

## **ОТЗЫВ** **официального оппонента**

о диссертационной работе Анны Игоревны ШУВАЛОВОЙ  
“ Аналитические и численные исследования движения пылевых частиц  
в Солнечной системе ”,  
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических  
наук по специальности 01.02.01 - теоретическая механика

Диссертационная работа Шуваловой Анны Игоревны посвящена исследованию динамики пылевых частиц и астероидов: рассматривается возмущенная ограниченная задача трех тел, в частности, одним типом возмущения является наличие еще одного притягивающего тела.

### **Актуальность темы исследования**

В течении более чем 50 лет ведется научная дискуссия о существовании пылевых спутников Земли в треугольных точках либрации L4 и L5 для системы Земля – Луна. Польский астроном К. Кордылевский в 1961 году опубликовал данные наблюдений за светлыми областями ночного неба в окрестности точки L5. Многие астрономы и любители подтверждали и опровергали его наблюдения. Но сам факт наличия скопления космических частиц не получал теоретического обоснования до настоящего времени. Известные факты и исследования показывают, что точки либрации системы Земля-Луна теряют устойчивость, если учитывать возмущение от Солнца. Поэтому существует только лишь предположение, что облака космической пыли движутся по околопериодическим траекториям, и под действием возмущающих сил часть пыли уходит, но на ее место приходят новые частицы.

Наличие скопления частиц в такой близости к Земле имеет немаловажный фактор в планировании космических миссий. В то же время обоснование наличия пылевых облаков Кордылевского с точки зрения небесной механики представляется весьма интересным и актуальным.

## Содержание работы

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы (55 наименований). Общий объем диссертации – 73 страницы. Во введении приведен весьма подробный и содержательный обзор работ по теме диссертации и дано краткое описание ее содержания.

В первой главе рассматриваются две задачи, связанные с реальными возмущающими эффектами в ограниченной задаче трех тел для системы Земля-Луна-Частица.

В первом разделе первой главы Земля и Луна рассматриваются как сжатые относительно экватора тела, при этом их экваториальные плоскости совпадают с плоскостью, в которой движется Частица. Методами аналитической механики исследуется наличие точек либрации.

Во втором разделе первой главы рассматривается задача о движении Частицы в гравитационном поле Земли, Луны и Солнца в окрестности треугольных точек либрации системы Земля-Луна. Показано существование устойчивых периодических решений, охватывающих треугольную точку либрации  $L_4$  для случая плоской бициркулярной задачи. В движение системы Земля-Луна-Солнце добавлены малые параметры, отвечающие за эллиптичность орбит и наклон орбиты системы Земля-Луна относительно плоскости эклиптики. Автор проводит численное моделирование движения Частицы в окрестности периодической траектории при некоторых значениях параметров.

Вторая глава посвящена статистическому обоснованию скоплений частиц и астероидов в окрестности треугольных точек либрации систем и устойчивой периодической траектории для задачи Солнце-Земля-Луна-Частица. Рассматривается теорема Лиувилля, согласно которой функция распределения постоянна вдоль траектории в фазовом пространстве. Численно моделируются траектории с начальными условиями в узлах равномерной сетки в фазовом пространстве назад по времени до момента, где решается задать начальное распределение. Это позволяет получить реальную картину плотностей в

указанной равномерной сетке и сделать картину распределения, усредненную по скоростям, в двумерном пространстве.

В третьей главе рассмотрена задача о движении частицы в гравитационном поле системы Солнце-Земля-Луна с редуцированным действием светового давления. Световое давление задается через понижающий коэффициент перед гравитационным потенциалом Солнца. Методом продолжения по параметру из начальных условий устойчивых периодических решений, описанных ранее, ведется построение измененных периодических траекторий для различных значений понижающего коэффициента.

В заключении приведены результаты диссертации, выносимые на защиту.

### **Основные результаты, полученные в ходе выполнения диссертационной работы**

Исследовано влияние сжатия основных притягивающих тел относительно экватора на сдвиг треугольных точек либрации в круговой ограниченной задаче трех тел, приведено необходимое условие устойчивости треугольных точек либрации.

Численно построены траектории движения частицы в гравитационном поле системы Земля-Луна-Солнце. Движение системы Земля-Луна-Солнце рассмотрено как пространственное, добавлены малые коэффициенты, отвечающие за эллиптичность орбит.

Для системы частиц в плоской бициркулярной ограниченной задаче четырех тел рассмотрена эволюция по времени функции распределения в фазовом пространстве. Получены картины функции распределения в проекции на плоскость координат.

Для тестовой частицы в гравитационном поле системы Солнце-Земля-Луна с редуцированным действием светового давления показано существование периодических траекторий, часть из которых обладает устойчивостью в первом приближении. Построены бифуркационные диаграммы зависимости начальных координат периодического движения от параметра, характеризующего световое давление.

### **Достоверность и новизна полученных результатов**

Достоверность всех полученных результатов определяется использованием строгих методов анализа. Результаты апробированы на научных конференциях и семинарах и получили высокую оценку специалистов.

Результаты опубликованы в журналах, входящих в Перечень ВАК, одна статья в журнале, входящем в базы данных [NASA Astrophysics Data System \(ADS\)](#) и Scopus.

### **Общая оценка диссертационной работы**

Работа выполнена на высоком научном уровне, основные результаты новы, обоснованы аналитическими, качественными и численными методами анализа динамических систем, своевременно опубликованы в двух статьях в журналах из Перечня ВАК и имеют несомненное теоретическое значение. Диссертационная работа выполнена на актуальную тему. Материал диссертации изложен логично и аргументировано. Автореферат диссертационной работы и публикации автора полностью отражают содержание диссертации и соответствуют требованиям ВАК.

### **Замечание по диссертационной работе**

В работе можно сделать несколько замечаний.

- 1) В разделе 1.2.2 (стр. 31) выписано утверждение «среднеквадратичное отклонение ... имеет порядок  $10^{-2}$ » без пояснения, как сделано вычисление.
- 2) В разделе 3.3 выписаны условия устойчивости и указано, что исследовалась устойчивость периодических решений. При этом на рисунках 3.3-3.6 области устойчивости не отмечены.
- 3) В тексте третьей главы отсутствуют ссылки на рис.3.2 и рис.3.7.

Описанные замечания не снижают общей положительной оценки работы.

### **Заключение**

Считаю, что работа “ Аналитические и численные исследования движения пылевых частиц в Солнечной системе ” удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор - Шувалова Анна Игоревна безусловно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – теоретическая механика.

25.05.2016

Заведующий кафедрой теоретической механики  
МФТИ, доктор физико-математических наук,  
профессор

Александр Павлович Иванов

Почтовый адрес: 141700, Московская область,  
г. Долгопрудный, Институтский пер., 9  
Телефон: 8 (495) 408-45-54  
Email: [apivanov@orc.ru](mailto:apivanov@orc.ru)