

Утверждаю



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Самбарова Георгия Евгеньевича «Вероятностное моделирование динамики астероидов и метеороидов, движущихся в условиях наложения возмущений различных типов», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.01 – Астрометрия и небесная механика.

Интерес к проблемам динамической эволюции малых тел Солнечной системы и, в частности, малых тел, сближающихся с Землей (АСЗ), вызван рядом причин, как практических, так и теоретических. Сближения и возможные столкновения этих объектов с Землей могут представлять реальную угрозу, масштаб которой определяется их физическими и динамическими характеристиками. Важно также понимать, как эволюционируют орбиты этих объектов и какими возмущающими силами определяется их эволюция. Многократные сближения с большими планетами, орбитальные и вековые резонансы могут приводить к проявлениям хаотичности в их движении. Все эти вопросы возникают также при исследовании орбитальной эволюции метеорных потоков.

Этим актуальным для современной астрономической науки вопросам и посвящена диссертационная работа Г.Е. Самбарова.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованной литературы. Общий объем диссертации составляет 167 страниц, содержит 13 таблиц и 48 рисунков. Список использованной литературы содержит 179 наименований. По результатам исследований опубликовано 16 работ, из них 8 в изданиях, входящих в список ВАК. Все работы написаны в соавторстве, Г.Е. Самбаров отметил свой вклад в каждую из них. Результаты исследований были доложены на 26 научных конференциях. Также отмечен вклад автора в разработку программного обеспечения для решения рассматриваемых задач и проведение численных экспериментов.

Во введении формулируются и обосновываются цели и задачи исследования (актуальность, новизна, научное и практическое значение), приводятся полученные результаты и положения, выносимые на защиту, описывается структура диссертации.

В первой главедается описание численной модели движения малых тел Солнечной системы, дано описание возмущающих сил, оценено их влияние на движение ряда астероидов. Описаны процедуры сравнения моделей возмущающих сил и выбора лучшей модели в задаче построения областей возможных движений астероидов. Для решения этих

задач вводится показатель точности, зависящий от оценок параметров орбиты малого тела с использованием двух моделей действующих сил. Рассмотрены алгоритмы оценивания точности вероятностной модели движения астероидов. Приводятся примеры оценивания влияния возмущающих ускорений на точность построения доверительных областей в движении 4-х астероидов.

Для однократно и двукратно осредненных задач трех тел – Солнце-астероид-планета - представлена численно-аналитическая методика выявления вековых резонансов и получены 20 апсидально-нодальных резонансных соотношений низших порядков. Рассмотрена эволюция во времени критических аргументов.

Во второй главе приводится описание численных оценок влияния малых возмущающих ускорений на эволюцию орбит АСЗ и показано, что они могут приводить к значительным отклонениям орбиты от номинальной. Даются рекомендации об учете тех или иных возмущений в зависимости от характера орбиты и интервала наблюдений на примере конкретных объектов. Приводится время предсказуемости движения объектов. В тексте диссертации на стр. 79 указано, что время предсказуемости движения таких тел составляет 45 и 30 лет, в то же время рис. 2.10 показывает, что время составляет несколько лет. При увеличении интервала наблюдений астероидов до тысяч суток предсказуемость движения увеличивается до 50-70 лет.

В третьей главе исследуется движение астероида (3200) Phaethon, который считается родительским телом метеорного потока Геминид. Этот интервал определен точностью численного интегрирования. Однако не приводится информация о процедуре оценки точности и реально принятом значении. Исследование вероятностной орбитальной эволюции проводилось путем численного интегрирования уравнений движения на интервале (-1000, 7000) лет для номинальной орбиты и 10000 тестовых частиц. Принято, что положения и компоненты скорости частиц распределены по нормальному закону, однако в тексте не приводится информация о параметрах нормального закона и принятых пределах. Показано, что доверительная область сохраняет свою конфигурацию только на интервале 1750-2350 лет.

Орбитальная эволюция номинальной орбиты астероида (3200) исследована на интервале (-2000, 9000) лет. Выявлены многочисленные тесные сближения с планетами земной группы, наличие ряда апсидально-нодальных резонансов с планетами от Меркурия до Юпитера, прохождение через неустойчивый резонанс 3/7 с Венерой. Показано, что движение астероида (3200) на интервале 1780-2350 гг. можно рассматривать как регулярное, за его пределами наблюдаются проявления хаотичности. Эти оценки получены с помощью параметра MEGNO.

В четвертой главе исследуется вероятностная орбитальная эволюция астероида (196256) и 500 тестовых частиц, при этом процедура их выбора не описана. Это исследование оказалось возможным только на интервале (1000, 4000) лет. В тексте диссертации утверждается, что интервал определен точностью численного интегрирования, но без описания выбора точности и его критериев. Исследования орбитальной эволюции астероида выявили многократные тесные сближения с Юпитером, перекрытия различных апсидально-нодальных резонансов, наличие орбитальных резонансов низких порядков. Орбита может рассматриваться как регулярная только на интервале 1700-2300 гг.

Рассмотрена также вероятностная эволюция образованного астероидом (196256) потока Квадрантид на примере 6-ти ансамблей по 100 модельных метеороидов,

выброшенных из родительского тела вблизи перигелиев орбиты в 1760-1791 гг. Их движение исследовалось до 14000 г. Однако из текста диссертации не понятно, производится ли при этом учет светового давления в движении этих частиц. Нет также информации о принятом значении диаметров метеороидов и значении коэффициента θ в формуле (1.6) учета светового давления.

Выявлена и объяснена особенность модельных метеороидов потока, которые разделились на нестабильную и стабильную части. Оценки хаотичности этих орбит получены с помощью параметра MEGNO.

В заключении обобщаются основные полученные результаты.

Представленные Г.Е. Самбаровым к защите научно-методические разработки и исследования вносят вклад в исследования орбитальной эволюции малых тел Солнечной системы, сближающихся с Землей. Научный интерес представляют следующие полученные результаты

1. В большинстве работ, посвященных исследованию резонансов в движении астероидов, рассматривается динамика астероидов Главного пояса или отдельных групп АСЗ, движущихся в окрестности некоторых резонансов с большими планетами. Г.Е. Самбаров расширил возможности исследования этих вопросов для рассмотренных объектов. Автором разработана численно-аналитическую методику выявления апсидально-нодальных резонансов в движении АСЗ, и на примере ряда астероидов показано, как работает эта методика.

2. Интересные результаты получены для оценки интервалов регулярного движения малых тел. Так, даже для астероида (3200) с большим количеством наблюдений на значительном интервале наблюдений этот интервал составляет ± 300 лет. Для малого числа наблюдений на коротких дугах это несколько лет. Полученные оценки полезно иметь в виду при прогнозе потенциально опасных сближений таких объектов с Землей.

3. Анализ динамики модельных частиц метеорного потока Квадрантид выявил его разделение в результате действия многократных сближений с Юпитером и действия резонансов на стабильную и нестабильную части.

Отмеченные ранее неточности по тексту диссертации можно дополнить следующими замечаниями:

1. В гл. 2 учет в уравнениях движения релятивистских членов от Солнца рассматривается как одна из возможностей, которую можно учитывать или не учитывать. Между тем, это не вполне корректно, так как эфемериды DE431 получены в результате интегрирования уравнений движения больших планет с учетом релятивистских членов. Т.е., для согласованности с системой координат DE431, в уравнения движения малого тела также должны быть включены эти члены.

2. При исследовании долговременной эволюции астероидов (3200) в гл. 3 автор не рассмотрел (или не сообщил об этом) возможность его тесных сближений с крупными астероидами. Между тем, для орбит астероидов (3200) и (15) Eunomia MOID=0.0330 а.е., и такой же порядок имеют минимальные расстояния между телами, а соизмеримость средних движений равна 3:1. Это обстоятельство приводит к повторяющимся сближениям астероидов (3200) и (15). Также орбита астероида (3200) имеет значение MOID=0.00020 а.е. и ряд тесных сближений с астероидом (89) Julia. Было бы интересно оценить, как

влияют эти малые возмущения на эволюцию орбиты астероида (3200) на исследуемом интервале в 11 000 лет.

Текст диссертации изложен логично и хорошо дополнен таблицами и рисунками, однако имеется заметное количество опечаток и неточностей, в ряде случаев используется не общепринятая в научной литературе терминология, отсутствуют описания параметров. Список цитируемой литературы в автореферате не соответствует реальному цитированию.

Высказанные замечания не снижают положительной оценки диссертации. Автором диссертации Г. Е. Самбаровым выполнена научная работа, которая представляет собой оригинальное завершенное исследование и вносит заметный вклад в раздел астрономии, изучающий орбитальную эволюцию малых тел Солнечной системы, сближающихся с Землей, в условиях действия ряда возмущающих факторов – тесных повторяющихся сближений с большими планетами, наличия орбитальных и вековых резонансов, быстрой трансформации орбит. Эффективность разработанных в диссертации методов исследования орбитальной эволюции орбит таких тел подтверждена для ряда реальных объектов. Все это делает предложенные и реализованные в настоящей работе методы полезным инструментом для исследования эволюции малых тел Солнечной системы, в том числе, и сближающихся с Землей.

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Учитывая вышесказанное, можно заключить, что диссертация Г.Е. Самбара «Вероятностное моделирование динамики астероидов и метеороидов, движущихся в условиях наложения возмущений различных типов» удовлетворяет критериям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней», а ее автор Самбаров Георгий Евгеньевич заслуживает присуждения ему степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.01 – Астрометрия и небесная механика.

Отзыв подготовлен:

ведущим научным сотрудником

Лаборатории малых тел Солнечной системы ИПА РАН

докт.физ.-мат. наук

Чернетенко Юлией Андреевной

Тел.:+7-921-883-90-48

E-mail: cya@iaaras.ru

Ю. Чн

/ Ю. А. Чернетенко

Подпись Ю. А. Чернетенко заверяю

Зам. директора по научной работе ИПА РАН
к.ф.-м.н.

Н. В. Шуйгин / Н. В. Шуйгина



Отзыв обсужден на заседании семинара Лаборатории малых тел Солнечной системы ИПА РАН 17 февраля 2021 г.