

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

Санкт-Петербургского

государственного университета



С. В. Микушев

«30» сентября 2024 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» на диссертацию Галушиной Татьяны Юрьевны на тему «Исследование орбитальной динамики избранных групп астероидов, сближающихся с Землей», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия

Диссертация Татьяны Юрьевны Галушиной посвящена **актуальной теме** исследования эволюции орбитального движения ряда малых тел Солнечной системы. Особое внимание уделено астероидам, сближающимся с Землей, в первую очередь потому что они несут угрозу для жителей Земли в обозримом будущем. И конечно же стоит отметить, что малые тела, относимые к АСЗ, часто отличает сложная эволюция орбитального движения, сопряженная с влиянием планет земной группы и Юпитера и достойная тщательного изучения в каждом отдельном случае.

Как отмечено в диссертации, наблюдения некоторых астероидов, сближающихся с Землей, возможны лишь на коротких промежутках менее года. И каждое сделанное наблюдение может играть и играет большую роль в уточнении орбитальных параметров. Серия наблюдений, описанная в диссертации, это несомненно продемонстрировала.

С развитием космических технологий человечеству удастся запускать все больше космических аппаратов для непосредственного взаимодействия с телами Солнечной системы. Естественно, что проще добираться до астероидов, посещающих время от времени окрестности Земли. И чем

надежнее мы можем определять орбиты астероидов и положение на них, тем проще нам будет планировать предстоящие космические экспедиции.

В диссертации Татьяны Юрьевны Галушиной подробно обсуждаются указанные темы, и представленные результаты несомненно несут **новую** информацию и знания о малых телах, населяющих нашу Солнечную Систему.

Структура и содержание работы

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и приложения. Полный объем диссертации составляет 326 страниц, включая 90 рисунков и 66 таблиц. Список литературы включает в себя 244 наименования. В Приложении приводятся таблицы части наблюдений на Терскольской обсерватории.

Во **Введении** представлен краткий обзор предмета исследования и содержания диссертационной работы. Обсуждаются ее актуальность, цели, задачи, научная новизна полученных результатов и практическая значимость. Содержатся основные положения, выносимые на защиту, список публикаций, на основании которых представляется данная диссертация. Представлена информация об апробации результатов на профильных семинарах различных институтов и университетов, на всероссийских и международных конференциях.

В **Главе 1** дается информация общего характера обо всей популяции астероидов, сближающихся с Землей, а так же об их классификации принятой на сегодняшний день. Описывается суть астероидно-кометной опасности и возможные пути ее решения. Большая же часть посвящена описанию задач и методов их решения при исследовании орбитальной динамики астероидов, сближающихся с Землей.

В **Главе 2** описываются уравнения движения исследуемых астероидов вместе с комплексной моделью сил. Татьяна Юрьевна Галушина предлагает несколько критериев выбора — какие эффекты учитывать в модели сил, а какие нет, — в каждом конкретном случае. Представлены несколько методов анализа получаемых численных решений уравнений движения для выявления резонансных явлений, тесных сближений с планетами и влияния негравитационных эффектов.

Поиск численного решения уравнений движения обычно сопровождается рядом рутинных повторяющихся процедур. В **Главе 3** Татьяна Юрьевна Галушина подробно описывает разработанный в Томском университете комплекс программ для исследования эволюции орбитального движения астероидов, который позволяет автоматизировать многие технические процедуры и уделять основное внимание анализу получаемых результатов.

В **Главе 4** описываются наблюдения, организованные Татьяной Юрьевной Галушиной на Терскольской обсерватории. Удалось провести наблюдения для 22 астероидов. В целом эти наблюдения играют важную роль, так как заметно удлиняют дугу наблюдений, а значит позволяют более качественно определять орбитальные параметры астероидов.

В **Главе 5** содержится ряд важных результатов. Орбитальная динамика астероидов с малыми перигелийными расстояниями и большими эксцентриситетами демонстрирует всю свою сложность. Подробный анализ полученных результатов требует тщательности и осторожности в интерпретации. Для каждого рассмотренного в этой главе астероида сообщается, каково влияние резонансных эффектов, и выявляются возможные тесные сближения с планетами земной группы и Юпитером. Для ряда исследованных астероидов подробно рассматривается влияние негравитационных эффектов, среди которых особое внимание уделено эффекту Ярковского.

В **Главе 6** приведен еще ряд интересных результатов. Представлен эффективный и быстродействующий алгоритм оценки вероятности столкновения астероида с планетой по имеющейся информации о неопределенности его орбитальных параметров. Также обсуждаются сценарии противодействия астероидно-кометной опасности с помощью превентивного разрушения, полученные в совместной работе автора с Константином Владиславовичем Холшевниковым.

В **Заключении** подробно сформулированы выводы диссертации, обозначены перспективы дальнейшего исследования.

Обоснованность и достоверность полученных научных результатов, выводов и заключений

Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием современных наблюдений, наряду с собственными, и применением апробированных методов при их обработке. Также результаты и выводы были представлены и обсуждены на международных и всероссийских конференциях и семинарах. Они опубликованы в рецензируемых журналах, из них 30 публикаций в рекомендованных ВАК.

Часть результатов, выносимых на защиту, получена в совместных исследованиях, опубликованных с соавторами в научных статьях. Личный вклад Татьяны Юрьевны Галушиной выделен и значителен. Следует отметить важность и фундаментальность положений, вынесенных на защиту. В особенности, отметим следующие результаты. Выявлено заметное влияние эффекта Ярковского на неустойчивые резонансные соотношения. Предложен оригинальный быстрый оценивания вероятности столкновения астероидов с планетами, совпадающий по результатам с прямыми методами интегрирования. На реальных наблюдениях апробирована разработанная

автором эффективная методика построения обзорных эфемерид для астероидов с плохо определенными орбитами.

Важным результатом работы является то, что для ряда астероидов, сближающихся с Землей, с изначально плохо определенной орбитой, проведенные наблюдения позволили существенно увеличить дугу наблюдений и улучшить прогнозируемость их движения.

Следует подчеркнуть, что диссертационное исследование носит комплексный характер, оно включает организованные автором наблюдения, развитие теории и численное моделирование.

Замечания по содержанию и оформлению

Диссертационная работа Татьяны Юрьевны Галушиной представляет собой завершенное научное исследование на актуальную тему. Текст работы четко изложен и имеет ясную структуру.

Материал, представленный в диссертации, в полной мере описывает идеи и подходы автора к анализу результатов численного моделирования эволюции орбитального движения. Изложение сопровождается существенным количеством иллюстративного материала, что облегчает понимание. Существенных замечаний к диссертации Татьяны Юрьевны Галушиной не нашлось. Стоит привести лишь два незначительных:

- Числовые значения на осях некоторых графиков подобраны неудачно, например, на рисунке 5.9 нуль на оси абсцисс отмечается как «-2E-28». Во многих случаях оказалось сложным выявлять начальные эпохи интегрирования движения.
- Странным выглядит поведение критического аргумента в третьем случае на рисунке 5.19. Критический аргумент β с некоторого момента в среднем убывает, а по графику его производной представляется, что она в среднем больше нуля.

Данные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

Заключение

Диссертация Галушиной Татьяны Юрьевны «Исследование орбитальной динамики избранных групп астероидов, сближающихся с Землей» представляет собой завершенную научно-исследовательскую работу на актуальную тему и удовлетворяет требованиям ВАК. Результаты, полученные в диссертационной работе, вносят существенный вклад в исследование астероидно-кометной опасности и могут быть использованы в ИПА РАН, ГАО РАН, САО РАН, КРАО РАН и других отечественных и

зарубежных организациях, где проводятся работы по исследованию малых тел Солнечной системы и астероидно-кометной опасности.

Диссертация удовлетворяет требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденных Постановлением правительства РФ от 24.09.2013 № 842, а ее автор Галушина Татьяна Юрьевна заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия.

Отзыв подготовлен кандидатом физико-математических наук, доцентом Кафедры небесная механика СПбГУ В.Ш. Шайдулиным.

Отзыв обсужден и утвержден на заседании Кафедры небесной механики СПбГУ, протокол от 26 сентября 2024 г. № 44/8/13-02-3.

Профессор Кафедры небесной механики,
доктор физико-математических наук

Н.Я. Сотникова

Доцент Кафедры небесной механики,
кандидат физико-математических наук

В.Ш. Шайдулин

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»

Адрес: Россия, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9.

Телефон: (812) 328-97-01

e-mail: spbu@spbu.ru

Сайт: <https://spbu.ru>



Н.Я. Сотникова В.Ш. Шайдулин

26.09.2024

