика и астрономия»

ИБРАИМОВА АЙГЕРІМ ТАЛАЙБЕККЫЗЫ

ДИНАМИКА МАЛОГО ТЕЛА С ПЕРЕМЕННОЙ МАССОЙ В ГРАВИТАЦИОННОМ ПОЛЕ ДВОЙНЫХ СИСТЕМ С ПЕРЕМЕННЫМИ МАССАМИ ПРИ НАЛИЧИИ РЕАКТИВНЫХ СИЛ

Общая характеристика работы. Ограниченная задача трех тел, в целом, описывает движение малого тела в поле притяжения двух основных тел, при этом малое тело не влияет на движение двух основных тел. Такая постановка задачи, как и в случае постоянной массы, так и в случае переменной массы, охватывает многие интересные физические явления. Например: движение звезды в поле притяжения двух галактик, движение планеты в поле притяжения двойных звезд, движение искусственного небесного тела в поле притяжения достаточно больших естественных небесных тел, также входит движение малых естественных небесных тел, к которым относятся космическая пыль, кометы, астероиды в поле притяжении естественных больших небесных тел. Следует отметить, что изучение астероидной опасности для планеты Земля также можно исследовать математической моделью ограниченной задачи трех тел.

В работе рассматривается гравитирующая система, которая состоит из трех сферических небесных тел. Массы тел являются переменными. Данная система состоит из звезды, планеты и астероида. Предполагается что движение звезды и планеты определяется их взаимным гравитационным притяжением, а также реактивными силами, которые возникают при неизотропном изменении их масс. Астероид с пренебрежимо малой массы не влияет на движение звезды и планеты и движется в их гравитационном поле. Хотя масса астероида предполагается малой, ее изменение также приводит к возникновению реактивных сил и возмущению его движения.

Для исследования общего решения уравнений движения планеты и астероида используется методы теории возмущения, основанная на апериодическом движении по квазиконическому сечению.

Разработан алгоритм аналитического вычисления возмущающей силы, которые действуют на планету и астероид, для разложения в степенной ряд по малым параметрам эксцентриситета и наклонения с любой точностью. В случае малых эксцентриситетов и наклонений орбит получены уравнения, которые описывают эволюцию планеты и астеороида. Полученные уравнения описывают общий случай, когда массы звезды, планеты и астеорида изменяются неизотропно в различных темпах, при наличии реактивных сил.

Далее полученные уравнения векового возмущения были исследованы численным методом с помощью математического пакета Wolfram Mathematica.

Для численного исследования выбрана система Солнце+Юпитер+Астероид Ryugu (для внутренней задачи) и Chiron (для внешней задачи).

Актуальность темы диссертации связана с насущными вопросами современной астрономии о происхождении и эволюции малых тел (астероиды, кометы), планет, звезд, планетных систем, что представляет собой один из важнейших источников информации о динамических процессах во Вселенной. Развитие методов их анализа и интерпретации динамики небесных тел является приоритетной задачей современной астрономии. В работе предложен подход, который позволяет учесть переменность масс гравитирующих тел со временем, что способствует лучшему пониманию динамики нестационарных гравитирующих систем.

Цель работы. Качественное и количественное исследование влияния переменности масс тел на динамическую эволюцию системы, состоящей из двух основных тел с переменными массами, притягивающихся друг к другу по закону Ньютона, и малого тела с переменной массой, движущегося в ньютоновском поле тяготения этих двух основных тел.

Задачи:

1. Вывод дифференциальных уравнений движения звезды, планеты и астероида с переменными массами в абсолютной и в относительной прямоугольной системе координат в общем случае при наличии реактивных сил.
2. Получение новых форм уравнения возмущенного движения планеты и астероида в виде уравнений Ньютона; Разработать алгоритм аналитического вычисления возмущающих сил, которые действуют на планету и на астероид, для разложения в степенной ряд по малым параметрам e_j и i_j для любой точности; Получить эволюционные уравнения орбитальных параметров планеты и астероида, движущихся вокруг звезды.
3. Численное исследование системы Солнце-Юпитер-Астероид Ryugu (для внутренней задачи) и Chiron (для внешней задачи), с помощью полученных эволюционных уравнений. Построить графики орбитальных элементов. Анализ полученных результатов.

Объекты исследования: двойные галактики и звезда, двойная звезда и планета, звезда – планета – малое тело, планета – спутник – искусственное малое тело в рамках математической модели ограниченной задачи трех тел.

Методы исследования. В работе движения планеты и астероида исследуется методами теории возмущения, основанный на апериодическом движении по квазиконическому сечению. Для анализа динамики эволюции нестационарных систем используются современные методы компьютерной алгебры и численные расчеты, а для их реализации используется математический пакет Wolfram Mathematica.

Научная новизна

Новизна и оригинальность диссертационной работы заключаются в том, что в ней впервые:

1. Построена новая физическая модель системы, состоящий из звезды, планеты и астероида с произвольными законами изменения масс, изменяющимися изотропно и/или не изотропно, в различных темпах, в

различной комбинации, при наличии реактивных сил в орбитальной системе координат, в рамках ограниченной задачи трех тел.

2. Развиты методы теории возмущения, основанный на апериодическом движении по квазиконическому сечению. Получены новые формы уравнения движения планеты и астероида в виде уравнений Ньютона в общем виде. Получены уравнения определяющие возмущения орбитальных элементов планеты и астероида с переменной массой, движущихся вокруг нестационарного центрального тела – звезды, в рамках ограниченной задачи трех тел. Разработан модифицированный алгоритм аналитического вычисления возмущающих сил, которые действуют на планету и на астероид, для разложения в степенной ряд по малым параметрам e_j и i_j , в принципе, для любой точности. Получены новые эволюционные уравнения орбитальных элементов планеты и астероида с переменной массой, движущихся вокруг звезды. Из эволюционных уравнений основных тел найден один первый интеграл, связывающий эксцентриситет и большую полуось.

3. Полученные эволюционные уравнения планеты и астероида были исследованы численным методом, используя математически пакет Wolfram Mathematica, на примере задачи Солнце+Юпитер+Астероид Ryugu (для внутренней задачи) и Chiron (для внешней задачи).

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Уравнения движений звезды, планеты и астероида с произвольными законами изменения масс и при наличии реактивных сил, полученные на основе новой физической модели в рамках ограниченной задачи трех тел с переменными массами, позволяют исследовать различные эффекты переменности масс в эволюционных треках гравитирующих систем.

2. Новая общая форма уравнения возмущенного движения небесных тел с переменными массами в виде уравнений Ньютона в орбитальной системе координат на базе апериодического движения по квазиконическому сечению, а также новые основные эволюционные уравнения движения планеты и астероида корректно описывают эволюцию орбитальных параметров системы звезда-планета-астероид с переменными массами при наличии реактивных сил.

3. Для системы Солнце+Юпитер+Астероид Ryugu (для внутренней задачи) и Chiron (для внешней задачи) установлено, что значение большой полуоси из-за переменности масс Солнца Ryugu за 1 000 000 лет (84 245 оборотов Юпитера) растет от 1,1 а.е. до 3,5 а.е.; величина эксцентриситетов астероидов Ryugu и Chiron из-за трансверсальной составляющей реактивной силы астероида начиная с 200 000 лет у Ryugu уменьшается на 16%, а у Chiron уменьшается на 3%; величина наклонений орбиты астероида, из-за переменности масс Солнца, колеблется от 6 до 8 градусов, тогда как частота периода уменьшается и изменения начинаются со 150 000 лет.

Достоверность и обоснованность полученных результатов.

Результаты работы докладывались в ряде международных конференций. На основе докладов и обсуждении были написаны статьи и после рецензирования направлены на публикацию в журналах, индексируемых в базе данных Web of Science и Scopus.

А также достоверность работы подтверждается с теоретическими моделями, выводами о природе аналогичных объектов, полученными другими авторами.

Теоретическая и практическая значимость исследования. Полученные уравнения вековых возмущений ограниченной задачи трех тел пригодны для общего случая, т.е. законы изменения масс трех тел могут быть произвольными, как изотропными, так и неизотропными, в любых комбинациях. Полученные эволюционные уравнения могут быть применимы для описания динамической эволюции движения малого тела с переменной массой в гравитирующих двойных системах при наличии реактивных сил и при любых законах изменения масс.

Апробация работы:

1. Ибраимова А.Т. Ограниченная задача трех тел с переменными массами при наличии реактивных сил //Международная научная конференция студентов и молодых ученых «Фараби әлемі». Алматы, Казахстан, 8-11 апреля 2019г. - С.255.
2. Ибраимова А.Т. Новые формы уравнения возмущенного движения на базе апериодического движения по квазиоческому сечению // Международная научная конференция студентов и молодых ученых «Фараби әлемі». Алматы, Казахстан, 6-9 апреля 2020г. - С.283.
3. Ибраимова А.Т. Эволюционные уравнения ограниченной задачи трех тел с неизотропно изменяющимися массами при наличии реактивных сил //Международная научная конференция студентов и молодых ученых «Фараби әлемі». Алматы, Казахстан, – 6-8 апреля 2021г. – С.193.
4. Minglibayev M. Ibraimova A. Perturbation theory for non-stationary problems of celestial mechanics and its applications in dynamics of gravity systems with variable masses //International Astronomical Union Symposium 364. Iasi, Romania, October 18-22, 2021. – P.30. (онлайн)
5. Ibraimova A.T., Minglibayev M.Zh. To the dynamics of the two-body problem with variable masses in the presence of reactive forces //Proceedings of the International Astronomical Union. - 2021. - Vol.17 (S370). - P.281-282. https://doi.org/10.1017/S1743921322003611
6. Ibraimova A., Minglibayev M. To the dynamics of the two-body problem with variable masses in the presence of reactive forces //XXXIst General Assembly International Astronomical Union. BEXCO, Busan, Rep. of Korea, August 2 – 11, 2022. – P.327. (онлайн)
7. Prokopenya A.N., Minglibayev M.Zh., Ibraimova A.T. Perturbations in the restricted three-body problem of variable mass // Aplications of Computer Algebra – ACA 2022. Gebze Technical University, Gebze-Istanbul, Turkey, August 15-19, 2022. - P.60.
8. Minglibayev M., Ibraimova A. Two spherical bodies with non-isotropically varying masses in the presence of reactive forces // International Conference «Computational and Information Technologies in Science, Engineering and Education». Almaty, Kazakhstan, October 12-15, 2022. –P.93.

9. Prokopenya A., Minglibayev M., Ibraimova A. Derivation of the evolution equations in the restricted three-body problem with variable masses by using Computer Algebra // Applications of Computer Algebra – ACA 2023. Warsaw, Poland, July 17 – 21, 2023. - P.68.

10. Ibraimova A., Minglibayev M., Prokopenya A.N. Study of the small body dynamics with variable mass in the presence of reactive forces in the framework of the restricted three-body problem with variable masses // XXXII General Assembly International Astronomical Union. Cape Town, South Africa, 6-15 August 2024. (онлайн)

Публикации. По диссертационной работе опубликовано 15 научных работ. Из них в базе *Web of Science (Clarivate Analytics)* (Q2 и Q3) опубликовано 2 статьи. Опубликовано 3 статьи в журналах, входящих в список журналов, рекомендованных КОКСНВО МНВО РК, и 10 работ на международных конференциях.

Личный вклад автора. Основные результаты диссертации получены лично соискателем. Постановка задачи и обсуждение результатов выполнены совместно с научными консультантами.

Связь темы диссертации с планами научных работ.

Диссертационная работа выполнена в соответствии с планами фундаментальных научно-исследовательских работ КН МНВО РК ПЦФ по теме: «BR10965141 - Создание национальной Виртуальной Обсерватории на базе роботизированных телескопов, Big Data технологий и высокопроизводительных вычислительных систем» и «BR20280974 - Программа фундаментальных астрофизических исследований в Казахстане: наблюдения и теория».

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 4 разделов, заключения, списка литературы, приложения.