

Кафедра общей и теоретической физики

А. Чернова¹

Определение отдельных свойств колец и спутников Реи

(научно-исследовательская работа)

Аннотация

В настоящей работе решена задача об определении радиусов колец Реи (А,В,С) по данным эксперимента. Для частиц-спутников, образующих данные кольца вычислены такие характеристики как период обращения, угловая и линейная орбитальная скорость, центростремительное ускорение. Выполнена оценка минимальной и максимальной массы тел колец Реи. Получено аналитическое выражение для радиуса сферы Роша в случае твердотельного спутника. Выполнен численный расчет данного радиуса и показано, что все три кольца Реи лежат вне сферы Роша. Представлены определения и подробные выводы для четырех гравитационных сфер, используемых в небесной механике и космонавтике. Показано, что все кольца Реи лежат вне сферы тяготения, но внутри сфер действия, Хилла и влияния Реи. Опираясь на полученные численные результаты, построена 2D-карта гравитационных сфер и сферы Роша для Реи, с указанием расположения колец Реи. Данная карта позволяет наглядно представить в масштабе картину расположения колец по отношению к основным областям окрестностей Реи.

Комментарии: работа выполнена под научным руководством старшего преподавателя кафедры общей и теоретической физики СамГУ, к.ф.-м.н., Филиппова Ю.П.² и отмечена дипломом победителя третьей степени в секции "Астрономия" Самарской областной научно-практической конференции школьников в 2010 г.



Работа выставлена на **ASTRODROME**: 4.04.2010

¹E-mail:

²E-mail:yuphil@ssu.samara.ru

Оглавление

Введение	3
1 Современные представления о Сатурне и его спутнике Рея	7
1.1 Система Сатурн	7
1.2 Современные представления о спутнике Рея	17
2 Количественный анализ искомых величин	23
2.1 Определение радиусов колец по данным наблюдений	23
2.2 Определение кинематических параметров малых тел колец	24
2.3 Оценка масс пылевых частиц кольца и спутников Рея	26
2.4 Определение радиуса сферы Роша для Рея	27
2.5 Расчет радиусов гравитационных сфер Рея	29
Заключение	35
Список использованных источников	39

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).

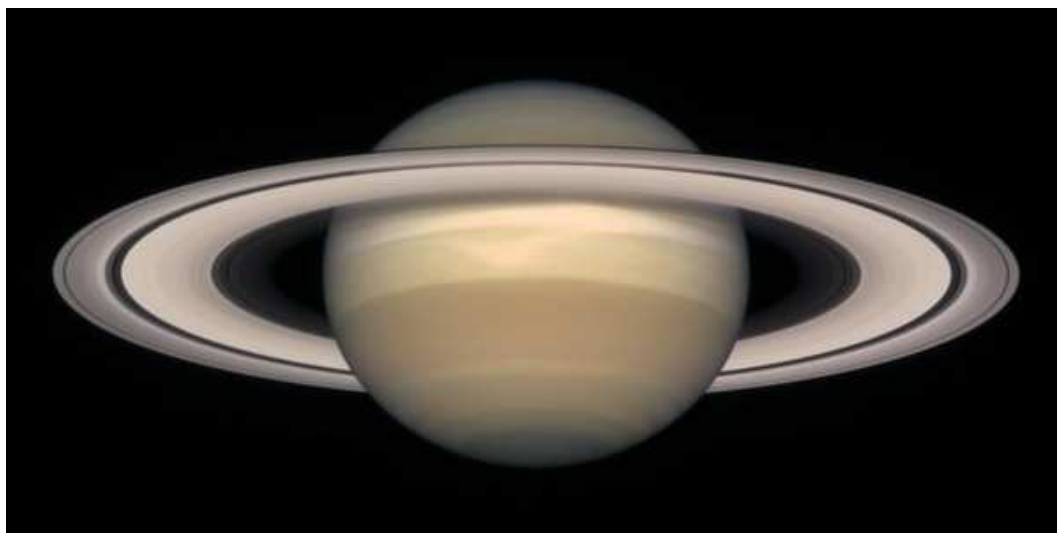


Рис. 1. Сатурн и его кольца.

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 грамофонную 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 разряжены и очень трудно поддаются наблюдениям с Земли.

Если в отношении планет-гигантов факт о существовании колец является самим 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 (МИИ) 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 МИИ 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 обнаружить, 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 привело 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 частиц и обломков колец Реи. Определение положения колец 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 и линейной орбитальной скорости тел колец, их центростремительного ускорения.
2. Оценка минимальной и максимально возможной массы частиц и обломков колец Реи с использованием имеющихся экспериментальных ограничений и теоретических результатов предшественников.

3. Расчет радиуса сферы Роша для Реи, выявление возможности гравитационной конденсации в кольцах.
4. Расчет радиусов основных гравитационных сфер Реи. Построение 2D-карты расположения гравитационных сфер, полости Роша и колец Реи в масштабе.

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 спутнике Рея

В настоящей главе будут подробно изложены современные физические представления о системе Сатурн. Особое внимание будет уделено природе второго по размерам спутника Сатурна — Рея. 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.

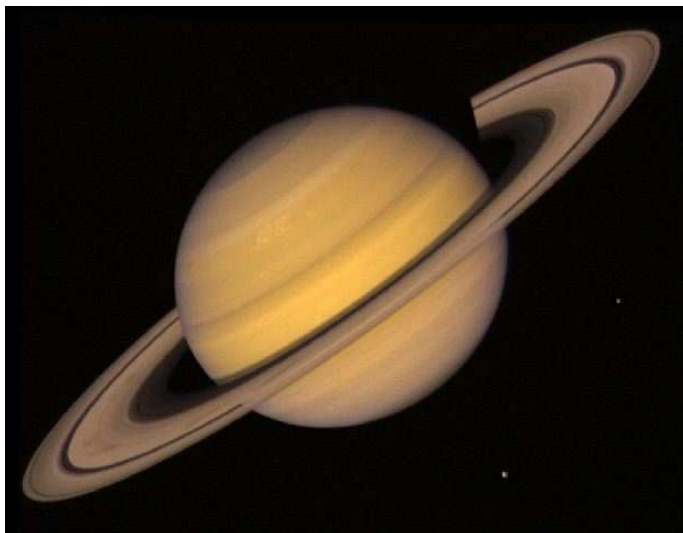


Рис. 2. Полноцветный вид Сатурна и его колец.

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-