

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук Золотарёва Романа Викторовича
на тему: «Некоторые особенности динамики ансамблей малых тел, сближающихся с
Землей»
по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия.

Диссертация Золотарёва Романа Викторовича посвящена моделированию динамической эволюции ансамблей малых небесных тел. В частности исследуются вопросы о динамической шкале населения астероидов, сближающихся с Землей (АСЗ), механизмы активации сублимационно-пылевой активности астероидов, спектр масс метеороидных потоков, а также распределение АСЗ в околоземном пространстве. Исследования динамики малых тел дают фундаментальную информацию о происхождении и эволюции Солнечной системы, а также имеют ряд практических аспектов. Среди таких аспектов можно выделить астероидно-кометную опасность, безопасность деятельности в космическом пространстве и проблематику космических ресурсов. Данными фундаментальными и практическими аспектами исследования обусловлена актуальность рассматриваемой работы.

Диссертационное исследование Золотарёва Р.В. состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Полный текст диссертации состоит из 145 страниц и содержит 58 рисунков и 5 таблиц. В списке литературы содержится 202 наименований на 20 страницах.

Во **введении** кратко описывается основная проблема исследования, обосновывается актуальность выбранной темы, новизна и научная значимость, достоверность, апробация, личный вклад, приводятся основные публикации по теме исследования. А также дается краткое содержание работы, и приводятся основные результаты.

Первая глава диссертации посвящена анализу шкалы динамической эволюции астероидов сближающихся с Землей (АСЗ), уточнению среднего времени убыли (пополнения) населения АСЗ, исследованы вариации данной шкалы для различных групп астероидов сближающихся с Землей (АСЗ) в зависимости от начальных орбитальных параметров, и проведено уточнение динамики ухода АСЗ на основе различных внешних влияний.

Во **второй главе** рассматривается вопрос о наблюдаемых особенностях в спектрах астероидов, которые могут быть объяснены наличием у астероида пылевой оболочки (экзосферы), причина возникновения которой до сих пор не выяснена. Диссертантом

рассматривается гипотеза о том, что причиной появления экзосферы у крупного астероида может стать столкновение астероида с меньшим по размеру астероидом. Рассмотрен прямой численный подход по интегрированию орбит астероидов с целью определения вероятности столкновений на основе анализа данных по распределению количества сближений и взаимных скоростей при сближениях астероидов. В работе анализируются два процесса, ответственных за появление пылевого облака: ударный механизм при столкновении астероидов и ударно-сублимационный механизм при приближении астероида к Солнцу, аналогичный кометным объектам. При этом проведено моделирование таких процессов среди малых небесных тел.

Третья глава посвящена вопросам формирования и эволюции метеороидных потоков, образовавшихся на основе соударений астероидов и сублимации комет под воздействием солнечного температурного градиента. Проведено сравнительное моделирование спектра масс метеороидов и проведен анализ эволюционной динамики метеороидных потоков. На основе результатов моделирования количественно объясняются наблюдаемые вариации в индексе масс метеорных тел во время метеорных потоков. Для потоков столкновительного происхождения получена интегральная оценка притока массы твёрдого вещества в результате столкновений АСЗ.

В четвертой главе рассмотрены свойства распределения малых тел в околоземном космическом пространстве. Распределение малых тел в околоземном космическом пространстве. Для разработки программы наблюдений объектов, приходящих как со стороны ночного, так и со стороны дневного неба, необходимо иметь оценку потока таких тел со всех направлений, желательно в зависимости от размеров этих тел. Рассмотрен вопрос о распределении астероидов по направлениям входа в околоземное пространство.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационного исследования, предложения для дальнейших исследований и практическое применение полученных в работе результатов.

Все результаты диссертации являются новыми, опубликованы в научных журналах, рекомендуемых ВАК в количестве 5 статей.

Научная значимость работы заключается в развитии теории малых тел Солнечной системы, в частности, моделирования процессов динамики и эволюции метеороидов.

Новизна исследования – определяется результатами, полученными в диссертации. Результаты оригинальны и опубликованы впервые.

Достоверность представленных результатов подтверждается использованием хорошо разработанных и апробированных численных методов исследования динамики малых тел Солнечной системы, а также согласием с результатами, опубликованными другими авторами. Результаты работы докладывались автором на 7 всероссийских и 4

международных конференциях и изложены в 8 статьях в рецензируемых изданиях, 5 из которых опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в следующем: уточненная оценка динамической шкалы убыли населения АСЗ крайне важна для исследований механизмов, отвечающих за приток АСЗ из различных источников; теоретическое сравнение механизмов активации сублимационно-пылевой активности астероидов позволит, на основе наблюдений, более детально изучить процессы, связанные с данным классом объектов; рассмотренные аспекты формирования и эволюции метеороидных потоков различного происхождения могут быть полезны для моделирования распределений метеороидного вещества в околоземном пространстве, что особо важно для вопросов безопасности космической деятельности; полученные распределения астероидов, входящих в околоземное космическое пространство важны в связи с вопросами астероидно-кометной опасности и могут быть полезны при проектировании систем обнаружения потенциально опасных тел.

Автореферат полностью отражает содержание и структуру диссертации. Автореферат содержит краткое изложение результатов диссертации, основные выводы и результаты проведенного исследования, описание его актуальности и степени новизны.

В целом, диссертационная работа производит хорошее впечатление, написана ясным и понятным языком, и хорошо структурирована, но не избавлена от некоторых недостатков:

1. Относительно Введения, следует отметить, что включение подробного описания сути каждой задачи с графиками и результатами, несмотря на его научную составляющую, утяжеляет восприятие основных необходимых пунктов Введения. Думаю, обзорный текст лучше было бы поместить непосредственно в главы диссертации, или в Заключение.
2. На с.20 приведено выражение «Также отмечалось, что современное понимание потенциально опасного тела (ПОО)», вообще-то правильное было бы ввести обозначение в данном случае (ПОТ).
3. На странице 26 автор пишет: «Основное содержание диссертации изложено в 8 статьях, 5 из которых опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК», на наш взгляд или нужно было бы разделить эти статьи соответствующим образом или оставить только те, которые соответствуют требованиям ВАК.
4. На с. 29 написано «Как и во Введении, связь d и H задавалась формулой из [7]», желательно было бы привести и саму формулу.
5. С. 29. присутствует трудно понимаемое выражение «На практике для моделирования динамической эволюции ансамбля АСЗ обычно либо делают выборку из реальных АСЗ, делая обрезание по критерию полноты списка, либо используют население из модельных объектов, распределения элементов орбит

которых задаются в соответствии с распределениями, полученными по наблюдаемым данным».

6. На Стр. 30 присутствует текст «В программе со стороны больших размеров ($H < 15$) используются данные реальных астероидов.» логичнее было бы написать как «В программе для астероидов больших светимостей ($H < 15$) используются реальные данные».
7. На Стр. 30 автор пишет: «На рис. 7 показано распределение АСЗ по размерам в модели НЕОРОР.», непонятно, все-таки по размерам или по абсолютной астероидной звёздной величине, или это считается одним и тем же?
8. На с. 30 - 31 автор пишет: «Показано, что 10–20% АСЗ из выборки за это время заканчивают свою жизнь, сталкиваясь с Венерой или Землёй, более половины заканчивают свою жизнь, выпав на Солнце, и около 15% выбрасываются из Солнечной системы», но как это соотносится с данными на стр. 46 «На момент $t = 20$ млн лет доля АСЗ, столкнувшихся с планетами – 4%, столкнувшихся с Солнцем – 15%, вышедших из области определения АСЗ – 7%, выброшенных из Солнечной системы – 48%».
9. Стр. 40. Смысл выражения «В ходе работы было отмечено, что кривая убыли может быть приближена аппроксимационной формулой вида:» более логично записать как «В ходе работы было определено, что кривая убыли может быть сглажена аппроксимационной формулой вида:».
10. На Стр. 41 выражение «Этот процесс можно назвать диффузией орбит по аналогии с физическим явлением диффузии», на наш взгляд определение диффузии все-таки имеет другой смысл, чем изменение элементов орбит под внешним влиянием.
11. Там же текст «на рис. 15 видно существенное расплывание частиц за пределы этой границы.» более логичным было бы написать, как «на рис. 15 видно существенное перемещение частиц за пределы этой границы».
12. Стр.62. В двух выражениях «Проверочное интегрирование по всему диапазону параметров, естественно, дает 1.» и «Понятно, что ... является функцией E и меняется от 1 (при предельно малом E) до 0 при предельно большом значении E .» слова «естественно» и «понятно» не совсем уместны.
13. На стр. 111, 113 при описании орбитальных элементов отсутствует определение к чему они относятся, например, в определении «...,наклонению i ,...», нужно было пояснить что к чему наклонено?
14. В работе используется достаточно большое количество сторонних программных пакетов, но не дается информация о том, вносил ли автор диссертации какие-

либо модификации в перечисленные программы и есть ли программные продукты разработанные непосредственно им самим.

Так же имеется ряд несущественных замечаний.

Тем не менее, все перечисленные замечания не умаляют значимость работы, и не влияют на высокий уровень диссертационного исследования.

Кандидатская диссертация Золотарёва Романа Викторовича «Некоторые особенности динамики ансамблей малых тел, сближающихся с Землёй» является самостоятельной, выполненной на высоком научном уровне, работой. Диссертация соответствует всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. Поэтому считаю, что Р.В.Золотарёв заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 Физика космоса, астрономия.

Официальный оппонент

доктор физико-математических наук.

Казанский федеральный университет, Институт физики, профессор

«10» сентября 2024г.



Нефедьев Юрий Анатольевич

420 008 Казань, Кремлевская 18

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Тел.: +78432065289

e-mail: star1955@yandex.ru

Подпись сотрудника организации

Ю.А. Нефедьева удостоверяю:

Документовед: Горюхино И.В.

