

## РЕЦЕНЗИЯ

на диссертационную работу Шомшековой Сауле Ахметбековны «Исследование динамической эволюции нестационарных экзопланетных систем», представленную на соискание степени доктора философии (Ph.D.) по специальности «6D060300 Механика»

### **1. Актуальность темы исследования в рамках требований «Правил присуждения ученых степеней»**

Тема диссертационной работы нацелена на решение одной из важных задач современной динамической астрономии - исследованию динамической эволюции нестационарных экзопланетных систем в небесно-механическом аспекте. Актуальной проблемой современной астрофизики, а также, теоретической и небесной механики, является отсутствие объяснения, наблюдаемые увеличение значения эксцентриситетов и наклонов в экзопланетных системах. Поэтому исследование системы из трех взаимогравитирующих сферических небесных тел, с учетом анизотропного изменения массы, приводящее к появлению реактивных сил, является весьма актуальной задачей.

Диссертационная работа выполнялась в соответствии с планами фундаментальных научно-исследовательских работ КН МОН РК.

### **2. Научные результаты и их обоснованность**

Автором диссертации проведен анализ современного состояния исследований динамической эволюции нестационарных экзопланетных систем и показано, что исследование системы из трех взаимогравитирующих сферических небесных тел, с учетом анизотропного изменения массы, которое приводит к появлению реактивных сил, может выявить эффекты влияния переменности масс на орбитальные элементы планеты.

Проведен анализ данных каталогов по наблюдениям для выбора экзопланетной системы с определенными физическими и динамическими параметрами. Определены условия, которым должны соответствовать системы для исследования динамической эволюции. Это характерные для нестационарных экзопланетных систем вытянутые и изменчивые орбиты, где происходит существенный по массе выброс вещества звезды, то есть темп потери массы порядка  $10^{-6}M_{\odot}/\text{год}$ . Определены системы, у которых уже обнаружены 2 планеты и вычислены все необходимые орбитальные параметры.

Получены уравнения движения для рассматриваемой задачи в относительной системе координат с началом в центре родительской звезды, более удобные для использования теории возмущений на базе апериодического движения по квазиконическому сечению. Проблема трех тел является неинтегрируемой даже при постоянных массах и для ее исследования обычно применяют теорию возмущений, используя в качестве нулевого приближения точное решение задачи двух тел.



Разработан алгоритм аналитического разложения возмущающей функции в степенной ряд с точностью до любого порядка относительно малых параметров для двухпланетной задачи трех тел с использованием методов компьютерной алгебры и современной системы символьных вычислений Mathematica.

Получены общие уравнения разложения в ряд возмущающих функций в двухпланетной задаче трех тел с массами, изменяющимися анизотропно в различных темпах, на базе аperiodического движения по квазиконическому сечению и сами разложения возмущающей функции в степенной ряд по малым эксцентриситетам и наклонениям в оскулирующих элементах в аналогах переменных Пуанкаре и в аналогах элементов Кеплера.

Получены результаты численных расчетов аналогов орбитальных параметров планет экзопланетной системы Глизе GJ180: GJ 180 b, GJ 180 c по эволюционным уравнениям в аналогах второй системы переменных Пуанкаре и по эволюционным уравнениям в форме Лагранжа на интервале времени 5000 земных лет (100 000 орбитальных годах внутренней планеты). Расчеты выполнены для случая постоянной массы системы, при изотропном изменении массы и анизотропном изменении массы, когда центральная звезда и планеты меняют массу в различных темпах и реактивные силы не равны нулю. Результаты представлены в графическом виде.

Проведен анализ поведения аналогов орбитальных параметров. Показано, что аналоги наклонения и долготы восходящего узла практически не меняются, когда реактивные силы действуют в плоскости орбит. При изменении скорости вылетания частиц перпендикулярно плоскости орбит можно наблюдать изменение, и это естественно, так как орбита поднимается и аналог долготы восходящего узла меняется аналогичным образом.

### **3. Степень обоснованности и достоверности каждого научного результата (научного положения), выводов и заключения соискателя, сформулированных в диссертации**

Научные положения, выводы и заключения диссертационной работы корректны и научно обоснованы. Расчетные уравнения получены с использованием основных положений небесной механики.

Исходными для использования теории возмущений являются уравнения движения в относительной системе координат с началом в центре «родительской» звезды.

Уравнения движения исследуются методами теории возмущений, разработанными для нестационарных систем. Используются методы теории возмущений на базе аperiodического движения по квазиконическому сечению.

Для анализа динамики эволюции нестационарных экзопланетных систем используются современные методы компьютерной алгебры и численные методы, а для их реализации использована система Mathematica.

Достоверность результатов обосновывается строгими математическими



выводами, наглядно демонстрируется представленными графическими отображениями результатов численных расчетов системы Mathematica, и публикациями в статьях, входящих в Базу данных Thomson Reuters и Scopus, в изданиях, рекомендованных ККСОН МОН РК. На международных конференциях представлены и опубликованы 5 работ. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 10 научных статьях.

#### **4. Степень новизны каждого научного результата (положения), выводов и заключения соискателя, сформулированных в диссертации**

Диссертационная работа содержит новые научно-обоснованные результаты:

1) Шомшекова С.А. построила алгоритм аналитического разложения аналитического вычисления возмущающей функции в виде разложения в степенной ряд по малым параметрам с требуемой точностью для двухпланетной задачи трех тел с массами, изменяющимися анизотропно в различных темпах, с использованием аналогов переменных Пуанкаре и аналогов элементов Кеплера.

2) На основе этой модели проведены исследования эволюционных уравнений в аналогах переменных Пуанкаре и аналогах Кеплеровских элементов.

3) Показано, что аналогии наклона и долготы восходящего узла практически не меняются, когда реактивные силы действуют в плоскости орбит. При изменении скорости вылетания частиц перпендикулярно плоскости орбиты наблюдаются видимые изменения, которые связаны с поднятием орбиты и с аналогичным изменением аналога долготы восходящего узла.

#### **5. Практическая и теоретическая значимость научных результатов**

Разработанный алгоритм позволяет произвести вычисления возмущающей функции в виде разложения в степенной ряд по малым эксцентриситетам для двухпланетной задачи трех тел с массами, изменяющимися анизотропно в различных темпах, и с использованием аналогов переменных Пуанкаре и аналогов элементов Кеплера с любой необходимой точностью.

Проведенные исследования показали, что одним из механизмов, которым можно объяснить большие значения эксцентриситетов и наклонов в экзопланетных системах, может являться анизотропное изменение масс центральной звезды и аккреция вещества на планеты, которые влияют на динамическую эволюцию системы.

Результаты имеют принципиальное значение в изучении эволюции звездных систем с переменными массами. Временные изменения масс существенно влияют на орбитальные движения, что, естественно, оказывает влияние и на динамическую эволюцию вращательных движений небесных тел.



## **6. Замечания по диссертационной работе**

При изучении диссертационной работы были выявлены следующие замечания:

1. На странице 17 текста диссертационной работы в предложении «...Очевидно, что Солнце и по классу звезды (Рисунок 3.1), и по массе (Рисунок 4.1) попадает в самую многочисленную группу по статистике открытых экзопланет....» указана неверная ссылка на рисунки. По всей видимости, здесь опечатка и судя по описанию, должна быть ссылка на рисунки 1.3 и 1.4.

2. На странице 18 на рисунке 1.4 представлено распределение орбитальных периодов экзопланет в зависимости от массы в единицах массы Юпитера. Здесь автор выделяет 3 группы и приводит описание. В тексте говорится о периоде группы, по всей видимости, имеется в виду среднее значение периода объектов данной группы. Наверное требуется уточнение данного применяемого термина. Также было бы более понятно, если помеченные разными цветами группы были оговорены в тексте с указанием их цветного обозначения на рисунке. Приведенное пояснение «слева внизу» не совсем корректно, так как по данной координате мы видим две группы, наложенные друг на друга (скопления желтых и черных точек).

3. Обозначения на осях рисунков в тексте диссертационной работы (рис. 1.1, 1.3-1.7, 2.3, рисунки 3 и 5 глав) имеют мелкий шрифт и нечеткое изображение, что затрудняет визуальный анализ представленного изображения.

4. В Заключение диссертационной работы в п.7 приведено: «...Результаты численных расчетов эволюции параметров орбит в двухпланетной системе в случае постоянной и изотропно переменной массы совпадают с результатами других авторов...». Результаты численных экспериментов приведены в главах 3 и 5, однако там не оговаривается данный вывод и не приведены ссылки на работы, в которых получены аналогичные результаты других авторов. Поэтому не ясно, на чем основывается данный пункт в Заключении.

5. В тексте диссертационной работы присутствуют стилистические ошибки, которые не меняют смысл предложения и легко устранимы.

Приведенные замечания не снижают научный уровень и практическую ценность рецензируемой диссертации.

## **7. Соответствие содержания диссертации в рамках требований Правил присуждения ученых степеней**

Диссертация написана грамотным языком, характерным для научных работ данного направления. Опубликованные статьи в полной мере отражают содержание диссертации. Актуальность темы, степень обоснованности выводов и научных положений работы, достоверность и новизна результатов позволяют заключить, что диссертационная работа Шомшековой Сауле Ахметбековны «Исследование динамической эволюции нестационарных экзопланетных систем» является завершённой



научно-квалификационной работой.

Диссертационная работа отвечает требованиям Правил присуждения ученых степеней, а ее автор, Шомшекова С.А, заслуживает присуждения степени доктора философии (Ph.D.) по специальности 6D060300 – Механика.

Рецензент, к.ф.-м. наук,  
старший преподаватель  
КазНУ им.аль-Фараби

Н.Ш. Алимгазинова

**РАСТАЙМЫН**  
өл-Фараби атындағы ҚазҰУ Ғылыми кадрлар  
даярлау және аттестаттау басқармасының басшысы  
**ЗАВЕРЯЮ**  
Начальник управления подготовки и аттестации  
научных кадров КазНУ им. аль-Фараби  
Р.Е. Кудайбертенова

« \_\_\_\_\_ » 20 \_\_\_\_\_ ж.л.

