

Отзыв

официального оппонента о диссертации Галушиной Татьяны Юрьевны «Исследование орбитальной динамики избранных групп астероидов, сближающихся с Землей», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.1 «Физика космоса, астрономия».

Диссертационная работа Т.Ю.Галушиной посвящена исследованию малых тел Солнечной системы, которые имеют сближения с Землей. Хотелось бы отметить комплексный подход Т.Ю.Галушиной к данному исследованию, который выражается в организации наблюдательной кампании, созданию программного комплекса ИДА, проведению всесторонних небесно-механических расчетов с учетом таких факторов как эффект Ярковского, световое давление, релятивистские эффекты, сжатие Солнца, а также в расчетах оптимальных вариантов уничтожения опасных небесных тел.

Актуальность диссертационной работы связана с астероидно-кометной опасностью. Для защиты Земли необходимо осуществлять наблюдения опасных объектов, определять с хорошей точностью их орбиты и в случае необходимости разрушать их с минимальными последствиями для человечества. Особое внимание в данном диссертационном исследовании обращено на астероиды с малыми перигелийными расстояниями. Эти объекты имеют большие эксцентриситеты и наклоны, они сближаются с Солнцем (это приводит к необходимости более сложных моделей сил) и их трудно наблюдать и как следствие этих наблюдений бывает недостаточно для надежного предсказания их движения.

Научная новизна исследования связана, во-первых, с разработкой методики учета возмущений для астероидов с малыми перигелийными расстояниями. При этом учитывается влияние больших планет, Луны, сжатия Солнца и релятивистских эффектов от Солнца, а также эффект Ярковского и световое давление. Для вышеуказанных объектов получены оценки одного из параметров эффекта Ярковского и сделан вывод о необходимости повышения точности наблюдений и периода наблюдений астероидов для надежного определения этого параметра. Во-вторых, впервые были обнаружены 33 АЗС (из 60 исследованных астероидов), которые движутся в окрестности орбитальных резонансов с одной или несколькими большими планетами одновременно и показано, что эффект Ярковского оказывает заметное влияние на их устойчивость. В-третьих, проведено исследование эволюции элементов орбит для 14 астероидов. Сделан вывод, что эффект Ярковского оказывает значимое влияние на изменение большой полуоси орбит астероидов и это обстоятельство влияет на число сближений с большими планетами и расстояния между астероидами и планетами. В-четвертых, предложен новый метод разрушения (ядерными и термоядерными зарядами) астероидов, которые могут столкнуться с Землей. Этот метод позволяет минимизировать последствия падения осколков астероида на Землю (в том числе радиоактивных). Также важное значение имеет создание программного пакета ИДА, который позволяет осуществлять комплексный подход в исследовании астероидов. Полученные результаты также будут полезны при планировании космических миссий к опасным астероидам. Все выше перечисленное вносит значительный вклад в развитие астрономии на современном этапе.

Достоверность научных положений и выводов основана на использовании уравнений классической и релятивистской небесной механики, решении соответствующих дифференциальных уравнений движения, численном интегрировании уравнений движения астероидов методами Гаусса – Эверхарта. При численном моделировании выбор сил осуществляется по методике, предложенной автором. Для определения элементов орбит астероидов и параметра эффекта Ярковского использовался метод наименьших квадратов и метод сингулярного разложения SVD. Для получения коэффициентов нелинейности применялись методы, разработанные М.А.Черницовым и

В.А.Авдюшевым. Для исследования регулярного и хаотического движений у границ резонансных областей использовался индикатор OMEGNO. Обстоятельства сближений астероида с большими планетами вычислялись методом, изложенным в работе В.А.Шефера (1986). Орбитальные резонансы в движении астероидов определялись и исследовались на основе численного анализа поведения резонансных характеристик. Для оценок вероятности столкновения астероида с Землей использовался классический метод численного интегрирования уравнений движения и метод, который был реализован автором, основанный на линейных отображениях. Для разрушения астероида, который может столкнуться с Землей, был разработан метод его разрушения во время предыдущего тесного сближения. При наблюдениях на телескопе Zeiss-2000 обработка ПЗС-кадров производилась с использованием программных пакетов IzmCCD, Апекс-II, Astrometrica, а для калибровки ПЗС-кадров — программа MaximDL.

Краткая характеристика диссертационной работы

Диссертационная работа Т.Ю.Галушиной состоит из введения, 6 глав, заключения, списка использованных источников (244 наименования) и одного приложения, содержит 89 рисунков и 61 таблицу. Общий объем работы составляет 326 страниц.

Во введении обсуждается актуальность работы, сформулированы цели, задачи и практическая значимость исследований, приведены положения, выносимые на защиту, список публикаций, данные об апробации работы, приведено краткое содержание диссертации.

В Первой главе приведены обзорные сведения об астероидно-кометной опасности, популяции АСЗ и методах их исследования.

Во Второй главе описываются методы исследования динамики астероидов. Приводится описание численной модели движения астероидов, уравнения движения, модели возмущающих сил, методы интегрирования, описываются способы построения начального облака неопределенности в линейном и нелинейном случаях, приводится алгоритм выявления тесных сближений астероида с большими планетами, дается численно-аналитическая методика выявления орбитальных и вековых резонансов, приводятся формулы для вычисления параметров хаотичности MEGNO, дается описание методики исследования структуры возмущений, приводится метод оценивания вероятности столкновения астероида с большой планетой.

В Третьей главе дается описание созданного в ТГУ программного пакета ИДА. Данный пакет использовался для выполнения данной работы и позволяет изучать движения астероидов. Программный пакет ИДА используется в учебном процессе Томского университета.

В Четвертой главе представлены результаты наблюдений, полученных на телескопе Zeiss-2000 Центра коллективного пользования «Терскольская обсерватория» ИНАСАН. Т.Ю.Галушина организовала кампанию по наблюдению астероидов. В программе наблюдений были объекты с малыми перигелийными расстояниями, астероиды с плохо определёнными орбитами, астероид 2023 BU (наблюдения были выполнены в период его тесного сближения с Землей в январе 2023 г.) и астероид (65803) Didymos (после столкновения космического аппарата DART с его спутником). Было показано, что возможны наблюдения астероидов на Zeiss-2000 до 22 звездной величины и полученные ряды наблюдений астероидов имеют хорошую точность.

В Пятой главе приводятся результаты исследования динамики астероидов с малыми перигелийными расстояниями. Показало, что оптимальная модель сил для большинства изучаемых объектов должна включать учет влияния больших планет, Луны, сжатия Солнца, релятивистских эффектов от Солнца, больших астероидов, а также сжатия Земли, при тесных сближениях. Сделаны оценки влияния светового давления и эффекта Ярковского на динамику астероидов. Проведенный анализ структуры возмущений для некоторых астероидов не позволил выполнить их классификацию. Сделан вывод о необходимости новых астрометрических высокоточных наблюдений.

В **Шестой** главе приведены результаты тестирования метода быстрого оценивания вероятности столкновения астероида с Землей. Приводится описание метода разрушения астероида, а также результаты его тестирования. Для астероида (99942) Apophis рассмотрены шесть сценариев его подрыва. Сделан вывод, что «оптимальным представляется взрыв объекта сразу после сближения 2029 года».

В **Заключении** приведены основные результаты диссертационной работы.

Замечания по тексту диссертации Галушиной Т.Ю.

Стр. 42, строка 11 сверху, «увеличился» — увеличилось.

Стр. 61, предпоследнее предложение второго абзаца.

«Оптимальным размером будет астероид размером не более пары километров, поскольку крупные астероиды имеют большой момент инерции и их **раскрутить** значительно сложнее, к тому же они чаще имеют **форму, близкую к сферической.**» — это относится к эффекту YORP, хотя в данном абзаце речь идёт об эффекте Ярковского.

Конец стр. 63 — начало 64, похоже на пересказ машинного перевода.

Стр. 65, конец раздела 1.4.4, «от 10^{-15} до 10^{-13} а.е./сут²» — откуда взяты эти числа?

Стр. 104. Программный комплекс ИДА может быть доступен для других пользователей?

Стр. 135, абзац 4, «Если слабый (слабее 20-й звёздной величины) объект движется с большой угловой скоростью, наблюдения проводятся с выставлением скоростей телескопа вместе с часовым ведением». Лучше: «... с выставлением скоростей телескопа в соответствии со скоростью углового движения астероида (вместе с часовым ведением)»

Стр. 137, абзац 2, «Отметим, что по состоянию на октябрь 2022 г. около 10% **астероидов** имеют номер, орбиты остальных недостаточно хорошо определены (таблица 1.1).» — около 10% **АСЗ**.

Стр. 139, Таблица 4.2, «8.10–6.11.22» — 8.10–6.11.2022.

Стр. 154, Табл. 4.12. Такой большой разброс в значениях О–С (в соседних датах) позволяет сделать вывод, что проведено неверное отождествление наблюдаемых объектов.

Стр. 160, абзац 1 и таблица, «на 17 порядков уменьшило размер доверительного эллипсоида», 10^{-33} и 10^{-40} — 1) не размер, а объём, 2) не на 17, а на 7.

Стр. 160, абзац 1, «период спутника уменьшился» — период **обращения** спутника уменьшился.

Стр. 170, последний абзац, опечатка: «В данное главе...».

Стр. 171 строка 3 снизу, а также стр. 299, строка 6 сверху: «Обзорные эфемериды облегчают поиск астероида на небесной сфере, однако в большинстве случаев **они** случайно попадают в поле зрения обзоров» — непонятно, что попадает. Эфемериды?

Стр. 188, 1 абзац, 6 строка снизу: «чем сжатие Солнца» — чем эффект от сжатия Солнца, 3 строка снизу: «большее чем сжатие Солнца» — большее, чем от сжатия Солнца

Таблицы 5.17 и 5.18, ΔT , **сут.** —> **гг.**

Стр. 227, строка 1, Опечатка: «параметра OMEGNO».

Стр. 257, строка 10 снизу, «как и на предыдущем рисунке» — выделить запятыми.

Стр. 264, строка 8 сверху, опечатка: «Лидова Козаи» — Лидова – Козаи.

Стр. 280, строка 8 сверху, «фронт волны» — фронт **тепловой** волны.

Откуда взят сценарий развития взрыва и числовые значения его параметров? Нужно было указать явно.

Стр. 283, раздел *Модуль скорости*:

Строка 2. «скорости частиц» — скорости **v** частиц.

Формула (6.3) и строка 5. Что такое **w**?

Строка 6. (6.2) — (6.3)

Стр. 286, строка 2, « = 446, что практически совпадает со значением (6.9)». В формуле (6.9) стоит значение 44 — на порядок меньше. ??

Стр. 302. Список использованных источников можно было бы и пронумеровать.

Указанные выше замечания не снижают значимости полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку выполненной работы.

Результаты работы докладывались и обсуждались на 40 международных и российских конференциях, а также на семинарах различных институтов. Основные результаты работы опубликованы в рецензируемых журналах из списка ВАК (30 публикаций, 18 из них включены в базы Scopus и Web of Science). В тексте диссертации для каждой статьи четко прописан личный вклад автора.

Полученные результаты могут быть использованы в научных и учебных российских (ГАО РАН, ИНАСАН, ГАИШ МГУ, СПбГУ, КрАО РАН, САО РАН и др.) и зарубежных учреждениях.

Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации.

Считаю, что диссертационная работа Татьяны Юрьевны Галушиной **«Исследование орбитальной динамики избранных групп астероидов, сближающихся с Землей»** является завершенной научной работой и содержит новые актуальные результаты для фундаментальной и прикладной астрономии и вносит существенный вклад решение проблемы астероидно-кометной опасности. Выполненная работа соответствует всем критериям, установленным п.9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением правительства РФ №842 от 24.09.2013 г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, а её автор, Галушина Татьяна Юрьевна, безусловно заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.1 «Физика космоса, астрономия».

Официальный оппонент:

Девяткин Александр Вячеславович,
доктор физико-математических наук,
главный научный сотрудник, и.о. зав.
лаборатории

Федерального государственного
бюджетного учреждения науки

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория
Российской академии наук

Адрес: 196140, г.Санкт-Петербург,

Пулковское шоссе, д.65, коп.1

Телефон: +79218487153

E-mail: a9kin@mail.ru

30 октября 2024 г.

Подпись Девяткина А.В. удостоверяю
Заведующий отделом кадров ГАО РАН

30 октября 2024 г.



А.В.Девяткин

Смирнова Е.А.