

АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени «доктор философии» (PhD)
по специальности «6D060300-Механика»

БАЙСБАЕВА ОРАЛХАН БАЙТИЛЕУОВНА

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОСТУПАТЕЛЬНО-ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТРЕХОСНОГО НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕЛА В ПОЛЕ ПРИТЯЖЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНОГО СФЕРИЧЕСКОГО ТЕЛА

Общая характеристика работы. Классическая небесная механика рассматривает космические тела как материальные точки. Аналитическая механика системы свободно гравитирующих материальных точек, взаимодействующих по закону Ньютона, хорошо развита и до сих пор не утратила своей актуальности. Её особенность заключается в учёте как поступательного, так и вращательного движения тел с взаимным взаимодействием. Однако при исследовании некоторых задач небесной механики даже классики науки (И. Ньютон, Л. Эйлер, Ж. Лагранж и др.) осознавали ограниченность постановки задачи о гравитирующих материальных точках, то есть рассматривать небесные тела как материальные точки недостаточно — такой подход не обеспечивает адекватной физической модели для исследования их динамической эволюции.

Наблюдения в астрономии показывают, что небесные тела не всегда являются сферическими и абсолютно твёрдыми. Это касается и классической модели небесной механики — задачи двух тел. В классической задаче двух тел возможна интеграция, если тела — это либо взаимодействующие материальные точки, либо тела с конечными размерами и сферически симметричным распределением массы, и её общее решение хорошо известно. Решению задачи о поступательно-вращательном движении абсолютно твёрдого тела внесли вклад многие учёные: российские — Ю.В. Баркин, В.В. Белецкий, В.В. Видякин, Н.И. Гамарник, В.Г. Демин, Г.Н. Дубошин, С.Г. Журавлёв, В.Т. Кондурарь, Г.Ф. Осипова, Т.К. Шинкарик; зарубежные — В. Gurta, Р.В. Johnson, Т.Р. Kane, Н. Kinoshita, Р.К. Mishra, М. Pascal и др. Среди казахстанских учёных эту тему исследовали Ж.С. Ержанов, А.А. Калыбаев, А.А. Баймухаметов и их ученики.

До конца XIX века в небесной механике решались только задачи со стационарными небесными телами. Дифференциальное уравнение относительного движения двух тел с переменной массой впервые было предложено Гильденом в 1884 году. Позже существенные результаты в области движения нестационарных космических тел получили В.Г. Фесенков, Г.М. Идлис, Т.Б. Омаров, J.D. Hajidemetriou, Л.Г. Лукьянов, Е.Н. Поляхова, А.А. Беков, А. Deprit, L. Floria и др.

Если хотя бы одно из тел не обладает сферической симметрией, то их взаимное гравитационное взаимодействие существенно зависит от геометрии и распределения массы, что значительно усложняет задачу. Со временем меняются масса, размеры, форма и внутреннее распределение массы тел. В качестве примера можно привести эволюцию звёзд — на разных стадиях своей жизни звёзды сжимаются или расширяются. Так, на стадии красного гиганта размеры звезды могут увеличиться в 10–100 раз. Особенно это выражено в плотных двойных звёздных системах, где наблюдаются изменения формы, размеров, перенос массы и диссипативные процессы. Соответственно, гравитационные взаимодействия становятся переменными, и ньютоновский потенциал становится явно зависящим от времени. Эти факторы существенно влияют на динамическую эволюцию тел.

Т.Б. Омаров исследовал динамику тесных двойных звёзд с интенсивным корпускулярным излучением и решил задачу о движении двух тел в пылевом облаке. Похожие исследования параллельно проводил профессор Дж. Хаджи Деметриу в Греции. Их совместный вклад в динамическую астрономию известен как «элементы Омара — Хаджи Деметриу». Эти исследования позволили глубже понять природу динамической эволюции галактических, звёздных и планетных систем.

В работе М.Ю. Баркина рассматривалось влияние изменения геометрии массы небесных тел (включая Землю) на их вращательное движение. Используя переменные Андруайе и действия-углы, он предложил учитывать сезонные и вековые вариации коэффициентов геопотенциала.

М.Дж. Минглибаев предложил новый промежуточный тип движения и каноническую теорию возмущений для нестационарных гравитационных систем с переменными размерами и массой сфероидного тела. В работе А.А. Бекова предложено обобщённое промежуточное движение для тел с изменяющимися массой, размерами и формой.

Актуальность исследования. Проблема изучения поступательно-вращательного движения двух гравитирующих тел с переменной массой и размерами — актуальная и малоизученная. Исследование объединённого движения центра масс и собственного вращения как естественных, так и искусственных нестационарных небесных тел включает в себя данный класс задач.

Цель работы. Определить влияние изменения массы и размеров трёхосного тела на его поступательно-вращательное движение в гравитационном поле нестационарного сферического тела.

Задачи исследования.

1. Рассмотреть физическую постановку задачи в бинарных гравитирующих системах, сформулировать небесно-механические допущения, построить математическую модель исследуемого объекта.
2. Получить уравнения движения трёхосного тела в нестационарном гравитационном поле сферического тела в различных приближениях и системах оскулирующих элементов. Выполнить разложение возмущающей функции.

3. Получить и проанализировать эволюционные уравнения. Найти приближённые аналитические решения и сравнить с численными результатами.
4. Проанализировать динамическое влияние переменности массы и размеров трёхосного тела на орбитальное и вращательное движение. Визуализировать полученные решения.

Объект исследования. Поступательно-вращательное движение трёхосного нестационарного тела в гравитационном поле нестационарного сферического тела.

Методы исследования. Используются метод Гамильтона-Якоби, различные переменные и формы теории возмущений, включая каноническую теорию, математический аппарат гамильтоновых систем дифференциальных уравнений, аналитическая геометрия системы материальных точек, метод усреднения Гаусса, численные методы в системе компьютерной алгебры *Mathematica*.

Научная новизна работы. В диссертации получены уравнения возмущённого движения трёхосного тела при его поступательно-вращательном движении, применены методы канонической теории возмущений.

Поступательно-вращательное движение трёхосного нестационарного тела рассмотрено в аналогах переменных Делоне-Андруайе, получены вековые уравнения возмущений. Выполнен аналитический анализ этих уравнений, найдены численные решения дифференциальных уравнений движения и визуализированы с помощью компьютерной алгебры.

Полученные в диссертации решения могут использоваться как начальные приближённые решения при исследовании сложных задач небесной механики.

Положения, выносимые на защиту

1. Получены уравнения возмущённого движения трёхосного нестационарного тела.
2. Исследовано поступательно-вращательное движение трёхосного тела в аналогах элементов Делоне-Андруайе, получены эволюционные уравнения.
3. Выполнен аналитический анализ уравнений эволюции, получены численные решения, построены графики с использованием систем компьютерной алгебры.

Достоверность и обоснованность результатов. Научные результаты работы подтверждаются соответствием теоретической модели реальным аналогам в природе, а также совпадением с результатами других авторов в случае постоянных массы и размеров тел.

Теоретическая и практическая значимость работы. Полученные в диссертации результаты определяют новый этап в исследовании нестационарных космических систем и служат основой для дальнейших работ, направленных на более глубокое понимание сложных процессов в космосе. Эти результаты имеют научную ценность и могут быть

использованы для моделирования и расчёта динамической эволюции как естественных, так и искусственных спутников небесных тел.

Апробация работы.

1. Байсбаева О.Б. Үш өсті бейстационар дененің бейстационар шардың гравитациялық өрісіндегі ілгерлемелі-айналмалы қозғалысы. Материалы Международной научной конференции студентов и молодых ученых "ФАРАБИ ӘЛЕМІ", , КАЗАХСТАН, Алматы, КазНУ имени аль-Фараби, 10.04.2018-12.04.2018., 86 б.

2. M. Minglibayev, A. Prokopenya. O. Baisbayeva. Evolution equations of translational rotational motion of a triaxial body with constant dynamical shape and variable size in a non-stationary central gravitational field. Proceedings The 7th International Congress of Serbian Society of Mechanics, Sremski Karlovci, Serbia, June 24-26, 2019, pp.129-130.

3. Mukhtar Minglibayev, Alexander Prokopenya, Oralkhan Baisbayeva. Analytical calculations of secular perturbations of translational-rotational motion of a non-stationary triaxial body in the central field of attraction. ACA 2019, 25th Conference on Applications of Computer Algebra, Montreal, Canada, July 16-20, 2019, pp. 156-157.

4. М.Дж.Минглибаев, О.Б. Байсбаева. Поступательно-вращательное движение нестационарного трехосного тела в нестационарном центральном поле тяготения. XII Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики, 19-29 августа 2019, Уфа, Республика Башкортостан, Россия. Сборник трудов в 4 томах. Том 1. Общая и прикладная механика, с. 708-710.

5. Mukhtar Minglibayev, Alexander Prokopenya, Oralkhan Baisbayeva. Secular Perturbations of Translational-Rotational Motion of a Non-stationary Triaxial Body in a Central Gravitational Field. CASTR 2019, Computer Algebra Systems in Teaching and Research, Volume VIII, Siedlce, Poland, September 25-29, 2019, pp.246-248.

6. M. Minglibayev, O. Baisbayeva. Translational-rotational motion of a triaxial body with variable compression in a non-stationary central gravity field. Computer Algebra Systems in Teaching and Research, Volume IX, Siedle University of Natural Sciences and Humanities, 2020, pp. 204-219.

Публикации.

База данных Thomson Reuters или Scopus:

1. Minglibayev M., Prokopenya A., Baisbayeva O. Evolution equations of translational-rotational motion of a non-stationary triaxial body in a central gravitational field. Theoretical and Applied Mechanics, V. 47 (2020), Issue 1, 63-80, DOI: <https://doi.org/10.2298/TAM191130007M>.

2. [Prokopenya, A.](#), [Minglibayev, M.](#), [Baisbayeva, O.](#) Analytical calculations of secular perturbations of translational-rotational motion of a non-stationary triaxial body in the central field of attraction. [Lecture Notes in Computer Science \(including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics\)](#) , 2020, 12291 LNCS, 478–491, DOI:[10.1007/978-3-030-60026-6_28](https://doi.org/10.1007/978-3-030-60026-6_28).

Статьи в изданиях, рекомендованных КОКСОН МОН РК:

1. М.Дж.Минглибаев, О.Б. Байсбаева. К поступательно-вращательному движению трехосного нестационарного спутника. Вестник КазНПУ, серия «физико-математические науки», информатика 01(61) 2018г., с.197-201.

2. М.Дж.Минглибаев, О.Б. Байсбаева. Исследование поступательно-вращательного движения спутника с переменным тензором инерции в поле притяжения сферического тела. Совместный выпуск. Вестник ВКГТУ им. Д.Серикбаева. – Вычислительные технологии Института вычислительных технологии Сибирского отделения РАН. №3 Том 1. Часть3, 2018г., с. 179-195.

3.М.Дж.Минглибаев, О.Б. Байсбаева. Поступательно-вращательное движения трехосного тела с переменными сжатиями при наличии реактивных сил и моментов. "Хабаршы" КазНПУ им Абая, серия «Физико-математические науки» №1(69), 2020, с. 246-251.

Личный вклад автора.

Основные результаты исследования, изложенные в диссертационной работе, получены автором самостоятельно. Автор диссертации выполнила работу по осреднению и получению дифференциальных уравнений вековых возмущений и обзору литературы, аналитическому анализу уравнений вековых возмущений и выводы, численно решены уравнения вековых возмущений и получены графики, проведено сравнение случаев с постоянной и переменной массой.

Постановка задачи и обсуждение результатов проводились совместно с научными консультантами.

Структура и объем диссертации.

Диссертация состоит из введения, трех разделов, заключения, списка использованной литературы и приложений.