

САМАРСКАЯ ОБЛАСТНАЯ
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ШКОЛА

**ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НОВЫХ «КЛАССИЧЕСКИХ»
КОЛЕЦ САТУРНА И РЕИ**

(научно-исследовательская работа)

Выполнила:

Анна Чернова,
11 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 Современные представления о Сатурне и его спутниках	7
1.1 Система Сатурн	7
1.2 Современные представления о спутнике Рея	17
1.3 Открытие новых «классических» колец Сатурна	22
2 Количественный анализ искомых величин	26
2.1 Определение радиусов колец Реи по данным наблюдений	26
2.2 Определение кинематических параметров малых тел колец Сатурна и Реи	27
2.3 Оценка масс пылевых частиц кольца и спутников Реи	29
2.4 Определение радиуса сферы Роша для Сатурна и Реи	31
2.5 Расчет радиусов гравитационных сфер Сатурна и Реи	33
2.5.1 Радиус сферы тяготения	33
2.5.2 Радиус сферы действия	35
2.5.3 Радиус сферы Хилла	37
2.5.4 Радиус сферы влияния	39
2.6 Расчет средней массовой плотности Сатурна с учетом эффекта сжатия	42
Заключение	45
Список использованных источников	47

Введение

Актуальность работы. Сатурн, пожалуй, самый красивый и романтичный объект ближнего космоса. У многих художников-фантастов он является излюбленным объектом для демонстрации космического пейзажа, воплощением символа космоса и Солнечной системы [1]. Причиной тому являются его удивительные кольца, которые нельзя спутать ни с какими другими объектами Солнечной системы (см. рис. 1).



Рис. 1. Сатурн и его кольца.

С Земли в телескоп хорошо видны три кольца: внешнее, средней яркости кольцо А; среднее, наиболее яркое кольцо В и внутреннее, неяркое полупрозрачное кольцо С, которое иногда называется креповым [2]. Кольца чуть белее желтоватого диска Сатурна. Расположены они в плоскости экватора планеты и очень тонки: при общей ширине в радиальном направлении примерно 60 тыс. км они имеют толщину менее километра. С использованием метода спектрального анализа было установлено, что кольца вращаются не так, как твердое тело, — с расстоянием от Сатурна скорость убывает. Более того, каждая точка колец имеет такую скорость, какую имел бы на этом расстоянии спутник, свободно движущийся вокруг Сатурна по круговой орбите. Отсюда ясно: кольца Сатурна по существу представляют собой колоссальное скопление мелких твердых частиц, самостоятельно обращающихся вокруг планеты. Размеры частиц столь малы, что их не видно не только в земные телескопы, но и с борта космических аппаратов.

Характерная особенность колец — наличие темных кольцевых промежутков (делений), где вещества очень мало. Самое широкое из них (3500 км) отделяет кольцо В от кольца А и называется «делением Кассини» в честь астронома, впервые увидевшего его в 1675 году. При исключительно хороших атмосферных условиях таких делений с Земли видно свыше десяти. Природа их, по-видимому, резонансная. Так, деление Кассини — это область орбит, в которой период обращения каждой частицы вокруг Сатурна ровно вдвое меньше, чем у ближайшего крупного спутника Сатурна — Мимаса. Из-за такого совпадения Мимас своим притяжением как бы раскачивает частицы, движущиеся внутри деления, и в конце концов выбрасывает их оттуда. Бортовые камеры космических аппаратов «Вояджер-1», «Вояджер-2», пролетевших мимо Сатурна показали, что с близкого расстояния кольца Сатурна похожи на граммофонную пластинку: они как бы расслоены на тысячи отдельных узких колечек с темными прогалинами между ними. Прогалин так много, что объяснить их резонансами с периодами обращения спутников Сатурна уже невозможно. Чем же объясняется эта тонкая структура? Вероятно, равномерное распределение частиц по плоскости колец механически неустойчиво. Вследствие этого возникают круговые волны плотности — это и есть наблюдаемая тонкая структура.

Важно отметить, что подобные кольцевые системы были открыты у всех остальных планет-гигантов: Юпитера, Урана, Нептуна. Однако, здесь кольца много более разрежены и очень трудно поддаются наблюдениям с Земли.

В 2004 году с помощью космического аппарата «Кассини» были обнаружены два спутника Паллен и Метон, а в 2007 году еще один — Анта. Все три тела представляют собой малые тела неправильной формы, размеры которых не превосходят несколько километров. Примечательной особенностью данных объектов является наличие пылевых колец или их составляющих (арок), которые находятся на орбитах спутников (вокруг Сатурна) и созданы, по-видимому, самими спутниками, в результате выброса вещества. Данные арки и кольцо являются трудно доступными для наблюдений объектами и, потому им уделяется мало внимания в литературе. Кинематические и статистические характеристики частиц этих пылевых колец в литературе, предназначенной для широкого круга читателей не представлены вовсе.

Если в отношении планет-гигантов факт о существовании колец является самым собой разумеющимся, то известие, появившееся в журнале Science 7.03.2008 о существовании колец у второго по массе и размерам спутника Сатурна — Реи стало настоящей сенсацией [3]. Это заключение стало результатом детального анализа данных четырех лет наблюдений системы «Сатурн» аппаратом «Кассини». Ученые даже не могли представить, что до наших дней могла сохраниться такая кольцевая система, вращающаяся вокруг одной из

лун.

Еще при первом приближении к Рее прибор «Кассини» The Magnetospheric Imaging Instrument (MIMI) показал необычное снижение потока регистрируемых электронов. Спад регистрировался уже на расстоянии около 6 000 км от Реи, сопоставимым с размером сферы Хилла для Реи. Несомненно, что нечто гравитационно связанное с Реей, взаимодействует с потоком электронов вокруг Сатурна. Это было интерпретировано, как пылевой диск.

Кольца были обнаружены во время пролета аппарата «Кассини» вблизи Реи в ноябре 2005 года, когда исследовалось пространство вокруг спутника. Однако приборы аппарата не получали непосредственно картинку диска и колец. Анализ данных MIMI выявил интригующую деталь. Кроме очень четко прослеживаемой широкой абсорбции электронов (снижение регистрируемого потока электронов на 70%), наблюдалось шесть узких провалов в регистрируемом потоке. Эти провалы расположены очень симметрично относительно спутника: на расстоянии 1991, 1784, и 1615 км до сближения, и на расстоянии 2,077, 1,841, и 1,615 км после сближения. Единственное возможное объяснение этой практически полной симметрии — что диск содержит три локальные концентрации, блокирующие поток электронов. Другими словами, диск Реи, по-видимому, содержит три кольца. Кольца Урана были найдены подобным образом в 1977 году, по мерцанию света от звезды при прохождении вблизи колец планеты.

Если Рея имеет кольца, почему мы не можем наблюдать их непосредственно? Ученые объясняют это тем, что кольца, если они есть, трудно обнаружимы, т.к. весьма разрежены, или материал, из которого они состоят, отражает свет не так эффективно, как пылевые кольца Сатурна. В противном случае, встреча космического аппарата с кольцами привела бы к печальным последствиям: ведь даже соударение с частицей в несколько сантиметров привела бы к досрочному прекращению миссии.

Небольшой размер кольцевой системы дает основания предполагать, что «Кассини» вряд ли обнаружит кольца, даже если они и есть. Наибольшее сближение аппарата с Реей ожидается 2 марта 2010 года, причем сближение произойдет в районе полярной области, приблизительно на широте 81° , что практически исключает обнаружение разреженного вещества в экваториальной области.

Сегодня факт о существовании колец у Реи является крайне актуальным и дискуссионным, поскольку, не все специалисты согласны с этим мнением. Очевидно, что данный феномен необходимо исследовать всесторонне: как теоретически, так и экспериментально.

В связи со сказанным главной целью настоящей работы является исследование основных кинематических и динамических свойств пылевых частиц

колец Реи и Сатурна, порожденных Антой, Метоном и Палленом, определение положения колец и спутников по отношению к основным гравитационным сферам и полости Роша.

Согласно сформулированной цели основными задачами являются следующие положения:

1. . Определение радиусов круговых колец Реи. Расчет периода обращения, угловой, линейной орбитальной скорости, центростремительного ускорения частиц колец Реи и новых колец Сатурна.
2. Оценка минимальной и максимально возможной массы частиц колец Реи с использованием имеющихся экспериментальных ограничений и теоретических результатов предшественников.
3. Расчет радиуса сферы Роша для Реи и Сатурна, выявление возможности гравитационной конденсации в кольцах этих тел.
4. Расчет радиусов основных гравитационных сфер Реи и Сатурна. Построение 2D-карт расположения гравитационных сфер, полости Роша, колец Реи и Сатурна в масштабе.
5. Определение коэффициента сжатия Сатурна и оценка его средней массовой плотности

Основными методами решения поставленных задач являются:

1. Методы решения полиномиальных уравнений.
2. Основные уравнения динамики материальной точки.
3. Элементы геометрии Евклида.

Данная работа имеет следующую структуру.

В **первой главе** представлены современные физические представления о системе «Сатурн».

Во **второй главе** представлены решения поставленных задач.

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

Глава 1

Современные представления о Сатурне и его спутниках

В настоящей главе будут подробно изложены современные физические представления о системе Сатурн. Особое внимание будет уделено природе второго по размерам спутника Сатурна — Рее. Здесь также рассмотрены основные законы механики, которые играют определяющую роль в расчетах искомых величин.

1.1 Система Сатурн

Под *системой Сатурн* принято традиционно понимать саму планету с кольцами, ее систему спутников и занимаемое ими часть пространства.



Рис. 2. Полноцветный вид Сатурна и его колец.

Планета Сатурн — шестая планета от Солнца (находится на среднем расстоянии 1433 млн. км (9.58 а. е.) от Солнца) и вторая по размерам планета в Солнечной системе после Юпитера (см. рис. 2). Сатурн вместе с Юпитером, Ураном и Нептуном образуют класс газовых гигантов и одновременно их относят к типу классических планет Солнечной системы. Сатурн назван в честь

римского бога Сатурна, аналога греческого Кроноса (Титана, отца Зевса) и вавилонского Нинурты.

Внешний вид. Планета известна человеку с самых древних времен. При наблюдениях планеты невооруженным глазом она выглядит как мутно-желто-