

САМАРСКАЯ ОБЛАСТНАЯ
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ШКОЛА

**ПРОСТЕЙШАЯ МОДЕЛЬ ЭВОЛЮЦИИ СИСТЕМЫ ДВУХ
ГРАВИТИРУЮЩИХ ТЕЛ. ОЦЕНКА ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ
ЭКЗОПЛАНЕТЫ WASP-18b**

(научно-исследовательская работа)

Выполнила:

Альмагамбетова Айслу,
10 класс СОФМШ

Научный руководитель:

Филиппов Юрий Петрович,
к.ф.-м.н., старший препода-
ватель кафедры общей и
теоретической физики
Самарского государствен-
ного университета

Самара, 2011 г.

Оглавление

Введение	3
1 Природа экзопланет. Современный статус исследований	7
1.1 Общие представления об экзопланетах. История их исследований	7
1.2 Методы изучения экзопланет	16
1.3 Средства изучения экзопланет	22
2 Модель эволюции системы двух гравитирующих тел	31
2.1 Расчет основных характеристик звезды WASP-18	31
2.2 Расчет основных параметров движения WASP-18b	33
2.3 Модель эволюции системы двух гравитирующих тел	36
2.3.1 Формулировка модели	36
2.3.2 Расчет потенциала приливной силы	37
2.3.3 Энергетический подход к выводу уравнений эволюции физической системы	40
2.4 Редукция и обезразмеривание системы уравнений	43
2.5 Оценка параметра $\delta\varphi$	46
2.6 Численные результаты и анализ	47
Заключение	49
Литература	51
Приложения	53
Приложение А. Некоторые статистические данные по экзопланетам .	53
Приложение В. Избранные вопросы небесной механики и теории при- ливных сил	57

Введение

Актуальность работы. Еще на заре цивилизации среди множества звезд на небе люди выделили группу примечательных объектов, получивших громкое название «планеты», что буквально означает «блуждающие светила» [1]. В те далекие времена каждую планету было принято отождествлять с одним из богов национального пантеона (например, кроваво-красная планета у вавилонян носила название бога смерти Нергала, у греков и римлян – бога войны – Ареса и Марса соответственно). Кстати, к числу планет в древности причисляли также Луну и Солнце. Они ведь тоже «блуждали» вокруг неподвижного центра Вселенной – Земли, в отличие от остальных звезд, «намертво прибитых» к «хрустальному небосводу».

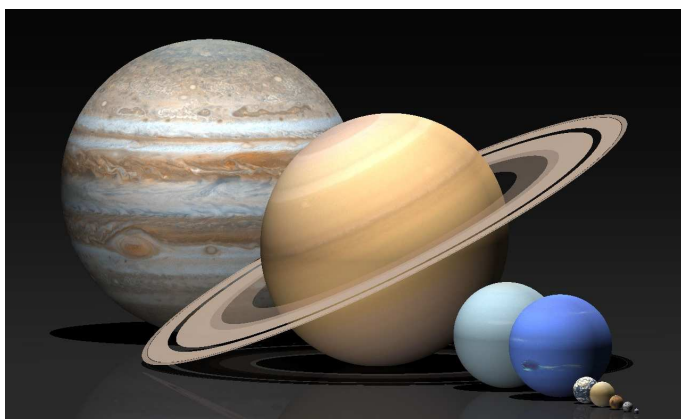


Рис. 1. Классические планеты Солнечной системы и Плутон.

геоцентрическая система мира в качестве истины просуществовала весьма долго, почти девятнадцать веков. Первым кто смело бросил вызов этой системе мира стал Николай Коперник. Он предложил принципиально иную структуру мира – *гелиоцентрическую систему мира*, которая позволила дать простое объяснение наблюдаемым явлениям и разрешить необъяснимые трудности в теории движения планет. Что самое интересное – эта идея была выдвинута за полстолетия до изобретения первого телескопа – основного инструмента астронома!

В 1609 году Галилео Галилей впервые применил телескоп для научных исследований и убедился в том, что планеты есть огромные тела, похожие на

В древности предполагали следующий порядок удаления 7 указанных планет от Земли: Луна, Меркурий, Венера, Солнце, Марс, Юпитер и Сатурн, что уже есть немалые знания для науки древних времен. Построенная хитроумными эллинами модель мироздания для своего времени объясняла почти все наблюдаемые феномены, особенно с эпициклами Клавдия Птолемея. Поэтому *гео-*

Землю, а не какие-то блуждающие огоньки или плоские блестящие диски, задача которых сводилась к украшению ночного небосвода. Именно Г. Галилей первым из людей разглядел горы на Луне, фазы Венеры, Юпитер со своей свитой из 4 спутников. Последняя система тел напоминала Солнечную систему в миниатюре и служила еще одним веским доказательством в пользу теории Коперника.

Людам средневековья, сознание которых было "пропитано" религиозными и мифическими воззрениями, было трудно поверить и тем более осознать все "чудеса" телескопических открытий. Шло время, и религиозные взгляды планомерно и необратимо уступали место научным фактам и знаниям.

В 1781 году Вильям Гершель, с использованием самого мощного телескопа того времени, созданного им, открывает седьмую планету – Уран. Это открытие сильно подорвало религиозные учения того времени (ведь ни в одном из них не было четкого предсказания о существовании еще одного блуждающего светила в Солнечной системе) и укрепила поисковый дух ученых, вселило в них энтузиазм на поиск новых планет.

Спустя шестьдесят пять лет усилия ученых оправдались. В 1846 году Й. Галле обнаружил Нептун – восьмую планету Солнечной системы в той части небосвода, куда указали теоретические расчеты В. Леверье и Дж. Адамса, выполненные с использованием аппарата небесной механики и данных наблюдений возмущений орбиты Урана. Это по истине триумфальная победа небесной механики имела большое значение для всего естествознания и показала огромную предсказательную силу научных знаний в отношении далеких миров.

Подобным образом в 1930 году К. Томбо открыл Плутон, изначально считавшийся девятой планетой, но в 2006 году переименованный в карликовую планету. К карликовым планетам отнесли также и другие довольно крупные объекты пояса Койпера, например, Кварвар, Эриду, а также объект внутренней части облака Оорта – Седну [2].

Конец XX – начало XXI столетия ознаменовались бурным развитием астрономии и большим шагом вперед в экспериментальных методах исследования других небесных тел Солнечной системы. Мощные телескопы, пролетные модули космических аппаратов и лэндеры раскрыли перед человечеством новые подробности из «жизни» планет, их спутников и ряда других тел Солнечной системы. Множество удивительных открытий ждало и еще ждет в будущем человека, исследующего «родную» планетную семью.

Еще со времен Коперника учеными было осознана возможность существования других планетарных систем, подобных Солнечной, в которых могут существовать планеты земного типа с жизнью, возможно, даже разумной. В частности, такой идеи придерживался и известный русский ученый – М.В.

Ломоносов [3].

В конце 80-ых годов XX столетия открылись принципиально новые возможности в изучении движения ближайших к Солнцу звезд, в частности, была радикальным способом усовершенствована методика определения скорости движения звезд (основанная на эффекте Доплера) в пространстве, где погрешность определения пространственной скорости достигла $\Delta V = 10 \div 15$ м/с. Это позволило фиксировать возмущения в движении звезд, вызванные небесными телами, масса которых меньше $0.08 \cdot M_{\odot}$ (M_{\odot} – масса Солнца), т.е. телами не являющимися звездами (коричневые карлики, горячие юпитеры). Впервые внесолнечная планета была найдена канадцами Б. Кэмпбеллом, Г. Уолкером и С. Янгом в 1988 году у оранжевого субгиганта Гамма Цефея А, однако ее существование было долгое время под большим вопросом и требовались дополнительные исследования. И лишь в 2002 году этот вопрос нашел положительное решение. За последние два десятка лет было предложено 5 альтернативных методов поиска *экзопланет* – планет, не принадлежащих Солнечной системе. На конец 2010 года было известно 519 экзопланет в 435 планетных системах. В настоящее время поиск и изучение природы экзопланет – одно из приоритетных направлений в современной астрофизике.

В августе 2009 года в журнале Nature в статье [4] было объявлено об открытии уникальной экзопланеты WASP-18b у звезды WASP-18 (в южном созвездии - Феникс), профессором астрофизики Кильского университета (Keele University) Коэлом Хеллиером (Coel Hellier). Уникальность этой планеты в том, что она обладает массой $(10 \div 13) \cdot M_J$ (M_J – масса Юпитера), вращается вокруг звезды, похожей на Солнце (спектральный класс F9) по круговой орбите с радиусом $r = 0.02026 \pm 0.00068$ а.е. ($\approx 3 \cdot 10^6$ км) и периодом обращения $T = 0.941$ суток. WASP-18b находится необыкновенно близко к своей звезде. Это вызывает приливные явления на самой звезде, в частности, приливное трение звездного вещества. Последнее в свою очередь приводит к неминуемой потере механической энергии экзопланеты и плавному падению по спирали на центральное тело. Хеллиер и его коллеги с использованием первичных данных наблюдений оценили время жизни WASP-18b – оно составляет менее 630 тысяч лет (после чего экзопланета столкнется со звездой).

Примером подобной близости космических тел является Марс и его спутник Фобос. Проведенный обзор литературы показал, что время жизни Фобоса в зависимости от предложенной модели варьируется в широких пределах от 7.6 до 10^2 миллионов лет. В отношении WASP-18b сегодня активно уточняются значения основных параметров планеты, определяющих ее динамику. Следовательно, является весьма разумным пересчитать значения времени жизни данной экзопланеты, как с учетом уточненных данных [5], так и с учетом эффекта разрушения небесного тела в полости Роша.

В связи со сказанным, главной целью настоящей работы является построение простейшей модели гравитационного взаимодействия двух небесных тел с учетом приливных сил, а также оценка времени жизни и времени падения экзопланеты WASP-18b на центральное тело.

Согласно сформулированной цели, основными задачами настоящей работы являются следующие положения:

1. Расчет основных параметров, характеризующих звезду WASP-18.
2. Расчет основных кинематических и динамических параметров экзопланеты WASP-18b (на данный момент).
3. Построение модели эволюции системы двух гравитирующих тел (однородный шар-материальная точка). Вывод основных уравнений эволюции системы. Редукция и обезразмеривание полученной системы.
4. Расчет потенциала приливной силы, действующей на слабо сплюснутый однородный эллипсоид вращения.
5. Численный анализ полученных зависимостей и расчет времени жизни экзопланеты WASP-18b.

Основными методами решения поставленных задач являются:

1. Методы небесной механики.
2. Методы интегро-дифференциального исчисления.

Данная работа имеет следующую структуру.

Первая глава посвящена современным физическим представлениям об экзопланетах, методах и средствах их исследования.

Во **второй главе** подробно представлены решения поставленных теоретических задач и их анализ.

Резюме по проделанной работе представлено в **заключении**. Финальная часть работы содержит список использованных источников и приложения.

Глава 1

Природа экзопланет. Современный статус исследований

В настоящей главе будут подробно изложены современные представления об экзопланетах и методах их исследований. Отдельное внимание будет уделено приливным силам.

1.1 Общие представления об экзопланетах. История их исследований

Общие представления. *Экзопланета* или *внесолнечная планета* (extra solar planet) – планета, обращающаяся вокруг звезды, отличной от Солнца, т.е. находящаяся за пределами Солнечной системы (греческая приставка "экзо" означает "вне", "снаружи").



Рис. 2. Планетная система у звезды HD70642 глазами художника-фантаста (David A. Hardy's).

К середине 2001 года планетные системы были открыты у 58 близких к Солнцу звезд и двух радиопульсаров, причем в некоторых случаях обнаружены системы из нескольких планет (см. рис. 2).