



Prof. Dr. habil.
Sergei A. Klioner
Director of Lohrmann Observatory

Telefon: +49(0)351 463-32821
Telefax: +49(0)351 463-37019
E-Mail: Sergei.Klioner@tu-dresden.de

Dresden, 20. Januar 2025

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета Клионера Сергея Альбертовича на диссертацию Титова Владимира Борисовича на тему «Общая задача трех тел в пространстве форм», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по научной специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия.

Диссертация Титова В.Б. посвящена одной из старейших задач классической небесной механики – задаче трех тел. Несмотря на многочисленные результаты в данной области, полученные в последние десятилетия как аналитическими, так и численными методами, задача трех тел остается важной нерешенной задачей небесной механики. В диссертационной работе Титова В.Б. задача рассматривается с несколько неожиданной стороны – в пространстве форм. Это обстоятельство, а также многолетний опыт в области аналитической небесной механики и численных вычислений позволили автору найти целый ряд новых результатов, которые вносят существенный вклад в соответствующую область небесной механики.

Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения и двух приложений, содержит 67 рисунков и 11 таблиц. Библиография содержит 110 наименований. Отдельно приведен

36-06-74 от 21.01.2025

Postadresse (Briefe)
TU Dresden
Lohrmann-Observatorium
01062 Dresden

Besucheradresse
Sekretariat:
August-Bebel-Straße 30
01219 Dresden
Zimmer: 04-34

Steuernummer
(Inland)
203/149/02549

Bankverbindung
Commerzbank AG,
Filiale Dresden

Postadresse (Pakete u.ä.)
TU Dresden,
Lohrmann-Observatorium
Helmholtzstraße 10,
01069 Dresden

 *Zufahrt für
Rollstuhlfahrer*
Haupteingang

Umsatzsteuer-Id-Nr.
(Ausland)
DE 188 369 991

IBAN
DE52 8504 0000 0800 4004 00
BIC COBADEFF850



**DRESDEN
concept**
Exzellenz aus
Wissenschaft
und Kultur

список из 15 публикаций по теме диссертации. Общий объем диссертации – 177 страниц.

Важность задачи и ее связь с некоторыми другими актуальными задачами небесной механики убедительно демонстрируются во введении. Первая глава диссертации содержит определение и детальное обсуждение пространства форм задачи трех тел – пространства, в котором координаты в каждый момент времени (или другой свободной переменной) задают геометрическую форму треугольника, в вершинах которого расположены три тела. Автор приводит формулы преобразования между пространством форм и координатами Якоби в общей плоской задаче трех тел и обсуждает дальнейшие свойства пространства форм, а также их связь с такими аспектами системы трех тел как момент инерции, симметрия масштаба и известные решения Эйлера и Лагранжа. Далее автор выводит уравнения движения системы трех тел в координатах пространства форм в виде соответствующего гамильтониана.

Глава 2 посвящена обсуждению и нахождению периодических орбит задачи трех тел. При этом используется вариационный подход, схожий с тем, который привел в 2000-м году к открытию знаменитого решения «восьмерка» с равными массами. Наряду с публикациями других авторов, в диссертации используется идея нахождения минимизатора функционала действия Гамильтона и ищутся периодические решения в виде полиномов Фурье. Различные симметрии задачи дают определенные ограничения на коэффициенты полиномов Фурье. Автор применяет численные методы решения вариационной задачи и использует при этом современную специализированную компьютерную систему AMPL с алгоритмом LOQO для задач оптимизации сложных систем. После детального обсуждения классической «восьмерки», автор переходит к поиску других решений с симметриями и находит несколько примеров таких решений в соответствии с классификацией симметрий в плоской задаче трех тел, предложенной в литературе. В работе подчеркивается важность прямой (численной) проверки полученных решений, поскольку численные методы нахождения минимизатора не гарантируют правильности решения в случае Лагранжиана задачи трех тел. Автор приводит детальные данные численного интегрирования найденных решений. В частности, численное интегрирование содержит эмпирическую информацию о стабильности найденных решений. Глава заканчивается описанием найденных периодических решений в пространстве форм. Оказывается, что на сфере форм многие из этих решений имеют очень простую форму: топологически эти орбиты представляют собой окружности с центром в особых точках пространства форм (точки двойного соударения и точки эйлеровских решений).

В главе 3 автор напоминает структуру поверхностей Хилла и переходит к рассмотрению двух новых задач: поверхности минимальной скорости в ограниченной осредненной круговой задаче трех тел, а также области возможного движения в общей плоской задаче трех тел. Первая задача использует осреднение движения по быстрым

переменным – углам положения двух массивных тел и дает дополнительную информацию о возможном осредненном движении системы. Далее в главе 3 рассматриваются области возможного движения в общей плоской задаче трех тел в пространстве форм. Области возможного движения обсуждаются на основе их границ – поверхностей нулевых скоростей. При этом рассмотрение в пространстве форм позволяет упростить задачу и дать наглядное представление об искомой поверхности нулевой скорости. Эта поверхность оказывается в некотором смысле аналогична поверхностям Хилла ограниченной круговой задачи трех тел и, в частности, зависит от одного параметра, а именно от постоянной площадей. Пространство форм позволяет визуализировать поверхности нулевой скорости, что показывает существенное преимущество пространства форм в определенных ситуациях.

Главы 4 и 5 содержат обсуждение регуляризованных вырожденных орбит задачи трех тел. Глава 4 посвящена глобальной регуляризации Леметра, которая позволяет одновременно регуляризовать все двойные соударения в задаче трех тел. Регуляризация пространства форм позволяет автору в главе 5 получить новые результаты для вырожденных траекторий в прямолинейных и равнобедренных конфигурациях. Для этих решений получены полностью регуляризованные уравнения движения в пространстве форм, которые можно интегрировать численно и анализировать полученные траектории.

Научная новизна диссертации состоит в проведенных оригинальных теоретических и численных исследованиях задачи трех тел в пространстве форм. Так, в пространстве форм впервые построены поверхности нулевой скорости в общей плоской задаче трех тел. Также впервые изучены периодические орбиты на сфере форм. Достоверность полученных результатов подтверждается использованием надежных теоретических методов, а также точным совпадением с теми результатами, которые представлены в научной литературе. Полученные результаты неоднократно докладывались на отечественных и международных научных конференциях. Результаты изложены в 15 научных статьях, опубликованных в реферируемых российских и зарубежных журналах, которые цитируются базами Scopus, Web of Science и ВАК РФ.

Приведу ряд замечаний к диссертации:

1. Диссертационная работа содержит некоторое количество опечаток, которые ни в коей мере не осложняют чтение (например, на стр. 16 «... любое преобразование, которое переводящее окружность в ...»). Встречаются опечатки и в формулах (например, на стр. 38 в уравнении (2.4) ошибочно приведены значения индекса « $i = 1, \dots, n$ », а в уравнении (2.6) следует, по-видимому, писать g_j , а не g_k).

2. В качестве критики, можно также упомянуть, что автор часто использует особые единицы изменений (например, такие, что ньютоновская гравитационная постоянная обращается в единицу), не упоминая об этом явно. Такая практика не дает возможности использовать размерность величин для проверки сложных алгебраических формул. Автор сам не всегда точно высказывается о размерности величин. Так, на стр. 26 верно указано, что «единица измерения переменной ρ равна квадрату единицы длины, умноженной на единицу массы». Однако, на стр. 105 мы читаем, что « $\rho = \sqrt{\rho}$ » выбрано просто, чтобы размерность этой координаты совпала с длиной».
3. Было бы полезно упомянуть связь полинома в уравнении (1.18) с соответствующим полиномом в классическом выводе эйлеровых решений.
4. Формулы для решения «восьмерка» в начале стр. 43 не соответствуют рисунку 2.2 и не удовлетворяют условиям $u[1,0]=0$ и $u[2,0]=0$. Хотя это не является ошибкой, это несколько затрудняет понимание последней части параграфа 2.1.
5. Левая орбита на рисунке 2.18 наводит на мысль, что можно было бы численно уточнять начальные условия численного интегрирования найденных решений, накладывая условие возвращения решения в начальную точку. Возможна ли и полезна ли такая дополнительная оптимизация? Аналогичные рассуждения автора можно найти на стр. 58.
6. Было бы интересно узнать подробности выбранного метода численного интегрирования решений в разных частях диссертации (главы 2 и 5). Обеспечение надежности численных результатов остается за рамками изложения (хотя, возможно, это подразумевается автором, как само собой разумеющееся). Например, неясно, зависят ли утверждения о периодичности орбит в таблице 2 от точности численного интегрирования.
7. Язык AMPL предоставляет альтернативные алгоритмы для решения задач оптимизации. Были ли попытки их использования или использовался только алгоритм LOQO?
8. Физический или математический смысл толщины колец в параграфе 3.1 остается неясным. Например, что означает тот факт, что толщина кольца Харона при рассмотрении движения Стикса составляет порядка десятка метров?

Все мои замечания носят стилистический и дискуссионный характер и ни в коей мере не умаляют высокого качества представленной работы. Несмотря на указанные замечания, диссертация Титова В.Б. представляется законченным и своевременным исследованием, выполненным на высоком теоретическом уровне. Результаты диссертации найдут применение во всех научных учреждениях и высших учебных

заведениях, занимающихся проблемами движения небесных тел, например, в СПбГУ, МГУ, УрФУ, ИПМ РАН, ИПА РАН, ИКИ РАН, Пулковской обсерватории (ГАО РАН).

Диссертация Титова Владимира Борисовича на тему: «Общая задача трех тел в пространстве форм» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Титов Владимир Борисович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по научной специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не обнаружены.

Член диссертационного совета

Доктор физико-математических наук,
профессор Дрезденского Технического
Университета, директор Лормановской
обсерватории



Клионер Сергей Альбертович

20.01.2025

Technische Universität Dresden
Institut für Planetare Geodäsie
Lohrmann-Observatorium
D - 01062 Dresden