

Отзыв официального оппонента

на диссертационную работу Золотарёва Романа Викторовича на тему «Некоторые особенности динамики ансамблей малых тел, сближающихся с Землёй», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности

1.3.1. «Физика космоса, астрономия»

Данная работа посвящена ряду важных задач изучения динамики малых небесных тел Солнечной системы (МНТ). Актуальность данных исследований несомненна, и диктуется не только их важностью для фундаментальных исследований о происхождении и эволюции Солнечной системы, но и решением практических задач, таких как астероидно-кометная опасность, безопасность космической деятельности в околоземном космическом пространстве, а также возможность получения космических ресурсов. Постоянный рост числа космических аппаратов в космосе, строительство новых техногенно опасных предприятий, рост числа и площадей городских мегаполисов приводит к тому, что угроза со стороны МНТ постоянно возрастает. Эта угроза связана с появлением МНТ в околоземном пространстве и их возможным столкновениям с Землей, Луной и космическими аппаратами. А это, в свою очередь, требует всестороннего изучения динамики МНТ. В диссертации поставлены и решаются следующие задачи:

1. Оценка времени убыли населения астероидов, сближающихся с Землёй (АСЗ);
2. Оценка эффективности сублимационно-пылевой активности астероидов по сравнению со столкновительно-сублимационным механизмом;
3. Определение спектра масс метеороидных потоков;
4. Уточнение распределения МНТ в околоземном космическом пространстве.

Большое количество рассмотренных вопросов в работе и их разнообразие впечатляет. Особо хотелось бы отметить подробные и исчерпывающие обзоры литературы по рассмотренным вопросам, а также несомненная новизна полученных результатов. Впервые получена оценка времени убыли числа АСЗ в зависимости от значений элементов их орбит. Проведено сравнение результатов столкновений МНТ в зависимости от размера и скорости ударников, получены параметры выбросов и оценки количества выбрасываемого вещества.

На основе численного моделирования динамики модельных астероидов получена оценка частоты входов астероидов диаметром более 10 м в околоземное космическое пространство. Получены распределения по направлениям и скорости входа, которые могут быть полезны в дальнейшем при планировании программ поиска потенциально опасных объектов, в частности, при проектировании системы обнаружения дневных астероидов (СОДА).

Однако обилие рассмотренных вопросов привело, по моему мнению, к определенным «шероховатостям» в изложении части вопросов. В частности, в главах 2 и 3, посвященных пылевой активности астероидов и комет, имеются неясные места и неточности. Так, на стр. 52 значение количества астероидов в приведенном диапазоне должно быть на порядок меньше. По результатам оценок, проведенным в работе, число

соударений астероида Адеон с телами, с кинетической энергией превышающей 10^{13} Дж, равно $\sim 10^{-2}$ столкновений в год. Если учесть, что по оценкам работы период наблюдаемых последствий таких столкновений $\Delta t \sim 1$ год, то астероид Церера, имеющий примерно в 10 раз больший диаметр и двигающийся в той же области главного пояса астероидов, что и Адеон, должен постоянно проявлять пылевую активность, что реально не наблюдается. При рассмотрении формирования пылевых потоков кометного происхождения в уравнении, описывающем ускорения, действующие на частицу, оторвавшуюся от поверхности ядра кометы, в работе приведено только два ускорения (формула 11). Хотя их должно быть, по крайней мере, три: ускорение со стороны потока вырывающихся газов и ускорения от силы тяготения ядра и Солнца. Ядра комет небольшие, поэтому практически сразу на частицу будет воздействовать сила притяжения Солнца, в начальный момент небольшая в силу дифференциального характера, но достаточно быстро нарастающая по мере удаления от ядра. Кроме этого, в выражении для газового подталкивания (торможения) используется линейная зависимость разности между скоростями молекулы и частицы, когда обычно используется квадратичная. Для оценки скорости сублимации, вместо хорошо известной зависимости темпа испарения от гелиоцентрической расстояния — функция $g(r)$ (Delsemme A.H. Vaporization theory and non-gravitational forces in comets // In Origin of the Solar System, ed. H.Reeves, Paris: C.E.R.N., 1972, pp.305-310) используется формула (14), учитывающая только баланс энергии на поверхности ядра кометы.

В разделе 3.4 без объяснений приводятся формулы (19) и (20). Правильность первой вызывает сомнения, поэтому в этом месте требуются более подробные разъяснения. Что касается второй, то для нее идет ссылка на главу 2, при этом формулы в приведенном виде во второй главе нет. На основании формул (19), (20) и (21) выводится формула (24), правильность которой так же сомнительна. Дело в том, что при оценке скорости производства метеороидного вещества при столкновениях вычисляется общая площадь сечений всех АСЗ и затем вычисляется скорость производства пыли, что не совсем корректно, поскольку вероятность столкновений с отдельными астероидами в точности неравна вероятности столкновения с суммарной площадью. По моему мнению, необходимо было оценить вероятности столкновений крупных астероидов ($D > 1$ км) с мелкими индивидуально, благо их не так уж много меньше 1000, как это было сделано для астероида Адеон. И затем на основании этих величин оценить скорость притока массы пыли от астероидов. Далее не совсем понятно, как был оценен суммарный скорость потери пылевого вещества из ядер комет. В работе утверждается, что это было сделано в соответствии с табл. II, приведенной в работе (Lisse, C. On the Role of Dust Mass Loss in the Evolution of Comets and Dusty Disk Systems // Earth Moon and Planets. — 2002. — Июнь. — Т. 90, № 1. — С. 497—506), но как это было сделано, не объясняется. Поэтому, по моему мнению, утверждение, что «Полученная оценка для темпа производства пыли и метеороидного вещества в результате столкновений АСЗ оказалась сравнима с соответствующей оценкой темпа производства в результате процессов распада кометных ядер» является спорным и требует дополнительных, более всесторонних исследований.

Кроме этого, имеются опечатки и неудачные выражения. Так на стр. 8 в предложении «Конечно, это лишь малая объектов, существующих на данный момент в

Солнечной системе» - пропущено слово. На стр. 9 написано: «..., а вот АСЗ как фактор опасности (столкновений с Землёй) существовал и будет существовать всегда». 'Всегда' - слишком категоричное утверждение, поскольку со временем число МНТ в Солнечной системе будет уменьшаться. На стр. 25 «астероидов, сближающихся с землёй». На стр. 50 в последней фразе одновременно говорится и о средней зоне главного пояса астероидов и о вероятности столкновения с астероидами всех зон, но приводится только одна величина. На стр. 72 и 74 неудачны выражения: «если комета уходит за линию льдов»; «в виде «хвоста», который затем относительно медленно расплывается».

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Как уже отмечалось, в рассматриваемой работе исследовано много важных вопросов и получен ряд новых результатов, поэтому приведенные замечания не снижают общее благоприятное впечатление о проделанных исследованиях и позволяют мне сделать вывод, что диссертационная работа отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Золотарёв Роман Викторович, несомненно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1. «Физика космоса, астрономия».

Медведев Юрий Дмитриевич, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией Малых тел Солнечной системы Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт прикладной астрономии Российской академии наук, С.-Петербург, наб. Кутузова 10, medvedev@iaaras.ru.

Ю.Д. Медведев

Подпись Ю.Д. Медведева заверяю.

Ученый секретарь ИПА РАН
доктор технических наук

09.09.2024



Л.В. Федотов